

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

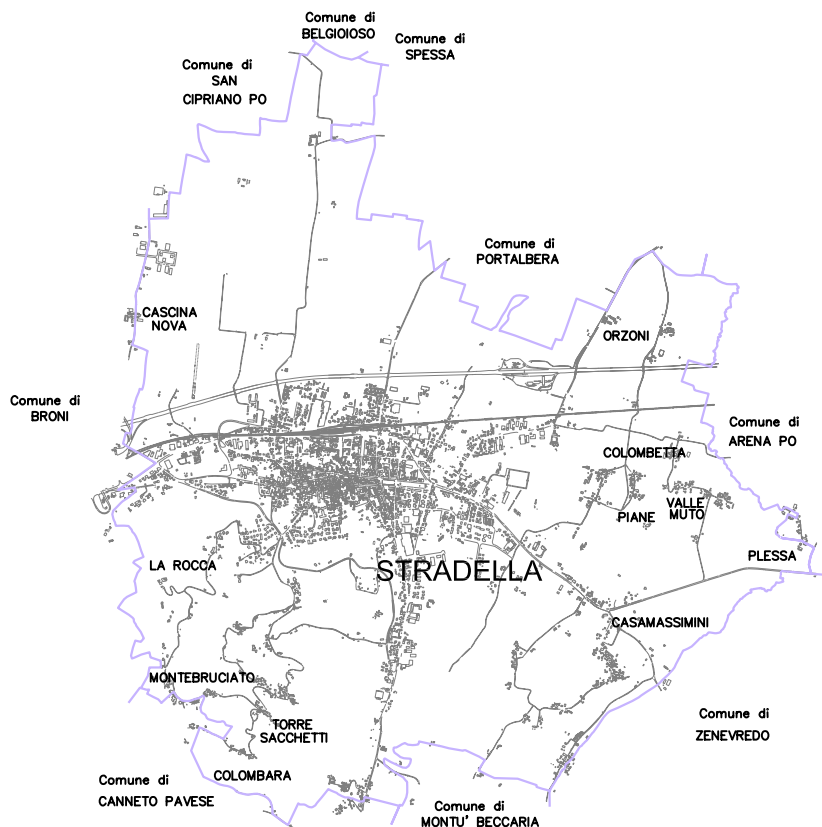
STRADELLA

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

Prof. Pierangelo Lombardi

Il Professionista Incaricato

Dott. Geol. DANIELE CALVI

Assessore all'urbanistica e territorio

Rag. Antonia Meraldi

Collaboratore

Dott. DANIELE SELICORNI

Segretario comunale

Dott. Elisabetta D'arpa

giugno 2008

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
1.1	OGGETTO DELLO STUDIO	1
1.2	DOCUMENTAZIONE REALIZZATA	2
1.3	DOCUMENTAZIONE UTILIZZATA	4
1.4	ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO	6
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E CLIMATICO	8
2.1	CARATTERIZZAZIONE FISIOGRAFICA	8
2.2	UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE AFFIORANTI	9
2.2.1	Coperture quaternarie di natura alluvionale	10
2.2.2	Formazioni marine (bed-rock)	11
2.3	ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE	13
2.4	GEOMORFOLOGIA	18
2.4.1	Versanti collinari	18
2.4.2	Settore pianeggiante	20
2.5	CARATTERIZZAZIONE DEI DISSESTI FRANOSI	22
2.5.1	Tipologia	23
2.5.2	Localizzazione	23
2.5.3	Cause indotte	24
2.6	INTERVENTI ESEGUITI	25
2.6.1	Interventi su versanti in frana	25
2.6.2	Interventi di consolidamento di edifici lesionati	27
2.6.3	Interventi di recupero funzionale di infrastrutture viarie	27
2.7	ASPETTI PEDOLOGICI E DI USO DEL SUOLO	28
2.8	INQUADRAMENTO CLIMATICO	34
3.	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO	36
3.1	IDROGRAFIA SUPERFICIALE	36
3.2	DETERMINAZIONE DEL RETICOLO IDRICO PRINCIPALE E MINORE	37
3.3	CARATTERIZZAZIONE IDRAULICA DEL TORRENTE VERSA IN CORRISPONDENZA DEL TERRITORIO COMUNALE DI STRADELLA	42
3.4	IDROGRAFIA SOTTERRANEA	47
3.4.1	Assetto idrogeologico del settore pianeggiante	47
3.4.2	Parametri statistici dell'acquifero emunto	50
3.4.3	Soggiacenza dell'acquifero emunto	52
3.4.4	Ambito collinare	55

3.5	CLASSI DI PERMEABILITÀ	57
3.6	EMERGENZE SORGENTIZIE	59
3.7	GEOSITI	61
4.	ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO FINALIZZATE ALLA DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE SISMICA NEI PIANI DI GOVERNO DEL TERRITORIO	62
4.1	PREMESSA	62
4.1.1	Pericolosità, vulnerabilità e rischio	64
4.2	INFORMAZIONI RELATIVE ALLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO COMUNALE DI STRADELLA (PV)	69
4.2.1	Dati storici	69
4.2.2	Database Macrosismico Italiano 2004 (DBMI04) – Estrazione dei dati	71
4.3	QUADRO NORMATIVO NAZIONALE E REGIONALE	75
4.3.1	Azione sismica – Categorie di sottosuolo	77
4.3.2	Azione sismica – Zone sismiche	78
4.4	METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI SISMICI DI SITO	80
4.5	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE DEL TERRITORIO COMUNALE DI STRADELLA SECONDO LE INDICAZIONE DELLE D.G.R. 22 DICEMBRE 2005, N°8/1566	83
5.	CARATTERISTICHE GEOLOGICO – APPLICATIVE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO	87
5.1	CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI INVESTIGATI IN RELAZIONE ALLA PROBLEMATICHE DEL RITIRO - RIGONFIAMENTO	87
5.1.1	Ritiro e rigonfiamento: cause e fattori aggravanti	88
5.1.2	Effetti del fenomeno di ritiro – rigonfiamento sugli edifici	90
5.1.3	Interventi e rimedi ai danni provocati dal fenomeno di ritiro – rigonfiamento sugli edifici	91
5.1.4	Proposta di regolamentazione per gli edifici di nuova costruzione e per gli edifici esistenti	91
5.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE	93
5.3	GRADO DI PROTEZIONE DELL'ACQUIFERO SFRUTTATO AD USO IDROPOTABILE (SETTORE PIANEGGIANTE) E DI QUELLO SUPERFICIALE (SETTORE COLLINARE)	98
6.	ZONAZIONE DEL TERRITORIO – METODOLOGIA UTILIZZATA	101
6.1	CARATTERISTICHE DI VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI	101
6.2	INDIVIDUAZIONE DELLE AREE OMOGENEE DAL PUNTO DI VISTA DELLA PERICOLOSITÀ / VULNERABILITÀ RIFERITA ALLO SPECIFICO FENOMENO CHE LE GENERA	104
6.3	ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI DI INGRESSO	106

FIGURE IN TESTO

Fig. 1	<i>Inquadramento dell'area nel sistema cartografico regionale</i>	8
Fig. 2	<i>Schema strutturale dell'Appennino pavese-piacentino</i>	9
Fig. 3	<i>Profilo elettrostratigrafico della "platea" individuata nel sottosuolo del settore sud-orientale della Pianura Pavese, da BRAGA G. et al., 1988</i>	14
Fig. 4	<i>Andamento del tetto del substrato marino lungo la direttrice Stradella – San Cipriano Po, DA ASSERETO E., 1980-1988</i>	14
Fig. 5	<i>Schema dei rapporti stratigrafici e colonne litostratigrafiche della zona dello "sperone di Stradella"</i>	16
Fig. 6	<i>Carta dei movimenti verticali del suolo (Arca & Beretta, 1985)</i>	17
Fig. 7	<i>Evoluzione dei tratti in erosione del fiume Po in località Spessa Po e Portalbera</i>	21
Fig. 8	<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>	35
Fig. 9	<i>Sezione rappresentativa delle condizioni litologiche del sottosuolo in prossimità del margine meridionale della pianura bronese-stradellina</i>	48
Fig. 10	<i>Profilo illustrativo dell'andamento del tetto del substrato marino dalla Centrale Durina verso NE</i>	49
Fig. 11	<i>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</i>	54
Fig. 12	<i>Tabella comparativa Grado Richter – Grado M.C.S.</i>	63
Fig. 13	<i>Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV, aprile 2004)</i>	65
Fig. 14	<i>Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. - Dettaglio per la Regione Lombardia (INGV, aprile 2004)</i>	66
Fig. 15	<i>Massime intensità Macrosismiche osservate in Italia (Fonte I.N.G.V.)</i>	70
Fig. 16	<i>Massime intensità macrosismiche registrate in Lombardia (fonte INGV)</i>	71
Fig. 17	<i>Elenco dei terremoti in cui risulta citata la località di Stradella (PV)</i>	72
Fig. 18	<i>Diagramma della storia sismica delle località di Stradella limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4-5</i>	72
Fig. 19	<i>Zonazione sismogenetica ZS9 (da Rapporto conclusivo del Gruppo di lavoro per la redazione della Mappa di pericolosità sismica – INGV, aprile 2004)</i>	74

TABELLE IN TESTO

TAB.1/A	<i>Sistema, sottosistemi e unità di paesaggio dei rilievi montuosi dell'Appennino pavese (P)</i>	30
TAB.1/B	<i>Sistema, sottosistemi e unità di paesaggio dei terrazzi rilevati sull'attuale pianura (R)</i>	31
TAB.1/C	<i>Sistema, sottosistemi e unità di paesaggio delle valli alluvionali di pianura (V)</i>	32-33
TAB.2	<i>Scheda tecnica reticolo idrico principale del territorio del Comune di Stradella</i>	39
TAB.3	<i>Scheda tecnica reticolo idrico minore del territorio del Comune di Stradella</i>	39
TAB.4	<i>Reticolo idrico principale e minore del Comune di Stradella</i>	40
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>	53
TAB.6	<i>Elenco pozzi per acqua utilizzati per le misure freaticometriche</i>	56
TAB.7	<i>Osservazioni sismiche a Pavia</i>	73
TAB.8	<i>Classificazione del territorio regionale a seguito dell'entrata in vigore dell'O.P.C.M. 3274/03</i>	76
TAB.9	<i>Provincia di Pavia - Raffronto tra il precedente quadro normativo e l'attuale</i>	76
TAB.10	<i>Livello di approfondimento dello studio in relazione alla zona sismica di appartenenza</i>	82
TAB.11	<i>Comune di Stradella - Scenari di pericolosità sismica locale ed effetti sismici locali attesi</i>	84
TAB.12	<i>Comune di Stradella - Classi di pericolosità sismica per ogni scenario di pericolosità sismica locale</i>	85
TAB.13	<i>Distanza di sicurezza tra l'albero e l'edificio in relazione della specie (Driscoll, 1983)</i>	89
TAB.14	<i>Caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione in relazione ai valori di R_p misurati desunti dalla rielaborazione delle prove penetrometriche statiche CPT eseguite a supporto degli interventi edilizi realizzati od in itinere in territorio comunale di Stradella</i>	95-97
A - B - C		
TAB.15	<i>Classi di ingresso dei poligoni individuati nella carta di sintesi</i>	106-107

ALLEGATI

BIBLIOGRAFIA CONSULTATA

1. INTRODUZIONE

1.1 OGGETTO DELLO STUDIO

Lo studio in oggetto si propone di fornire al Comune di STRADELLA (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 Stradella, è stato predisposto secondo due livelli conoscitivi e diagnostici: uno generale di inquadramento, riguardante l'intera superficie territoriale del Comune (18,77 Km²) 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 - 10 - scala 1:5.000).

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

- Stradella (capoluogo comunale)
- C.na Orzoni
- Colombetta
- Piane
- Plessa
- Previano
- Santa Maria
- Valle Muto
- Boccazza
- Cà Donica
- Casa Massimini
- Casa Rovati
- Roncalberico
- Torrino
- Casa Amistà
- Casa Berni
- Cassinello
- Colombara
- Casa Gavazzola
- Montebruciato
- Recanata
- Casa della Fontana
- Solinga
- Torre Sacchetti

oltre che numerosi cascinali uniformemente distribuiti su tutto il territorio collinare, pedecollinare e di pianura, a testimonianza della spiccata vocazione agricola e vitivinicola di questi luoghi.

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 10 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°5-6-7-8-9-10) 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 e n°8) vengono realizzate in formato numerico File *AutoCAD drawing* (.dwg), mentre la Tavola n°7 "CARTA DEL DISSESTO UNIFICATO ALLA LEGENDA DEL P.A.I.", la Tavola n°9 "CARTA DI SINTESI" e la Tavola n°10 "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.

	<i>Documentazione di analisi – carte di inquadramento generale</i>	SCALA
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 DEL DISSESTO UNIFICATO ALLA LEGENDA DEL P.A.I.	1:10.000
8.	CARTA DEI VINCOLI ESISTENTI	1:5.000
9.	CARTA DI SINTESI	1:5.000
10.	CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO ESTESA ALL'INTERO TERRITORIO COMUNALE	1:5.000

La tavola n°10, in particolare, riporta la zonazione del territorio comunale di Stradella in classi e sottoclassi di fattibilità geologica a diversa limitazione (numerate da 2A a 4E in ordine crescente di limitazioni e condizionamenti, secondo quanto stabilito dalla D.G.R. 22 dicembre 2005, n°8/1566 - 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 Stradella, 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"
- B8c2 "Broni"
- B8d1 "Stradella Est"
- B8d2 "Montù Beccaria"

— 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 e 1:2.000 del territorio comunale di Stradella da fotorestituzione

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

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

— fotografie aeree in B/N alla scala \cong 1:25.000 relative al volo del 1994

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 – STRADELLA – 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)
- Autorità di Bacino del Fiume Po - "MODIFICHE E INTEGRAZIONI AL PROGETTO DI PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)" 2. Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici - Delimitazione delle aree di dissesto - FOGLIO 160 SEZ. II "STRADELLA" - SCALA 1:25.000
- Provincia di Pavia - Carta inventario del dissesto - scala 1:10.000 (*Cartografia tratta dal Programma Provinciale di Previsione e Prevenzione*)
- Carta dei centri abitati instabili (*Centri abitati instabili della Provincia di Pavia. Vol.1 - Centri interessati da provvedimento di risanamento, consolidamento o trasferimento. Pubblicazione CNR-GNDCI n°1780*);
- Progetto Speciale Oltrepò Proposta di Piano di riassetto globale del territorio, ai sensi dell'art.2 della L.R. n°59/78. AQUATER 1986.
- 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 Stradella - Studio idrologico e idraulico del torrente Versa - D.G.R. n°7/6645 del 29/10/2001 - L.R. n°41/97 - Dott. Ing. Giancarlo Boldini (2004)
- Comune di Stradella - Studio geologico del territorio comunale - D.G.R. n°7/6645 del 29/10/2001 - L.R. n°41/97 - Dott. Geol. Felice Sacchi (marzo 2004 - febbraio 2005)

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 Stradella ed utili alla caratterizzazione dell'area di studio.

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

- Ufficio Tecnico Comunale di Stradella
 - 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
 - A.C.A.O.P. S.p.A.
 - S.p.A. Broni-Stradella.
- analisi fotointerpretativa
 - analisi areale di tutto il territorio comunale di Stradella e di un suo significativo intorno che ha previsto, accanto ai rilievi geologici di tipo tradizionale, una preliminare caratterizzazione geotecnica dei terreni di copertura, sia attraverso la raccolta e la successiva elaborazione dei dati esistenti, sia attraverso l'esame di alcune scarpate naturali e artificiali (scassi stradali, sbancamenti). Per quanto il lavoro di rilevamento in ambito collinare sia stato condizionato dalla scarsità degli affioramenti, i rilievi hanno comunque consentito anche in questi areali l'individuazione degli elementi che possono influire sull'idoneità delle aree stesse in funzione urbanistica
 - analisi idrogeologica, eseguita sia attraverso il censimento dei pozzi per acqua (rifer. Tavola 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 Stradella 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 (rifer. 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 Stradella, 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 (rifer. Tavola n°5 "CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (PSL) CON UBICAZIONE DEI DATI LITOSTRATIGRAFICI, GEOGNOSTICI E GEOTECNICI"):

- n°166 diagrafie relative a prove penetrometriche statiche "*cone penetration test*" (C.P.T. 01_166)
- n°45 diagrafie relative a prove penetrometriche dinamiche "*Dynamic Continuous Penetration Test*" con avanzamento di 10 centimetri (D.C.P.T.₁₀ 01_45)
- n°17 diagrafie relative a prove penetrometriche dinamiche "*Dynamic Continuous Penetration Test*" con avanzamento di 20 centimetri (D.C.P.T.₂₀ 01_17)
- n°45 diagrafia relativa a prove penetrometriche dinamiche "*Dynamic Continuous Penetration Test*" con avanzamento di 30 centimetri (D.C.P.T.₃₀ 01_45)
- n°29 stratigrafie relative a trincee geognostiche esplorative (T 01_29)
- n°15 stratigrafie relative a sondaggi geognostici a campionamento continuo (S 01_15)

Vengono inoltre fornite 48 stratigrafie di pozzi per acqua a diverso uso censiti all'interno dell'areale studiato (rifer. Tavola 4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO"), di cui:

- 43 stratigrafie si riferiscono a pozzi ad uso idropotabile (su di un totale di 46 censiti: 3 di essi - TANZI 1-3 - non dispongono di stratigrafia). Dei 46 pozzi censiti ad uso idropotabile, 27 risultano attualmente in uso mentre 16 sono al momento dismessi ovvero non più utilizzati);
- 5 stratigrafie si riferiscono a pozzi ad uso non potabile presenti sul territorio di diversa proprietà, afferenti ad attività produttive di vario genere.

Per quanto riguarda l'ubicazione dei pozzi per acqua ricadenti nell'ambito del territorio comunale di Stradella, 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 FISIOGRAFICA

Il territorio del Comune di Stradella (PV) si sviluppa su di una superficie complessiva di 18,77 Km² (pari a 1877 ettari), compreso dal punto di vista amministrativo tra i comuni di San Cipriano Po, Belgioioso, Spessa Po e Portalbera a Nord, Broni ad Ovest, Arena Po e Zenevredo ad Est, Canneto Pavese e Montù Beccaria a Sud.

Il Comune è costituito da un capoluogo e numerose frazioni, oltre che da molti cascinali sparsi nella campagna e lungo le pendici collinari. Pur con la sua relativamente modesta dimensione, grazie alla posizione geografica ed alla secolare tradizione, Stradella è uno dei comuni più importanti della zona, cerniera tra l'alto Oltrepò e la pianura Pavese.

Dal punto di vista fisiografico, il territorio di Stradella si trova ubicato in destra idrografica del Fiume Po, lungo la propaggine settentrionale dell'Appennino pavese-piacentino, in una fascia collinare dell'Oltrepò Pavese compresa tra il Torrente Scuropasso - ad Ovest -, il torrente Versa ed il rio Poalone, il quale definisce ad Est il confine comunale tra Stradella, Zenevredo ed Arena Po.

Dal punto di vista altimetrico la zona può essere considerata di bassa collina / pianura, essendo contenuta tra le quote di 54 metri circa s.l.m. (asta valliva del fiume Po nei pressi della roggia Lancone) e 291 metri circa s.l.m. (località Colombara).

Nella figura sottostante è rappresentata la collocazione dell'area studiata rispetto al sistema cartografico regionale (C.T.R. Regione Lombardia).

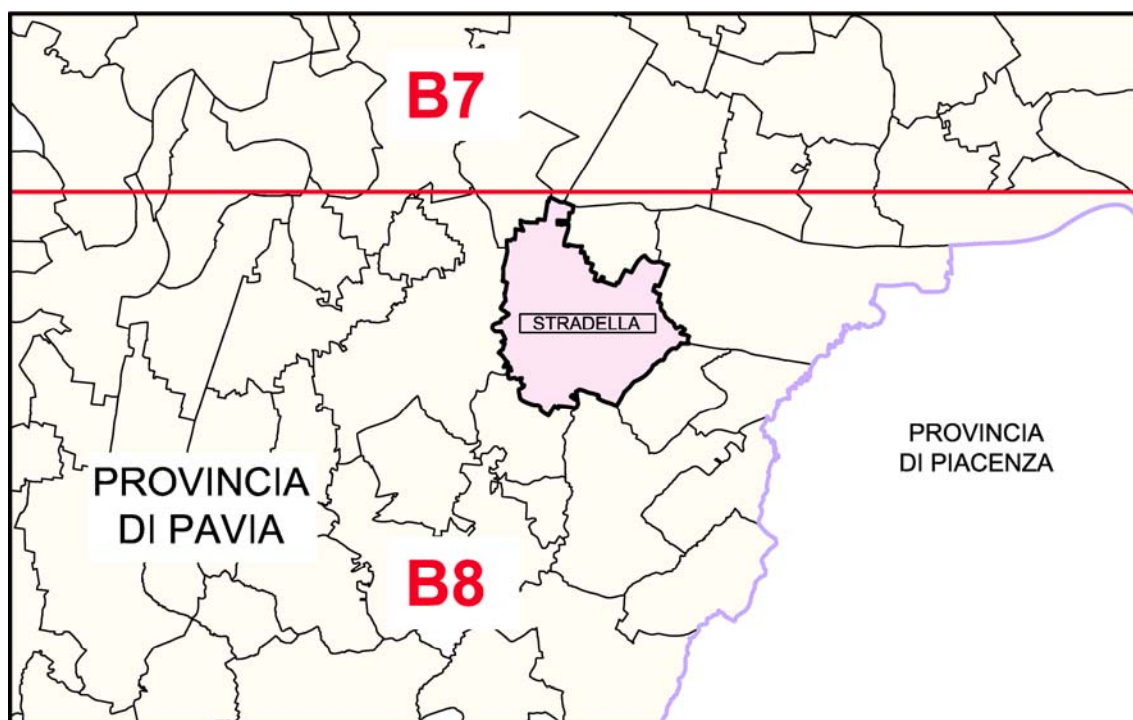


Fig. 1 Inquadramento dell'area nel sistema cartografico regionale

2.2 UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE AFFIORANTI

Le unità rocciose affioranti nel territorio comunale di Stradella, conformemente a quanto accettato nell'ambito della letteratura geologica attuale (CNR - Carta Strutturale dell'Appennino Settentrionale, 1982 e relative Note Illustrative, 1987), vengono raggruppate, nel quadro paleogeografico - strutturale regionale, secondo il seguente schema (rifer. Fig. 2):

- COPERTURE QUATERNARIE DI NATURA ALLUVIONALE
- SUCCESSIONE ALLOCTONA - SEMIALLOCTONA DI LOIANO, RANZANO-BISMANTOVA (UNITÀ EPILIGURI)

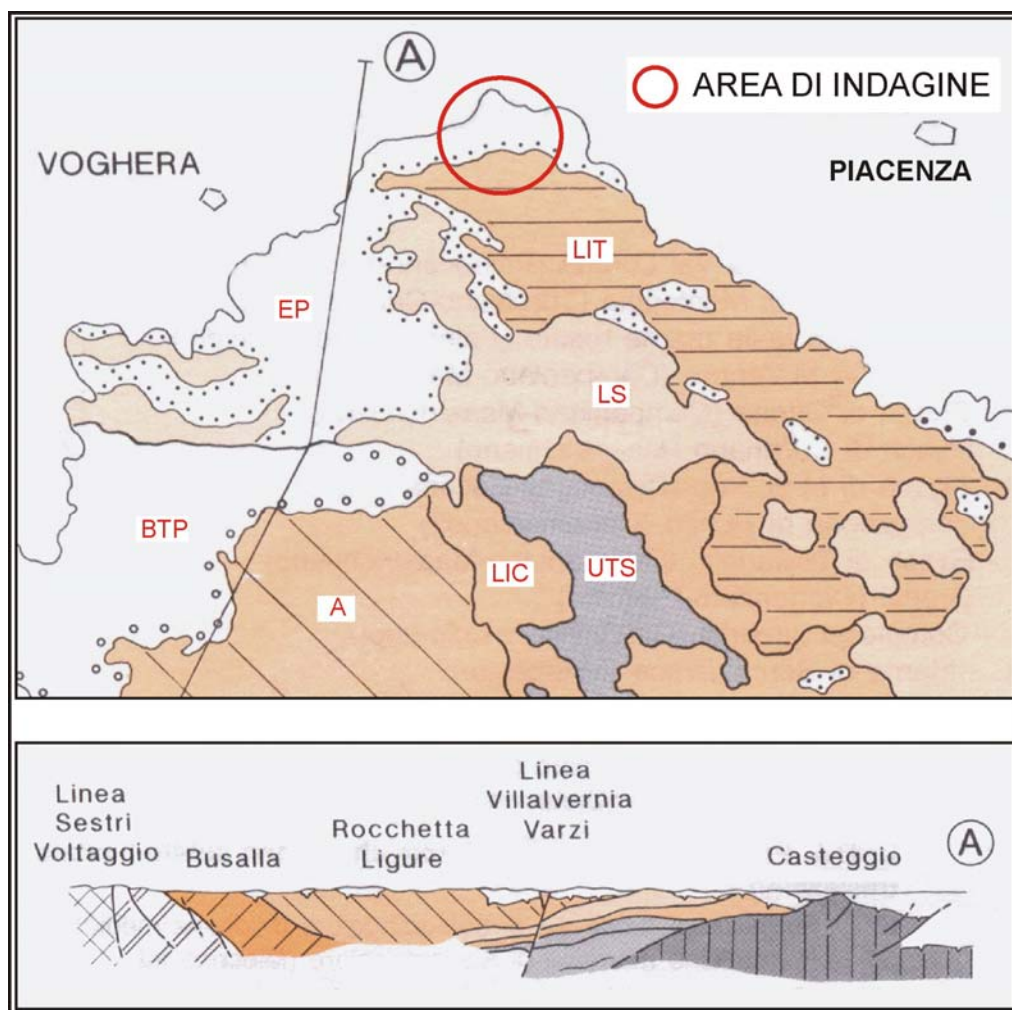


Fig. 2 Schema strutturale dell'Appennino pavese-piacentino

EP = EPILIGURI (ricoprono in discordanza stratigrafica le liguridi esterne)

BTP = Bacino Terziario Piemontese (Sigilla in discordanza stratigrafica la giustapposizione delle Alpi Marittime all'Appennino Settentrionale)

UNITÀ LIGURI: Unità superiore dei Flysch ad Elmintoidi (A = Unità Antola; LS = liguri esterne superiori); Unità inferiore dei Flysch ad Elmintoidi (LIC = liguri esterne inferiori cretatiche; LIT = liguridi esterne inferiori terziarie)

UTS = Unità toско-umbre e subliguridi (Successione carbonatica; torbiditi di avanfossa dell'ossatura appenninica; unità subliguridi).

Di seguito vengono descritte, in ordine cronologico a partire dalle più recenti, le formazioni geologiche affioranti all'interno dell'area studiata (rifer. Tavola n°1 "CARTA DI INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO E STRUTTURALE"), indicando per ciascuna di esse i principali caratteri litologici e, quando caratterizzabili, la morfologia degli affioramenti e le proprietà del suolo agrario.

In generale i litotipi argillosi, argilloso - marnosi e marnosi riferibili alle formazioni sotto elencate (bed-rock) non risultano affiorare, se non in corrispondenza di scassi o sbancamenti artificiali, in quanto ammantati da una copertura limoso - argillosa pressoché continua di spessore variabile (generalmente metrico in corrispondenza dei crinali e plurimetrico lungo i versanti).

2.2.1 COPERTURE QUATERNARIE DI NATURA ALLUVIONALE

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.

FLUVIALE MEDIO (*Pleistocene medio - Riss*)

"*Piano di Stradella*" della C.G.I. foglio 59 Pavia

Alluvioni costituite da limi sabbiosi, sabbie grossolane poco alterate, localmente ghiaie e ciottoli con alterazione notevole, spesso laccati di incrostazioni di manganese, dalla caratteristica tinta bruno - nera. Esse risultano ricoperte da una coltre di copertura costituita da silt argilloso - sabbioso e argilla siltoso - sabbiosa, di colore grigio - bruno tendente al giallastro di prevalente origine eolica (loess) e/o colluviale, contenente concrezioni di natura calcarea e ferro - manganesifera.

FLUVIALE ANTICO (*Pleistocene inferiore - Minde*)

"Piano di Villa Bosco e Bosnasco" della C.G.I. foglio 59 Pavia.

Alluvioni costituite da sabbie o ghiaie fortemente alterate, generalmente con matrice limosa, talora abbondante, e ricoperte da coltri limose. Si tratta di depositi di età diversa, costituiti da più ordini di ripiani mal distinguibili su cui sorgono gli abitati di Cà Donica e Casa Massimini.

2.2.2 FORMAZIONI MARINE (BED-ROCK)**UNITÀ EPIGURI****Post fase pliocenica inferiore****ARGILLE DI LUGAGNANO (*Pliocene*)**

Argille marnose e siltoso - sabbiose grigio-azzurre, arenarie poco cementate con inclusioni pelitiche, conglomerati con frequenti superfici erosive passanti a strati arenacei con abbondante tritume conchigliare. Comprende la "formazione di Corvino S. Quirico" e la "formazione di Sparano" del foglio 59 "Pavia" della C.G.I.

CONGLOMERATI DI CASSANO SPINOLA (*Miocene superiore*)

Depositi clastici conglomeratici e paraconglomeratici, eterometrici e poligenici, intercalati a lenti di arenarie in grosse bancate (*membro dei Conglomerati di Rocca Ticozzi*); verso l'alto sono prevalenti livelli sabbiosi di color grigio-giallastro con potenza che raggiunge il metro, alternati a strati pelitico-siltosi mal definiti e di potenza variabile (*membro delle Arenarie di Monte Arzòlo*).

In corrispondenza della zona di Colombara - Montebruciatò nei conglomerati, dove prevalgono clasti calcarei e calcareo - marnosi, sono stati rinvenuti litotipi di chiara origine alpina di natura magmatica, metamorfica e sedimentaria: si tratta di graniti, quarziti, gneiss, micascisti, granuliti e calcari selciferi tipo medoloide. La natura di questi clasti suggerisce come possibile area di alimentazione di questa zona il settore occidentale delle Alpi calcaree Meridionali.

La stratificazione in genere non è sempre ben distinguibile, tuttavia ove visibili gli strati presentano inclinazioni generalmente non molto elevate, mediamente inferiori a 10° ÷ 15°.

In generale gli affioramenti sono ricoperti da boschi e i suoli, a tessitura sabbiosa, non sono molto profondi (da 0,25 m a circa 1,50 m), anche perché tali litofacies costituiscono l'ossatura delle zone morfologicamente più rialzate. I Conglomerati di Cassano Spinola risultano stratigraficamente sovrapposti in debole discordanza angolare alla formazione Gessoso- Solfifera.

Post fase burdigaliana**FORMAZIONE DI LUZZANO (*Miocene superiore*)**

Marne sabbiose di colore grigio, non ben stratificate, con intercalazioni sabbioso arenacee e con abbondante macro e microfauna.

FORMAZIONE GESSOSO - SOLFIFERA (*Messiniano inferiore*)

Litologicamente questa formazione è costituita da alternanze di marne grigio-azzurre, calcari cariati, calcareniti (affioranti nelle aree settentrionali) e argille alla base, mentre verso l'alto si nota la presenza di livelli arenacei (20-30 cm di spessore) a diverso grado di cementazione, localmente con intercalazioni lentiformi di gesso inglobati nelle marne: la parte più cospicua di tali affioramenti è in località Montescano e valle Prussiani - Comune di Canneto Pavese - (presenza di grossi gessi granulari ricchi di fossili vegetali -flora a filliti-).

MARNE DI SANT'AGATA FÒSSILI (*Tortoniano*)

Questa formazione risulta composta da marne e argille di colore grigio-azzurro o giallastro, leggermente sabbiose, con intercalazioni sabbiose e arenacee verso l'alto (detti livelli raggiungono una potenza di 10-20 cm), poco cementate. La stratificazione, non molto chiara nelle argille e nelle marne, diventa evidente quando sono presenti dette intercalazioni. I contatti tra la formazione delle "Marne di Sant'Agata Fòssili" e la "formazione Gessoso - solfifera" sono stratigrafici.

FORMAZIONE DI MONTÙ BECCARIA (*Tortoniano – Serravalliano?*)

Marne argillose, marne arenacee con livelli sabbiosi, arenarie molassiche grigio chiare, non ben stratificate, talora brecciate.

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-quaternarie, 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

Il territorio comunale di Stradella è suddivisibile, dal punto di vista geologico, in due distinti ambiti:

- *il settore pianeggiante*, impostato nei depositi quaternari alluvionali che costituiscono il ripiano fondamentale della Pianura Padana a Sud del fiume Po e che si raccordano regolarmente con le alluvioni presenti nelle principali valli appenniniche (torrente Scuropasso e torrente Versa)
- *il settore collinare*, costituito in prevalenza da depositi quaternari pre-wurmiani di età diversa, disposti su più ordini di ripiani non sempre ben distinguibili e su cui sorge parte dell'abitato di Stradella, ed in parte da depositi marini rimaneggiati.

Per quanto riguarda *il settore pianeggiante*, 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 W dell'area oggetto di studio) e Stradella, 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 m ed un massimo di 25 m, 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.3- e in direzione NE fino ad oltrepassare il fiume Po passando per San Cipriano e Portalbera -rifer. Fig.4), 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 (rifer. Fig.3).

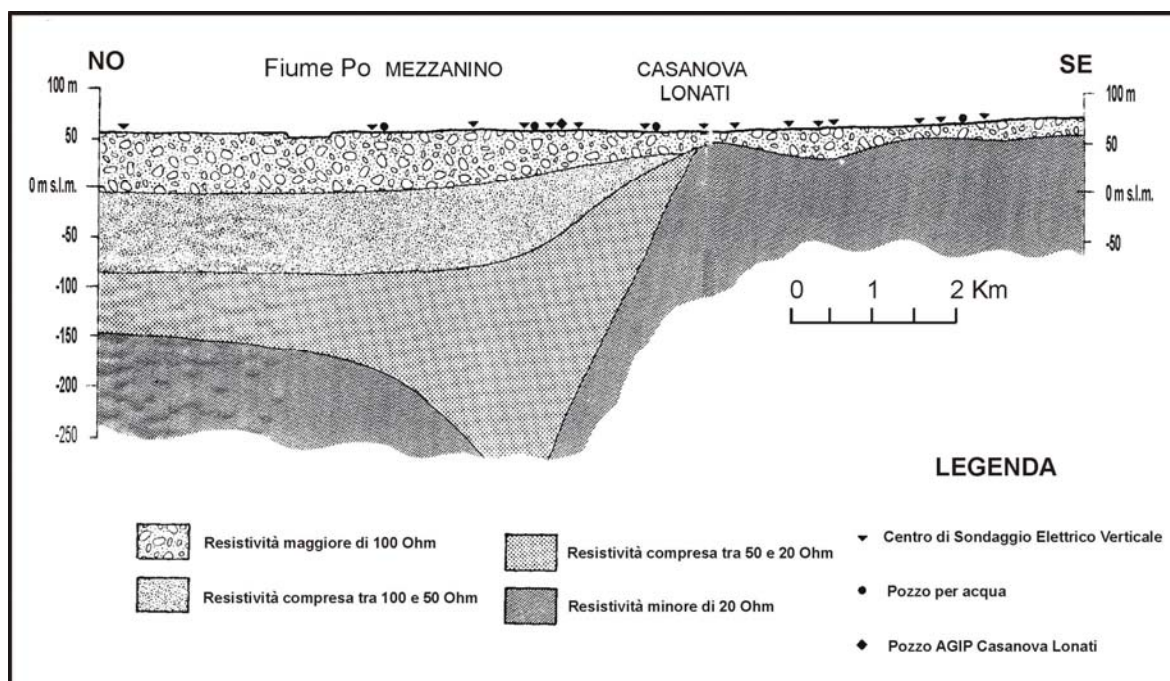


Fig. 3 Profilo elettrostratigrafico della "platea" individuata nel sottosuolo del settore sud-orientale della Pianura Pavese, da BRAGA G. et al., 1988

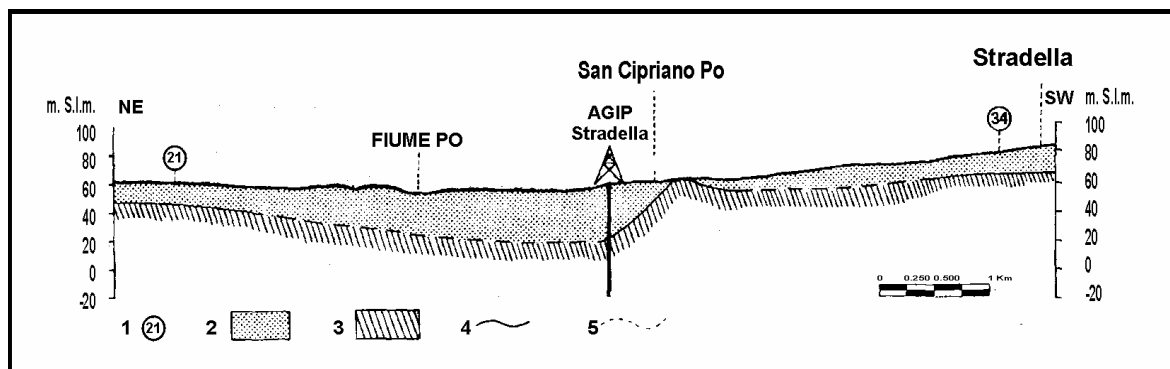


Fig. 4 Andamento del tetto del substrato marino lungo la direttrice Stradella - San Cipriano Po, DA ASSERETO E., 1980-1988.

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 (rifer. Tav.1).

Per quanto riguarda *il settore collinare* l'area d'indagine dal punto di vista geologico - strutturale si colloca in corrispondenza del cosiddetto "Sperone di Stradella" - marcata apofisi dell'arco appenninico affiorante verso la pianura padana -, trovando in esso l'elemento strutturale più significativo.

Lo "Sperone di Stradella" risulta caratterizzato da sistemi di faglie disposte circa a direzione N-S (rifer. Tav.1), che si contrappongono ai lineamenti ad andamento NW-SE del settore appenninico piacentino e a quelli ad andamento prevalente SW-NE dell'Appennino tortonese e vogherese: esso finisce quindi con il costituire una linea di demarcazione tra questi due complessi strutturalmente divergenti. La presenza di faglie subverticali appare suffragata dal senso di deflusso delle acque dei principali corsi d'acqua (torrente Versa e torrente Scuropasso).

I lineamenti geologici plicativi dell'area sono caratterizzati da una serie di strutture sinformi ed antiforimi, definibili soprattutto sulla base della variazione delle giaciture degli strati nei luoghi di affioramento.

In particolare si individua una struttura sinclinale con asse circa E-W secondo la direttrice Broni - Amistà, avente al nucleo la successione del Miocene superiore, marnosa alla base (Formazione Gessoso - solfifera) e prevalentemente clastica nella porzione medio - superiore (Conglomerati di Cassano Spinola) e con un substrato (costituito dalle Marne di Sant'Agata Fòssili) che circonda i terreni della predetta sinclinale e che, all'incirca secondo la congiungente Colombarone - Canneto Pavese - Beria, appare conformato ad anticlinale, con asse E-W.

Dalle risultanze di detti studi si evince quindi come la porzione pedecollinare dell'Oltrepò Pavese è caratterizzata da numerosi lineamenti tettonici di tipo compressivo, che suddividono l'area in comparti differenti, con zone a diverso comportamento e movimento. In particolare, l'area occidentale (areale di Stradella) è caratterizzata da innalzamenti meno accentuati rispetto ai settori centrali ed orientali.

L'attività neotettonica indica infine un recente sollevamento della zona appenninica in cui è ubicata l'area in esame ed è sottolineata da una serie di evidenze morfologiche quali irregolarità piano-altimetriche delle linee di crinale, andamento di alcuni corsi d'acqua, allineamento di frane, rotture di pendenza che si riscontrano lungo i versanti.

Queste discontinuità tettoniche favoriscono la circolazione delle acque sotterranee con locale intensificazione dei processi di degradazione delle rocce.

Alla scala locale le numerose pieghe presenti nell'ammasso roccioso determinano frequenti variazioni di giacitura della stratificazione sui versanti e controllano di fatto sia le condizioni idrogeologiche che l'assetto geostatico.

La sottostante Fig.5 evidenzia lo schema dei rapporti stratigrafici tra le formazioni affioranti all'interno dell'area in esame.

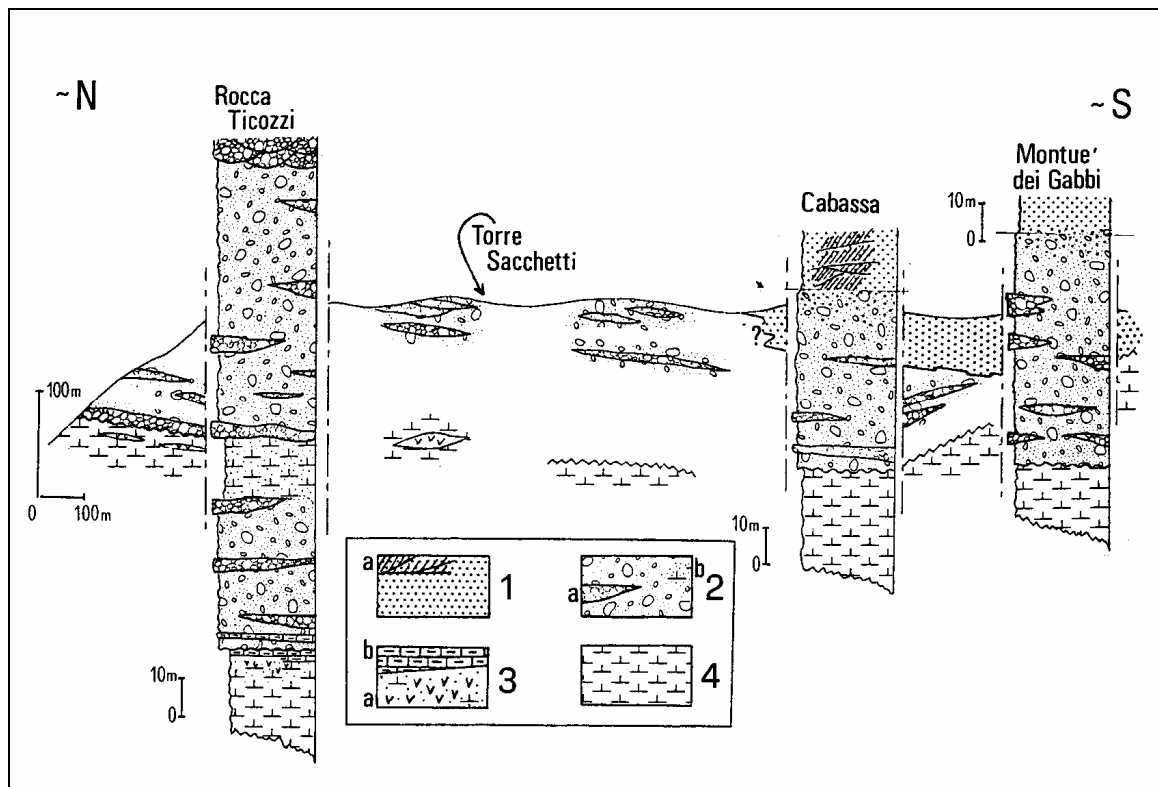


Fig. 5

Schema dei rapporti stratigrafici e colonne litostratigrafiche della zona dello "sperone di Stradella"
 1=Membro delle Arenarie di M. Arzò (a = stratificazione incrociata); 2 = Membro dei Conglomerati di Rocca Ticozzi (a = canali; b = passate limoso - sabbiose); 3 = Formazione gessoso - solfifera (a = marne, sabbie e gesso-areniti; b = calcari marnosi e marne calcaree); 4 = Marne di Sant'Agata Fòssili

Per quanto riguarda infine i movimenti verticali del suolo, da bibliografia risulta come la parte settentrionale del territorio più strettamente pianeggiante è attualmente stabile o in debole abbassamento, mentre la parte di raccordo con le prime colline e la parte collinare invece sono interessate - già a partire dal Pliocene -, da un generale sollevamento (Boni et al., 1981).

Analizzando gli spostamenti verticali dei capisaldi delle linee di livellazione di alta precisione rilevati dall'Istituto Geografico Militare (Arca & Beretta, 1985), omogeneizzati al periodo 1897-1957, si sono riscontrate sul margine appenninico della Pianura Padana aree in innalzamento superiori a 25 mm in corrispondenza della anticlinale di San Colombano e della faglia Vogherese (rifer. Fig. 6).

In particolare si nota una variazione della velocità di sollevamento dell'ordine di 0,5 mm/anno tra la bassa e la medio - alta pianura proprio nella zona di Stradella, caratterizzata dal progressivo sollevamento del substrato miocenico.

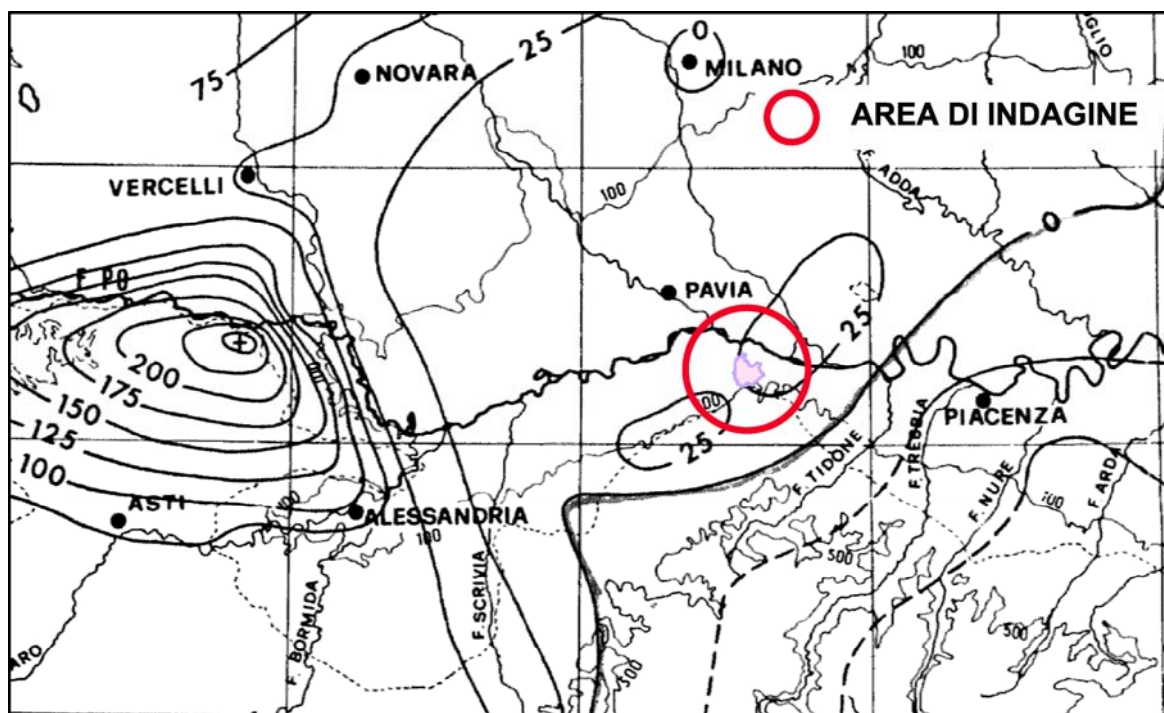


Fig. 6 Carta dei movimenti verticali del suolo (Arca & Beretta, 1985)

2.4 GEOMORFOLOGIA

Il territorio comunale di Stradella può essere suddiviso in due unità di paesaggio relativamente uniformi: *la collina*, presente nelle aree centrali e meridionali e lungo le aste vallive dei due corsi d'acqua principali - il torrente Versa e il rio Poalone - e *la pianura*, a Nord del capoluogo comunale e della ex Strada Statale 10 Padana Inferiore (SS 10). Quest'ultima -in particolare- costituisce, nel tratto da Voghera a Stradella, la linea di demarcazione tra la pianura oltrepadana e le colline dell'Oltrepò Pavese.

Elementi significativi dal punto di vista geomorfologico sono le scarpate di terrazzo che segnalano il passaggio tra i depositi alluvionali di fondovalle del Fluviale Recente e i ripiani terrazzati del fluviale Medio - su uno dei quali si colloca anche il centro storico di Stradella -, ovvero tra i ripiani dello stesso Fluviale Medio e quelli soprastanti del Fluviale Antico.

2.4.1 VERSANTI COLLINARI

La morfologia del settore collinare del territorio di Stradella, pur risultando complessivamente dolce, è nel dettaglio localmente contraddistinta da numerose irregolarità (scarpate, rotture di pendenza, avvallamenti, ecc...), la cui presenza è strettamente connessa sia ai processi di degradazione dei versanti (soliflusso -agevolato dalla presenza delle coltri agrarie- e movimenti franosi, costituiti prevalentemente da scivolamenti traslazionali e rotazionali), sia al quadro neotettonico quaternario, evidenziato dalla presenza di elementi morfoneotettonici, quali rilievi morfoselettivi, selle e allineamenti di vette (rifer. Tavola n°3 "CARTA GEOMORFOLOGICA").

Ai piedi dei versanti appenninici si sviluppano inoltre, con una certa continuità, le scarpate di terrazzo di origine alluvionale che separano i depositi principali della pianura oltrepadana del fluviale Recente da quelli wurmiani (fluviale Medio) e rissiani (fluviale Antico), questi ultimi topograficamente sovrapposti ai precedenti.

La stessa scarpata principale di raccordo tra i depositi del fluviale Recente e del fluviale Medio, con altezze che in alcuni tratti raggiungono anche i 15 metri, risulta frequentemente interrotta da numerosi interventi di antropizzazione, soprattutto in corrispondenza dell'abitato di Stradella.

La combinazione di diversi caratteri litologici, e quindi la presenza sia di terreni caratterizzati da bassa erodibilità, sia di litologie facilmente erodibili, conferisce all'area collinare un assetto morfologico in cui si individuano sostanzialmente due tipologie di versante:

- pendii caratterizzati da una morfologia a tratti irregolare e dotati di pendenze modeste, generalmente non superiori ai 10÷15° (parte centrale del territorio comunale)
- declivi relativamente uniformi, contraddistinti da pendenze medio - elevate, attorno ai 25° ÷ 30° (parte meridionale del territorio comunale)

Questa situazione morfologica riveste significato pratico, in quanto rende ragione della diffusione e della localizzazione dei fenomeni franosi censiti, per quanto essi sono almeno in parte connessi all'attività umana e il più delle volte all'inosservanza delle più elementari norme di regimazione delle acque superficiali.

La distribuzione di unità litologiche a comportamento differenziato e il loro assetto strutturale, oltre che a determinare la distribuzione areale dei singoli processi geomorfologici, ha contribuito a conformare i versanti, differenziandoli sia in termini di acclività che di sviluppo altimetrico (rifer. Tavola n°3 "CARTA GEOMORFOLOGICA"). Lungo i versanti situati in destra idrografica del torrente Versa (località Torrino) il paesaggio è infatti caratterizzato da forme dolci e pendii a moderata inclinazione, che degradano sul fondovalle dello stesso torrente Versa e del rio Poalone.

I litotipi dominanti, facilmente erodibili e degradabili risultano costituiti da argille e limi prevalente e, in subordine, marne e sabbie debolmente cementate.

In corrispondenza del settore sud-occidentale del territorio (sinistra idrografica del torrente Versa), viceversa, la morfologia è localmente contraddistinta da frequenti irregolarità (rotture di pendenza, avvallamenti, ecc...), la cui origine è strettamente connessa alla maggiore energia del rilievo, in relazione alla presenza di litotipi prevalentemente arenacei e conglomeratici (*Conglomerati di Cassano Spinola*).

L'erosione selettiva evidenzia localmente forme nettamente più rilevate. Spicca, in particolare, il rilievo del Rocca Ticozzi (272 metri s.l.m.) costituito da una potente successione arenaceo - conglomeratica.

La combinazione di diversi caratteri litologici e quindi la presenza sia di terreni caratterizzati da bassa erodibilità, sia di litologie facilmente erodibili, conferisce quindi all'area un assetto morfologico in cui si individuano in via semplificativa le seguenti tipologie di versante:

1. Versanti modellati in unità prevalentemente arenacee e conglomeratiche

Queste litologie danno origine ad una morfologia piuttosto aspra, con declivi relativamente uniformi, contraddistinti da pendenze medio - elevate, attorno ai 25°-30° (parte sud-occidentale del territorio comunale, linea di crinale e versanti tra Rocca Ticozzi, Montebriuciato, Colombara e Torre Sacchetti e lungo la congiungente tra Rocca Ticozzi e Casa Amistà / Gavazzola).

I prodotti risultanti dalla disgregazione fisica della roccia danno origine ad un suolo agrario a scheletro riccamente sabbioso, sul quale si è sviluppata una fitta vegetazione boschiva.

2. Versanti modellati in unità prevalentemente marnoso - argillose

Si tratta dei versanti ubicati in corrispondenza delle successioni della Formazione Gessoso - solfifera e delle Marne di Sant'Agata Fossili (in sinistra idrografica del torrente Versa aree disposte a cavallo della S.P.201 / Viale delle Resistenza e lungo la congiungente tra località Recanata, Casa della Fontana e Casa Berni; in destra idrografica rilievi tra Torrino, Casa Rovati e Casa Testagallo). La morfologia delle alternanze marnoso - argillose è caratterizzata dall'assenza di rilievi ad elevate pendenze.

La superficie è ricoperta da una coltre di alterazione argilloso - limosa generalmente di notevole spessore, alla quale sono associati la maggior parte dei fenomeni franosi censiti. Queste caratteristiche fanno sì che gli affioramenti siano molto scarsi e di limitata estensione. Il mosaico della vegetazione è composto di vigneti, incolti e macchie di alberi sparsi.

3. Versanti modellati in litologie prevalentemente argillose e limose

Sono costituiti dai ripiani terrazzati del fluviale Medio e del fluviale Antico -localmente ben distinguibili fra loro- e dalle scarpate di raccordo che segnalano il passaggio sia tra i diversi ordini terrazzati sia con le alluvioni di fondovalle del torrente Versa.

Complessivamente, dal punto di vista agronomico il suolo che si sviluppa su questi terreni è da considerare complessivamente abbastanza fertile, per quanto particolarmente sensibile ai periodi di siccità: la sua vocazione più spiccata è per la coltivazione della vite, specie nelle zone esposte in modo più favorevole.

2.4.2 SETTORE PIANEGGIANTE

L'ambito pianeggiante del territorio comunale di Stradella 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.1), risulta impostato su un'unica superficie topografica degradante verso N con acclività media compresa tra lo 0,35 % (lungo la direttrice Broni - Campospinoso), 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.1);
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 (Comune di Portalbera), 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.7).

Altri elementi morfologici, seppur di chiara natura antropica, sono rappresentati dalle scarpate dei tracciati stradali (autostrada A21 Torino - Piacenza) e ferroviari (linea Alessandria - Piacenza), oltre che dalla arginatura del fiume Po in territorio di Portalbera, la quale si eleva di circa 7 metri rispetto alla piana circostante.

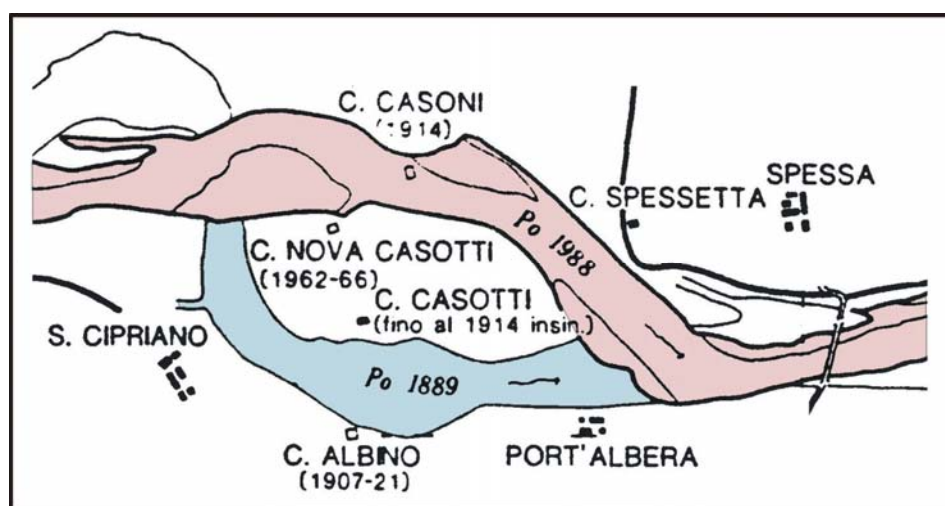


Fig. 7 Evoluzione dei tratti in erosione del fiume Po in località Spessa Po e Portalbera.

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

2.5 CARATTERIZZAZIONE DEI DISSESTI FRANOSI

La cartografia tematica di riferimento (Tavola n°3 "CARTA GEOMORFOLOGICA" e Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO") evidenzia lo sviluppo areale dei dissesti franosi censiti, distribuiti in modo complessivamente disomogeneo lungo le propaggini collinari del Comune di Stradella.

In particolare, i dissesti -in genere di modeste dimensioni e facilmente circoscrivibili-, risultano concentrati prevalentemente lungo i versanti che conferiscono direttamente nel torrente Versa, impostati in litologie facilmente erodibili (Formazione gessoso - solfifera e Marne di Sant'Agata Fossili) e, subordinatamente, lungo i versanti sottesi alla località Solinga, impostati in litologie resistenti e meno soggette a fenomeni erosivi (Conglomerati di Cassano Spinola).

L'analisi fotointerpretativa e le approfondite verifiche di campagna condotte nel periodo marzo - maggio 2008, hanno permesso di definire l'esatta perimetrazione dei dissesti, aggiornandola alla data dei rilievi.

In particolare, sono stati definiti:

- stato di attività dei movimenti franosi (es. attivi, quiescenti, stabilizzati)
- tipologia prevalente del movimento (es: scivolamento, scivolamento-colata e colata)
- materiale coinvolto (es: roccia, deposito superficiale a granulometria prevalentemente grossolana / fine, misto)
- effetti indotti su fabbricati o infrastrutture

Relativamente ad ogni singola frana o gruppi di frane con caratteristiche comuni e giustapposte tra loro, nelle tavole citate sono stati evidenziati, mediante codice alfanumerico i primi tre parametri, lo stato di attività, la tipologia del movimento e il tipo di materiale coinvolto.

I risultati sono stati successivamente confrontati con gli studi geologici inventariati svolti o da Enti Pubblici (Provincia di Pavia) o da parte di liberi professionisti per conto di Enti Pubblici (Comune di Stradella), al fine di verificare oltre che la corrispondenza dei rilievi, l'eventuale evoluzione successiva dei movimenti medesimi.

I rilevamenti di campagna, condotti nel periodo marzo - maggio 2008, hanno utilizzato come base di lavoro, al fine della verifica puntuale della perimetrazione dei dissesti franosi cartografati e del loro stato di attività, la documentazione cartografica indicata al paragrafo 1.3 della presente relazione illustrativa, ed in particolare i seguenti elaborati:

- Autorità di Bacino del Fiume Po - "MODIFICHE E INTEGRAZIONI AL PROGETTO DI PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)" 2. Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici - Delimitazione delle aree di dissesto - FOGLIO 160 SEZ. II "STRADELLA" - SCALA 1:25.000
- Provincia di Pavia - Carta inventario del dissesto - scala 1:10.000 (*Cartografia tratta dal Programma Provinciale di Previsione e Prevenzione*)

Valgono innanzitutto le seguenti considerazioni generali:

- Sulla tavola P.A.I. FOGLIO 160 SEZ. Il "STRADELLA" non sono individuate aree di dissesto in corrispondenza del territorio comunale di Stradella
- La perimetrazione areale, così come lo stato di attività dei singoli movimenti franosi cartografati appare, alla luce dei rilievi eseguiti (marzo - maggio 2008), rispondente a quanto riportato nella *Carta inventario del dissesto della Provincia di Pavia*.

2.5.1 TIPOLOGIA

In relazione alla dinamica di movimento, alla morfologia del corpo di frana e al grado di evoluzione, si distinguono, in ordine di diffusione:

- scivolamenti traslazionali delle coltri di copertura eluvio - colluviali costituite da terreni limoso - argillosi, con piani di scorrimento piuttosto superficiali, posti principalmente al contatto tra la stessa coltre di alterazione ed il substrato, ovvero all'interno della medesima coltre di copertura (profondità fino a 5 - 6 metri);
- frane superficiali (smottamenti, lame) con profondità ridotta a 1,0 - 2,0 metri;
- frane di scivolamento traslazionale in coltri eluvio-colluviali generalmente potenti, caratterizzate da marcate nicchie di distacco e da accumuli a morfologia irregolare, con profondità variabile, localmente anche superiore a 8 - 10 metri.

2.5.2 LOCALIZZAZIONE

tratti di versante in frana attiva

Alla data dei rilievi (marzo - maggio 2008) non risultano presenti aree in frana attiva.

tratti di versante in frana quiescente

- *Versanti in sinistra idrografica del rio Rile e versanti sottesi alla frazione Solinga*

I dissesti, di limitate dimensioni e ridotta profondità ma arealmente diffusi, sono costituiti da scivolamenti traslazionali, impostati in terreni di copertura prevalentemente argillosi e/o argilloso - limosi, in corrispondenza delle successioni più erodibili della Formazione Gessoso - Solfifera (unità prevalentemente marnoso - argillose) e delle Marne di Sant'Agata Fossili.

In particolare, le vallecole trasversali che si sviluppano immediatamente a Sud dell'abitato di Stradella, a direzione all'incirca E-W / NW-SE (valle dei rio Rile e del rio Solinga), risultano essere state interessate negli anni 1976-78 da fenomeni gravitativi di tipo complesso, costituiti da frane roto-traslazionali ed attualmente allo stato quiescente.

La zona più colpita per estensione e per gravità dei danni sia alle infrastrutture viarie che ai fabbricati (civili e rurali) risulta essere quella posta in corrispondenza dei movimenti franosi (009STt, 010STt e 017STt).

Dal punto di vista delle pericolosità, i principali movimenti franosi da monitorare nel corso degli anni in quanto interessano tratti di versante in parte urbanizzati o comunque immediatamente sottesi a nuclei abitati, sono individuati dai codici **009STt** - **017STt** - località Cassinello / Casa Del Rio -; **022STt** - località Casa della Fontana -; **035STt** - **038STt** - località Solinga -.

Gli studi di approfondimento, da prevedere dal punto di vista temporale in una seconda fase, successiva alla realizzazione del presente lavoro, consentirebbero, in mancanza di dati di campagna e laboratorio, di caratterizzare dal punto geotecnico e geomeccanico le coperture ed il substrato geologico di una vasta area particolarmente predisposta al dissesto.

- *Versanti in destra idrografica del torrente Versa, nel tratto compreso tra Cà Donica e Torrino*
I movimenti franosi, costituiti anche in questo caso da scivolamenti traslazionali impostati in terreni di copertura prevalentemente argillosi e/o argilloso – limosi, risultano modellati in parte all'interno dei depositi del fluviale Antico e in parte all'interno delle Marne di Sant'Agata Fossili. Dal punto di vista areale e delle pericolosità - in quanto interessano tratti di versante in parte urbanizzati o comunque immediatamente sottesi a nuclei abitati -, i principali movimenti franosi sono individuati dai codici **014STt** e **024STt**.

Frane stabilizzate

Lo studio geomorfologico e fotogeologico di dettaglio ha infine evidenziato la presenza di diversi accumuli stabilizzati di antiche frane, avvenute in epoca geologica e da tempo stabilizzate (paleofrane). Quelle che interessano aree in parte abitate sono individuate dai codici **002STt** (situata tra la strada comunale per Torre Sacchetti e la S.P.45), **004STt** (località Recanata), **010STt** (località Cassinello), **023STt** (situata a Sud di Casa della Fontana), **032STt** (situata tra Casa della Fontana e Casa Berni).

2.5.3 CAUSE INDOTTE

A contribuire in misura talvolta determinante ai generalizzati fenomeni di instabilità dei versanti, hanno contribuito anche i seguenti fattori:

- mancanza di una adeguata rete superficiale di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche, presente invece in passato benché insufficiente;
- scarsa manutenzione dei fossi stradali o presenza di cunette con tombinature a immissione diretta e disordinata nei pendii;
- sviluppo incontrollato di vegetazione negli alvei, che impedisce il normale deflusso delle acque: gran parte dei fossi e dei rii si sono ridotti a solchi di 30-40 cm di profondità;
- diffusa inutilizzazione di pozzi per acqua superficiali.

I rilievi hanno evidenziato in particolare come le frane in possibile evoluzione (quiescenti) interessano versanti con insufficiente drenaggio. In relazione al graduale abbandono del territorio, il minore controllo e la minor manutenzione a livello puntuale della rete drenante superficiale non permettono quindi di escludere l'eventualità di una riattivazione dei movimenti franosi che, al momento si trovano allo stato di quiescenza.

2.6 INTERVENTI ESEGUITI

Sulla base della documentazione raccolta, relativa in particolare a consolidamenti di versanti in frana eseguiti soprattutto a partire dalla seconda metà degli anni '70, vengono di seguito elencate le principali tipologie di intervento eseguite, differenziate per finalità in: interventi su versanti in frana, interventi di consolidamento di edifici lesionati e interventi di recupero funzionale di infrastrutture viarie.

2.6.1 INTERVENTI SU VERSANTI IN FRANA

Versante località **Amistà - Rile** (movimento franoso codice **010SVt**)

Il tratto di strada comunale oggetto degli interventi risulta essere stato interessato negli anni 1977-1979 da un fenomeno franoso di tipo roto traslazionale, ad oggi stabilizzato.

Gli interventi di risanamento realizzati in quel periodo dalla Provincia di Pavia, consistettero in drenaggi profondi e muri in C.A. su pali e tiranti, con alleggerimento del corpo stradale attraverso l'inserimento di n°6 tubi di grosso diametro in acciaio zincato $\Phi 200$ cm (refer. documentazione fotografica a fine paragrafo).

Successivamente, nel 2002 furono eseguiti ulteriori interventi di consolidamento del rilevato stradale, con riferimento al *"Programma di interventi per il ripristino delle infrastrutture pubbliche danneggiate, la difesa del suolo ed il riassetto idrogeologico, nei territori lombardi colpiti dagli eventi alluvionali dei mesi di ottobre e novembre 2000"* (c.d. Piano Cipe D.g.r. 6 Luglio 2001, n. 5408).

Gli interventi eseguiti nel 2002 consistettero in:

- realizzazione di un muro in C.A. (lunghezza totale 48.00 ml) con fondazioni speciali costituite da pali di fondazione $\Phi 500$ mm e tiranti in trefoli d'acciaio della portata di 30 ton/cadauno (refer. documentazione fotografica a fine paragrafo);
- opere accessorie di drenaggio delle acque superficiali e loro convogliamento ai punti di recapito (rio Rile).

Versante località **Cassinello** (movimento franoso codice **009SVt**)

Anche in questo caso, il tratto di strada oggetto degli interventi risulta essere stato interessato negli anni 1996-1997 da un fenomeno gravitativo di tipo complesso, costituito da una frana roto – traslazionale, ad oggi quiescente.

Nel 1998 furono eseguiti alcuni interventi di consolidamento del rilevato stradale, con riferimento all'attuazione del *"Piano d'interventi infrastrutturali d'emergenza diretti a fronteggiare i danni conseguenti alle avversità atmosferiche ed agli eventi alluvionali del novembre-dicembre 1996 e gennaio 1997"* (Ordinanza n°26449 Servizio Protezione Civile – Regione Lombardia).

Gli interventi eseguiti consistettero nella realizzazione di un muro in C.A. (lunghezza totale 50.00 ml) con fondazioni speciali costituite da pali di fondazione $\Phi 250$ mm e tiranti in trefoli d'acciaio.



*Intervento di risanamento versante in località Amistà / Rile
In primo piano i grossi tubi $\Phi 200$ cm posizionati nella seconda metà degli anni '70*



*Intervento di risanamento versante in località Amistà / Rile
Realizzazione di tiranti in trefoli d'acciaio*



*Intervento di risanamento versante in località Amistà / Rile
Realizzazione di pali di fondazione di medio diametro Φ 500 mm*

2.6.2 INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DI EDIFICI LESIONATI

Il ripristino statico di buona parte dei fabbricati dissestati è stato attuato con interventi di sottofondazione mediante micropali, a volte integrati da tiranti.

Gli approfondimenti mediamente sono stimati (in assenza di progetti consultabili) in 8-10 metri. In molti casi gli interventi riuscirono ad arrestare i cedimenti dei fabbricati, più raramente i dissesti proseguirono, anche se in misura minore anche successivamente alla realizzazione degli interventi.

2.6.3 INTERVENTI DI RECUPERO FUNZIONALE DI INFRASTRUTTURE VIARIE

Gli interventi sono stati eseguiti allo scopo di conservare l'agibilità della strada (movimento franoso codice **010SVt** - Versante località Amistà - Rile). Esso ha compreso:

- Ripristino della livelletta e della piattaforma stradale mediante rimozione della parte alterata e deformata e formazione di un nuovo strato di base di materiale granulare permeabile (*tout-venant* alluvionale);
- Formazione di una cunetta "alla francese" sul lato monte della strada in frana, per l'intercettazione ed il convogliamento delle acque di ruscellamento dal versante nel rio Rile.

2.7 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 corrispondenza dell'areale studiato sono presenti tre dei cinque sistemi di pedo-paesaggio con cui viene catalogato il territorio lombardo (rifer. Tav.2 "CARTA PEDOLOGICA"). Essi sono:

- Il *sistema dei rilievi montuosi dell'Appennino pavese (P)*;
- il *sistema dei terrazzi rilevati sull'attuale pianura (R)*;
- il *sistema delle valli alluvionali di pianura (V)*.

Il limite morfologico è demarcato da scarpate di erosione più o meno evidenti ed è confermato da importanti variazioni nelle caratteristiche pedogenetiche dei suoli.

I tre sistemi sono stati suddivisi in sottosistemi e unità di paesaggio, che rappresentano ambiti morfogenetici più circoscritti (rifer. Tabelle 1A – 1B – 1C).

Il *sistema dei rilievi montuosi dell'Appennino pavese (P)* si differenzia nettamente dagli altri due non solo dal punto di vista morfologico, ma anche da quello climatico.

Nell'area di studio è presente *il sottosistema PB*, relativo alla fascia collinare più bassa (300-700 metri s.l.m.)

Il *sottosistema PB* è caratterizzato da substrato roccioso a litologia molto varia (marne, argille, conglomerati), il cui diverso grado di consistenza influenza la maggiore o minore suscettività all'erosione e, di conseguenza, la pendenza (più elevata in corrispondenza delle litologie consistenti – arenarie e conglomerati).

Sui versanti coltivati l'azione erosiva delle piogge, in alcuni settori esaltata da livellamenti e sbancamenti antropici, determina la presenza di suoli poco evoluti (*Udorthents*), spesso con substrato roccioso inalterato a breve distanza dalla superficie.

Suoli con orizzonte profondo di alterazione (*Eutrochrepts*) sono maggiormente diffusi sulle superfici sommatiali a moderata pendenza e sui versanti adeguatamente protetti da copertura boscosa.

Vecchi corpi di frana stabilizzati alla base di versanti a substrato marnoso presentano generalmente suoli a tessitura fine, caratterizzati da un'elevata dinamicità delle argille (*Hapluderts*).

Il sistema dei terrazzi rilevati sull'attuale pianura (R) è divisibile in due sottosistemi:

- *il sottosistema dei terrazzi superiori o "pianalti" (RA)*
- *il sottosistema dei terrazzi intermedi di età rissiana (RI)*

Il *sottosistema RA* si compone di superfici a moderata pendenza molto incise, impostate su sedimenti di origine fluvio-glaciale di età Mindel.

I suoli presenti sulle superfici meglio conservate sono estremamente evoluti (*Paleustalfs*), con perdita dei carbonati e migrazione dell'argilla in profondità (orizzonti argillitici).

Man mano che aumenta la pendenza, possono venir rimossi gli orizzonti argillitici (*Ustochrepts*) oppure affiorare orizzonti profondi a neoformazione d'argilla (*Haplusterts*).

Il *sottosistema RI* è caratterizzato da superfici generalmente ampie con pendenza minore ed incisioni meno approfondite su sedimenti di origine fluvio-glaciale di età Rissiana.

Come per il sottosistema RA, sulle parti piane predominano suoli con perdita di carbonati e migrazione dell'argilla in profondità (*Haplustalfs*), ovvero meno evoluti a causa del minor tempo intercorso dalla messa in posto dei sedimenti.

In alcune zone depresse della stessa età i processi legati all'idromorfia prevalgono su quelli di rimozione delle argille (*Ustochrepts aquici*), mentre sui versanti e sulle parti in transizione alla pianura sono presenti suoli in cui l'erosione ha rimosso gli orizzonti argillitici (*Ustochrepts*).

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'
P Rilievi montuosi delle Alpi e Prealpi lombarde, rilievi collinari dell'Appennino pavese, caratterizzati da substrato roccioso e, sovente, da affioramenti litoidi.	PB Piano basale, coincidente con la fascia fitoclimatica del "Castanetum" ubicato a quote inferiori ai 700 m (\pm 300 m). Comprende l'orizzonte submediterraneo con sclerofille (<i>Quercus ilex</i> , <i>Olea europea</i>) e l'orizzonte submontano con boschi di latifoglie eliofile (<i>Quercus robur</i> pedunculata, <i>Olea petraea</i> , <i>Castanea sativa</i>).	PB 1 Versanti con pendenze da moderatamente elevate a estremamente elevate, con soprassuolo a bosco di latifoglie termofile (occasionalmente mesofile) per la prevalente esposizione a meridione, da cui dipende il frequente utilizzo a pascolo, vigneto e frutteto, sulle superfici meno acclivi o artificialmente terrazzate. <u>Numero Unità Cartografica 1-3</u> PB 2 Versanti con pendenze da elevate ad estremamente elevate, con soprassuolo a bosco di latifoglie mesofile, raramente interrotto dall'utilizzo a pascolo, per la prevalente esposizione a settentrione. <u>Numero Unità Cartografica 4-5</u> PB 3 Criminali arrotondati, superfici cacuminali blandamente convesse e versanti con pendenze da moderate a moderatamente elevate, utilizzati prevalentemente a pascolo, prato e seminativo. <u>Numero Unità Cartografica 9</u>

Tabella 1/A

Sistema, sottosistemi e unità di paesaggio dei rilievi montuosi dell'Appennino pavese (P)

SISTEMA	SOTTOSISTEMA	UNITA'
R Terrazzi subpianeggianti, rilevati rispetto al livello fondamentale della pianura, costituenti antiche superfici risparmiate dall'erosione e comprendenti la maggior parte dei rilievi isolati della pianura.	RA Terrazzi superiori - o "pianalti mindeliani" - più rilevati delle altre superfici terrazzate, costituiti da materiali fluvioglaciali grossolani molto alterati attribuiti al Pleistocene inferiore, generalmente ricoperti da sedimenti eolici e/o colluviali. Sono diffusi suoli antichi (paleosuoli) con orizzonti induriti a fragipan.	RA 3 Porzioni di "pianalto" degradate, a morfologia ondulata o collinosa, solcate da una fitta rete drenante proveniente dai rilievi montuosi o richiamata dalle limitrofe superfici ribassate. La pendenza dei versanti va da moderata a elevata. Uso del suolo a vite e seminativo. <u>Numero Unità Cartografica 16</u> RA 2 Superfici più rappresentative -modali- e meglio conservate dei pianalto, caratterizzate da una morfologia sub-pianeggiante o ondulata; uso del suolo a vite e a seminativo. <u>Numero Unità Cartografica 17</u>
	RI Terrazzi intermedi o "rissiani" rilevati rispetto al livello Fondamentale della pianura, ma ribassati rispetto ai "pianalti mindeliani", costituiti da materiali fluvioglaciali grossolani Mediamente alterati attribuiti al Pleistocene medio, generalmente ricoperti da sedimenti eolici e/o colluviali. Sono diffusi suoli antichi (paleosuoli).	RI 1 Superfici più rappresentative - modali - e meglio conservate dei "terrazzi rissiani", caratterizzate da una morfologia subpianeggiante o ondulata. Uso del suolo a seminativo (mais, frumento), più raramente a vigneto. <u>Numero Unità Cartografica 20</u> RI 3 Superfici di raccordo con quelle limitrofe poste a quote inferiori. Comprendono sia le scarpate erosive, con pendenze anche molto alte, sia le fasce colluviali e le conoidi alluvionali stabili, con pendenze da basse a moderate; uso del suolo a seminativo e vite. <u>Numero Unità Cartografica 22</u>

Tabella 1/B

Sistema, sottosistemi e unità di paesaggio dei terrazzi rilevati sull'attuale pianura (R)

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.	VP 1 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 24-26</u> VP 2 Dossi e paleodossi di forma generalmente allungata e sinuosa, poco rilevati e dolcemente raccordati alle superfici adiacenti. Uso del suolo a seminativo (frumento, mais). <u>Numero Unità Cartografica 27</u> VP 3 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> VP 4 Superficie modale recente della piana alluvionale appenninica, facente transizione tra le aree più rilevate (dossi) e quelle più depresse (valli); uso del suolo a seminativo (mais, soia, frumento). <u>Numero Unità Cartografica 35</u> VP 5 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 39-40</u> VP 6 Depressioni recentemente bonificate, solitamente ampie ed artificialmente drenate, costituite da sedimenti molto fini da cui dipende lo scarso drenaggio interno dei terreni. Uso del suolo a seminativo (mais, soia, barbabietola). <u>Numero Unità Cartografica 41</u> VP 7 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 43-44</u>

	<p>VA Piane alluvionali inondabili con dinamica prevalentemente deposizionale, costituite da Sedimenti recenti od attuali (Olocene recente ed attuale).</p>	<p>VA 2 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 meandriciformi; uso del suolo a seminativo (frumento, mais). <u>Numero Unità Cartografica 45-46</u></p> <p>VA 3 Superficie modale subpianeggiante della piana alluvionale a meandri e di tracimazione, facente transizione tra le aree più elevate (dossi) e quelle più depresse (conche). <u>Numero Unità Cartografica 47</u></p> <p>VA 7 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 50-51</u></p> <p>VA 6 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 52-53-54</u></p>
--	--	--

Tabella 1/C

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

2.8 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. 8) 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

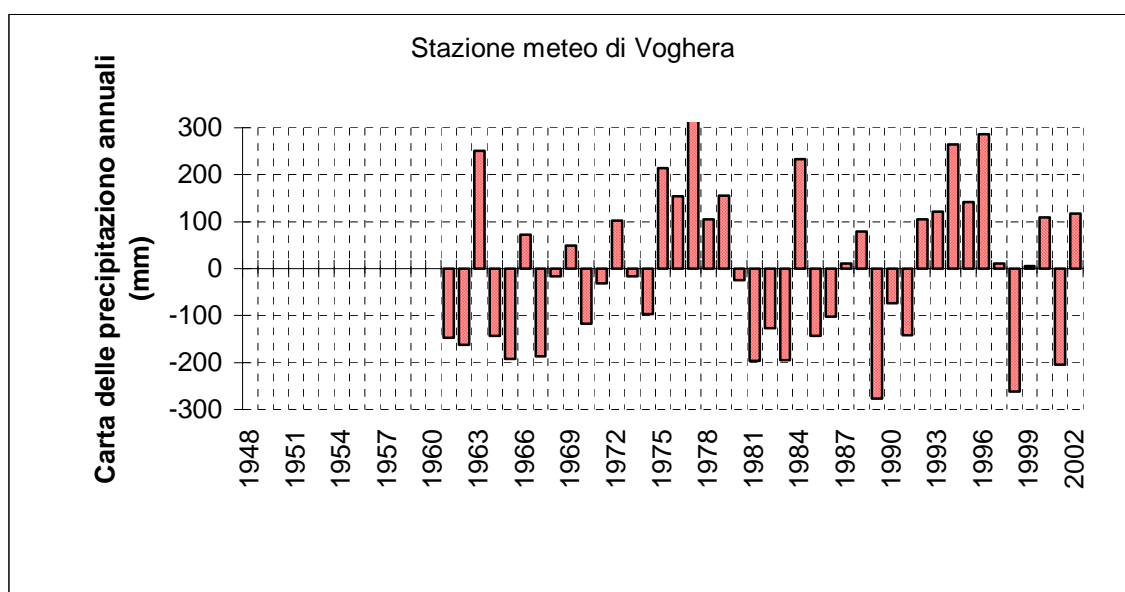


Fig. 8 Scartamento medio annue di pioggia caduta rispetto al valore medio di 706 mm calcolato per il periodo che va dal 1951 al 2000

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 (rifer. Cap.5).

3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

3.1 IDROGRAFIA SUPERFICIALE

Il territorio comunale di Stradella da un punto di vista geografico fisico si colloca in parte in un ambito di bassa pianura ed in parte in un ambito di prima collina, in un areale compreso tra i rilievi collinari dell'Oltrepò Pavese ed il corso del fiume Po.

Per quanto riguarda l'idrografia di superficie l'elemento dominante è rappresentato dal torrente Versa (affluente di destra del Fiume Po), che dopo aver attraversato l'abitato di Stradella con direzione circa S-N, confluisce nello stesso fiume Po nei pressi di Portalbera e, secondariamente, dal rio Poalone, che definisce verso Est il confine comunale tra Stradella e Zenevredo e tra Stradella ed Arena Po (refer. Tavola n° 4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO").

L'idrografia secondaria del *settore pianeggiante* 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 e che drenano le acque superficiali in occasione delle piogge.

In corrispondenza dei terreni del fluviale Recente, a Nord del capoluogo, 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 sulla pianura.

Per quanto riguarda il *settore collinare*, quale elemento idrografico secondario vanno indicati una serie di corsi d'acqua minori, tributari direttamente del torrente Versa, a carattere stagionale o temporaneo, che drenano le acque superficiali in occasione delle piogge.

Il reticolo idrografico del torrente Versa che, nel tratto di interesse scorre in direzione circa Nord - Sud, è contraddistinto da uno sviluppo uniforme e gerarchizzato, ed è caratterizzato da indici e parametri che consentono di classificare l'area in esame come mediamente disseccata, in uno stadio evolutivo relativamente maturo. Lo stesso corso d'acqua risulta caratterizzato in prossimità di Beria e Campo Noce dalla presenza di diversi meandri, interpretabili come un chiaro indizio della modesta pendenza dell'alveo in quei tratti.

Una anomalia si nota nella dimensione degli alvei degli affluenti del torrente Versa, generalmente piuttosto ridotti se rapportati ai sottobacini sottesi (esempio la valle del rio Vergombera, in comune di Canneto Pavese).

Ne deriva come conseguenza immediata la loro difficoltà o impossibilità a smaltire i deflussi idrici in particolari condizioni pluviometriche, in relazione anche alla presenza di un trasporto in sospensione di materiali limosi che si originano dall'azione erosiva lungo i versanti.

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 (refer. 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 Stradella, 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 Stradella, 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>Rio Poalone</i>	<i>Affluente del fiume Po</i>
<i>STR_002</i>	<i>Affluente del torrente Versa</i>
<i>STR_003</i>	<i>Affluente del rio Poalone</i>

In particolare, il Rio Poalone segue per buona parte del tracciato il confine comunale con Zenevredo (a Sud della S.S.n°10) e con Arena Po (a Nord della medesima S.S.n°10).

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 4.5 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 principale e minore, con indicate le lunghezze dei tratti inclusi nel territorio comunale di Stradella 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.

Sigla identificativa PV_001			
Denominazione cartografica			
IGM: Canale Nuovo	CTR:	CATASTALE:	
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A		Fiume Po	PV001
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933			
Coordinate Gauss Boaga			
	Longitudine	Latitudine	
Sorgente / punto di entrata nel territorio comunale	1 523 269	4 994 732	
Foce / punto di uscita dal territorio comunale	1 523 803	4 994 442	

Sigla identificativa PV_011			
Denominazione cartografica			
IGM: Torrente Versa	CTR: Torrente Versa	CATASTALE: Torrente Versa	
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A		Torrente Versa	PV011
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933		Torrente Versa	033
Coordinate Gauss Boaga			
	Longitudine	Latitudine	
Sorgente / punto di entrata nel territorio comunale	1 523 973	4 988 920	
Foce / punto di uscita dal territorio comunale	1 524 968	4 992 852	

Tabella 2 - Scheda tecnica reticolo idrico principale del territorio del Comune di Stradella

Sigla identificativa STR_001			
Denominazione cartografica			
IGM: Rio Poalone/Rio Rivalto	CTR: Rio Poalone/ Scolo Rivolta	CATASTALE:	
Nome e n° identificativo D.G.R. n° 7/13950 Allegato A		.....	.....
Nome e n° identificativo Testo Unico R.D. n° 1775/1933		Scolo Cardanile Rivalto	
		Rio Poalone	032
Coordinate Gauss Boaga			
	Longitudine	Latitudine	
Inizio tratto di competenza comunale	1 525 136	4 989 036	
Termine tratto di competenza comunale	1 526 596	4 992 932	

Sigla identificativa STR_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	1 522 564	4 990 082	
Termine tratto di competenza comunale	1 524 150	4 990 169	

Sigla identificativa STR_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	1 526 232	4 990 856	
Termine tratto di competenza comunale	1 526 338	4 992 008	

Tabella 3 - Scheda tecnica reticolo idrico minore del territorio del Comune di Stradella

Tabella di identificazione del reticolo idrico principale					
Sigla	Denominazione	Lunghezza	Percorso Cartografato	Foce	Note
PV001	Fiume Po	460 m	da 55 m a 54 m s.l.m.		
PV011	Torrente Versa	6800 m	da 98 m a 67 m s.l.m.	PV001	Foce nel comune di Portalbera
Tabella di identificazione del reticolo idrico minore					
Sigla	Denominazione	Lunghezza	Percorso Cartografato	Foce	Note
STR_001	Rio Poalone	4300 m	da 113 m a 64 m s.l.m.	PV001	Da quota 74 a quota 70 m. s.l.m. in comune di Arena Po.
STR_002		1680 m	da 170 m a 84,5 m s.l.m.	PV011	
STR_003		1440 m	da 97 m a 74,5 m s.l.m.	STR_001	Foce nel comune di Arena Po

Tabella 4

Reticolo idrico principale e minore del Comune di Stradella

Nella Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO" viene riportato anche l'originale percorso della Roggia Bedo.

Si tratta di un'opera di derivazione ad uso irriguo utilizzata a partire da fine '800 e fino all'inizio degli anni '50, che trae origine dal torrente Versa all'incirca in corrispondenza del bivio tra la S.P.201 e la S.P.43 "Roncole - Montù Beccaria - San Damiano".

Attualmente, anche a seguito di alcune opere di rettifica dell'alveo del torrente Versa risalenti ai primi anni '60, la Roggia Bedo non risulta essere in diretta connessione con lo stesso Versa. Il punto di ingresso della originale derivazione non è più identificabile sul terreno, in quanto totalmente interrato.

La Roggia Bedo attraversava l'abitato di Stradella in parte a cielo aperto ed in parte tombinata. Attualmente gli unici tratti a cielo aperto si trovano a Nord dell'autostrada A21 Torino - Piacenza (vedi Tav.6). Le carte catastali riportano ancora in alcuni limitati settori una fascia di pertinenza demaniale, per quanto attualmente la Roggia Bedo risulta completamente derubicata e le relative aree di pertinenza sdemanializzate.

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

La concomitanza di eventi piovosi eccezionali, per intensità e/o durata, verificatisi a scala di bacino e concentrati soprattutto nel periodo estivo (da ultimo in ordine temporale si segnala quello del 30 / 31 agosto 2007), costituisce la causa principale a cui vanno attribuiti gli eventi di tracimazione / allagamento che hanno interessato alcuni di questi corsi d'acqua.

In particolare, in sinistra idrografica del torrente Versa, il fondovalle del corso d'acqua denominato STR_002 o rio Rile è stato più volte interessato negli ultimi decenni da episodi esondativi con allagamento in più punti della S.C. per Torre Sacchetti lungo il tratto tra il bivio per località Gavazzola / Amistà e l'intersezione con la S.P.201.

Il più delle volte la concausa degli eventi può essere ricercata o nell'insufficiente sezione di deflusso in alcuni tratti (legata anche alla presenza di tombinature sottodimensionate) e/o ad eccesso di vegetazione lungo l'asta di deflusso piuttosto che alla presenza di depositi terrosi in alveo.

Per quanto riguarda gli altri colatori appartenenti al reticolo idrografico minore (Rio Poalone e STR_003), dalle informazioni raccolte, non sono stati mai registrati rilevanti episodi di tracimazione.

3.3 CARATTERIZZAZIONE IDRAULICA DEL TORRENTE VERSA IN CORRISPONDENZA DEL TERRITORIO COMUNALE DI STRADELLA

Dalla consultazione dello "Studio geologico del territorio comunale - D.G.R. n°7/6645 del 29/10/2001 - L.R. n°41/97", a firma del dott. Geol. Felice Sacchi (marzo 2004 - febbraio 2005) ed in particolare della "Relazione geologica generale con recepimento delle indicazioni di cui al parere della Regione Lombardia -Unità difesa del territorio - Struttura geologia per la pianificazione - Lettera Z1.2004.0047143 del 29 dicembre 2004", si riportano le seguenti informazioni di carattere generale relative ad episodi esondativi del torrente Versa che hanno interessato anche l'ambito urbano e periurbano di Stradella.

Storicamente si ricordano due esondazioni catastrofiche verificatesi a partire dall'inizio del secolo scorso ad oggi: quella del maggio 1946 e quella del maggio 1975.

La peggiore o più violenta pare essere stata quella del 1946: nel tratto vallivo a monte di Stradella (tra Stradella e Santa Maria della Versa), l'onda di piena causò la distruzione di tutti i ponti in legno esistenti, mentre nel territorio stradellino essa provocò l'allagamento di parte della tramvia Stradella - Santa Maria della Versa, il cui tracciato ricalcava l'attuale percorso della S.P.201 "Stradella - Zavattarello".

L'evento alluvionale verificatosi il 24 maggio 1975, anch'esso catastrofico in termini di danni a infrastrutture e a costruzioni, provocò la sommersione di una vasta area periurbana collocata tra il ponte stradale della ex S.S.10 e il ponte di via Fratelli Cervi, interessata dalla presenza di alcune abitazioni residenziali.

Durante i successivi eventi alluvionali del 1977, 1978, 1994, 2000 e 2002 i flussi di piena risultarono confinati entro l'alveo ordinario ed i fenomeni esondativi, meno significativi dei precedenti, riguardarono esclusivamente aree prive di abitazioni.

Dalla consultazione dello "Studio idrologico e idraulico del torrente Versa - D.G.R. n°7/6645 del 29/10/2001 - L.R. n°41/97", a firma del dott. Ing. Giancarlo Boldini (Marzo 2004), redatto su incarico dell'Amministrazione Comunale di Stradella, emergono i seguenti elementi di merito tecnico utili alla pianificazione e alla programmazione degli interventi di manutenzione, gestione e salvaguardia del tratto d'alveo del torrente Versa ricadente in territorio comunale di Stradella.

Opere di difesa idraulica esistenti

Nel tratto di alveo attivo del torrente Versa considerato dallo studio in oggetto, sono state rilevate le seguenti opere di difesa idraulica:

Gabbionate	Presenti generalmente a doppia serie e disposte a gradoni, realizzate tra gli anni '70 e '80, hanno portato un effettivo beneficio nei confronti del fenomeno dell'erosione spondale. Il più delle volte è stato rilevato un problema di scarsa manutenzione.
Prismata	Localizzata in corrispondenza del ponte stradale della S.P.43 "Roncole - Montù Beccaria - San Damiano", ha limitato in modo significativo i fenomeni di erosione. Lo stato di conservazione è accettabile.

- Muri di sostegno** Lungo le sponde di alcuni tratti di alveo nell'abitato di Stradella, sono presenti alcuni muri di sostegno di tipo verticale, alcuni in cemento armato a vista altri in c.a. rivestito con pietrame. Essi svolgono una duplice funzione di difesa spondale e di sostegno delle aree soprastanti. La loro costruzione risale ad epoche diverse a partire dagli anni '70 e si trovano in un discreto stato di conservazione. Purtroppo la loro conformazione e dimensioni in altezza, sembrerebbero evidenziare che gli interventi siano stati effettuati con criteri di urgenza, senza seguire una programmazione ed una logica costruttiva legata a criteri di funzionalità idraulica dell'alveo.
- Briglie e soglie** Sul tratto di alveo interessato dai rilievi sono state individuate n°2 briglie a sezione trapezia rovesciata e n°2 soglie. Si tratta di manufatti in calcestruzzo posizionati trasversalmente al moto della corrente che sono stati realizzati allo scopo di ridurre la velocità della corrente, riducendo la pendenza a monte e a valle del tratto interessato. Sia le briglie che la soglia svolgono una effettiva azione di rallentamento della corrente in condizioni di regime di deflusso "normale", in cui la corrente scorre entro l' alveo inciso.

Le valutazioni di cui allo *"Studio idrologico e idraulico del torrente Versa"* del marzo 2004 - a firma del dott. Ing. Giancarlo Boldini, portavano a concludere che, con le portate di piena ed i livelli di esondazione calcolati, detti manufatti portavano benefici non significativi alla condizione di deflusso e, in ogni caso, il numero di tali opere appariva troppo limitato per la tipologia di alveo in esame. Veniva perciò rilevata la necessità di opportuni interventi di adeguamento ed integrazione di tali manufatti.

Manufatti interferenti

Nel tratto di alveo attivo del torrente Versa considerato dallo studio in oggetto, sono stati rilevati i manufatti interferenti, costituiti da n°5 ponti. Per essi sono stati rilevati gli elementi conoscitivi utili alle verifiche della capacità di deflusso.

- il ponte sulla S.P43 "Roncole - Montù Beccaria - San Damiano"
- il Ponte di Via F.lli Cervi
- Il Ponte della ex Strada Statale 10 Padana Inferiore (SS 10)
- Il Ponte della linea ferroviaria Alessandria – Piacenza
- Il ponte dell'autostrada Torino – Piacenza (A21)

Le caratteristiche di tali manufatti sono riportate nella tavole del rilievo e nella documentazione fotografica di cui allo *"Studio idrologico e idraulico del torrente Versa"* - marzo 2004 - a firma del dott. Ing. Giancarlo Boldini.

Modalità di deflusso in piena

L'analisi è stata finalizzata alla quantificazione delle caratteristiche idrauliche del moto della corrente in condizioni di piena, rappresentata dai valori dei livelli idrici nell'alveo inciso e nelle zone limitrofe a rischio di esondazione. In particolare, sono state individuate le seguenti fasce:

- FASCIA A porzione di territorio nel quale defluisce l'80% della piena con tempi di ritorno pari a 200 anni.
- FASCIA B porzione di territorio interamente occupata dal deflusso della piena duecentennale.
- FASCIA C porzione di territorio interamente occupata dal deflusso della piena cinquecentennale.

Su richiesta dell'Amministrazione comunale di Stradella, la cartografia tematica di riferimento individuava esclusivamente i limiti della FASCIA B e della FASCIA C.

Aree inondabili

Il presente studio recepisce le risultanze dello "Studio idrologico e idraulico del torrente Versa" - marzo 2004 - a firma del dott. Ing. Giancarlo Boldini ed individua le aree a rischio di esondazione con tempo di ritorno TR = 200 anni e TR = 500 anni.

Dal loro esame si evidenzia quanto segue:

- a) A Sud dell'abitato di Stradella sono presenti ampie zone di esondazione, sia in sponda destra che sinistra. In questo tratto l'alveo attivo risulta poco inciso e con andamento meandriforme; le scarpate che definiscono l'alveo medesimo hanno una pendenza moderata. In alcuni tratti il fronte idrico raggiunge larghezze pari a circa 260 metri e le esondazioni interesserebbero zone golenali e zone agricole attualmente coltivate a prati e a vigneti.
- b) Anche in corrispondenza dell'area urbanizzata dell'abitato di Stradella sono presenti zone esondabili, principalmente in sponda destra, nella quale sono presenti numerosi insediamenti abitativi. Lo studio idraulico individuava nelle seguenti aree le maggiori criticità:
 - il tratto in sponda destra a valle del ponte sulla S.P.43 "Roncole - Montù Beccaria - San Damiano", in cui è presente una azienda vinicola;
 - il tratto in sponda destra compreso tra viale F.lli Cervi e via Brodolini in cui sono presenti alcuni insediamenti abitativi;
 - il tratto in sponda destra e sinistra compreso tra il Ponte di Via F.lli Cervi e il Ponte della ex Strada Statale 10 Padana Inferiore (SS 10), in cui sono presenti insediamenti abitativi;
 - il tratto in sponda destra compreso tra il Ponte della ex Strada Statale 10 Padana Inferiore (SS 10) e il Ponte della linea ferroviaria Alessandria - Piacenza, in cui sono presenti insediamenti abitativi.

Verifica idraulica dei ponti esistenti e risultati

Le ipotesi di partenza assunte dallo "Studio idrologico e idraulico del torrente Versa" - marzo 2004 - a firma del dott. Ing. Giancarlo Boldini per la verifica dei ponti esistenti sono state le seguenti:

Portata di piena di progetto Si sono considerate portate con TR = 200 anni e TR = 500 anni.

Franco minimo Il minimo franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte deve essere non inferiore a 0,5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1,00 metri. Il valore del franco deve essere assicurato per almeno 2/3 della luce nel caso di ponti ad arcate.

Per i ponti in oggetto si evidenziano i seguenti risultati:

- | | |
|---------------------------|---|
| Portate con TR = 200 anni | Tutti i ponti risultano avere un franco inferiore ad un metro (valore minimo previsto dalle Norme) ad eccezione di quello dell'autostrada Torino Piacenza (franco superiore). |
| Portate con TR = 500 anni | Per tutti i ponti il franco si riduce ulteriormente, mentre per il manufatto dell'autostrada Torino Piacenza il franco risulta essere sempre superiore al metro. |

Dette considerazioni risultano valide nel caso che il deflusso sotto il ponte sia regolare e non siano presenti materiali galleggianti, quali tronchi, legname vario o altri materiali grossolani trasportati dalla piena, che potrebbero ostruire parzialmente o totalmente le luci.

In particolare, durante i sopralluoghi condotti, è stato rilevato che in corrispondenza dei manufatti sono presenti notevoli quantitativi di materiale depositato dalla corrente a causa delle riduzioni delle velocità per l'allargamento dell'alveo, materiali edili probabilmente lasciati durante i lavori di manutenzione e una vegetazione molto folta di arbusti ed erbe infestanti. Tali condizioni potrebbero provocare ostruzioni al deflusso. In queste zone sarebbe opportuno condurre con urgenza le necessarie operazioni di manutenzioni.

Indicazioni per il miglioramento delle condizioni di sicurezza

Sulla base di quanto evidenziato dallo "Studio idrologico e idraulico del torrente Versa" - marzo 2004 - a firma del dott. Ing. Giancarlo Boldini, si ritenne necessario fornire una serie di indicazioni per migliorare le condizioni di sicurezza delle zone a rischio di esondazione. Si riportano i seguenti suggerimenti, di cui allo studio in oggetto:

- Programmazione di interventi periodici di manutenzione dell'alveo del corso d'acqua e dei ponti necessari per mantenere la massima capacità di deflusso.
- Definizione di specifiche operazioni, correlate alla sicurezza idraulica, da compiere nell'ambito dello svolgimento delle funzioni periodiche di vigilanza e ispezione sullo stato delle opere.

- Definizione degli scenari che potrebbero verificarsi durante una eventuale piena catastrofica che tengano conto dei centri abitati e delle infrastrutture circostanti che potrebbero essere coinvolte, con l'obiettivo della tutela delle persone e delle opere.
- Definizione delle operazioni urgenti da compiere nei tempi medi di preannuncio della portata di piena che nel caso del torrente Versa sono di circa 6,3 ore (tempo di corrivazione del corso d'acqua).
- Installazione, in sezioni adeguate e in prossimità dei ponti, di idrometri e di misuratori automatici di livello, con segnalazione del limite di guardia e di quello di superamento delle condizioni di sicurezza, per i quali devono essere messi in atto opportuni interventi di sicurezza e protezione.
- Definizione di soggetti responsabili della sorveglianza per la segnalazione degli stati di manutenzione del corso d'acqua e degli stati idrometrici di guardia e di superamento delle condizioni di sicurezza.
- Stesura di un piano con gli aggiornamenti periodici circa le condizioni di funzionalità idraulica dell'opera.

Tali operazioni, potrebbero essere contenute in un Piano di Evacuazione ed Emergenza specifico per il rischio di esondazione del torrente Versa. Tale piano potrebbe anche prendere in considerazione altri potenziali rischi derivanti da calamità naturali (es. rischio sismico, ecc ...).

Considerazioni sugli interventi da condurre

Lo "Studio idrologico e idraulico del torrente Versa" - marzo 2004 - a firma del dott. Ing. Giancarlo Boldini forniva infine le seguenti indicazioni in merito agli interventi di manutenzione, gestione e salvaguardia del tratto d'alveo del torrente Versa ricadente in territorio comunale di Stradella, al fine di preservare il corretto assetto idraulico ed idrogeologico del corso d'acqua:

- I progetti di adeguamento dovranno orientarsi verso gli interventi che consentano di migliorare la funzionalità idraulica del sistema "corso d'acqua".
- Gli interventi maggiormente urgenti che si consiglia di effettuare sono:
 - A. La sistemazione delle difese spondali esistenti e la realizzazione nuove difese di altezza adeguata, soprattutto nel tratto in sponda destra e sinistra compreso tra il Ponte di Via F.lli Cervi e il Ponte della ex Strada Statale 10 Padana Inferiore (SS 10) e nel tratto in sponda destra compreso tra il Ponte della ex Strada Statale 10 Padana Inferiore (SS 10) e il Ponte della linea ferroviaria Alessandria - Piacenza. Tali opere avranno lo scopo di eliminare il potenziale rischio di esondazione per zone in cui sono già presenti insediamenti abitativi.
 - B. La manutenzione regolare dell'alveo, delle sponde e soprattutto delle zone golenali.
 - C. La ricalibratura dell'alveo nel tratto in sponda destra a valle del ponte sulla S.P.43 "Roncole - Montù Beccaria - San Damiano", con creazione di apposite sezioni di controllo mediante briglie e controbriglie.

3.4 IDROGRAFIA SOTTERRANEA

3.4.1 ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL SETTORE PIANEGGIANTE

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 3.4.1 a 3.4.3), 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 Stradella.

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.9).

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.

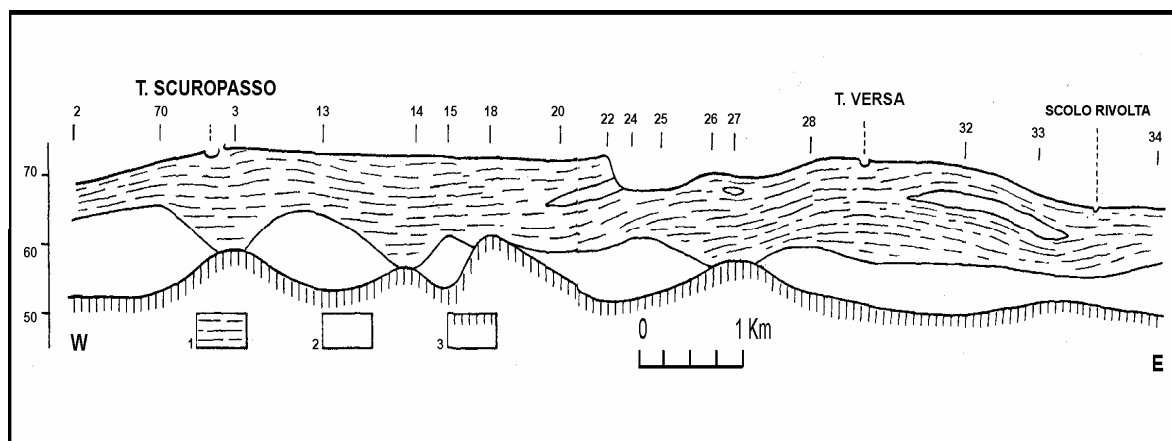


Fig. 9

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.10) 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.

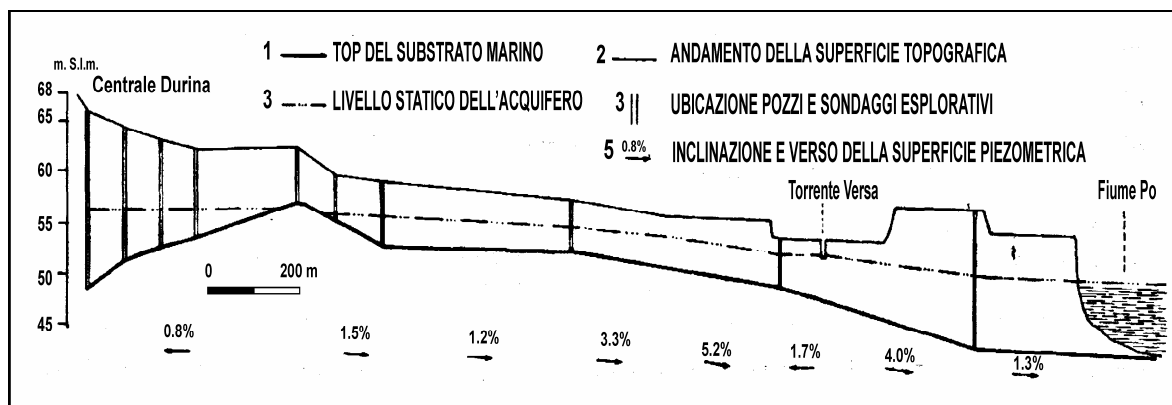


Fig. 10

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

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.

3.4.2. 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} m²/s.

Nel bacino del torrente Versa si riscontrano sia le situazioni favorevoli, con 10^{-2} m²/s, sia più critiche, con 10^{-6} m²/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 m²/giorno del pozzo COVINI 3 ai 1,175 m²/giorno dei pozzo COVINI 1, e che, in quasi il 60% dei casi, non vengono superati i 200 m²/giorno (i valori di trasmissività calcolati su base giornaliera sono, di norma, compresi tra 10 e 10.000 m²/giorno e che solo quando il valore supera i 100 m²/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 m³ degli anni '80, a 1.792.298 m³ del 1994.

Se, poi, si fa riferimento al 1979, anno in cui la produzione ha raggiunto la punta di 3.641.770 m³, 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 del livello statico, 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.

3.4.3. SOGGIACENZA DELL'ACQUIFERO EMUNTO

In Tabella 5 e Fig.11 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.

anno mese	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
GEN.	4,88	5,00	4,60	3,83	3,68	4,32	3,92	4,34	4,80	3,84	4,36	4,55	3,97	3,89
FEB.	4,81	4,99	4,30	3,66	3,71	4,34	3,80	4,37	4,61	3,75	4,33	4,46	3,82	3,55
MAR.	4,13	4,95	3,95	3,82	3,65	4,21	3,86	4,36	4,48	3,57	4,38	4,33	3,68	3,55
APR.	4,70	4,61	3,80	3,83	3,56	3,95	3,70	4,36	4,02	3,31	4,47	4,14	3,42	3,55
MAG.	4,73	4,48	3,70	3,83	3,54	3,76	3,60	4,39	3,74	3,33	4,23	4,02	3,15	3,39
GIU.	4,78	4,73	3,47	3,62	3,46	3,61	3,75	4,54	3,76	3,55	4,04	3,93	2,95	3,37
LUG.	4,83	4,85	3,70	3,73	3,65	3,65	3,83	4,52	4,05	3,50	4,03	3,90	3,13	3,54
AGO.	4,95	4,86	3,92	3,60	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.	5,12	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	3,92	4,34	3,92	4,30	4,64	4,20	4,17	4,62	4,13	4,18	4,00
DIC.	5,00	4,83	3,85	3,83	4,35	4,03	4,24	4,77	3,94	4,22	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	3,41	3,87	3,71	3,95	4,60	3,66	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	5,59	5,04
MAR.	2,94	2,47	3,62	4,15	3,02	3,52	3,87	3,50	4,08	4,73	3,80	4,59	5,53	4,97
APR.	2,64	2,35	3,47	4,17	2,73	3,52	3,82	3,30	4,10	4,50	3,87	4,50	4,90	4,90
MAG.	2,37	2,48	3,26	3,90	2,20	3,53	3,82	3,10	4,20	4,00	3,82	4,28	4,49	4,88
GIU.	2,48	2,42	3,25	3,66	2,00	3,58	3,83	3,03	4,30	3,60	3,79	4,20	4,31	4,97
LUG.	2,83	2,57	3,30	3,36	2,08	3,56	3,89	3,02	4,33	3,30	3,82	4,28	4,21	5,11
AGO.	3,02	2,84	3,38	3,25	2,48	3,65	3,93	3,18	4,44	3,23	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	4,00	2,53	3,30	3,87	4,04	3,80	4,58	3,50	4,44	5,50	4,82	5,78
DIC.	3,43	3,37	4,00	3,02	3,37	3,90	3,84	3,90	4,56	3,63	4,53	5,55	4,92	5,87
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	3,60	3,05	4,24	5,25	4,86	6,00	--	6,13	--	6,00	4,40
FEB.	5,92	6,46	5,01	3,24	2,95	4,26	5,23	4,93	6,00	--	6,21	--	5,99	4,36
MAR.	5,94	6,53	4,99	3,08	2,86	4,11	5,18	4,90	5,99	6,50	6,20	5,98	5,97	4,40
APR.	5,91	--	4,94	2,92	2,71	3,90	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	5,20	5,82	4,07
GIU.	5,90	--	4,89	2,48	2,53	4,36	4,53	4,92	6,17	--	5,99	5,26	5,78	4,00
LUG.	5,91	--	4,89	2,33	2,97	4,78	4,45	5,44	--	--	6,09	5,32	5,69	4,01
AGO.	6,10	--	5,18	2,64	3,28	5,10	4,57	5,69	--	--	6,19	5,47	5,80	4,17
SET.	6,37	6,28	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	5,34	4,80	5,92	--	--	--	5,72	6,03	4,41
NOV.	6,44	--	5,02	2,83	4,17	5,31	4,92	5,96	--	--	--	5,83	6,16	4,43
DIC.	6,46	--	5,76	2,96	4,29	5,28	4,89	5,96	6,50	--	6,20	5,91	--	4,46
Media annua	6,10	--	4,90	2,86	3,26	4,65	4,84	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.

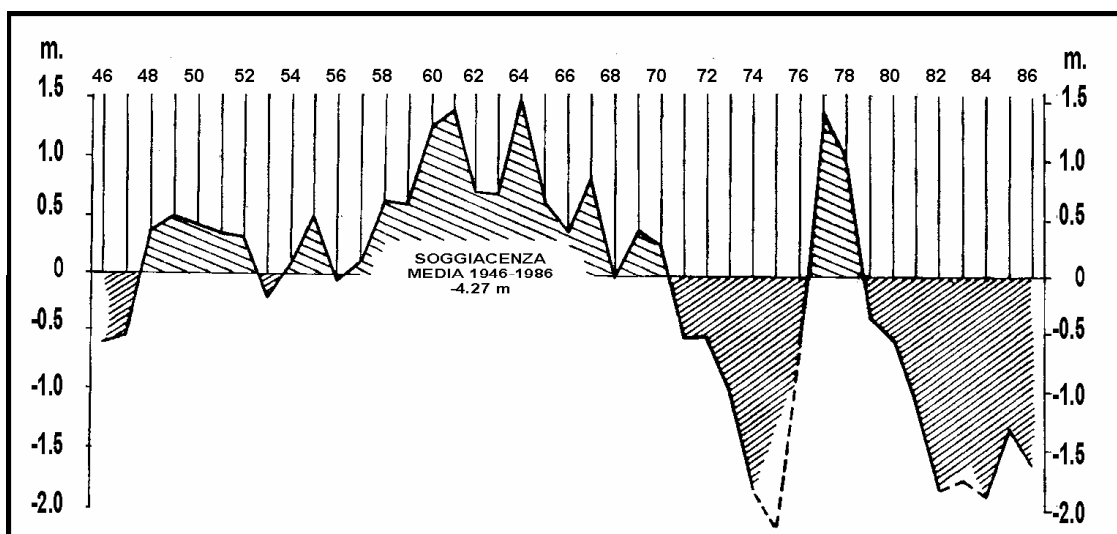


Fig. 11 Andamento delle oscillazioni medie annue della soggiacenza dell'acquifero emunto, misurate nella stazione della Centrale Durina nel periodo 1946-1986, rispetto al valore medio dell'intero periodo.

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 del 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.

3.4.4 AMBITO COLLINARE

Per quanto riguarda l'ambito collinare, dal punto di vista idrogeologico l'indagine ha verificato la presenza nel primo sottosuolo di una modesta falda freatica, generalmente poco profonda e arealmente discontinua.

L'assetto idrogeologico di questo orizzonte acquifero risulta strettamente condizionato dall'andamento del tetto del substrato sul quale esso appoggia, dallo spessore delle coperture (coltre di alterazione eluvio-colluviale e depositi continentali terrazzati e di fondovalle) e da possibili locali intercalazioni di livelli semipermeabili, in grado di far assumere alla falda stessa caratteri di blanda artesianità. Per tale motivo non sempre è possibile stabilire se i livelli riscontrati nei pozzi di misura siano da attribuirsi alla reale morfologia della falda o alla sua occasionale risalita.

In linea di massima si può considerare come vigente, per l'intero territorio, un'alimentazione degli orizzonti più superficiali attraverso il processo di percolazione. Le direttrici di deflusso dominanti sono assimilabili a quelle dell'idrografia di superficie, incentrate sull'alveo dei torrenti Versa e del rio Poalone, per quanto essenziale si rivela il ruolo svolto dalle coperture, la cui distribuzione rappresenta il più importante dei fattori che determinano le condizioni idrauliche della falda libera.

Nell'area collinare dello "Sperone di Stradella" sono stati censiti, durante una campagna di rilevamento condotta nel periodo febbraio-marzo 1999, 30 pozzi per acqua (rifer. Tav.4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO" e Tabella 6 per l'individuazione di quelli ricadenti nell'areale studiato), la cui distribuzione è prevalentemente concentrata nelle aree di crinale, in corrispondenza dei principali nuclei abitati.

Si tratta per lo più di vecchi pozzi in muratura, realizzati a mano e originariamente usati per uso potabile o a scopo agricolo, per le colture vitivinicole. Molti risultano in disuso, ma possono ancora essere utilizzati come piezometri. La scarsa profondità raggiunta è comunque sufficiente ad evidenziare la presenza di una modesta falda freatica.

I 30 pozzi controllati risultano così distribuiti: 20 nella formazione delle Marne di S. Agata Fòssili; 8 nella formazione dei Conglomerati di Cassano Spinola; 2 nelle alluvioni di fondovalle.

Nelle misure freatimetriche, effettuate nel mese di febbraio 1999, la falda si è rinvenuta alle seguenti profondità (rispetto al piano campagna):

- da -0,10 m a -10,20 m nella formazione delle Marne di S. Agata Fòssili;
- da -0,85 m a -6,70 m nella formazione dei Conglomerati di Cassano Spinola;
- a -9,60 m nelle alluvioni di fondovalle.

Il minimo valore di soggiacenza pone pertanto la superficie piezometrica praticamente al piano campagna; la massima soggiacenza è invece -10,20 metri dallo stesso. I due valori si registrano all'interno della medesima formazione (marne di S. Agata Fòssili). In relazione alle prevedibili escursioni annuali, ne consegue che i depositi eluvio-colluviali subiscono periodiche variazioni nelle pressioni neutre, mentre una parte degli stessi rimangono probabilmente in uno stato di perenne saturazione. Pertanto non solo la presenza ma anche il comportamento della falda freatica esercita un ruolo importante nella propensione al dissesto dei versanti, influenzando soprattutto i movimenti che si esplicano nella parte più superficiale degli stessi.

POZZO	LOCALITA'	quota piano campagna (m s.l.m.)	profondità (m dal p.c)	LIVELLO STATICO	
				quota (m s.l.m.)	soggiacenza (m dal p.c.)
1	VALLE SCURA - A SW DI MONTÙ DE' GABBI	170	3,75	168,20	- 1,80
2	VALLE SCURA - A SW DI MONTÙ DE' GABBI	165	2,75	162,45	- 2,55
3	CRINALE A N DI MONTÙ DE' GABBI	230	2,55	---	---
4	CRINALE A N DI MONTÙ DE' GABBI	220	3,20	---	---
5	CRINALE A N DI MONTÙ DE' GABBI	215	2,60	212,80	- 2,20
6	CRINALE A N DI MONTÙ DE' GABBI	210	4,35	206,70	- 3,30
7	MONTU DE' GABBI	220	6,80	213,30	- 6,70
8	COLOMBARONE (500 M A N DELL'ABITATO)	253	1,70	252,15	- 0,85
9	CA' DEI GUIDOTTI DI SOTTO	220	6,10	217,60	- 2,40
10	COLOMBARONE	245	6,55	241,85	- 3,15
11	SC VALLE PRUSSIANI *	145	2,60	144,20	- 0,80
12	SC NUOVA DI MONTEVENEROSO *	158	2,00	156,50	- 1,50
13	ADIACENZE C.NA RONCO	130	3,30	127,80	- 2,20
14	COLOMBARONE	240	3,85	239,40	- 0,60
15	COLOMBARONE	240	16,80	230,00	- 10,00
16	COLOMBARONE	220	8,90	---	---
17	CA' BAZZINI	225	8,70	220,00	- 5,00
18	CA' BAZZINI	230	6,70	---	---
19	SC DI VERGOMBERA	225	8,60	221,90	- 3,10
20	SC DI VERGOMBERA	220	10,00	219,20	- 0,80
21	CANNETO PAVESE	225	10,70	214,80	- 10,20
22	MONTEVENEROSO	240	4,80	---	---
23	400 M A SW DI MONTEVENEROSO *	265	10,00	258,90	- 6,10
24	VALLE SCURA - A E DI MONTÙ DE' GABBI	175	1,90	174,90	- 0,10
25	MONTU DE' GABBI	230	4,00	226,20	- 3,80
26	MONTU DE' GABBI	230	9,20	225,50	- 4,50
27	CANNETO PAVESE	225	8,00	217,60	- 6,40
28	CASE PAVARANI	240	4,50	236,30	- 3,70
29	BERIA DI SOTTO	105	3,20	---	---
30	BERIA DI SOTTO	110	11,80	100,40	- 9,60

Tabella 6

Elenco pozzi per acqua utilizzati per le misure freatiche

* Pozzi ricadenti all'esterno dell'areale studiato e non cartografati

Per quanto riguarda infine la circolazione delle acque nelle falde profonde, essa risulta legata alla tipologia e all'orientamento delle fratture e dei giunti di stratificazione dell'ammasso roccioso, le quali costituiscono le vie preferenziali di movimento delle acque.

Dalla consultazione dello "Studio geologico del territorio comunale - D.G.R. n°7/6645 del 29/10/2001 - L.R. n°41/97", a firma del dott. Geol. Felice Sacchi (marzo 2004 - febbraio 2005), si recepisce infine l'ubicazione dei pozzi per acqua a diverso uso presenti all'interno del territorio comunale di Stradella. Le misure di profondità e soggiacenza, dove eseguite, risultano essere state effettuate nel mese di febbraio 2004 dallo stesso professionista (refer. Tav.6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO").

3.5 CLASSI DI PERMEABILITÀ

In relazione alla notevole varietà litologica superficiale, evidenziata dall'elaborazione dei dati raccolti nel corso dell'indagine, al fine di una preliminare caratterizzazione idrogeologica dei livelli superficiali di terreno affioranti nell'ambito del territorio comunale di Stradella al fine di consentirne la suddivisione in ambiti omogenei a diverso grado di permeabilità, il territorio in esame è stato suddiviso in tre diversi ambiti omogenei ad ognuno dei quali sono stati associati degli specifici parametri di riferimento, in relazione alla documentazione disponibile consultata e rielaborata (rifer. Tavola n°4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO"):

- terreni alluvionali di fondovalle ascrivibili al fluviale Recente, alle alluvioni Attuali e alle alluvioni Recenti: caratterizzazione stratigrafica e litologica dei terreni di copertura dell'acquifero emunto ad uso idropotabile desunte dall'esame delle stratigrafie di n°48 pozzi per acqua censiti e dalla rielaborazione delle diagrafie delle indagini svolte, con particolare riferimento ai sondaggi geognostici a campionamento continuo (S 01_15) ed alle prove penetrometriche statiche "*cone penetration test*" (C.P.T. 01_166) (rifer. "RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DEL TERRITORIO COMUNALE – STRATIGRAFIE POZZI PER ACQUA")
- depositi alluvionali che costituiscono le superfici terrazzate del fluviale Medio e del fluviale Antico: composizione litologica dello strato superficiale, dedotta dalle stratigrafie delle indagini svolte, con particolare riferimento alle prove penetrometriche statiche "*cone penetration test*" (C.P.T. 01_166) (rifer. "RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE IN CORRISPONDENZA DEL TERRITORIO COMUNALE – STRATIGRAFIE POZZI PER ACQUA")
- ambito collinare: tipologia del substrato roccioso, dedotta dalla bibliografia geologica consultata

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 cinque 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), alla composizione litologica dello strato superficiale (depositi alluvionali che costituiscono le superfici terrazzate del fluviale Medio e del fluviale Antico), ovvero alla tipologia del substrato roccioso (ambito collinare):

- AREE A PERMEABILITÀ BASSA O NULLA

Argille di Lugagnano; membro marnoso - argilloso basale delle Marne di Sant'Agata Fossili.
Presenza di un substrato a dominante argilloso - marnosa poco permeabile o praticamente impermeabile.
Depositati continentali del fluviale Medio e del fluviale Antico.

▪ AREE A PERMEABILITA' MEDIO-BASSA

Formazione di Luzzano; Formazione di Montù Beccaria; membro marnoso - arenaceo sommitale delle Marne di Sant'Agata Fòssili. La quasi totalità dei depositi ascrivibili al fluviale Recente.

▪ AREE A PERMEABILITA' MEDIA

Formazione Gessoso - Solfifera.

Presenza di un substrato marnoso e sabbioso-arenaceo, localmente carbonatico, con presenza di calcari cariati, sbrecciati, calcareniti e gessoareniti.

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 PERMEABILITA' MEDIO-ALTA

Conglomerati di Cassano Spinola.

In generale queste aree definiscono il principale crinale morfologico individuato all'interno del territorio cartografato, tra Rocca Ticozzi e Montebruciatto.

▪ AREE AD ELEVATA PERMEABILITA'

Alluvioni Attuali di fondovalle del torrente Versa: ghiaie e sabbie in matrice limosa.

Petraie e depositi fluviali attivi del fiume Po.

3.6 EMERGENZE SORGENTIZIE

Partendo dal margine settentrionale della catena appenninica, lungo una fascia grossomodo compresa tra gli abitati di Stradella e Retorbido, è presente una successione marina di età miocenico / pliocenica riferibile - dall'alto al basso - alla formazione delle Argille di Lugagnano, ai Conglomerati di Cassano Spinola, alla Formazione Gessoso - Solfifera e alle Marne di Sant'Agata Fossili.

Nei punti di affioramento della Formazione Gessoso - Solfifera, ovvero nelle zone di contatto diretto tra i depositi arenaceo - conglomeratici continentali ascrivibili ai Conglomerati di Cassano Spinola e le sottostanti Marne di Sant'Agata Fossili, diversi studi a carattere scientifico hanno documentato la presenza di numerose sorgenti sulfuree.

La distribuzione di queste sorgenti, secondo Braga et alii (1996), sarebbe da ricollegare all'assetto geologico - strutturale del margine appenninico e del substrato pre-quadernario della Pianura Padana, in cui predominano deformazioni compressive, come faglie inverse e fronti di sovrascorrimento; la risalita delle acque avverrebbe quindi lungo queste superfici di discontinuità.

Per quanto riguarda la zona pedecollinare riferibile all'areale studiato, gli stessi studi hanno evidenziato la presenza di una emergenza sorgentizia di fondovalle la cui origine e posizione è riconducibile a quanto sopra citato: la *Sorgente di Recoaro*, in Comune di Canneto Pavese (rifer. Tav.4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO").

In Comune di Stradella un caso a parte è invece da considerarsi la *Sorgente di Santa Maria*, emergenza sorgentizia di natura sulfurea, collocata al passaggio tra i depositi del Fluviale medio e del fluviale Recente (sorgente di terrazzo) - rifer. Tav.4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO").

Nel caso specifico della *Sorgente di Recoaro*, l'emergenza delle acque sarebbe condizionata dall'assetto litologico delle successioni attraversate, che presentano alla base un complesso a bassa permeabilità, quale quello delle Marne di Sant'Agata Fossili, sormontato da depositi da localmente permeabili - attribuibili alla Formazione Gessoso - Solfifera -, a permeabili, dati dai Conglomerati di Cassano Spinola (Cavanna et alii, 1996).

Secondo gli stessi autori la mineralizzazione delle acque e le locali condizioni geologiche porterebbero ad ipotizzare circuiti localizzati nelle zone a più alta permeabilità; la ricarica locale avverrebbe per percolazione delle acque attraverso i depositi conglomeratico-arenacei, mentre la particolare mineralizzazione sarebbe imputabile al passaggio attraverso litozone gessose (Formazione Gessoso - Solfifera), o marnose (Marne di S. Agata Fossili) nelle quali fenomeni di dissoluzione e riprecipitazione di sali evaporitici avrebbero consentito l'arricchimento in solfati (Scagni & Vercesi, 1987).

La sorgente, sfruttata stagionalmente a scopi termali fino a pochi decenni fa, risulta attualmente sprovvista di una efficiente opera di captazione; le portate, di modesta entità, sono inferiori a 0.50 litri/sec e quindi tali da scoraggiare qualsiasi ipotesi di sfruttamento. L'acqua presenta alla scaturigine una temperatura di 13-14°C, ed una conducibilità di 700-800 µS/cm.

Dal punto di vista idrochimico la sorgente di Recoaro è caratterizzata da un'abbondante fase gassosa ad idrogeno solforato e dalla precipitazione, all'emergenza, di zolfo allo stato colloidale.

Le presenza di sostanza organica negli orizzonti litologici con cui vengono a contatto le acque determina presumibilmente l'instaurarsi di condizioni riducenti che giustificano la presenza pressoché costante di idrogeno solforato.

Le caratteristiche idrochimiche consentono di riconoscere una facies a connotazione bicarbonato-calcica magnesiaci - solfata, riconducibile alle condizioni di circolazione locali.

Questo tipo di chimismo, in particolare, caratterizza quelle scaturigini le cui acque non entrano in contatto con la Formazione gessoso - solfifera (e quindi con orizzonti gessosi potenti e/o fratturati), ma quelle emergenze di fondovalle che sono invece collocate al contatto tra i depositi clastici messiniani e le Marne di S. Agata Fossili.

Le acque della *Sorgente di Recoaro*, proprio per la loro peculiarità chimica, costituiscono, unitamente a quelle della *Sorgente di Santa Maria* un vero e proprio Patrimonio Geologico per il territorio bronese - stradellino: la rarità legata al loro chimismo, fa infatti di queste acque degli "*Idrogeositi*" a tutti gli effetti, aree in cui la situazione idrogeologica risulta decisamente peculiare e legata alla storia geologica di quella regione.

Come tali, queste acque andrebbero valorizzate e fatte conoscere al pubblico, elevando la loro importanza allo stesso livello delle acque che nel nostro territorio vengono da tempi storici sfruttate a scopo idrotermale nelle celebri Terme di Salice, Miradolo, San Colombano e Rivanazzano.

3.7 GEOSITI

Un geosito corrisponde ad un elemento fisico del paesaggio che ci circonda per il quale sia possibile "definire un interesse geologico - geomorfologico per la conservazione" (Wimbledon, 1995). Le emergenze paesaggistiche definibili come geositi generalmente sono caratterizzate da un alto valore scenico paesaggistico al quale si aggiungono rappresentatività, esemplarità didattica, rarità e valore scientifico.

Un geosito è di eccezionale importanza primariamente in base al contesto scientifico e culturale (in quanto in grado di fornire un contributo indispensabile alla comprensione della storia geologica di una regione), ma esso riveste grande interesse anche in relazione al paesaggio, alla biodiversità, all'educazione, alla ricreazione, così come per motivi economici.

Con riferimento alla proposta contenuta negli elaborati di cui al P.C.P. Provincia di Pavia del marzo 2004, in corrispondenza del territorio comunale di Stradella risulta individuabile un unico geosito: la *Sorgente di Santa Maria* situata nei pressi della località omonima.

In mancanza di indicazioni metodologiche regionali e provinciali finalizzate alla tutela e valorizzazione dei geositi, nell'ambito del presente studio si propone l'individuazione di una "zona di protezione idrogeologica", definita con riferimento all'art.136 del D.Lgs.vo 42/04 "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137" - punto b): *cose immobili che hanno cospicui caratteri di bellezza naturale o di singolarità geologica*, ai fini della "protezione del patrimonio idrico" e della salvaguardia e protezione dei siti medesimi.

Dette norme sono riportate al paragrafo 4.6 delle *Norme geologiche di Piano*.



Sorgente di Santa Maria

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 macrosimiche 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 (Ml)*: correlata alla distanza dall'epicentro e all'ampiezza di registrazione (in genere delle onde S o P). In prima approssimazione si usa spesso la *magnitudo durata (Md)* correlata alla durata di registrazione.

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

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

Figura 12 - 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. 13), unitamente al relativo rapporto tecnico-scientifico (http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html).

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

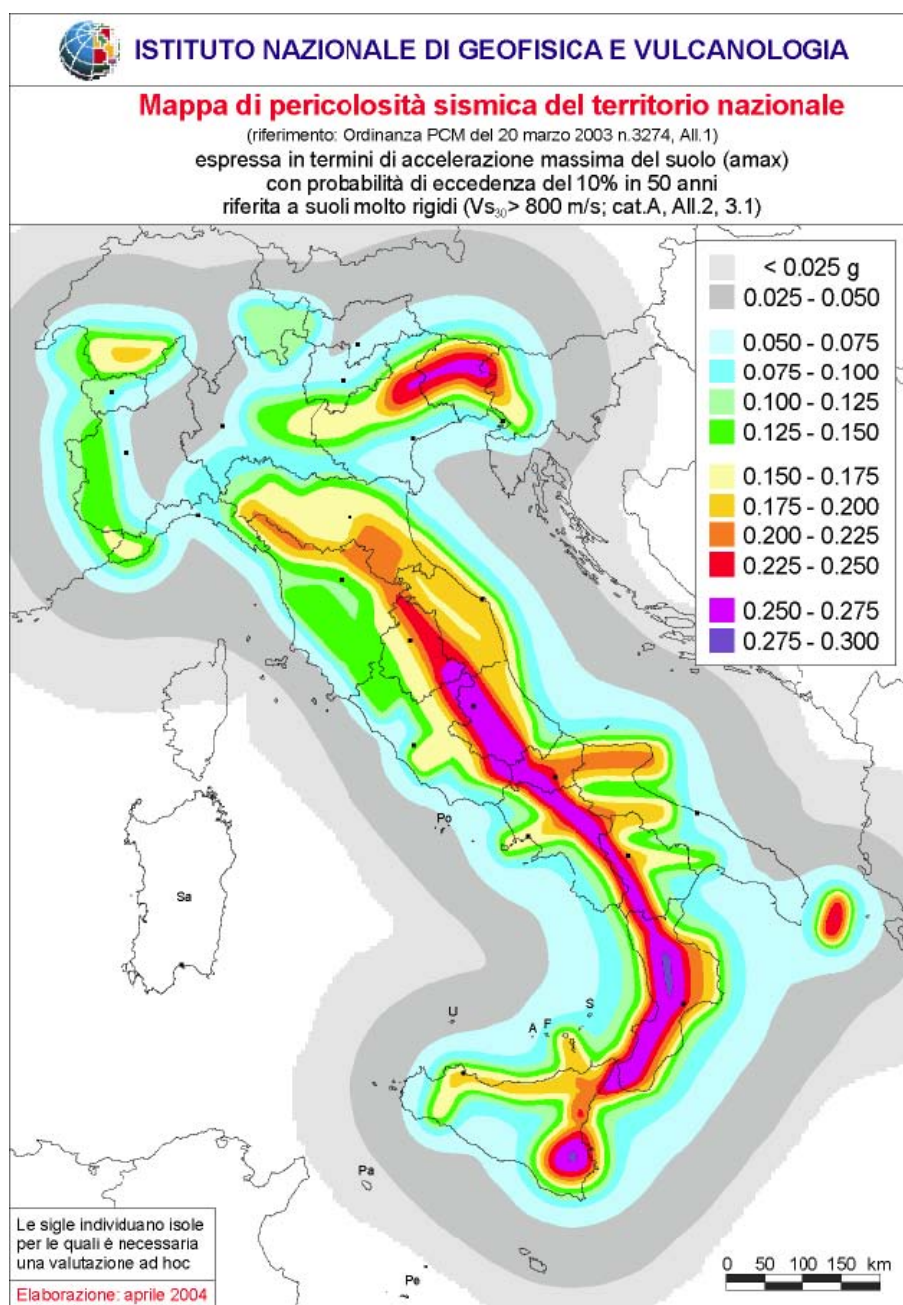


Figura 13 - Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV, aprile 2004)

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. 14), 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 ($M = 5$)

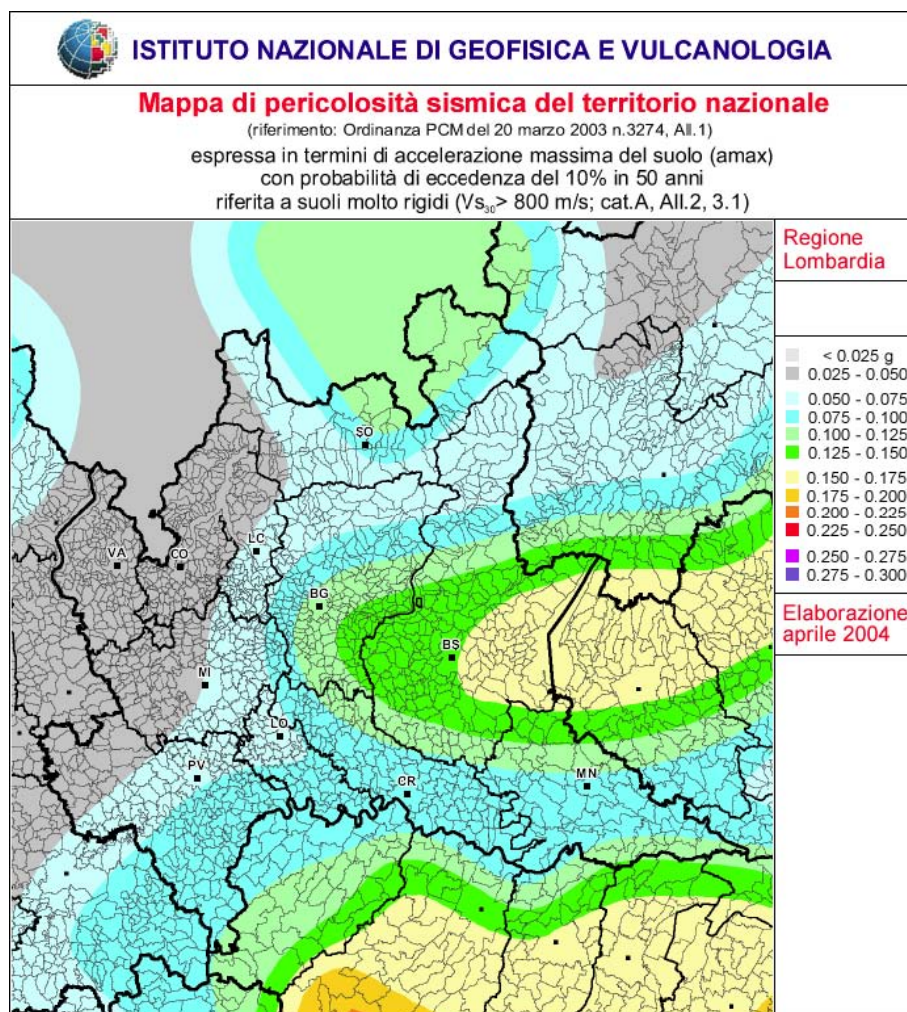


Figura 14 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale.
 Dettaglio per la Regione Lombardia (INGV, aprile 2004)

VULNERABILITÀ SISMICA

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

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

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

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

Tra i principali elementi fisici della vulnerabilità vanno ricordati:

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

RISCHIO SISMICO

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

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

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

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

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

In cui:

Pr *pericolosità di riferimento*

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

Pl *pericolosità locale*

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

Eu *esposizione urbana*

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

Vs *vulnerabilità del sistema urbano*

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

4.2 INFORMAZIONI RELATIVE ALLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO COMUNALE DI STRADELLA (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. 15) 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.

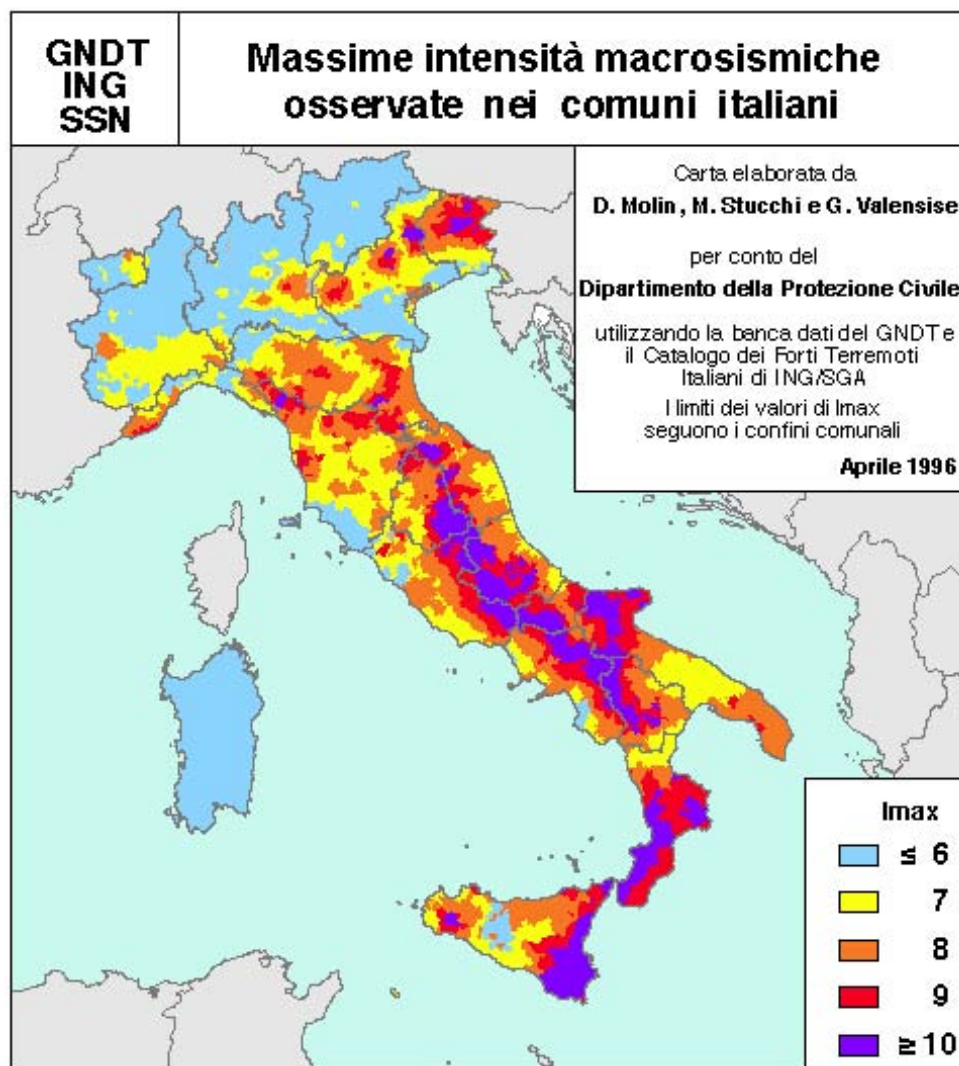


Figura 15 - Massime intensità Macrosismiche osservate in Italia (Fonte I.N.G.V.)

In Figura 16 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 ($I_{max} = 7$).

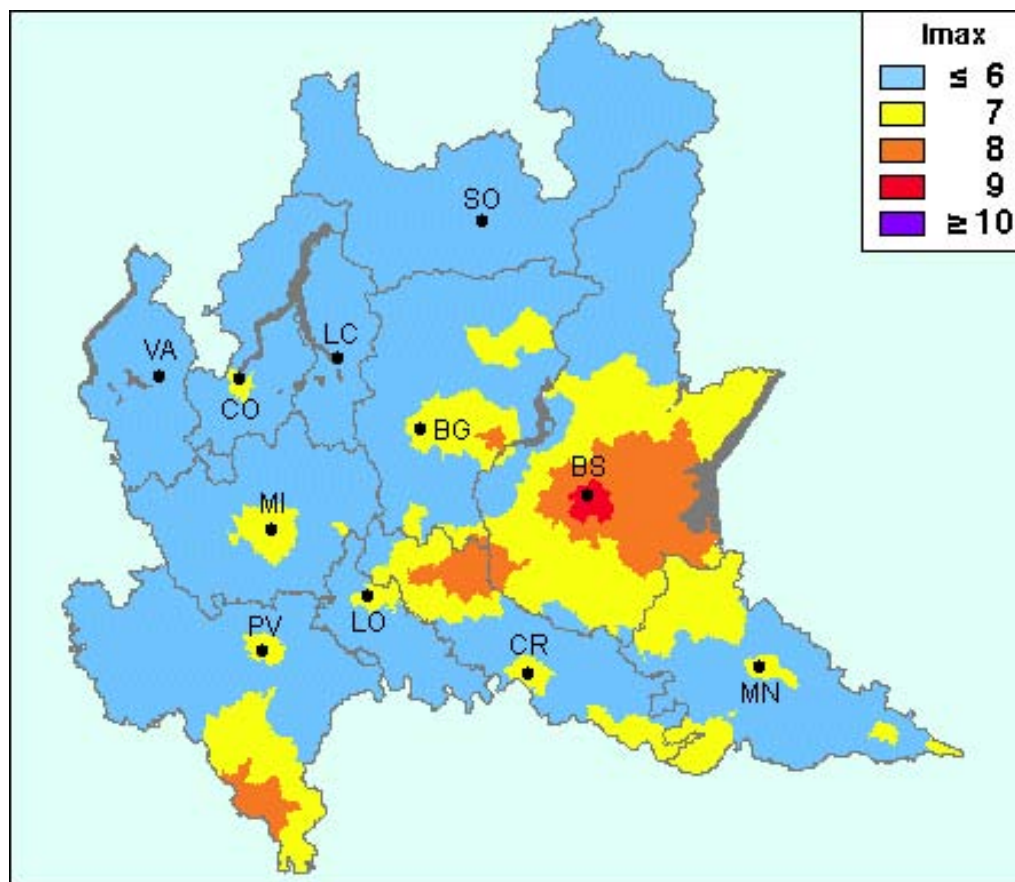


Figura 16 - Massime intensità macrosismiche registrate in Lombardia (fonte INGV)

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

Consultando il Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI04) per località (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/consultazione/localita.php?visualizzazione=bitmap>) sono emerse numerose informazioni relative al territorio comunale di Stradella.

La storia sismica della Città di Stradella è segnalata a partire dal 1828, con 9 osservazioni accertate (Fig. 17) 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. 17 - 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

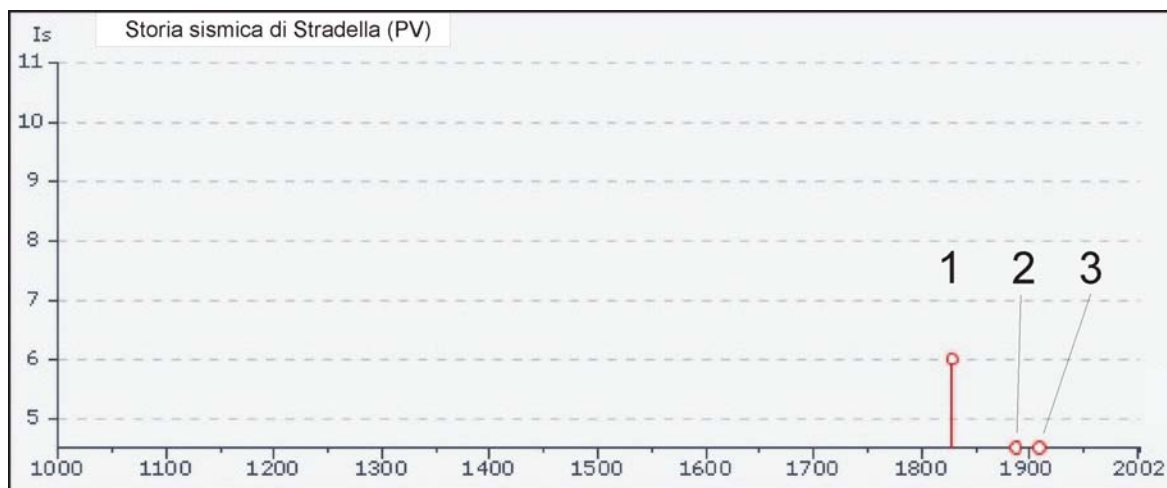


Fig. 18 - Rappresentazione della storia sismica di Stradella limitatamente ai terremoti con intensità al sito uguale o superiore a 4-5

- 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 7 - 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.

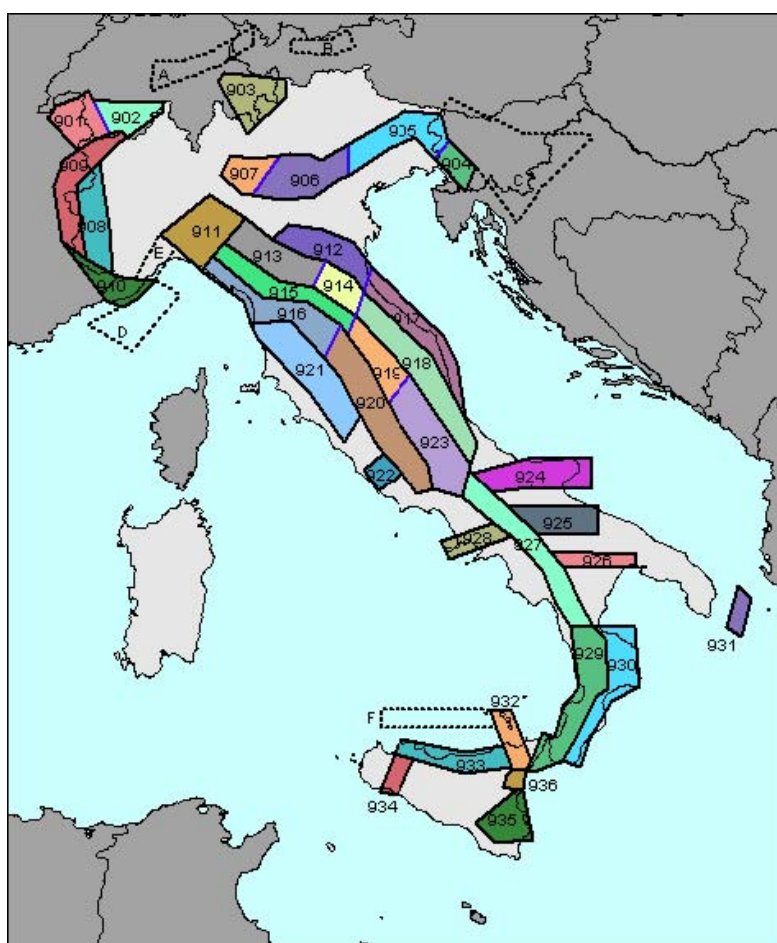


Figura 19

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 8), 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 Stradella, l'obbligo della progettazione antisismica per le sole costruzioni "*strategiche e rilevanti*", così come rilevate dal Decreto n°19904 del 21.11.2003.

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

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

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

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

Tabella 8

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 9.

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

Tabella 9

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

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

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

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

Valori dei parametri dello spettro di risposta elastica della componente orizzontale

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

Valori dei parametri dello spettro di risposta elastica della componente verticale

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

4.4 METODOLOGIA UTILIZZATA PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI SISMICI DI SITO

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

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

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

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

Comune di Stradella Valori di soglia del <i>Fattore di Amplificazione (Fa)</i>	Suolo tipo A	Suolo tipo B-C-E	Suolo tipo D
VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s	0,60	0,80	0,90
VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s	0,90	1,30	2,20

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

Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e per le zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche molto diverse (zone Z1a, Z1b, Z1c, Z2 e Z5 della Tabella 10) 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.

Livelli di approfondimento e fasi di applicazione				
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria Obbligatorio per situazioni specifiche		3° livello fase progettuale Obbligatorio per situazioni specifiche
Zona sismica 2-3	Obbligatorio in generale	Obbligatorio:	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già dichiarate inedificabili	Nelle aree indagate con il 2° livello, quando 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 10

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

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

Per il Comune di Stradella, ricadente in zona sismica 4 (quella a minor grado di sismicità, definita come "bassa sismicità"), la D.G.R. 22 dicembre 2005, n°8/1566 prevede obbligatoriamente, in fase pianificatoria, l'applicazione del primo livello di approfondimento.

Esso consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti. Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di:

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

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

Per quanto riguarda il territorio comunale di Stradella, 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 delle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale e la definizione lineare delle diverse situazioni tipo (vedi Tabella 11) 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 successive integrazioni (Integrazioni all'*Allegato 5*, Convenzione tra Regione Lombardia e Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Febbraio 2006).

Sigla	COMUNE DI STRADELLA SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI SISMICI LOCALI
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	Instabilità
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti. Riporti compatti (rilevati stradali e ferroviari); riporti eterogenei non compattati o poco compattati	Cedimenti diffusi
Z2*	Zone con terreni granulari fini e falda superficiale, indicativamente nei primi 5 metri dal piano campagna (Alluvioni recenti del fiume Po a Nord di Cascina Coriggio e Casa Albina)	Possibili fenomeni di liquefazione
Z3a	Zone di ciglio con altezza $H > 10$ metri (orlo di terrazzo fluviale; orlo di scarpata morfologica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cocuzzolo arrotondata	
Z4a	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
Z4a*	Zona di fondovalle con depositi a grana fine di origine colluviale e/o alluvionale (valli laterali del reticolo idrico minore)	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Tabella 11

Comune di Stradella - Scenari di pericolosità sismica locale ed effetti sismici locali attesi

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

- elementi lineari gli scenari Z3a, Z3b e Z5: in particolare per lo scenario Z3a si è evidenziato il ciglio della scarpata, per lo scenario Z3b la linea di cresta sommitale e per lo scenario Z5 il limite di contatto tra i litotipi individuati;
- elementi areali gli scenari Z1, Z2, Z2*, Z4a e Z4a*.

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

Gli scenari Z1 e Z2 nell'analisi di primo livello sono evidenziati sulla base del fenomeno prioritario che li caratterizza, quali fenomeni di instabilità e cedimenti / 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°10 "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 Stradella" 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 12):

<i>Sigla</i>	COMUNE DI STRADELLA SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	CLASSE DI PERICOLOSITA' SISMICA
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	H2 – livello di approfondimento 3°
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti. Riporti compatti (rilevati stradali e ferroviari); riporti eterogenei non compattati o poco compattati	H2 – livello di approfondimento 3°
Z2*	Zone con terreni granulari fini e falda superficiale, indicativamente nei primi 5 metri dal piano campagna (Alluvioni recenti del fiume Po a Nord di Cascina Coriggio e Casa Albina)	
Z3a	Zone di ciglio con altezza H > 10 metri (orlo di terrazzo fluviale; orlo di scarpata morfologica)	H2 – livello di approfondimento 2°
Z3b	Zona di cocuzzolo arrotondata	
Z4a	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°
Z4a*	Zona di fondovalle con depositi a grana fine di origine colluviale e/o alluvionale (valli laterali del reticolo idrico minore)	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	H2– livello di approfondimento 3°

Tabella 12

Comune di Stradella - Classi di pericolosità sismica per ogni scenario di pericolosità sismica locale

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

il 2° livello di approfondimento permetterà:

- la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi
- l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3a, Z3b, Z4a e Z4a*), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici.

il 3° livello di approfondimento permetterà:

- la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi per le sole aree in cui la normativa nazionale risulta inadeguata,
- la quantificazione degli effetti di instabilità dei versanti (zone Z1) e dei cedimenti e/o liquefazione (zone Z2).

Non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi.

In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.

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

5.1 CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI INVESTIGATI IN RELAZIONE ALLA PROBLEMATICHE DEL RITIRO – RIGONFIAMENTO

In questo paragrafo sono riportati alcune valutazioni di interesse pratico riguardanti la problematica del fenomeno del ritiro - rigonfiamento a cui risultano soggetti, seppure in diversa misura, i terreni affioranti in corrispondenza del territorio comunale di Stradella. Le considerazioni di seguito esposte sono state sviluppate attraverso la valutazione dei risultati ottenuti da prove di campagna e di laboratorio desunte dalla documentazione scientifica consultata.

La conoscenza e l'identificazione del potenziale di rigonfiamento (caratteristica specifica di alcuni terreni argillosi, costituiti cioè da più del 30% di particelle con dimensione $< 2 \mu\text{m}$, principalmente legata alle variazioni del loro tenore in acqua), si è rivelata una necessità nel progetto sia di importanti opere viabilistiche quali autostrade, dighe e strutture idrauliche sia per la progettazione di fondazioni, in relazione ai problemi ingegneristici ad essa associati.

I terreni a dominante argillosa affioranti in corrispondenza del territorio comunale di Stradella risultano quelli posti in corrispondenza dei depositi continentali ascrivibili al fluviale Recente, in una fascia di territorio compresa tra la base della scarpata di terrazzo del fluviale Medio ed il percorso dell'autostrada A21 Torino - Piacenza (rifer. Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO").

L'individuazione del grado di suscettibilità al fenomeno del ritiro - rigonfiamento relativamente ai terreni in parola, si è articolata attraverso le seguenti fasi:

- Caratterizzazione geotecnica dei terreni dell'area d'indagine
- Individualizzazione dei terreni potenzialmente soggetti al fenomeno di ritiro-rigonfiamento partendo dai dati litologici e geotecnici relativi a indagini di laboratorio eseguite su campioni prelevati in sito e considerando ulteriori fattori di predisposizione al rigonfiamento
- Valutazione degli effetti del fenomeno sulle costruzioni con individuazione degli edifici lesionati
- Valutazione della suscettibilità relativa (probabilità di accadimento nell'areale di riferimento del fenomeno di ritiro-rigonfiamento)

L'analisi litologica e geotecnica dello strato superficiale (primi 2 metri) dei depositi alluvionali che costituiscono l'ossatura dei terrazzi fluviali e dei depositi del fluviale Recente, ha consentito di valutarne il potenziale di ritiro - rigonfiamento.

L'areale di Stradella è stato così suddiviso in due classi a diverso grado di suscettibilità relativa al fenomeno di ritiro - rigonfiamento:

- grado di suscettibilità basso
- grado di suscettibilità alto

Grado di suscettibilità basso

L'areale comprende i ripiani del fluviale Medio e Antico nonché le superfici di raccordo tra i suddetti ripiani. Sono presenti superficialmente litotipi limoso - argillosi con percentuali di ghiaia e sabbia variabili e con bassa presenza di minerali argillosi rigonfianti desunti da test al blu di metilene.

Grado di suscettibilità alto

L'areale occupa la porzione di fluviale Recente individuata tra il limite con i ripiani terrazzati e l'autostrada A21 Torino - Piacenza, costituita da argilla in percentuali maggiori del 40%. I test al blu di metilene hanno rilevato un alta percentuale di minerali argillosi rigonfianti; questi terreni, a seguito dei processi d'alterazione superficiale si presentano perciò particolarmente suscettibili al fenomeno di ritiro - rigonfiamento.

5.1.1 RITIRO E RIGONFIAMENTO: CAUSE E FATTORI AGGRAVANTI

Le deformazioni volumetriche dei terreni fini, sono generalmente attribuite a quattro fenomeni difficilmente separabili:

- a) variazione delle pressioni esterne Il cambiamento dello stato delle pressioni totali in un terreno per l'aggiunta o la rimozione di carichi e sovraccarichi, porta ad una deformazione del suolo in superficie (cedimento, sollevamento).
- b) cambiamento delle pressioni interstiziali Un cambiamento dell'approvvigionamento idrico del suolo porta ad una modifica delle pressioni interstiziali all'interno dello stesso. Le oscillazioni del livello della falda, sia a ciclo annuale che pluriennale, possono causare il rigonfiamento o il ritiro di un orizzonte di terreno se, rispettivamente, il livello si alza o si deprime. Il drenaggio superficiale scarso porta ad un ristagno di acqua, che in tempi sufficientemente lunghi può filtrare in profondità, anche in caso di bassa permeabilità, e raggiungere orizzonti di terreno potenzialmente rigonfianti. Il ristagno d'acqua è inoltre uno dei fattori predisponenti la formazione di minerali argillosi a reticolo espandibile. Gli scavi causano una riduzione delle pressioni verticali ed orizzontali nel terreno e sono responsabili del sollevamento del fondo dello scavo e, conseguentemente, a movimenti (a componente sia verticale che orizzontale) nel terreno circostante, anche ad una distanza apprezzabile dallo scavo stesso. L'ampiezza e la velocità di sollevamento dipendono dalla diminuzione degli sforzi verticali durante le operazioni di costruzione, dal tipo di terreno e dalla sua stratigrafia.
- c) effetti fisico-chimici Il meccanismo di idratazione che provoca un aumento di volume da parte delle particelle del terreno argilloso, è largamente condizionato da:
 - il tipo e la natura dei minerali argillosi presenti e dalle loro proprietà fisico-chimiche;
 - la struttura del materiale delle particelle;
 - la storia tensionale del materiale ed in particolare i fenomeni di cementazione;
 - la concentrazione ionica del fluido interstiziale, ivi compresa l'acqua adsorbita;
 - la pressione interstiziale o suzione regnante nel terreno

- d) Copertura vegetale La vegetazione è uno dei maggiori fattori d'influenza del fenomeno di ritiro - rigonfiamento specialmente nei climi temperati, dove il deficit d'umidità si esauriscono nei primi 1.50 metri di profondità di terreno durante il periodo estivo, mentre nel periodo invernale viene ristabilito un tenore d'acqua pari alla capacità di campo (Driscoll, 1983). Il principale problema associato all'esistenza di vegetazione su un terreno rigonfiante è il disseccamento che quest'ultima comporta nel terreno ed il successivo fenomeno di ritiro, con cedimento di eventuali fondazioni.

Alberi quali pioppi, salici e querce necessitano di circa 300 litri d'acqua al giorno nei periodi secchi (Moureaux et alii, 1988); arbusti e prati assorbono quantità d'acqua più o meno elevate provocando l'essiccamento del terreno (un albero adulto dissecca il terreno per una distanza uguale a 1.5 volte la sua altezza (Philipponat, 1991). Se l'influenza dell'albero è sufficientemente profonda, si può sviluppare una zona permanentemente secca (Driscoll, 1983).

La situazione più pericolosa si verifica quando si rimuovono alberi adiacenti ad un edificio esistente o nuovo. In questo caso il rigonfiamento del terreno in seguito al ristagno di acqua successivo alla rimozione di alberi può comportare il sollevamento delle fondazioni (Meisina, 1996). Un modo per ridurre il problema è quello di mantenere una distanza di sicurezza tra l'albero e l'edificio, che risulta essere la massima altezza che l'albero può raggiungere ed è funzione del tipo di albero e suolo (Driscoll, 1983; Tabella 13).

A questi fattori, cosiddetti attivi, bisogna poi aggiungere i fattori passivi: il degrado e la fragilità della struttura; la profondità del livello di fondazione; la prossimità di una falda permanente.

Specie	massima altezza H raggiunta dalla pianta (m)	massima distanza raggiunta dalle radici dal tronco (m)	distanza tra edificio e albero (m)	distanza minima di sicurezza per edifici costruiti su suoli soggetti al fenomeno del ritiro
quercia	16-23	30	13	1 H
pioppo	25	30	15	1 H
tiglio	16-24	20	8	0.5 H
frassino	23	21	10	0.5 H
platano	25-30	15	7.5	0.5 H
salice	15	40	11	1 H
olmo	20-25	25	12	0.5 H
biancospino	10	11	7	0.5 H
acero/sicomoro	17-24	20	9	0.5 H
ciliegio/pruno	8	11	6	1 H
faggio	20	15	9	0.5 H
betulla	12-14	10	7	0.5 H
sorbo selvatico	8-12	11	7	1 H
cipresso	18-25	20	3.5	0.5 H

Tabella 13

Distanza di sicurezza tra l'albero e l'edificio in relazione della specie (Driscoll, 1983).

5.1.2 EFFETTI DEL FENOMENO DI RITIRO E RIGONFIAMENTO SUGLI EDIFICI

Per quanto riguarda il comportamento di un edificio impostato su terreni soggetti al fenomeno di ritiro - rigonfiamento, possiamo distinguere i seguenti due casi (*Mouroux et al., 1988*).

1. Comportamento a breve termine nel caso di un edificio costruito nella stagione secca, si verifica un sollevamento ai margini della struttura dopo la stagione delle piogge.
2. Comportamento a lungo termine si verifica un sollevamento dell'intero edificio poiché il tenore in acqua continua ad aumentare, nello stesso tempo si verifica un cedimento ai margini dell'edificio poiché vi sono dei movimenti alternati di rigonfiamento e cedimento.

Se i movimenti del terreno fossero uniformemente distribuiti su tutto l'edificio, non si avrebbero delle lesioni nella struttura, la quale sarebbe semplicemente sottoposta ad un abbassamento ed un sollevamento uniforme. Il fatto che l'edificio costituisca una barriera contro l'evaporazione è la causa della formazione di importanti forze dovute al movimento differenziale tra la parte periferica - direttamente soggetta al gradiente d'evaporazione - e la parte centrale dell'edificio, protetta dall'evaporazione.

Gli edifici ed in particolare le singole abitazioni, sono raramente progettate per resistere o adattarsi a cicli successivi di ritiro - rigonfiamento del suolo (*Mouroux et alii, 1988*). Le lesioni che appariranno quindi sulla struttura dell'edificio, saranno diverse a seconda del tipo di fondazione sul quale è stato costruito.

Fondazioni su plinti

- Le fessure di taglio possono avere anche un'orientazione orizzontale, il rigonfiamento al centro ha la tendenza, per effetto della flessione, ad allontanare il margine dell'edificio e dunque a tagliare i muri periferici.
- Fessure diagonali di taglio, in seguito fessure orizzontali di trazione nel plinto dovute ad un cedimento differenziale del plinto in rapporto all'intero edificio.
- Fessure diagonali di taglio indotte da un cedimento differenziale all'angolo dell'edificio, che sarà alternativamente sottoposto a rigonfiamento e cedimento. Dopo alcuni cicli questa parte dell'edificio sarà gravemente lesionata poiché l'ampiezza delle fessure sarà di parecchi centimetri.
- Fessure diagonali di taglio causate da un rigonfiamento differenziale al centro di uno dei lati dell'edificio.
- Fessure diagonali di taglio provocate da un rigonfiamento differenziale all'angolo dell'edificio.

Fondazioni continue

- Fessure diagonali di taglio causate da un rigonfiamento differenziale alla periferia dell'edificio. Si ha un rigonfiamento minimo agli angoli ed un rigonfiamento massimo al centro dell'edificio e di ciascun lato.
- Fessure verticali di trazione per flessione da un rigonfiamento differenziale con un massimo al centro dell'edificio.

Fondazioni a platea

- In un edificio su una platea i momenti di flessione della platea, dovuti ad un rigonfiamento differenziale al centro, vanno principalmente a trasmettere degli sforzi di flessione ai margini della struttura che si traducono con delle fessure orizzontali di trazione passanti per i punti di debolezza dell'edificio (ad esempio aperture delle finestre). Queste fessure orizzontali si uniscono a delle fessure diagonali secondarie.

5.1.3 INTERVENTI E RIMEDI AI DANNI PROVOCATI DAL FENOMENO DI RITIRO E RIGONFIAMENTO SUGLI EDIFICI

Per quanto riguarda la tipologia degli interventi, in relazione ai danni provocati alle strutture dell'edificio, si possono citare le seguenti:

Lesioni alle strutture portanti dell'edificio (strutture primarie)

- *Ripristino delle murature ordinarie fessurate*, per ricostruzione in muratura armata o non armata ed aggiunta di giunti di dilatazione che permettono all'edificio di "adattarsi" ai movimenti del suolo
- *Rigidificazione della struttura*: con solette in acciaio ancorate al muro unilateralmente o bilateralmente; con sistemi di incatenatura alta o bassa ancorata ai muri; con ancoraggio dei muri divisorii tramite forature e introduzione di barre di ferro (foratura armata) e iniezione di cemento.
- *Trasmissione dei carichi della fondazione in strati più competenti*, tramite successiva messa in posa di micropali a fila semplice o doppia.
- *Isolamento del terreno con geomembrane*.
- *Nei casi più estremi la demolizione e la ricostruzione della intera struttura*.

Lesioni alle strutture secondarie dell'edificio

Col termine strutture secondarie, si intendono le pavimentazioni, gli infissi, le pareti divisorie, le scale d'accesso esterne e le condutture interrato (es. condutture per la raccolta d'acqua). Generalmente si opera chiudendo le fessure con cemento o resine, con la rigidificazione della stessa tramite armature in acciaio e nei casi estremi con la sostituzione totale.

5.1.4 PROPOSTA DI REGOLAMENTAZIONE PER GLI EDIFICI DI NUOVA COSTRUZIONE E PER GLI EDIFICI ESISTENTI

edifici di nuova costruzione

- o Studio geotecnico sul terreno di fondazione
- o Controllo e regimazione delle acque di ruscellamento
- o Uso di un sottofondo impermeabile o geomembrane perimetriche (larghezza > 1.50 metri)

- Distanza minima per le piante
- Nessun pompaggio per acque domestiche in prossimità dell'edificio nel periodo estivo
- Nessun scantinato parziale
- Profondità delle fondazione > 0.80 metri per le zone mediamente soggette al fenomeno di ritiro-rigonfiamento e > 1.20 metri per le zone fortemente soggette
- Omogeneità nell'ancoraggio a monte e a valle
- Giunti di dilatazione tra edifici affiancati
- Concatenamento orizzontale e verticale dei muri portanti
- Aerazione delle caldaie poste negli scantinati

edifici esistenti

- Distanza minima per le nuove piante (vedi tabella 13)
- Studio del terreno nel caso si voglia modificare la profondità di ancoraggio delle fondazioni
- Divieto di pompaggio di acque ad uso domestico
- Potatura o abbattimento degli alberi già esistenti

5.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

Per la caratterizzazione del suolo e del primo sottosuolo del territorio del Comune di Stradella 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 Stradella.

I dati raccolti si riferiscono a:

- n°166 diagrafie relative a prove penetrometriche statiche "*cone penetration test*" (C.P.T. 01_166)
- n°45 diagrafie relative a prove penetrometriche dinamiche "*Dynamic Continuous Penetration Test*" con avanzamento di 10 centimetri (D.C.P.T.₁₀ 01_45)
- n°17 diagrafie relative a prove penetrometriche dinamiche "*Dynamic Continuous Penetration Test*" con avanzamento di 20 centimetri (D.C.P.T.₂₀ 01_17)
- n°45 diagrafia relativa a prove penetrometriche dinamiche "*Dynamic Continuous Penetration Test*" con avanzamento di 30 centimetri (D.C.P.T.₃₀ 01_45)
- n°29 stratigrafie relative a trincee geognostiche esplorative (T 01_29)
- n°15 stratigrafie relative a sondaggi geognostici a campionamento continuo (S 01_15)

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_166) 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_29) ed i sondaggi geognostici a campionamento continuo (S 01_15), 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 di numerose prove penetrometriche (statiche e dinamiche), che di alcune trincee esplorative eseguite in corrispondenza dei diversi depositi indagati, è stata rinvenuta la falda freatica. Il dato assume in ogni caso un'importanza relativa, in relazione al fatto che le prove medesime sono state eseguite in un intervallo di circa 10 anni e comunque in stagioni diverse.

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

Per quanto riguarda le aree precedentemente investigate, sulla base della rielaborazione delle prove penetrometriche statiche CPT "*cone penetration test*" (C.P.T. 01_116), si è cercato di fornire un giudizio geotecnico di tipo qualitativo del terreno di fondazione, ai fini di un eventuale riutilizzo dell'area per scopi edificatori, e comunque utile ad indirizzare la pianificazione territoriale.

I valori di R_p (resistenza alla punta) hanno consentito di suddividere il *range* dei valori misurati allo strumento in cinque classi, ad ognuna delle quali si è associata una stima qualitativa della portanza del terreno di fondazione, secondo il seguente rapporto:

R_p (Kg/cmq)	Valori di portanza stimati
< 10	bassi
10 < 20	medio - bassi
20 < 30	medi
30 < 40	medio - alti
> 40	alti

I risultati di queste valutazioni sono riassunti nelle tabelle seguenti.

Le aree caratterizzate dalla presenza fino a profondità uguale o addirittura maggiore di 10 metri di litologie prevalentemente limoso - argillose con limitata capacità portante, riportate in Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO", sono collocate principalmente in una fascia di territorio compresa tra il tracciato della ex S.S.10 "Padana Inferiore" e la linea ferroviaria Torino - Piacenza e, lateralmente, in un areale individuato tra via Vescola e la stessa ex S.S.10 "Padana Inferiore".

Aree più piccole ma comunque significative sono state cartografate: nei pressi dell'Area P.I.P. di Cascina Mattellotta, tra Via Brodolini e via Fanoli, tra Via Montalino e via Vena, in un tratto di versante retrostante la scuola media superiore, lungo Via Rocca e lungo Via Battisti.

È opportuno precisare, con riferimento alle pratiche esaminate, che la presenza di condizioni geotecniche sfavorevoli non è stata preclusiva della fattibilità degli interventi in progetto: in tali situazioni alcune volte è risultato necessario ricorrere a tecniche costruttive particolari (es. fondazioni su pali), la cui attuazione ha inoltre chiesto un'attenta valutazione del rapporto costi / benefici.

Resistenza alla punta Rp (Kg/cm ²) per intervalli di approfondimento								
n° Prova penetrometrica statica	1-3 m	3-5 m	5-7 m	7-9 m	9-11 m	11-13 m	13-15 m	15-17 m
CPT_001	21	31	43	33				
CPT_002	21	32	27	22	97			
CPT_003	18	23	24	25	89			
CPT_004	20	29	27	21				
CPT_005	34	35	16	21				
CPT_006	30	25	24	25				
CPT_007	22	33	32	191				
CPT_008		31	43	90	147			
CPT_009	36	34	24	68	118			
CPT_010	33	35	29	76	155			
CPT_011	32	20	27	34	39			
CPT_012	29	18	22	28	32	45	50	44
CPT_013	24	41	45	49	53	69		
CPT_014	42	37	29	23	112			
CPT_015	17	16	23	25	37	94		
CPT_016	22	20	38	36	33	70		
CPT_017	17	23	38	55	140			
CPT_018	46	37	23	109				
CPT_019	38	35	104					
CPT_020	20	65	85	78	93			
CPT_021	31	18	49	54	80			
CPT_022	144							
CPT_023	8	16	46	57	86			
CPT_024	19	34	45	63	87			
CPT_025	24	67	48	60	87			
CPT_026	21	35	47	61	88			
CPT_027	19	17	29	82	77	73		
CPT_028	18	27	51	127	140			
CPT_029	14	24	39	51	133			
CPT_030	33	44	39	42	46			
CPT_031	32	42	36	44	51			
CPT_032	66	195						
CPT_033	57	50	37	48	69	52		
CPT_034	31	38	34	51	69	62		
CPT_035	29	97	118					
CPT_036	61	89	120					
CPT_037	30	74	97					
CPT_038	24	40	26	27	66	251		
CPT_039	77	37	38	40				
CPT_040	84	43	38	34	50			
CPT_041	38	32	35	38	42			
CPT_042	44	40	46					
CPT_043	33	39	36	37				
CPT_044	25	30	19	23				
CPT_045	28	37	21	24				
CPT_046	23	32	20	24				
CPT_047	36	51	41					
CPT_048	86	46	85	129				
CPT_049	19	48	35	107	104			
CPT_050	22	34	31	40	87			
CPT_051	34	34	43	79	115			
CPT_052	43	75	62	69	118			
CPT_053	51	64	84	75	104			
CPT_054	68	58	86	94	98			
CPT_055	24	54	65					

Caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione in relazione ai valori di Rp misurati						
Rp (Kg/cm ²)	<10	10<20	20<30	30<40	>40	
Valori di portanza	bassi	medio-bassi	medi	medio-alti	alti	

Tabella 14/A

Caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione in relazione ai valori di Rp misurati desunti dalla rielaborazione delle prove penetrometriche statiche CPT eseguite a supporto degli interventi edilizi realizzati od in itinere in territorio comunale di Stradella

Resistenza alla punta Rp (Kg/cmq) per intervalli di approfondimento								
n° Prova penetrometrica statica	1-3 m	3-5 m	5-7 m	7-9 m	9-11 m	11-13 m	13-15 m	15-17 m
CPT_056	20	48	63					
CPT_057	26	36	38	38				
CPT_058	28	31	34	30				
CPT_059	35	39						
CPT_060	20	31	25	27	30	55	156	
CPT_061	34	37	24					
CPT_062	62	178	197					
CPT_063	17	18	38					
CPT_064	54	102	104					
CPT_065	40	26	42	102				
CPT_066	16	18	9	18	103	54	73	
CPT_067	20	18	43	65	122			
CPT_068	15	17	10	11	151			
CPT_069	14	18	36	131	152	137	378	
CPT_070	17	18	49	61	153			
CPT_071	14	31	73	108	185	127		
CPT_072	16	20	24	133	148	95		
CPT_073	11	23	20	79	145	96		
CPT_074	21	25	44	108	128	100		
CPT_075	24	57	33	25	23	206		
CPT_076	24	31	59					
CPT_077	21	81						
CPT_078	25	20	36	75				
CPT_079	25	22	43	77				
CPT_080	45							
CPT_081	46							
CPT_082	39							
CPT_083	22	29	28	32	34	169		
CPT_084	18	28	29	132				
CPT_085	25	27	140	211				
CPT_086	25	27	90	216				
CPT_087	25	25	134	212				
CPT_088	29	31	124	230				
CPT_089	30	31	119	233				
CPT_090	26	32	92	250				
CPT_091	13	23	28	76	129			
CPT_092	31	50	49	79				
CPT_093	44	67	96	155				
CPT_094	34	63	63					
CPT_095	22	13	12	49	17			
CPT_096	19	10	12	23	17			
CPT_097	20	29	33	28	265			
CPT_098	19	18	21	18	56			
CPT_099	16	21	14	28	30	45		
CPT_100	14	20	16	18	30	45		
CPT_101	27	18	17	101	349			
CPT_102	26	21	14	22	210			
CPT_103	22	23	118					
CPT_104	46	40	46	48	81			
CPT_105	39	29	34	49	84			
CPT_106	32	37	55	79	113			
CPT_107	32	32	58	57	73			
CPT_108	35	27	53	69	97			
CPT_109	49	45	63	136				
CPT_110	45	16	18	32	171			

Caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione in relazione ai valori di Rp misurati						
Rp (Kg/cmq)	<10	10<20	20<30	30<40	>40	
Valori di portanza	bassi	medio-bassi	medi	medio-alti	alti	

Tabella 14/B

Caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione in relazione ai valori di Rp misurati desunti dalla rielaborazione delle prove penetrometriche statiche CPT eseguite a supporto degli interventi edilizi realizzati od in itinere in territorio comunale di Stradella

Resistenza alla punta Rp (Kg/cm ²) per intervalli di approfondimento								
n° Prova penetrometrica statica	1-3 m	3-5 m	5-7 m	7-9 m	9-11 m	11-13 m	13-15 m	15-17 m
CPT_111	26	15	14	32	155			
CPT_112	37	15	27	27	106			
CPT_113	27	48	28	147	152			
CPT_114	32	27	24	123	129			
CPT_115	23	23	28	71	147			
CPT_116	18	14	16	52	153			
CPT_117	20	18	24	39	138			
CPT_118	31	85	103	95				
CPT_119	31	160	144	126				
CPT_120	31	129	118	145				
CPT_121	54	50	39	40				
CPT_122	63	40	38	40				
CPT_123	61	46	41	38				
CPT_124	24	38	30	32	23			
CPT_125	26	38	22	30	29			
CPT_126	25	37	26	32	25			
CPT_127	25	37	29	32	25			
CPT_128	25	35	27	33	25			
CPT_129	30	33	20	28	27			
CPT_130	27	29	55	78	62			
CPT_131	41	54	163					
CPT_132	18	37	56	33	61	104		
CPT_133	18	29	49	33	249			
CPT_134	27	36	25	27	22			
CPT_135	28	71						
CPT_136	29	50	37	48				
CPT_137	25	38	36	38	32			
CPT_138	22	43	47	29	47			
CPT_139	27	36	47	45	68			
CPT_140	27	37	32	41	54			
CPT_141	26	43	35	40	53			
CPT_142	20	42	32	37	34			
CPT_143	46	38	41	44	45	45		
CPT_144	36	38	39	42	44	44		
CPT_145	38	59	63	64				
CPT_146	23	62	374					
CPT_147	22	74	99					
CPT_148	58	76	134					
CPT_149	20	145						
CPT_150	68	44	69					
CPT_151	16	26	68	158				
CPT_152	21	68	61	151				
CPT_153	133							
CPT_154	22	49	70	151				
CPT_155	30	49	42	72				
CPT_156	31	130						
CPT_157	25	110						
CPT_158	18	21	147					
CPT_159	39	36	36	29	33	59		
CPT_160	39	37	34	27	26	24	27	
CPT_161	37	36	33	20	35	30		
CPT_162	35	41	28	30	35	32	33	51
CPT_163	36	40	33	20	31	29		
CPT_164	32	40	32	18	35	62		
CPT_165	39	31	34	17	34	57		
CPT_166	39	32	34	19	38	67		

Caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione in relazione ai valori di Rp misurati						
Rp (Kg/cm ²)	<10	10<20	20<30	30<40	>40	
Valori di portanza	bassi	medio-bassi	medi	medio-alti	alti	

Tabella 14/C

Caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione in relazione ai valori di Rp misurati desunti dalla rielaborazione delle prove penetrometriche statiche CPT eseguite a supporto degli interventi edilizi realizzati od in itinere in territorio comunale di Stradella

5.3 GRADO DI PROTEZIONE DELL'ACQUIFERO SFRUTTATO AD USO IDROPOTABILE (SETTORE PIANEGGIANTE) E DI QUELLO SUPERFICIALE (SETTORE COLLINARE)

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 (setto pianeggiante del territorio comunale di Stradella) ovvero dell'acquifero superficiale (setto collinare) si è tentato di fornirne una valutazione preliminare di carattere applicativo del grado di protezione della falda.

Per quanto riguarda il grado di protezione dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile (setto pianeggiante del territorio comunale di Stradella), si fa riferimento a quanto descritto al capitolo 3 ed in particolare al paragrafo 3.4.1 della presente relazione, ed alle considerazioni idrogeologiche dedotte esaminando la stratigrafia dei pozzi comunali censiti ed attualmente utilizzati ad uso idropotabile (refer. Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO"). Nel complesso, al fine della protezione delle acque sotterranee, dai dati raccolti (considerando anche le stratigrafie delle altre captazioni censite), emerge che il territorio studiato è dotato di depositi superficiali (da piano campagna sino alla quota di emungimento della falda) dati prevalentemente di tipi litologici impermeabili (argille), localmente alternati, sia in orizzontale che in verticale, da orizzonti permeabili -sabbie, ghiaie- o mediamente permeabili - sabbie limose o limoso - argillose.

Per quanto riguarda il grado di protezione dell'acquifero superficiale (setto collinare del territorio comunale di Stradella), dal punto di vista idrogeologico l'indagine ha verificato la presenza nel primo sottosuolo di una modesta falda freatica, generalmente profonda e arealmente discontinua. L'assetto idrogeologico di questo orizzonte acquifero - come già evidenziato nel paragrafo 3.4.4 -, risulta strettamente condizionato dall'andamento del tetto del substrato sul quale esso appoggia, dallo spessore delle coperture (coltre di alterazione eluvio - colluviale e depositi alluvionali terrazzati) e da possibili locali intercalazioni di livelli semipermeabili, in grado di far assumere alla falda stessa caratteri di blanda artesianità.

Per tale motivo non sempre è possibile stabilire se i livelli riscontrati nei pozzi di misura siano da attribuirsi alla reale morfologia della falda o alla sua occasionale risalita.

Nell'area collinare dello "Sperone di Stradella" sono stati censiti, durante una campagna di rilevamento condotta nel periodo febbraio-marzo 1999, 30 pozzi per acqua (refer. Tavola n°4 "CARTA IDROGEOLOGICA E DEL SISTEMA IDROGRAFICO"); per quanto riguarda l'ambito collinare, la loro distribuzione è prevalentemente concentrata nelle aree di crinale, in corrispondenza dei principali nuclei abitati. Si tratta per lo più di vecchi pozzi in muratura, realizzati a mano e originariamente usati per uso potabile o a scopo agricolo, per le colture vitivinicole. Molti risultano in disuso, ma possono ancora essere utilizzati come piezometri. I dati raccolti sono comunque sufficienti per evidenziare la presenza di una modesta falda freatica.

Attraverso la valutazione dei dati raccolti si è quindi giunti all'individuazione, nell'ambito del territorio comunale, di cinque aree con diverso grado di protezione idrogeologica, evidenziate con apposite retinature e con diversa colorazione in Tavola n°6 "CARTA GEOLOGICO - APPLICATIVA DI CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO E DEL PRIMO SOTTOSUOLO".

GRADO DI PROTEZIONE BASSO O NULLO

Aree golenali del fiume Po, rilevate di alcuni metri rispetto all'alveo attivo del fiume ed interessate da apporti alluvionali durante le rotte del 1951, del 1994 e del 2000.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°53 (refer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

GRADO DI PROTEZIONE MEDIO-BASSO

Aree in frana quiescente

Aree in frana stabilizzata

Coltre eluvio - colluviale associata alla formazione dei Conglomerati di Cassano Spinola a permeabilità medio - alta

Ventagli di rotta del fiume Po, corrispondenti a recenti episodi di tracimazione (1951, 1994 e 2000) e in parte sovrapposti a rotte di epoca precedente.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°45 (refer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Meandri abbandonati del Po, situati in posizione depressa rispetto alle aree circostanti, spesso attraversati da canali di ridotte dimensioni e con frequenti evidenze di idromorfia

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°51 (refer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Superfici nastriformi di ridotte dimensioni corrispondenti al recente piano di divagazione dei meandri del torrente Versa a pendenza debole (1-2%), caratterizzati dalla presenza di suoli molto profondi su substrato sabbioso ghiaioso; rischio di inondazione lieve.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°54 (refer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

GRADO DI PROTEZIONE MEDIO

Coltre eluvio - colluviale associata alla formazione Gessoso - Solfifera a media permeabilità.

Settori pianeggianti del fluviale Recente, con coltre di copertura semipermeabile.

Paleosuperfici molto antiche ed ondulate, poste a diretto contatto con la parte collinare appenninica su formazioni pre-quadernarie. Sono caratterizzate da pendenza moderatamente elevata (15-25%) e da debole suscettività all'erosione; substrato sabbioso-ghiaioso, con forti evidenze di alterazione.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°16 (refer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Paleosuperfici ampie e debolmente ondulate situate ai piedi di unità più antiche, localizzate a nord di Stradella, a substrato sabbioso-limoso.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°24 (refer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

GRADO DI PROTEZIONE MEDIO-ALTO

Settori pianeggianti del fluviale Recente, con coltre di copertura impermeabile localmente associata alla presenza a ridotta profondità di orizzonti mediamente permeabili, dati da sabbie limose o limoso - argillose.

Settori collinari (fluviale Medio e Antico) con coltre di copertura impermeabile. Aree di raccordo tra i ripiani terrazzati, a blanda pendenza e contraddistinte da una copertura argilloso - limosa.

Paleosuperfici ondulate situate tra Broni ed il Torrente Bardonezza, rilevate di circa 8-10 metri sulla prospiciente pianura, pendenza debole (1-2%), substrato limoso - argilloso.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°20 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Scarpate ed incisioni con profilo a "V" che separano le superfici sommitali dei terrazzi rissiani dalla prospiciente pianura; pendenza moderatamente elevata (15-25%) con debole suscettività all'erosione; substrato limoso argilloso.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°22 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Lembi di terrazzi antichi rilevati di alcuni metri sui fondovalle del torrente Versa; pendenza debole (1-2%), substrato sabbioso-limoso con deboli evidenze di alterazione.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°26 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Superfici isolate e debolmente ondulate poste nella fascia pedecollinare fra Casteggio e Stradella, a substrato argilloso - limoso.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°32 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Fondovalle appenninici del torrente Versa; pendenza debole (1-2%), substrato argilloso.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°43 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

GRADO DI PROTEZIONE ELEVATO

Coltre eluvio - colluviale associata al membro marnoso - argilloso basale delle Marne di Sant'Agata Fòssili, a permeabilità bassa o nulla.

Paleosuperfici sommitali dei ripiani terrazzati, oppure più recenti e poste a quote generalmente inferiori (fluviale Medio e Antico), a pendenza moderata (5-15%). Substrato sabbioso-ghiaioso, con forti evidenze di alterazione.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°17 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Superfici antiche lievemente depresse poste fra Casanova Lonati e Parpanese; substrato argilloso, presenza di canali e scoline, soprattutto nelle parti centrali delle depressioni di maggiori dimensioni.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°39 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

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°9 "CARTA DI SINTESI") che fornisce, per tutto il territorio del Comune di Stradella, 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 sfruttato ad uso idropotabile (settore pianeggiante del territorio comunale di Stradella) e dell'acquifero superficiale (settore collinare) 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 soggiacenti;
- 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°9 "CARTA DI SINTESI", attraverso la valutazione dei dati raccolti si è quindi giunti all'individuazione, nell'ambito del territorio comunale di Stradella, di cinque aree con diverso grado di vulnerabilità idrogeologica variabili fra *basso o nullo* ed *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.

GRADO DI VULNERABILITÀ ELEVATO

Aree golenali del fiume Po, rilevate di alcuni metri rispetto all'alveo attivo del fiume ed interessate da apporti alluvionali durante le rotte del 1951, del 1994 e del 2000.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°53 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO – ALTO

Aree in frana quiescente

Aree in frana stabilizzata

Coltre eluvio - colluviale associata alla formazione dei Conglomerati di Cassano Spinola a permeabilità medio – alta

Ventagli di rotta del fiume Po, corrispondenti a recenti episodi di tracimazione (1951, 1994 e 2000) e in parte sovrapposti a rotte di epoca precedente.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°45 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Meandri abbandonati del Po, situati in posizione depressa rispetto alle aree circostanti, spesso attraversati da canali di ridotte dimensioni e con frequenti evidenze di idromorfia

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°51 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Superfici nastriformi di ridotte dimensioni corrispondenti al recente piano di divagazione dei meandri del torrente Versa a pendenza debole (1-2%), caratterizzati dalla presenza di suoli molto profondi su substrato sabbioso ghiaioso; rischio di inondazione lieve.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°54 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO

Coltre eluvio - colluviale associata alla formazione Gessoso - Solfifera a media permeabilità.

Settori pianeggianti del fluviale Recente, con coltre di copertura semipermeabile.

Paleosuperfici molto antiche ed ondulate, poste a diretto contatto con la parte collinare appenninica su formazioni pre-quadernarie. Sono caratterizzate da pendenza moderatamente elevata (15-25%) e da debole suscettività all'erosione; substrato sabbioso-ghiaioso, con forti evidenze di alterazione.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°16 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Paleosuperfici ampie e debolmente ondulate situate ai piedi di unità più antiche, localizzate a nord di Stradella, a substrato sabbioso-limoso.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°24 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO – BASSO

Settori pianeggianti del fluviale Recente, con coltre di copertura impermeabile localmente associata alla presenza a ridotta profondità di orizzonti mediamente permeabili, dati da sabbie limose o limoso - argillose.

Settori collinari (fluviale Medio e Antico) con coltre di copertura impermeabile. Aree di raccordo tra i ripiani terrazzati, a blanda pendenza e contraddistinte da una copertura argilloso – limosa.

Paleosuperfici ondulate situate tra Broni ed il Torrente Bardonezza, rilevate di circa 8-10 metri sulla prospiciente pianura, pendenza debole (1-2%), substrato limoso - argilloso.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°20 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Scarpate ed incisioni con profilo a "V" che separano le superfici sommitali dei terrazzi rissiani dalla prospiciente pianura; pendenza moderatamente elevata (15-25%) con debole suscettività all'erosione; substrato limoso argilloso.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°22 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Lembi di terrazzi antichi rilevati di alcuni metri sui fondovalle del torrente Versa; pendenza debole (1-2%), substrato sabbioso-limoso con deboli evidenze di alterazione.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°26 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Superfici isolate e debolmente ondulate poste nella fascia pedecollinare fra Casteggio e Stradella, a substrato argilloso - limoso.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°32 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Fondovalle appenninici del torrente Versa; pendenza debole (1-2%), substrato argilloso.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°43 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

GRADO DI VULNERABILITÀ BASSO O NULLO

Coltre eluvio - colluviale associata al membro marnoso - argilloso basale delle Marne di Sant'Agata Fòssili, a permeabilità bassa o nulla.

Paleosuperfici sommitali dei ripiani terrazzati, oppure più recenti e poste a quote generalmente inferiori (fluviale Medio e Antico), a pendenza moderata (5-15%). Substrato sabbioso-ghiaioso, con forti evidenze di alterazione.

Corrispondenti alla Unità Cartografica di Suolo n°17 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Superfici antiche lievemente depresse poste fra Casanova Lonati e Parpanese; substrato argilloso, presenza di canali e scoline, soprattutto nelle parti centrali delle depressioni di maggiori dimensioni.

Corrispondenti alla U.C.S n°39 (rifer. Tav. n°2 "CARTA PEDOLOGICA").

Va infine sottolineato come, in particolare, il grado di vulnerabilità dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile (settore pianeggiante del territorio comunale di Stradella), 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 dei terreni di copertura superficiali.

Vengono di seguito definiti gli ambiti di pericolosità / vulnerabilità che costituiscono la legenda della CARTA DI SINTESI.

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 pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti

- Aree di frana quiescente
- Aree a pericolosità potenziale legate alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprensive delle aree di possibile accumulo: versanti collinari da poco acclivi a mediamente acclivi, con inclinazione generalmente compresa tra 15° - 20°, localmente a morfologia irregolare. Copertura eluvio-colluviale dotata di spessori medio - elevati; possibile formazione di effimere falde idriche al passaggio con la parte superiore del substrato. Substrato marnoso - argilloso di consistenza e struttura variabili, localmente con giacitura sfavorevole.

Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico

- Aree a diverso grado di vulnerabilità idrogeologica (*) dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile (settore pianeggiante) e di quello superficiale (settore collinare) nei confronti di potenziali agenti inquinanti liquidi o idrovesicolati
 - GRADO DI VULNERABILITÀ ELEVATO
 - GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO-ALTO
 - GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO
 - GRADO DI VULNERABILITÀ MEDIO - BASSO
 - GRADO DI VULNERABILITÀ BASSO O NULLO
- (*) 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 (settore pianeggiante del territorio comunale di Stradella) ovvero dell'acquifero superficiale (settore collinare)
- Aree precedentemente scavate / cave dismesse (refer. Catasto Cave Cessate - P.C.P. Provincia di Pavia - marzo 2004)
- Zone interessate dalla presenza di piccole falde sospese contenute entro la coltre di copertura del primo acquifero continuo
- Zone con coltre di copertura semipermeabile

Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

- Aree golenali del fiume Po
- Aree potenzialmente soggette a fenomeni alluvionali in concomitanza ad eventi di piena del Fiume Po

- Aree pianeggianti ascrivibili alle alluvioni Attuali e Recenti del torrente Versa, già allagate in tutto o in parte in occasione di precedenti eventi esondativi dello stesso torrente Versa, individuate rispetto ad un tempo di ritorno $Tr = 200$ anni della piena di riferimento e nelle quali non risultano realizzate ovvero risultano realizzate solo in parte adeguate opere di difesa idraulica.
- Aree pianeggianti ascrivibili alle alluvioni Attuali e Recenti del torrente Versa, potenzialmente allagabili in occasione di eventi esondativi catastrofici dello stesso torrente Versa, individuate rispetto ad un tempo di ritorno $Tr = 500$ anni della piena di riferimento e nelle quali non risultano realizzate opere di difesa idraulica.
- Aree potenzialmente soggette ad allagamento in relazione all'esondazione dei fossi di scolo in occasione di eventi meteorici eccezionali, con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici ed infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche

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

- Aree con riporto di materiale, aree colmate
- Aree con suscettibilità al fenomeno di ritiro-rigonfiamento dei suoli elevata
- Aree caratterizzate dalla presenza sino a profondità di 10 - 12 metri dal p.c. di orizzonti di terreno di spessore plurimetrico a limitata capacità portante: argille e limi soffici, con valori di R_p misurati inferiori a 20 Kg / cmq
- Frane stabilizzate, con caratteristiche geotecniche scadenti e limitata capacità portante

Beni di interesse paesaggistico (geositi)

Nella Tavola n°9 "CARTA DI SINTESI" sono stata infine riportate le aree meritevoli di particolare tutela o salvaguardia (ambiti di particolare interesse geologico, geomorfologico, naturalistico) sulle quali il comune potrebbe proporre un "vincolo", oggetto del quadro conoscitivo del territorio comunale all'interno del Documento di Piano (L.R. 12/05, art. 8, comma 1, punto b). Ne discende la loro individuazione all'interno del Piano delle Regole, con inerenza alle aree di valore paesaggistico - ambientale ed ecologico (L.R. 12/05 art. 10, comma 1, punto e, numero 2).

Per quanto riguarda il territorio comunale di Stradella, è stata individuata, in quanto di particolare interesse idrogeologico, la *Sorgente di Santa Maria*.

Interventi in aree di dissesto o di prevenzione in aree di dissesto potenziale

Nella Tavola n°9 "CARTA DI SINTESI" vengono infine individuate le opere realizzate per la mitigazione del rischio idraulico in corrispondenza dell'alveo del torrente Versa, per le quali la corretta e periodica manutenzione risulta determinante al fine di preservare il corretto assetto idraulico ed idrogeologico del corso d'acqua.

6.3 ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI D'INGRESSO

La Tavola n°10 "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 15.

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

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

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

<i>Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti</i>	
Aree di frana quiescente	4
Aree a pericolosità potenziale legate alla presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii inclinati, comprensive delle aree di possibile accumulo: versanti collinari da poco acclivi a mediamente acclivi, con inclinazione generalmente compresa tra 15° - 20°, localmente a morfologia irregolare. Copertura eluvio-colluviale dotata di spessori medio - elevati; possibile formazione di effimere falde idriche al passaggio con la parte superiore del substrato. Substrato marnoso - argilloso di consistenza e struttura variabili, localmente con giacitura sfavorevole.	3
<i>Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico</i>	
Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica ELEVATO (*)	3
Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica MEDIO - ALTO (*)	3
Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica MEDIO (*)	2
Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica MEDIO - BASSO (*)	2
Aree a grado di vulnerabilità idrogeologica BASSO O NULLO (*)	1
Aree precedentemente scavate (cave dismesse)	3
Zone interessate dalla presenza di piccole falde sospese contenute entro la copertura del primo acquifero continuo	3
Zone con coltre di copertura semipermeabile	2

<i>Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico</i>	
Aree golenali del fiume Po	4
Aree potenzialmente soggette a fenomeni alluvionali in concomitanza ad eventi di piena del Fiume Po	4
Aree pianeggianti ascrivibili alle alluvioni Attuali e Recenti del torrente Versa, già allagate in tutto o in parte in occasione di precedenti eventi esondativi dello stesso torrente Versa, individuate rispetto ad un tempo di ritorno $Tr = 200$ anni della piena di riferimento e nelle quali non risultano realizzate ovvero risultano realizzate solo in parte adeguate opere di difesa idraulica	4
Aree pianeggianti ascrivibili alle alluvioni Attuali e Recenti del torrente Versa, potenzialmente allagabili in occasione di eventi esondativi catastrofici dello stesso torrente Versa, individuate rispetto ad un tempo di ritorno $Tr = 500$ anni della piena di riferimento e nelle quali non risultano realizzate opere di difesa idraulica	3
Aree potenzialmente soggette ad allagamento in relazione all'esondazione dei fossi di scolo in occasione di eventi meteorici eccezionali, con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici ed infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche	3
<i>Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche</i> <i>Aree che potenzialmente possono presentare problematiche di tipo geotecnico</i>	
Aree con riporto di materiale, aree colmate	3
Aree con suscettibilità al fenomeno di ritiro-rigonfiamento dei suoli elevata	2
Aree caratterizzate dalla presenza sino a profondità di 10 - 12 metri dal p.c. di orizzonti di terreno di spessore plurimetrico a limitata capacità portante: argille e limi soffici, con valori di R_p misurati inferiori a 20 Kg / cmq	3
Frane stabilizzate, con caratteristiche geotecniche scadenti e limitata capacità portante	3

Tabella 15

Classi di ingresso dei poligoni individuati nella carta di sintesi

(*) riferita al primo acquifero sfruttato ad uso idropotabile (settore pianeggiante)
 ovvero all'acquifero superficiale (settore collinare)

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

- le aree a grado di vulnerabilità idrogeologica MEDIO - ALTO (classe di ingresso 3) localmente coincidono con aree in frana quiescente (classe di ingresso 4),

- le aree a grado di vulnerabilità idrogeologica MEDIO (classe di ingresso 2) localmente coincidono con:
 - zone interessate dalla presenza di piccole falde sospese contenute entro la copertura del primo acquifero continuo (classe di ingresso 3);
 - aree ad alta suscettibilità dei suoli al fenomeno di ritiro-rigonfiamento (classe di ingresso 3);
 - aree caratterizzate dalla presenza sino a profondità di 10 - 12 metri dal p.c. di orizzonti di terreno di spessore plurimetrico a limitata capacità portante: argille e limi soffici, con valori di Rp misurati inferiori a 20 Kg / cmq (classe di ingresso 3)
- le aree a grado di vulnerabilità idrogeologica MEDIO - BASSO (classe di ingresso 2) localmente coincidono con zone interessate dalla presenza di piccole falde sospese contenute entro la copertura del primo acquifero continuo (classe di ingresso 3);
- le zone con coltre di copertura semipermeabile (classe di ingresso 2) localmente coincidono con aree ad alta suscettibilità dei suoli al fenomeno di ritiro-rigonfiamento (classe di ingresso 3).

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, con riferimento alle *Norme geologiche di Piano* – sottoclassi di fattibilità 2A e 2B. Tali aree sono pertanto anch'esse soggette all'applicazione del D.M. 14 gennaio 2008.

Nella Tavola 10 "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, giugno 2008

Il Professionista Incaricato
Dott. Geol. Daniele Calvi

BIBLIOGRAFIA CONSULTATA

AQUATER S.P.A. - TECNECO (1981-1984) - *Progetto Speciale Oltrepò - Proposta di Piano di riassetto globale del territorio - ai sensi dell'art.2 della L.R. n°59/78* - Piano per il riassetto territoriale dell'Oltrepò Pavese. Carte litologiche 1:25.000: fogli Montalto Pavese, Torrazza Coste, Stradella, Castel San Giovanni, Casteggio. Regione Lombardia, Ufficio Speciale per l'Oltrepò Pavese.

ARCA S., BERETTA G.P. (1985) - *Prima sintesi geodetica-geologica sui movimenti verticali del suolo nell'Italia settentrionale*. Anno XLIV Bollettino di geodesia e affini -n°2 pp. 125-157.

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.

BEATRIZZOTTI G., BELLINZONA G., BELTRAMI G., BONI A., BRAGA G., MARCHETTI G., MOSNA S. (1969) - *Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000, Foglio 71 "Voghera"* II edizione, Servizio Geologico d'Italia, Roma.

BELLINZONA G., BONI A., BRAGA G., MARCHETTI G. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 71 "Voghera"* Nuova Tecnica Grafica, 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 P. ET ALII (1996) - *Considerazioni preliminari sulla morfologia e sul reticolo idrografico dell'Appennino settentrionale tra i torrenti Orba (AL) e Nure (PC)*. Il Quaternario, 9 (1), 233-238, Roma.

BONI, A. (1957) - *Elementi per la struttura geologica della porzione di NW dell'Appennino settentrionale*. La Ricerca Scientifica, 27/10:2977-2987.

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. (1972) - *La degradazione dei versanti nell'alta vai Tidone (Appennino Pavese-Piacentino)* Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, Vol.13, Pavia

BRAGA G. ET 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. ET ALII (1985) - *I fenomeni franosi nell'Oltrepò Pavese: tipologia e cause*. Geol. Appl. e Idrogeol., Bari, vol. 20, parte II, pp.621-666.

BRAGA G., MEISINA C. (2000) - *Caratteristiche geologiche e geotecniche che condizionano la stabilità delle fondazioni di edifici storici: esempi nell'Oltrepò Pavese (Lombardia Italia)*. "Quary – Laboratori – Monument" International Congress – Pavia.

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. ET AL. (1985) - *I fenomeni franosi nell'Oltrepò Pavese: tipologia e cause*. Geol. App. e Idrogeol., XX, 2: 621-666.

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.

BRAGA, G., MARCHETTI, G. (1978) - *L'incidenza delle faglie sulla franosità dei pendii: esempi nell'Appennino settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., 19: 111-118.

BRAGA, G., ZEZZA, U. (1995) - *Le rocce gessose dell'Appennino Pavese: coltivazione, proprietà fisico-meccaniche e impieghi nell'edilizia*. Mem. Soc. Geol. It., LI, 3: 210-222.

BRAGHIERI, R., MAGGI, D., PICCIO, A. (1997) - *I movimenti franosi nel territorio di S. Giuletta (Pavia)*. Pubbl. 1646 GNDCI, Atti Tic. Sc. Terra, 33.

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., DI GIULIO A., GALBIATI B., MOSNA S., PEROTTI C.R. & PIERI M. (1989) - *Carta geologica dell'estremità orientale del Bacino Terziario Ligure - Piemontese*. Atti Tic. Sc della Terra, Vol.XXXII.
- 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.
- CERRINA FERONI A., MARTELLI L., MARTINELLI P., OTTRIA G., CATANZARITI R. (2002) - *Note illustrative alla Carta Geologico - Strutturale dell'Appennino Emiliano - Romagnolo - Scala 1:250000*. S.E.L.C.A. , Firenze.
- CI.VI.FRUCCE - Centro Regionale per l'incremento della Vitivicoltura, Frutticoltura e Cerealicoltura - *Dati di temperatura e piovosità relativi alla stazione di misura di Rovescala. Periodi di riferimento 1987-1997*.
- COBIANCHI M., PICCIN A., VERCESI P.L. (1994) - *La Formazione di Val Luretta (Appennino piacentino). Nuovi dati litostratigrafici e biostratigrafici*. Atti Tic. Sc. Terra. 37: 235-262.
- 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.
- DALLAGIOVANNA, G., MARCHETTI, G., VERCESI, P.L. (1991) *Sulla presenza di spezzoni di successioni giurassiche nel "complesso indifferenziato" dell'Appennino pavese-piacentino*. Rend. Soc. Geol. It., 14: 37-42.
- DRISCOLL R. (1983) - *The influence of vegetation on swelling and shrinkage of clays in Britain*. Geotechnique 33 (2), 93-106.
- ENTE REGIONALE DI SVILUPPO AGRICOLO DELLA LOMBARDIA. *Aggiornamenti di agrometeorologia e pedologia*. Quaderno n°18 Commento climatico all'annata agraria 1996
- ENTE REGIONALE DI SVILUPPO AGRICOLO DELLA LOMBARDIA. *Progetto "Carta Pedologica" Regione Lombardia* (E.R.S.A.L. 2001) "I suoli della Pianura Pavese Centrale - serie SSR n°33" "I suoli dell'Oltrepò Pavese - serie SSR n°34
- GATTI G., POZZI R. (1979) - *Interventi di consolidamento in aree dissestate dell'Oltrepò Pavese*. Gel. Appl. e Idrogeol., vol. 14/3, pp. 35-52, Bari.
- GELATI R., BRUZZI D., CATASTA G., CATTANEO P.C. (1974) - *Evoluzione stratigrafico - strutturale dell'Appennino Vogherese a NE della Val Staffora*. Atti Ist. di Geol. e Paleont. dell'Univ. degli Studi di Milano, 154: 483-493.
- GELATI R., MANCUSO M., MASSIOTTA P. (1986) - *Il settore Nord-Occidentale dell'Appennino settentrionale: inquadramento geologico*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 35, 11-16.
- GELATI R., MASSIOTTA P. (1974) - *Indizi geomorfologici di deformazioni neotettoniche lungo la "Linea Villalvernia - Varzi - Bobbio" (Appennino Settentrionale)*. Rend. Sc. Ist. Lombardo, III: 79-88.
- GELATI R., MASSIOTTA P., SFONDRINI G. (1978) - *Saggi di cartografia geoambientale, Carta Geologica; Carta della Geologia superficiale e dei processi geomorfici in atto; Carta Geoambientale del bacino del torrente Aronchio (Val Staffora, Pavia)*. CNR - P.F. "promozione della Qualità dell'ambiente", Roma.

GELATI R., MASSIOTTA P., SFONDRINI G. (1979) - *I lineamenti strutturali del settore NW dell'Appennino settentrionale*. Mem. Soc. Geol. It., vol. 19, pp. 437-443, Roma.

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.

GUAGNINI G., GELATI R., SFONDRINI G., SOGGETTI F., VENIALE F. (1975) - *Principali dissesti franosi dell'Appennino Pavese in rapporto alla litologia e alla struttura geologica*. Estr. Conv. Mineralogia delle argille e Meccanica dei terreni. Applicazioni allo studio delle frane, Pavia.

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.

MANCUSO M., MASSIOTTA P., SFONDRINI G. & STERLACCHINI S. (1992) - *La franosità nel bacino del Torrente Versa (PV) - Evoluzione nel tempo e nello spazio*. Convegno Internazionale "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", pp. 431-442. Pubblicazione CNR del G.N.D.C.I. n. 1817.

MANTELLI L., YEREESI P.L. (2000) - *Evoluzione morfostrutturale recente del Pedepennino Vogherese – Tortonese*. Atti Tic. Se. Terra, 41,49-58.

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.

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

MASSIOTTA P., SFONDRINI G. (1979) - *La cartografia geo-ambientale nell'ambito del territorio dell'Oltrepò pavese*. Geol. Appl. e Idrogeol., 14/3: 61-66.

MEISINA C. (1996) - *Criteri e metodi per la valutazione della capacità di rigonfiamento di alcuni terreni e suoli affioranti nel territorio Pavese*. Dottorato di ricerca in Sc. Della Terra VIII ciclo 1996.

MEISINA C., CHASSAGNEUX D., MONGE O. (2001) - *Swelling-shrinkage hazard prevention using thematic maps : some examples in the French area*. Mem. Soc. Geol. It., 56 (2001), 353-365, 9 ff., 3 tabb.

MOUROUX P., MARGROM P., PINTÉ J.C. (1988) - *La construction économique sur sols gonflant*. Bureau de Recherches Géologique et Minières - Manuels et méthodes n. 14 , Orléans.

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. Terra, 34: 11-22.
- 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).
- PEROTTI C.R. (1995) - *Analisi strutturale dei depositi conglomeratici neogenici affioranti lungo il margine padano dell'Appennino pavese-piacentino*. Atti Tic. Sc. della Terra 1995 (Serie speciale) 3, 89-98, 6 figg.
- PHILIPPONAT G. (1991) - *Retrait gonflement des argiles, préposition de méthodologie*. Rev.Franc Géotech, 57, pp5-22
- PICCIO A., SETTI M., VENIALE F. (1990) - *Caratterizzazione mineralogico-geotecnica delle Marne di S. Agata Fossili (Appennino vogherese tortonese/PV-AL)*. Atti Conv. SIMP. Bologna.
- 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 (1998) - *Valutazione della stabilità dei versanti in condizioni statiche e dinamiche nella zona campione dell'Oltrepò Pavese*. Regione Lombardia – IRRS - Milano.
- REGIONE LOMBARDIA (1999) - *Scenari di rischio idrogeologico in condizioni dinamiche per alcuni versanti tipo dell'Oltrepò Pavese valutati tramite caratterizzazione geotecnica*. Regione Lombardia - IRRS - Milano.
- REGIONE LOMBARDIA, ENI DIVISIONE AGIP (2002) - *Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia*.
- ROSSETTI R. & OTTONE C. (1979) - *Esame preliminare delle condizioni pluviometriche dell'Oltrepò Pavese e dei valori critici delle precipitazioni in relazione ai fenomeni di dissesto franoso*. Gel. Appl. e Idrogeol., vol. 14/3, pp. 83-99, Bari.
- ROSSETTI R. (1997) - *Centri abitati instabili della Provincia di Pavia. Vol.1 - Centri interessati da provvedimento di risanamento, consolidamento o trasferimento*. Pubblicazione CNR-GNDICI n°1780.

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

SCAGNI G. & VERCESI P.L. (1987) - *Il Messiniano tra la valle Versa e la valle Staffora (Appennino pavese-vogherese). Considerazioni paleogeografiche*. Atti Tic. Sc. della Terra 31, 1-20.

SFONDRINI G. (1981) - *Metodologia geologico - tecnica per la prevedibilità del rischio frana nell'Oltrepò Pavese*. Estr. Geol. Appl. e Idrogeol., Bari, v.14, 67-81.

TROPEANO D. – GOVI M. – MORTARA G. – TURITTO O. – SORZANA P. – NEGRINI G. – ARATTANO M. (1999) - *Eventi alluvionali e frane nell'Italia Settentrionale – Periodo 1975-1981*. C.N.R. – Pubblicazione n°1927 del GNDCI.

VERCESI P.L. & SCAGNI G. (1985) - *Osservazioni sui depositi conglomeratici dello sperone collinare di Stradella*. Rend. Soc. Geol. It., 7 (1984), 23-26, 2 ff.