



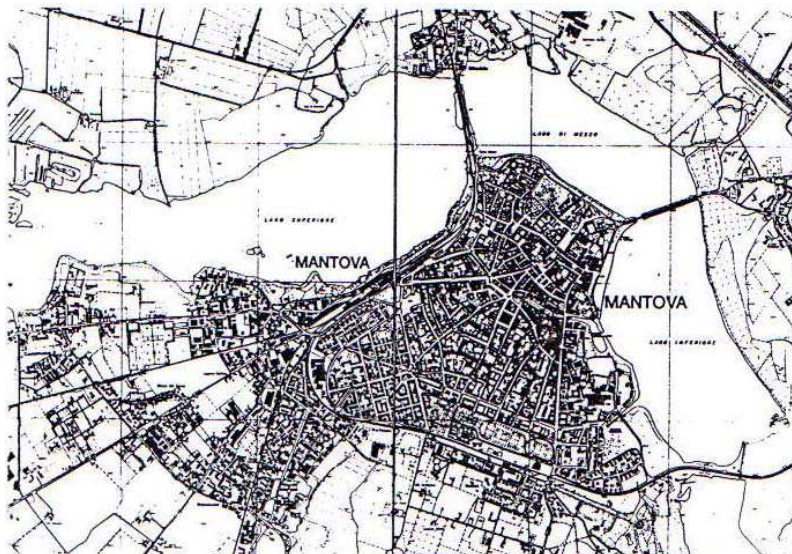
ATLANTIDE STUDIO

DI DOTT. GIORGIO LA MARCA

CONSULENZE GEOLOGICHE E AMBIENTALI

Via Circonvallazione, 15 - 46040 Gazoldo degli Ippoliti (MN)

tel./fax: 0376 657806



STUDIO GEOLOGICO-TECNICO

(ai sensi della L.R. n. 12 dell'11 marzo 2005 e della D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011)

PARTE PRIMA - RELAZIONE GEOLOGICA GENERALE

Elaborato adeguato alle prescrizioni di Regione Lombardia (parere prot. 125985 del 14.12.2022)

Il Committente:



COMUNE DI MANTOVA
SETTORE TERRITORIO E AMBIENTE
Via Roma, 39
46100 Mantova

Il Tecnico:

Giugno 2023

Collaboratori:

Dott. Geologo Alberto Baracca

Via dell'Unicef, 9 – 46033 Castel d'Ario (MN)

Dott. Geologo Alberto Corradini

Via Gandolfo, 7 – 46100 Mantova

INDICE

Premessa.....	pag. 2
1 - CARATTERISTICHE GENERALI DEL TERRITORIO COMUNALE.....	pag. 5
1.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO REGIONALE.....	pag. 5
1.1.1 - Inquadramento geografico	pag. 5
1.1.2 - Inquadramento geologico regionale.....	pag. 6
1.2 - CARATTERISTICHE METEOCLIMATICHE	pag. 10
2 - METODOLOGIA SEGUITA PER LA REALIZZAZIONE DELLO STUDIO E DESCRIZIONE DELLE INDAGINI SVOLTE	pag. 15
2.1 - CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE, LITOLOGICHE, IDROGRAFIA SUPERFICIALE E SISMICITÀ	pag. 15
2.1.1 - Caratteristiche geomorfologiche	pag. 15
2.1.2 - Caratteristiche litologiche ed elementi geopedologici	pag. 20
2.1.3 - Idrografia superficiale.....	pag. 24
2.1.4 - Sismicità.....	pag. 28
2.1.4.1 - Notizie di carattere storico	pag. 28
2.1.4.2 - Riferimenti normativi.....	pag. 34
2.1.4.3 - Analisi e valutazione degli effetti sismici locali	pag. 38
2.2 - CENSIMENTO CAMPIONE DEI POZZI.....	pag. 52
2.3 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE, IDROCHIMICHE E DI VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI	pag. 53
2.3.1 - Caratteristiche idrogeologiche.....	pag. 53
2.3.1.1 - Sezioni litologiche	pag. 53
2.3.1.2 - Rete di controllo	pag. 54
2.3.1.3 - Carta dei deflussi idrici della falda superficiale	pag. 58
2.3.1.4 - Regime ed alimentazione degli acquiferi.....	pag. 59
2.3.1.5 - Soggiacenza.....	pag. 62
2.3.1.6 - Caratteristiche idrauliche degli acquiferi	pag. 67
2.3.2 - Caratteristiche idrochimiche	pag. 68
2.3.3 - Caratteristiche di vulnerabilità degli acquiferi	pag. 69
2.4 - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI	pag. 71
2.4.1 - Zone di possibile trasformazione urbanistica	pag. 71
2.4.2 - Indagini geognostiche pregresse	pag. 74
3 - CARTA DI SINTESI.....	pag. 76
4 - CARTA DEI VINCOLI	pag. 78
5 - CARTA PAI - PGRA.....	pag. 80
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	pag. 81

Premessa

Con Determinazione n. 2737 del 25 ottobre 2019 (Protocollo: 60343/2019), il Comune di Mantova – Settore Territorio e Lavori Pubblici ha affidato allo scrivente, ai sensi dell'art. 36 comma 2 lettera a) del D.Lgs. 50/2016, *“Incarico professionale per l'aggiornamento dello Studio Geologico-Tecnico del Piano del Governo del Territorio (avvio procedimento di variante al PGT per la componente di settore connessa alla gestione dei rischi DGC 178 del 24/07/2019)”*.

L'ultima revisione dello Studio Geologico-Tecnico a corredo del Piano di Governo del Territorio, redatta secondo i criteri attuativi della D.G.R. n. VIII/7374 del 28 maggio 2008, risale all'anno 2012: questa era a sua volta incardinata sull'edizione del nostro lavoro dell'anno 2007, e ancor prima a quella dell'anno 2003, allorché era vigente il Piano Regolatore Generale.

La nuova edizione 2023 dello Studio Geologico-Tecnico tiene conto dei numerosi aggiornamenti normativi nel frattempo sopravvenuti, i più significativi dei quali vengono elencati di seguito:

D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 *“Aggiornamento dei ‘Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12’, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374”*;

D.G.R. n. X/2129 dell'11 luglio 2014 *“Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)”*;

D.G.R. n. X/5001 del 30 marzo 2016 *“Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai Comuni in materia sismica (Artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della L.R. 33/2015)”*;

D.G.R. n. X/6738 del 19 giugno 2017 *“Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano di gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell'autorità di bacino del Fiume Po”*;

D.M. 17 gennaio 2018 *“Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»”*;

Regolamento regionale 19 aprile 2019 - n. 8 *“Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 ‘Legge per il governo del territorio’)”*.

Gli elaborati del presente Studio Geologico-Tecnico recepiscono inoltre i contenuti del contestuale lavoro redatto dall'Ing. Nicola Nabacino, incaricato dal Comune di Mantova in ordine *"alla verifica e all'aggiornamento dello studio relativo al Reticolo Idrico Minore (RIM) e Documento di Polizia Idraulica (DPI), delle fasce di rispetto del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e delle aree di rischio individuate dal Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), a supporto della pianificazione del territorio"*.

La revisione del nostro Studio Geologico-Tecnico ha tenuto conto anche dei più recenti aggiornamenti relativi ad altri strumenti di pianificazione sovraordinata, quali il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (il PTCP in adeguamento al Piano Territoriale Regionale integrato alla L.R. n. 31/2014 è stato approvato con Deliberazione del Consiglio Provinciale n. 10 del 28 marzo 2022) ed il Piano Provinciale Cave (D.C.R. n. XI/1888 del 25 maggio 2021).

Non sono stati viceversa compiuti ulteriori rilievi di campagna rispetto a quelli attuati in passato, che già avevano diffusamente indagato il territorio sotto tutti gli aspetti concernenti la componente geologica, ovvero: rilevazione della profondità della falda freatica presso taluni pozzi idrici, ricognizioni sul terreno nel quadro della delineazione del reticolo idrico in collaborazione con i Funzionari del Settore Territorio e Ambiente del Comune di Mantova, prospezioni geognostiche nelle zone di possibile trasformazione urbanistica, prove sismiche con metodo a rifrazione.

La nuova ricerca, che aggiorna e supera le pregresse, ne ricalca l'impostazione generale.

L'incrocio degli elementi illustrati nelle diverse tavole tematiche di inquadramento e di dettaglio, alla luce anche dei fattori antropici e dei vincoli all'uso del territorio, ha condotto da ultimo all'elaborazione della nota Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano.

Si tratta di una rappresentazione cartografica in cui il territorio comunale viene suddiviso in areali omogenei, a ciascuno dei quali risulta associata una delle 4 classi di fattibilità degli interventi previste dalla normativa regionale.

Queste ultime sono così identificate:

Classe 1 - Fattibilità senza particolari limitazioni;

Classe 2 - Fattibilità con modeste limitazioni;

Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni;

Classe 4 - Fattibilità con gravi limitazioni.

La Relazione esplicativa del lavoro è suddivisa in più parti.

La presente (*"Relazione Geologica Generale"*) descrive gli aspetti peculiari del territorio comunale nonché della cartografia di inquadramento e di dettaglio.

Una seconda parte è invece specificamente dedicata alla Carta della Fattibilità ed alle prescrizioni (*"Norme Geologiche di Piano"*) che da essa derivano.

Ai sensi della L.R. n. 12/05, tali norme vanno recepite negli atti del Piano di Governo del Territorio: il Documento di Piano (Art. 8, comma 1, lettera c) conterrà lo Studio Geologico-Tecnico nel suo complesso; Carta della Pericolosità Sismica Locale, Carta di Sintesi, Carta dei Vincoli, Carta della Fattibilità con relative prescrizioni e Carta PAI - PGRA dovranno costituire anche parte integrante del Piano delle Regole (Art. 10, comma 1, lettera d).

Un terzo volume (*"Allegati alla Relazione Geologica Generale"*) raccoglie le Appendici inerenti ai pozzi idrici ed alle indagini geognostiche censite.

In un quarto fascicolo vengono riportati infine i commenti all'indagine geofisica (*"Relazione Specialistica di Analisi Sismica"*) e gli annessi elaborati grafici, base di riferimento per la valutazione degli effetti sismici locali trattati nella corrente *"Relazione Geologica Generale"*.

Altro elemento innovativo e qualificante per il presente lavoro risiede nel fatto che la sua architettura è basata su software GIS - ArcView, interrogabile puntualmente in caso di eventuali incertezze nella lettura delle stampe della cartografia di forma tradizionale, riconducibili alla notevole mole di informazioni rappresentate.

Tutti gli elaborati presentati in questa sede, siano essi di testo oppure tavole grafiche, risultano adeguati alle prescrizioni di Regione Lombardia di cui al parere prot. 125985 del 14 dicembre 2022.

1 - CARATTERISTICHE GENERALI DEL TERRITORIO COMUNALE

1.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO REGIONALE

1.1.1 - Inquadramento geografico

Il Comune di Mantova, situato al centro del territorio provinciale (Fig. 1), ha un'estensione di circa 64,01 Km²; è compreso fra 45°06'05" e 45°11'10" di latitudine Nord, e fra 10°43'23" e 10°54'17" di longitudine Est rispetto al meridiano di Greenwich.

L'area in oggetto ricade nell'ambito delimitato dalle Sezioni E7b4 "CASTELLUCCHIO", E7c3 "MARMIROLO", E7c4 "MANTOVA", E7c5 "VIRGILIO", E7d4 "S. GIORGIO DI MANTOVA" ed E7d5 "BAGNOLO S. VITO NORD" della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000.

Si tratta di una regione pianeggiante, i cui punti altimetricamente più elevati sono situati in prossimità del confine amministrativo settentrionale (28,80 m s.l.m. presso località Montata Norsa).

Da tale disamina sono stati esclusi i rilevati artificiali, quali le opere di arginatura dei maggiori corsi d'acqua ed i sovrappassi stradali e ferroviari.

In corrispondenza del livello fondamentale della pianura (cfr. 2.1.1), la pendenza principale, per lo più orientata da Nord-Nord-Ovest verso Sud-Sud-Est, è caratterizzata da valori dell'ordine dell'1÷3 ‰.

Le zone morfologicamente più depresse si rilevano altresì entro la Valle del Mincio (14,20 m s.l.m. sulla riva del Lago di Mezzo, a Sud della Cartiera Burgo), in Valle Paiolo (14,00 m s.l.m. al confine con il Comune di Virgilio, lungo la Valle dei Topi), nonché all'estremità Sud-orientale del territorio comunale, nel settore compreso fra Canal Bianco e Fiume Mincio (14,40 m s.l.m. nei paraggi di C.te Beffa).

Intorno al capoluogo è presente una cintura di frazioni e quartieri periferici, in taluni casi ampliatisi sino a divenire una sola entità urbana: procedendo in senso orario a partire da Nord, si citano gli abitati di Gambarara, Colle Aperto, Cittadella, Lunetta, Frassino, Borgo Virgiliana, Castelletto Borgo, Formigosa, Borgo Chiesanuova, Dosso del Corso e Castelnuovo Angeli.

La zona è connotata da imponenti insediamenti produttivi, il maggiore dei quali è costituito dal polo petrolchimico di Frassino-Borgo Virgiliana: sono tuttora presenti anche appezzamenti destinati all'uso agricolo, ormai prevalentemente concentrati nei settori più esterni del Comune.

1.1.2 - Inquadramento geologico regionale

Data la natura applicativa del presente lavoro, le considerazioni di carattere geologico generale sono trattate sinteticamente in questa sede.

La Pianura Padana corrisponde ad una zona sicuramente interessata fin dall'Oligocene da subsidenza, collegata al sollevamento delle catene montuose circostanti.

Nel Pliocene e nel Pleistocene Inferiore doveva avere l'aspetto di un ampio golfo, le cui dimensioni e profondità erano regolate da imponenti fasi ingressive e regressive del mare.

Il passaggio dall'ambiente marino a quello continentale si verificò verosimilmente al termine del Pleistocene Inferiore; movimenti di sollevamento continuarono durante il resto del Pleistocene (probabilmente sono tuttora attivi), influenzando sia sull'erosione dei rilievi che sull'accumulo in zone subsidenti quali l'asse padano.

Nel corso del Pleistocene le variazioni climatiche, direttamente legate al susseguirsi di fasi glaciali ed interglaciali, assunsero primaria importanza nei riguardi della distribuzione e delle caratteristiche dei terreni della pianura.

Nel settore settentrionale della Provincia di Mantova è individuata, immediatamente a valle dell'Unità delle *Colline Moreniche*, l'Unità geologica dell'*Alta Pianura*: questa è contraddistinta da terreni prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, depositati dagli scaricatori fluvioglaciali un tempo alimentati dal fronte morenico gardesano.

Più a Sud, in corrispondenza dell'area oggetto di studio, a tali depositi succedono materiali più fini (sabbie, limi ed argille), accumulati dai corsi d'acqua della *Media Pianura*.

Secondo dati litostratigrafici di letteratura, nella zona circostante Mantova la coltre alluvionale raggiunge uno spessore di oltre 350 m ed è formata prevalentemente da spesse bancate sabbiose con intercalazioni di strati argilloso-torbosi anche di notevole potenza.

La generalizzata diminuzione della granulometria (e quindi della permeabilità) dei terreni cui si assiste procedendo da monte verso valle, è la diretta conseguenza della progressiva riduzione della capacità di trasporto alla quale erano soggetti i suddetti scaricatori mano a mano che si allontanavano dal ghiacciaio sorgente.

In questo ambito si ebbero fasi di impaludamento, particolarmente estese nei periodi interglaciali, e la formazione di un reticolo idrografico articolato e complesso che si è evoluto sino a costituire l'attuale sistema Fiume Mincio - Laghi di Mantova.

La transizione dall'*Alta* alla *Media Pianura* è evidenziata da una caratteristica successione di fontanili naturali o antropici comunemente denominata *linea delle risorgive*.

Alcuni chilometri a Sud del capoluogo provinciale si entra altresì nell'area di influenza del Fiume Po, contraddistinta da sedimenti prevalentemente argilloso-limosi ed identificata come *Bassa Pianura*.

La Fig. 2 illustra lo schema geologico ora descritto.

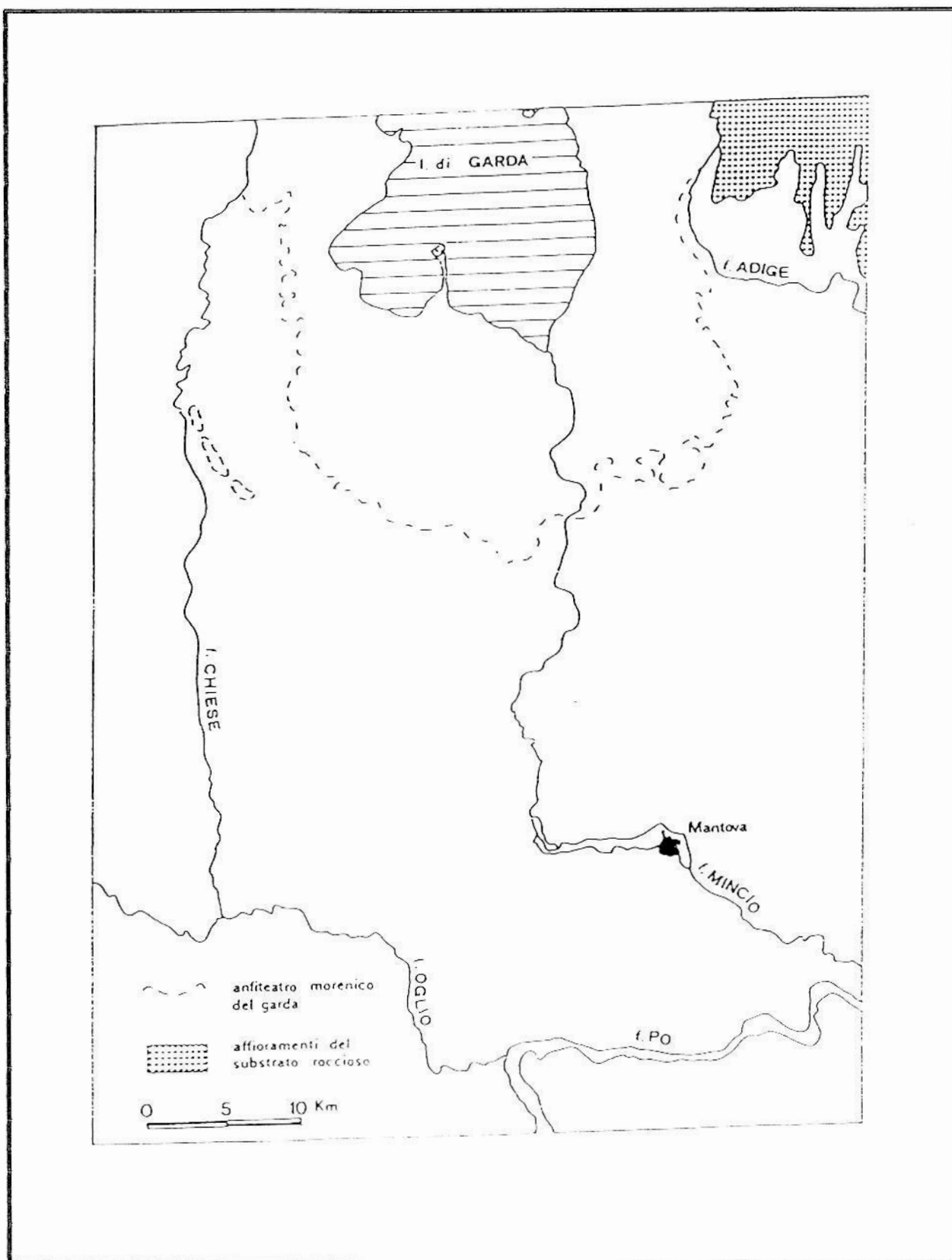


Fig. 1: Inquadramento geografico del Comune di Mantova

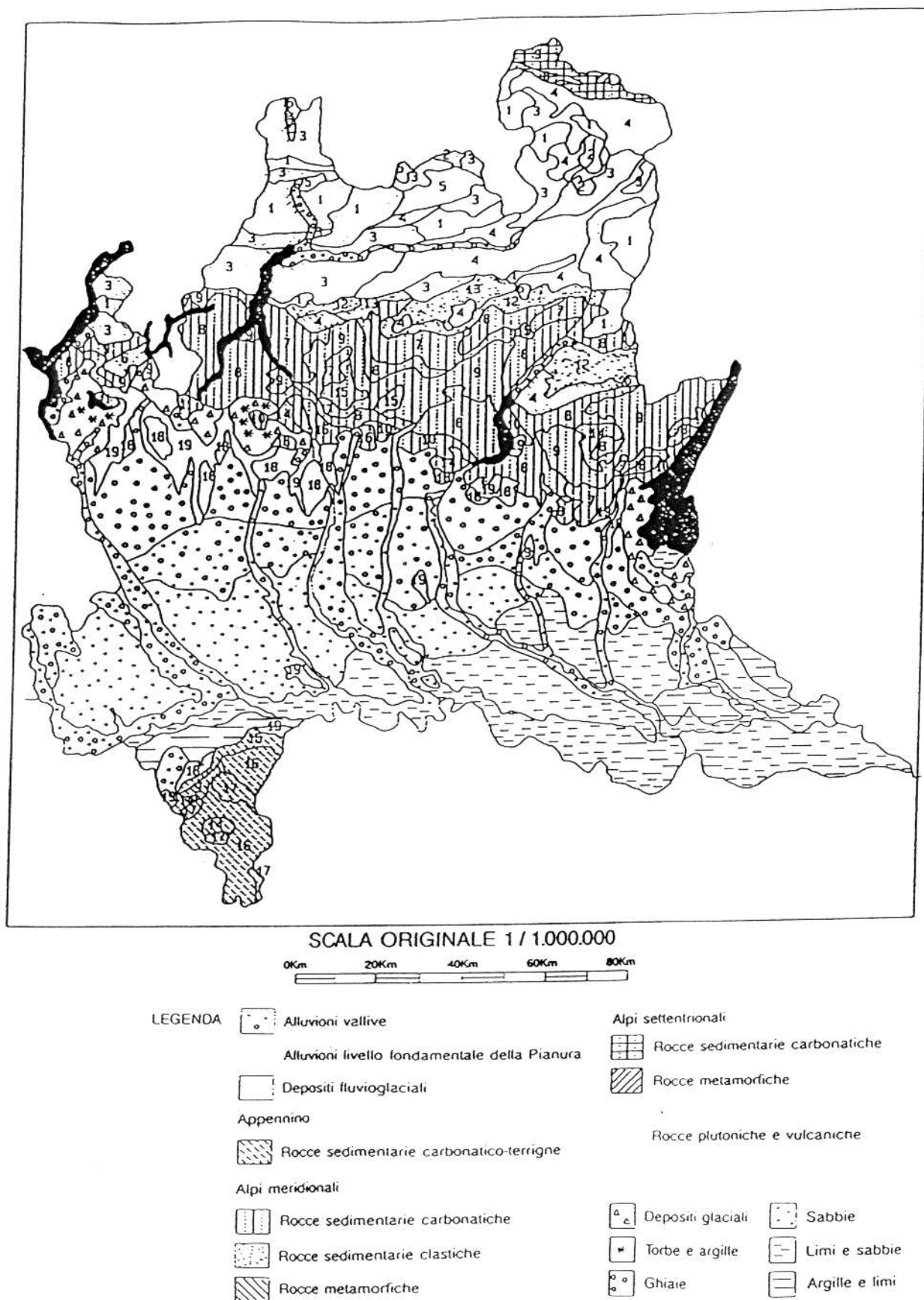


Fig. 2: Inquadramento geologico regionale

1.2 - CARATTERISTICHE METEOCLIMATICHE

Le caratteristiche meteorologiche del territorio oggetto di indagine sono quelle tipiche di tutta l'area padana. Il clima è di tipo continentale:

- gli inverni sono rigidi (T_{media} gennaio compresa fra 0 °C e 2 °C) e le estati calde (T_{media} luglio > 22 °C). L'escursione termica è piuttosto elevata, superiore ai 18 °C; la T_{media} annua ha valori compresi tra 12 °C e 13 °C (Fig. 3).

- la piovosità media annua è dell'ordine di 650 mm (Fig. 4), con precipitazioni più frequenti in primavera e autunno; i mesi più piovosi sono aprile e maggio, mentre il meno piovoso è febbraio. Nell'arco dell'anno si riscontrano circa 45 giorni contraddistinti da temporali, maggiormente frequenti in estate;

- l'umidità relativa presenta valori prossimi all'85% in gennaio e di circa il 55% in luglio; nella stagione invernale l'abbassamento della temperatura rende facilmente satura l'aria determinando la formazione di nebbie persistenti. I giorni di nebbia autunnali e invernali assommano a circa 50.

Si riportano in relazione i dati climatici inerenti ai parametri precipitazioni (Tab. 1) e temperature (Tab. 2) registrati a cura dell'E.R.S.A.L. (Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia) nell'anno 1996 presso la stazione meteorologica situata in corrispondenza del Liceo Virgilio. Si noti come, con riferimento alla precipitazione totale annua, si sia trattato di un anno parecchio piovoso (810,4 mm contro i 650 mm precedentemente indicati), contrariamente a quanto verificatosi in periodi più recenti.

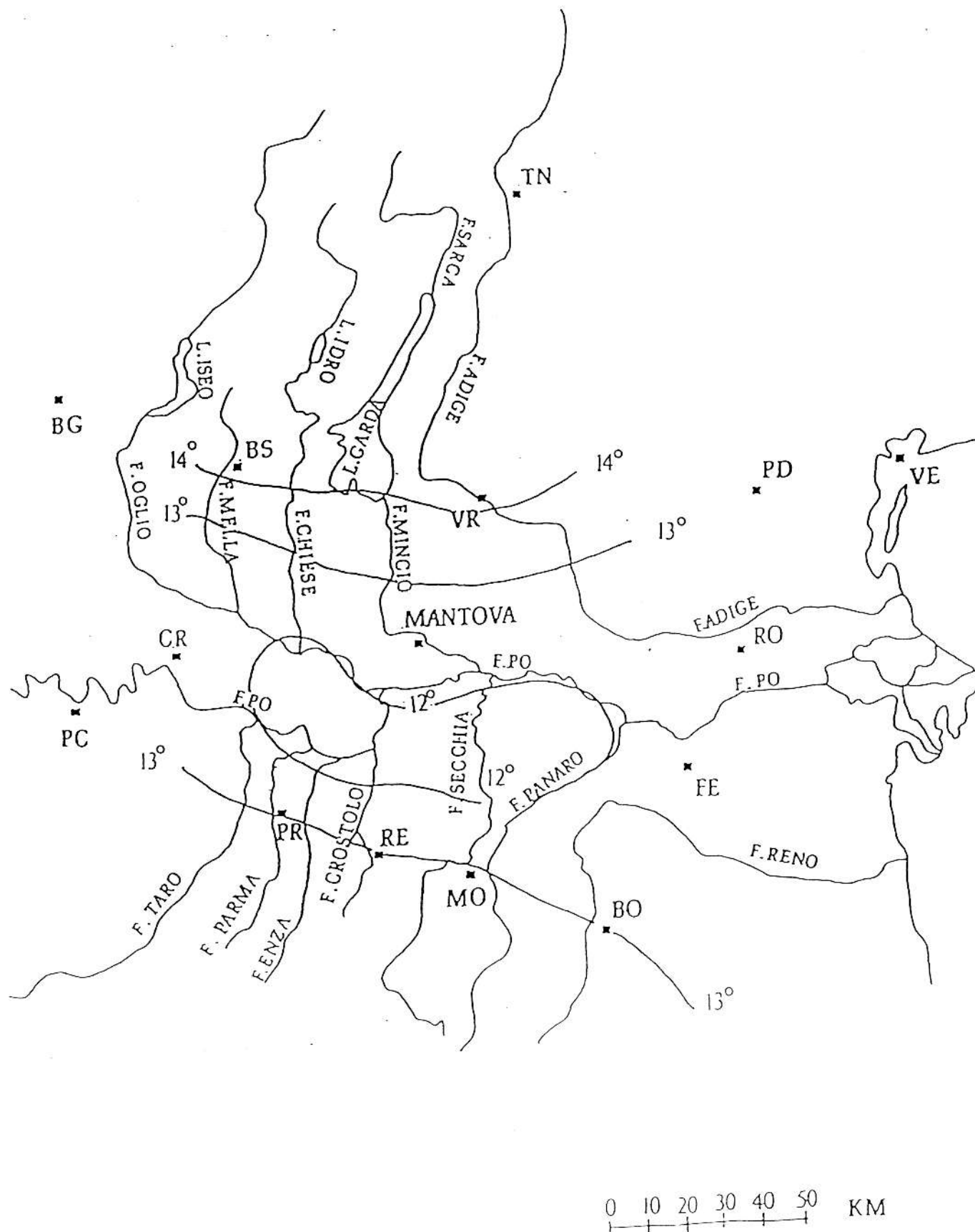


Fig. 3: Isotherme annue

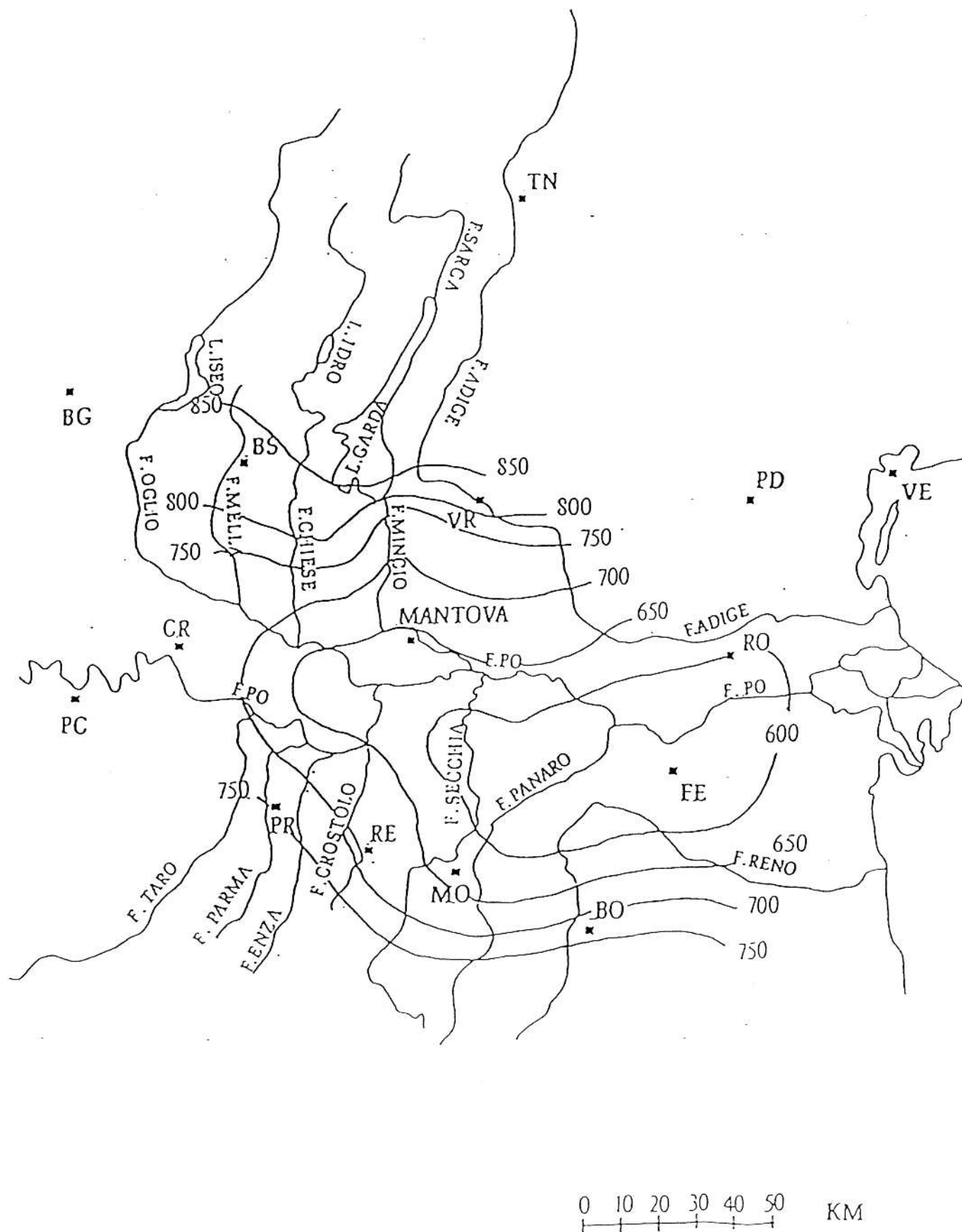


Fig. 4: Isoiete annue

Stazione di
LICEO VIRGILIO

Latitudine: 45°8'
 Longitudine: 10°48'
 Altezza s.l.m.: 19 m
 Proprietà: CODIMA

Precipitazione totale annua: 810.4 mm

Temperatura media delle massime annua: 12.4°C

Temperatura media delle minime annua: 6.4°C

Precipitazione (mm) del 1996

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1	=	0.0	0.0	7.4	9.6	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0
2	=	11.4	0.0	6.0	1.2	0.0	4.4	0.0	4.0	46.0	0.2	0.0
3	=	6.2	0.0	10.4	0.4	0.0	0.0	0.8	1.8	0.0	0.2	0.0
4	=	7.0	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.2	0.0
5	=	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	3.4	0.0
6	=	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	=	0.2	0.0	17.2	0.0	0.2
7	=	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	=	0.0	0.0	13.0	0.0	0.0
8	=	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	=	0.2	0.0	24.8	0.0	0.0
9	=	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	=	0.0	0.0	0.2	0.2	14.6
10	=	0.0	0.0	0.0	24.4	0.0	=	0.0	0.0	0.0	1.2	20.2
11	=	1.8	0.0	12.0	2.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	15.6
12	=	1.6	0.0	0.0	47.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
13	=	5.4	0.0	4.2	10.8	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	0.2	22.6
14	=	0.2	0.0	0.2	0.0	0.6	0.0	0.8	0.0	1.2	1.0	2.4
15	=	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	15.0	0.0
16	=	0.0	4.6	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	31.2	18.8	0.2
17	=	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	16.8	0.0	0.0	5.4	9.0	0.0
18	=	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	17.8	0.0
19	=	8.4	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	1.4	1.0	0.0	0.0	4.2
20	=	1.6	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	=	1.4	0.2	9.8	24.6
21	=	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	=	20.8	0.0	0.0	5.4
22	=	0.2	0.0	0.0	0.0	19.8	0.0	0.0	5.2	0.0	10.8	3.0
23	=	0.0	0.0	0.6	0.0	1.4	0.0	0.0	20.4	0.0	2.8	3.8
24	=	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0	0.0	0.0	15.4
25	=	0.0	0.0	5.2	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	5.8
26	=	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0	0.2	1.6	0.2
27	=	0.0	3.0	3.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
28	=	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.6	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0
29	=	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
30	=		0.2	0.2	0.0	0.0	32.4	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0
31	=		2.6		0.0		0.0	29.0		0.4		0.0
tot	=	43.8	23.4	59.6	102.0	29.2	54.2	51.8	61.0	149.6	97.4	138.4

Tab. 1: Stazione meteorologica E.R.S.A.L. di Mantova (Liceo Virgilio) -
 Precipitazioni (mm) relative all'anno 1996

Temperatura massima (°C) del 1996

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1	4.5	5.5	13.5	9.5	22.5	=	=	=	=	21.5	15.5	10.5
2	4.0	2.5	9.5	12.5	22.5	=	=	=	=	16.5	14.5	6.5
3	4.0	5.5	8.5	8.5	21.5	=	=	=	=	18.5	11.5	7.5
4	4.5	5.5	7.5	12.0	22.0	=	=	=	=	18.5	11.5	5.0
5	2.0	6.0	7.5	14.0	21.5	=	=	=	=	15.5	10.5	6.0
6	1.5	2.5	8.5	19.0	24.5	=	=	=	=	14.0	13.0	5.0
7	2.0	1.5	8.5	21.5	25.0	=	=	=	=	15.0	12.5	2.5
8	4.5	3.0	8.5	22.0	25.5	=	=	=	=	16.0	13.5	5.0
9	3.0	8.0	8.5	20.5	23.0	=	=	=	=	20.0	14.5	8.0
10	8.5	5.5	7.5	21.0	19.0	=	=	=	=	20.5	9.0	8.0
11	9.0	3.5	9.5	19.5	24.5	=	=	=	=	19.0	14.5	7.0
12	11.5	7.5	5.5	20.5	16.5	=	=	=	=	19.5	17.5	8.5
13	11.5	5.5	5.5	21.5	20.5	=	=	=	=	18.0	15.0	6.5
14	10.5	9.5	11.5	16.5	23.0	=	=	=	=	14.5	18.0	7.0
15	9.5	9.5	13.5	19.5	22.0	=	=	=	=	17.0	14.0	9.0
16	7.0	8.5	11.5	20.5	24.5	=	=	=	=	17.0	14.5	4.5
17	4.5	8.5	10.5	20.5	24.0	=	=	=	=	14.5	13.5	6.0
18	-0.5	9.0	11.5	23.0	23.0	=	=	=	=	16.0	13.0	6.0
19	-0.5	7.0	10.5	25.5	21.5	=	=	=	15.0	17.0	10.5	6.0
20	2.5	8.0	14.5	26.0	22.5	=	=	=	15.0	18.5	9.0	6.0
21	4.5	6.5	16.0	26.0	22.5	=	=	=	13.5	18.5	10.5	6.5
22	4.5	7.0	17.5	25.0	22.5	=	=	=	14.5	18.0	5.5	7.5
23	4.0	5.0	13.0	23.5	23.5	=	=	=	16.5	14.0	5.0	7.0
24	5.5	7.0	17.0	20.5	26.0	=	=	=	22.0	14.0	7.5	7.0
25	5.0	6.0	13.0	16.5	27.5	=	=	=	18.5	11.5	3.5	5.0
26	5.5	9.5	13.5	19.5	24.5	=	=	=	21.0	13.5	2.5	2.5
27	9.5	10.5	16.5	16.0	21.5	=	=	=	21.0	14.5	4.5	-1.0
28	7.0	12.0	13.0	19.5	25.5	=	=	=	22.5	15.5	5.5	-5.0
29	8.5	12.5	14.0	16.5	22.5	=	=	=	21.5	11.5	8.0	-5.0
30	7.5		14.0	18.5	=	=	=	=	22.0	14.0	3.0	-3.5
31	4.5		14.5	=	=	=	=	=		13.5		-3.0
media	5.5	6.8	11.4	19.2	22.9	=	=	=	18.6	16.3	10.7	4.8

Temperatura minima (°C) del 1996

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1	0.5	0.0	3.0	5.5	13.5	=	=	=	=	13.0	7.0	-1.0
2	1.5	0.5	2.5	6.5	13.5	=	=	=	0.0	11.5	7.0	1.0
3	-1.0	1.0	-0.5	5.5	12.5	=	=	=	=	11.0	5.0	0.0
4	0.5	2.5	-0.5	6.5	9.5	=	=	=	=	10.5	5.5	0.0
5	1.0	3.0	-0.5	9.0	12.5	=	=	=	=	11.5	6.0	-1.5
6	-0.5	-0.5	-1.0	8.0	13.0	=	=	=	=	12.0	9.0	-2.0
7	0.5	-3.0	1.5	8.5	14.5	=	=	=	=	13.0	6.0	-1.5
8	1.0	-3.0	2.5	10.5	15.5	=	=	=	=	13.0	9.0	1.0
9	0.5	-2.5	2.5	13.0	15.0	=	=	=	=	14.5	6.5	4.5
10	1.0	-0.5	0.5	12.5	14.0	=	=	=	=	14.0	7.5	5.5
11	6.0	1.5	-1.5	11.5	15.5	=	=	=	=	13.5	8.5	5.0
12	9.0	0.5	1.5	10.5	15.5	=	=	=	=	11.5	13.5	6.5
13	8.5	2.5	1.0	10.5	14.5	=	=	=	=	9.5	13.0	6.0
14	5.5	1.0	3.5	8.0	13.5	=	=	=	=	13.5	13.0	3.0
15	5.5	0.5	4.5	8.5	14.5	=	=	=	=	14.0	10.5	2.0
16	1.0	1.5	7.0	8.0	12.0	=	=	=	=	13.0	10.0	0.5
17	-2.5	0.5	5.5	8.0	14.0	=	=	=	=	11.5	10.5	3.5
18	-2.0	-0.5	5.5	10.5	15.5	=	=	=	=	10.5	8.0	4.5
19	-2.5	3.0	6.0	11.5	15.0	=	=	=	12.5	8.5	8.0	5.0
20	-1.5	1.5	5.0	12.0	13.0	=	=	=	12.0	7.5	5.5	4.5
21	2.0	3.5	4.5	13.0	10.0	=	=	=	11.5	10.5	4.0	1.5
22	2.5	1.5	9.0	13.5	11.5	=	=	=	11.5	9.0	4.0	6.0
23	2.0	1.0	10.0	14.0	12.5	=	=	=	13.0	8.0	1.5	5.5
24	2.5	0.5	9.5	13.0	14.0	=	=	=	13.5	10.0	1.5	5.0
25	3.5	0.0	7.5	13.5	15.5	=	=	=	12.5	9.5	-0.5	2.5
26	4.5	4.0	11.0	14.5	15.5	=	=	=	12.0	6.0	-0.5	-0.5
27	4.5	0.0	10.5	12.5	14.0	=	=	=	11.5	8.5	-4.0	-5.0
28	0.5	5.5	7.0	12.5	12.5	=	=	=	12.5	7.5	4.0	-7.5
29	6.0	3.0	5.5	13.0	11.0	=	=	=	14.0	10.5	1.0	-9.0
30	1.5		5.5	14.0	=	=	=	=	12.0	8.0	0.5	-8.5
31	-0.5		6.0	=	=	=	=	=		5.0		-5.0
media	2.0	1.0	4.3	10.6	13.6	=	=	=	11.4	10.6	6.0	1.0

Tab. 2: Stazione meteorologica E.R.S.A.L. di Mantova (Liceo Virgilio) -
 Temperature massime e minime (°C) relative all'anno 1996

2 - METODOLOGIA SEGUITA PER LA REALIZZAZIONE DELLO STUDIO E DESCRIZIONE DELLE INDAGINI SVOLTE

2.1 - CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE, LITOLOGICHE, IDROGRAFIA SUPERFICIALE E SISMICITÀ

2.1.1 - Caratteristiche geomorfologiche

L'area oggetto di studio fa parte della *Media Pianura* mantovana, complesso di terreni medio-fini che raccorda l'alta pianura ghiaiosa alla riva sinistra del Po.

Si tratta di un territorio caratterizzato da una debole pendenza (valori dell'ordine dell'1÷3 ‰), generalmente orientata da Nord-Nord-Ovest verso Sud-Sud-Est.

La città di Mantova, in particolare, sorge in posizione rilevata sulla sponda destra del Fiume Mincio, là dove il letto di questo si amplia dando luogo ai Laghi Superiore, di Mezzo e Inferiore.

Le massime quote topografiche osservate in corrispondenza del livello fondamentale della pianura sono di 28÷29 m s.l.m., mentre presso il centro storico del capoluogo esse si attestano intorno ai 21÷22 m s.l.m..

Il principale elemento di interesse morfologico è rappresentato dalla valle del Mincio, entro cui si riscontano quote minime prossime ai 14 m s.l.m., e dal sistema di terrazzi fluviali che la delimitano.

Si tratta di un ambiente di grande interesse naturalistico tutelato con l'istituzione dell'omonimo Parco Regionale, il cui Piano Territoriale di Coordinamento è stato approvato con D.G.R. n. VII/193 del 28 giugno 2000 (modificata dalla D.G.R. n. 1000 del 3 agosto 2000).

Il contesto "Valli del Mincio" è anche classificato come area di valore paesaggistico e ambientale a spiccata connotazione geologica (geosito) dall'Allegato 14 alla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011.

Il terrazzo principale è individuato da una scarpata alta 6÷7 m, la cui genesi è da mettere in relazione con l'attività erosiva della pianura fluvioglaciale da parte del fiume, conseguente alla deviazione del suo corso in direzione Ovest-Est avvenuta verso l'VIII secolo a.C. presso Grazie di Curtatone.

In origine il ciglio del terrazzo presentava un andamento sinuoso ed era facilmente riconoscibile lungo tutta la sponda fluviale; ora invece, localmente, appare profondamente alterato dall'attività antropica.

A seguito della citata deviazione il Mincio abbandonò l'originario percorso che, passando alcuni chilometri ad Ovest del territorio in studio, andava a confluire a Sud nell'Oglio - Scolo Zara (il Fiume Po scorreva allora più a meridione rispetto ad oggi): l'alveo preesistente, ormai interessato da modeste portate, si impaludò sino a ridursi all'odierna Fossa Viva.

La diversione sarebbe avvenuta in parte per "versamento" del Mincio stesso che incontrava difficoltà a scorrere, dopo Grazie, lungo la Fossa Viva, e in parte per "erosione regressiva" di un antico affluente di Po. Secondo *CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1988)*, tale diversione sarebbe da connettere all'attività di un elemento tettonico sepolto che ricalca l'andamento dei Laghi di Mantova (Faglia dei Laghi di Mantova o Linea di Mantova).

Il Po durante le piene ostacolava però il deflusso delle acque del Mincio, che ampliò così il suo letto nei pressi di Mantova creando aree paludose.

Per rendere permanente la presenza delle acque intorno alla città, l'ingegnere idraulico A. *PITENTINO* progettò nel 1190 la formazione di laghi tali da isolarla completamente in caso di assedio.

La creazione di questi fu effettuata in diverse fasi nel corso del XIII secolo costruendo dighe, argini e chiuse. Successivamente ai Laghi Superiore, di Mezzo e Inferiore fu realizzato anche un quarto lago (Lago Paiolo) che, sfruttando la situazione morfologica esistente, cingeva la città sul lato meridionale, come documentato dalle numerose carte storiche di Mantova riprodotte in *FERRARI D. (1985)*.

Il Lago Paiolo venne però bonificato alla fine del XVIII secolo poiché il Fiume Mincio, per diminuzione di portata, non era più in grado di assicurare un sufficiente ricambio d'acqua.

Del Lago Paiolo non rimane oggi che un fosso recante lo stesso nome (Fosso Paiolo Basso), il quale drena le acque superficiali grazie anche ad una rete di collettori trasversali che in esso recapitano. Il fosso, che si origina dal Lago Superiore, scorre tombinato in corrispondenza della città e ne riemerge a Sud, onde fluire verso Est lungo la Valle dei Topi e successivamente nella Vallazza e nel Mincio. L'osservazione delle foto aeree consente di delineare alcuni paleoalvei del corso d'acqua, sovradimensionati rispetto al tracciato attuale.

Parzialmente sotterraneo è anche il percorso del Rio di Mantova, che attraversa il capoluogo da Nord-Ovest verso Sud-Est ponendo in diretto collegamento Lago Superiore e Lago Inferiore.

In corrispondenza di Mantova è nota inoltre l'esistenza di un ulteriore corso d'acqua completamente tombinato, denominato Fossa Magistrale.

Esternamente alla città si annoverano numerosi altri corsi idrici con funzione irrigua e di scolo.

Se ne può desumere che la rete di drenaggio, oggi profondamente antropizzata, fosse un tempo caratterizzata da un regime idraulico di ben altre proporzioni, progressivamente ridottosi a seguito dello scioglimento dei ghiacciai pleistocenici. A tratti, gli antichi alvei sono ancora riconoscibili in campagna: nella maggior parte dei casi, invece, essi sono rilevabili esclusivamente con la fotointerpretazione.

Nel contesto del reticolo idrico, più dettagliatamente descritto nelle pagine successive (cfr. 2.1.3), si distinguono due importanti corsi d'acqua, entrambi completamente artificiali e situati in sinistra Mincio: il Colatore Diversivo Mincio ed il Canal Bianco.

Il Diversivo Mincio si sviluppa in direzione Nord-Ovest - Sud-Est e venne realizzato al fine di salvaguardare la città dalle periodiche inondazioni cui era sottoposta sino a qualche decennio fa: esso raccoglie parte delle acque del fiume omonimo a valle di Goito e gliele riconferisce a Sud di Mantova presso Formigosa.

I deflussi dei Laghi di Mantova e del Mincio sono regolati inoltre da alcuni manufatti idraulici collocati in particolari punti strategici: presso il luogo di distacco del Fosso Paiolo Basso dal Lago Superiore, al Ponte dei Mulini, a Porto Catena, in Valletta Valsecchi, a Diga Masetti ed a Formigosa.

In tal modo il livello idrico viene mantenuto a quote prestabilite: 17,20÷17,30 m s.l.m. in corrispondenza del Lago Superiore, con escursione di +20 cm in caso di piena, e 14,30÷14,50 m s.l.m. sino a Governolo, con possibilità di risalita fino alla quota di 16,50 m s.l.m. qualora si verificino stati di piena del Po e conseguente rigurgito delle acque verso monte.

A valle dei Laghi di Mantova, la difesa della pianura nei confronti delle esondazioni del Mincio è assicurata da opere di arginatura artificiale: sino alla foce in Po, infatti, il suo corso meandriforme risulta pensile rispetto al piano campagna circostante.

Ancora in località Formigosa, il Canal Bianco si diparte dal Mincio scorrendovi subparallelo poco a Nord: allestito allo scopo di costituire uno sbocco navigabile verso il Mare Adriatico, è divenuto pienamente operativo solo da qualche anno, contemporaneamente all'attivazione del Porto di Valdaro.

I dintorni di Mantova hanno una connotazione prevalentemente industriale-artigianale, il cui elemento più notevole è costituito dal polo petrolchimico di Frassino-Borgo Virgiliana; nei settori più marginali del territorio comunale permangono altresì appezzamenti a destinazione agricola.

La particolare posizione geografica della città la rende nodo di collegamento con numerosi altri centri urbani: i raccordi viari sono assicurati dalla ex S.S. 236 "Goitese" (a Nord-Ovest con Brescia), dalla ex S.S. 62 "della Cisa" (a Nord-Est con Verona ed a Sud-Ovest con Parma), dalla ex S.S. 10 "Padana Inferiore" (ad Ovest con Cremona e ad Est con Monselice), dalla ex S.S. 420 "Sabbionetana" (a Sud-Ovest con Sabbioneta), dalla ex S.S. 482 "Ostigliese" (a Sud-Est con Ostiglia) e dalla ex S.S. 413 "Romana" (a Sud con Modena).

Il considerevole incremento del traffico stradale verificatosi in questi ultimi anni ha reso sempre più imprescindibile la realizzazione di un sistema di tangenziali che lambiscano Mantova decongestionandone le vie del centro e della cintura periferica.

La costruzione di tali opere è stata rallentata e condizionata da svariati fattori anche di tipo naturale, quali la presenza, ad Est, Nord ed Ovest della città, dei bacini lacustri formati dal Mincio.

Da qualche anno è stata completata la Tangenziale Nord, mentre a Sud è stato inaugurato il primo tronco dell'Asse Interurbano di connessione tra le ex S.S. 413, ex S.S. 62, ex S.S. 420 ed ex S.S. 10.

All'estremità Sud-orientale, nei pressi di Formigosa, il territorio comunale è inoltre attraversato dall'autostrada A 22 "Modena - Brennero"; ulteriori progetti autostradali, tuttora in discussione, potrebbero in futuro coinvolgere i dintorni del capoluogo con la realizzazione dei percorsi "Mantova - Cremona" e "TI - BRE" [raccordo tra le località di Fontevivo (PR) e Nogarole Rocca (VR), rispettivamente situate lungo l'autostrada A 15 "della Cisa" e la sopra citata A 22 "Modena - Brennero"].

Nell'ambito considerato sussistono pure linee ferroviarie, generalmente da potenziare, colleganti Mantova a Verona, Padova, Modena e Cremona.

Tra le evidenze geomorfologiche di origine antropica, nel territorio studiato si rilevano anche alcune vecchie cave, parte a fondo asciutto e parte in falda (documentazione reperita presso l'Ufficio Cave della Provincia di Mantova).

In particolare si segnalano un'area situata fra Dosso del Corso, Castelnuovo Angeli ed il Cimitero Monumentale, risalente forse all'epoca di edificazione di quest'ultimo, ed una relativamente recente cava di prestito utilizzata per la costruzione dei rilevati della già menzionata Tangenziale Nord.

Si evidenzia inoltre che il nuovo Piano Provinciale Cave (D.C.R. n. XI/1888 del 25 maggio 2021) ha stralciato l'unico ambito estrattivo recentemente attivo in Comune di Mantova, denominato "Pg2 Valdaro" e rientrante nel novero delle "Cave di riserva per opere pubbliche".

Gli elementi geomorfologici descritti nel presente paragrafo sono riportati in Tavola 1 (scala 1:12.000).

2.1.2 - Caratteristiche litologiche ed elementi geopedologici

I dati riguardanti la litologia di superficie del territorio comunale di Mantova sono stati in prima istanza ripresi da *AMM. PROV. DI MANTOVA (1992 b)*, studio geologico a supporto del Piano Regionale di Risanamento delle Acque.

Nell'ambito di tale studio è stata realizzata una campagna di rilevamento delle caratteristiche litologiche dei Comuni del settore centrale del territorio provinciale.

Le osservazioni sono state effettuate tramite sonda a mano, con prelievo di campioni di terreno sottostanti allo strato pedogenizzato; i sondaggi hanno approssimativamente insistito su una maglia di 400-500 m di lato.

I campioni raccolti sono stati classificati direttamente in situ mediante taglio con filo d'acciaio, avente diametro pari a 0,2 mm e fissato ad un archetto metallico, secondo la metodologia suggerita da *GASPERI G. & GELMINI R. (1976)*; le superfici di taglio dei campioni presentano infatti increspature diverse in relazione alla loro granulometria.

Lo studio geologico a corredo dello strumento urbanistico del Comune di Mantova ha consentito di effettuare una verifica puntuale delle risultanze delle precedenti indagini, in particolare mediante la realizzazione di prospezioni geognostiche nelle zone di possibile trasformazione urbanistica (cfr. 2.4.1).

Il territorio indagato è caratterizzato da alluvioni pleistoceniche ed oloceniche, la cui genesi è in prevalenza riconducibile all'attività degli scaricatori fluvioglaciali alimentati dal ghiacciaio gardesano, il cui ultimo fronte si attestava in corrispondenza delle attuali Colline Moreniche dell'Alto Mantovano.

I suddetti scaricatori hanno contribuito alla costruzione di un sistema di depositi preferenzialmente allineati secondo le direzioni Nord-Sud e Nord/Nord/Ovest-Sud/Sud/Est.

In dettaglio, l'area è caratterizzata da terreni continentali sabbiosi, limosi e cretosi, che dal punto di vista stratigrafico sono ricompresi in un intervallo di tempo che va dall'Interglaciale Mindel-Riss al Postglaciale Würm.

In Tavola 1 è riportata una carta esemplificativa delle caratteristiche geolitologiche del territorio circostante Mantova, per la cui elaborazione si è tenuto conto anche delle informazioni contenute nella Carta Geologica delle Tre Venezie di *COZZAGLIO A. (1933, 1934)*.

Malgrado risalga ormai a quasi 90 anni fa, la pubblicazione del *COZZAGLIO* offre tra l'altro importanti indicazioni relativamente alla costituzione dei terreni dell'area urbana, oggi in gran parte edificati e dunque inaccessibili.

Si descrivono di seguito le unità litologiche rappresentate in Tavola 1; per le annotazioni di carattere pedologico si veda *E.R.S.A.L. & AMM. PROV. DI MANTOVA (1997)*:

- *Depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi (5 gh)*: si tratta del cosiddetto "Terrazzo di Marmirolo" che si spinge, nella sua parte più meridionale, fino alle aree urbanizzate di Gambarara, Cittadella e Ponte Rosso.

Tali depositi sono caratterizzati da ghiaie medio-fini in percentuale variabile dal 55 al 71%, accompagnate da sabbie medie e grossolane con una presenza del 28÷38%.

I suoli reperibili in corrispondenza dei depositi descritti sono moderatamente profondi, limitati dal substrato ghiaioso e sabbioso incoerente e molto calcareo, a tessitura moderatamente grossolana, da subalcalini ad alcalini, calcarei e a drenaggio rapido. La falda è presente intorno al metro di profondità.

- *Depositi prevalentemente sabbiosi (5 sb)*: costituiscono la maggior parte dei depositi rinvenibili nelle aree più prossime alla città e ai Laghi di Mantova.

Questi terreni sono costituiti da sabbie medio-fini siliceo-calcaree, spesso ferrettizzate, presenti in percentuale variabile dal 46 all'89%, accompagnate da una frazione limosa (10÷39%) e in misura minore anche da una frazione argillosa (1÷18%).

Tra le diverse zone si possono notare alcune differenze: i depositi presenti fra Porto Mantovano e S. Giorgio presentano le maggiori percentuali di sabbie, quelli posti a Sud della città di Mantova sono costituiti da sabbie granulometricamente più fini, mentre i terreni sabbiosi situati all'interno dell'area valliva lungo le sponde dei laghi sono accompagnati anche da argille organiche.

I relativi suoli sono da molto sottili a profondi, limitati dal substrato sabbioso incoerente, a tessitura media o moderatamente fine, da subalcalini ad alcalini, calcarei e a drenaggio buono o moderatamente rapido. La falda è periodicamente presente all'interno del profilo.

- *Depositi prevalentemente limosi (5 lm)*: questi litotipi, unitamente ai depositi prevalentemente sabbiosi, contraddistinguono il livello fondamentale della pianura.

Variamente distribuiti nei dintorni di Mantova, essi caratterizzano di preferenza le zone poste a lato dei corsi d'acqua attuali ed estinti ove, in relazione alle ridotte capacità di trasporto, venivano depositati solo gli elementi più fini.

Nell'area studiata si ritrovano per lo più a Sud-Ovest della città e verso Sud all'esterno dell'area valliva; altri affioramenti più limitati sono ubicati a Nord-Est del Diversivo Mincio.

Si tratta di limi argilloso-sabbiosi, tenaci, con frequenti concrezioni calcaree (*bambole*) che, laddove più numerose, si agglomerano dando luogo ad un vero e proprio orizzonte molto compatto comunemente denominato *castracan*; la frazione limosa varia dal 41 al 60%, mentre le argille e le sabbie sono mediamente comprese tra l'8 e il 45%.

I suoli corrispondenti sono moderatamente profondi, limitati dal substrato limoso molto calcareo, a tessitura moderatamente fine e moderatamente calcarei in superficie, da moderatamente grossolani a medi e calcarei a media profondità, alcalini e a drenaggio da mediocre a buono.

- ***Depositi prevalentemente argillosi (5 ag)***: essi caratterizzano abitualmente quei settori ove, in conseguenza del ridotto gradiente morfologico e della maggiore distanza dai corsi d'acqua superficiali, si sono avuti eventi deposizionali lenti.

In ambito comunale affiorano poco a Sud di Borgo Chiesanuova e, più estesamente, nella piana compresa fra Mincio e Canal Bianco a Sud-Est di Formigosa.

La frazione argillosa varia dal 44 al 70%, accompagnata da limi (dal 27 al 46%) e da percentuali più modeste di sabbia fine (dal 3 al 16%).

I suoli impostati su questo tipo di depositi sono da moderatamente profondi a profondi, a substrato limoso-argilloso molto compatto e calcareo, a tessitura fine, subalcalini o alcalini, calcarei e a drenaggio molto lento. La falda è presente intorno al metro di profondità e oscilla all'interno del profilo.

- ***Depositi prevalentemente torbosi (8 trb)***: tali depositi si rinvencono in sponda sinistra del Lago Superiore di Mantova, anche se la loro estensione va sempre più riducendosi per l'intervento antropico; qui raggiungono spessori variabili da 30 a 100 centimetri circa, ricoprendo depositi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi.

Depositi torbosi affiorano anche a Sud della città di Mantova lungo il corso del Fosso Paiolo Basso, il colatore rimasto a testimoniare l'antico lago interrato artificialmente nel corso del XVIII secolo.

Si distinguono suoli da sottili a moderatamente profondi, limitati da strati torbosi al di sotto dei quali, talvolta, si trovano orizzonti sabbiosi incoerenti, e dalla falda permanente; sono a tessitura media, subalcalini, da calcarei a molto calcarei, a drenaggio da impedito a molto lento.

- ***Depositi paludosi (5 lcs)***: sono costituiti da residui vegetali frammisti a frazioni variabili di limo e argilla.

Si ritrovano in aree limitate sul Lago Superiore e lungo le sponde del Fiume Mincio a Sud della Diga Masetti (Vallazza).

I suoli associati a detti sedimenti sono organici sottili, limitati dalla falda permanente e da strati torbosi, a reazione subacida, non calcarei e a drenaggio impedito.

In corrispondenza della città di Mantova, infine, al di sotto di un orizzonte costituito da materiali di riporto avente spessore di alcuni metri, sono rinvenibili terreni prevalentemente sabbiosi. Secondo *BARALDI F., CANTONI A. & NOVELLINI G. (1990)* è possibile schematizzare quattro diverse zone così contrassegnate:

- a) la sponda destra del Lago Superiore caratterizzata dall'alternanza di depositi sabbiosi e limosi;
- b) il centro storico in cui prevalgono materiali sabbiosi e ghiaiosi;
- c) la sponda destra del Lago Inferiore con torbe ed argille;
- d) l'ex Lago Paiolo, ove al di sotto di alcuni metri di depositi torbosi (spessore anche superiore a 3 m), si rinvencono sabbie e ghiaie.

2.1.3 - Idrografia superficiale

Nell'ambito studiato si distinguono due bacini idrografici: quello costituito dal sistema Fiume Mincio - Laghi di Mantova, di cui è tributaria gran parte della rete di drenaggio superficiale, ed il bacino del Fiume Fissero - Tartaro - Canal Bianco, che coinvolge il settore orientale del territorio comunale.

Come riferito in Premessa, gli elaborati del presente Studio Geologico-Tecnico recepiscono i contenuti del contestuale lavoro redatto dall'Ing. Nicola Nabacino, incaricato dal Comune di Mantova in ordine *"alla verifica e all'aggiornamento dello studio relativo al Reticolo Idrico Minore (RIM) e Documento di Polizia Idraulica (DPI), delle fasce di rispetto del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e delle aree di rischio individuate dal Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), a supporto della pianificazione del territorio"*.

Il reticolo idrico superficiale presentato in questa sede (cfr. Tavola 5) è pertanto coerente con tale analisi, cui si rimanda per ulteriori dettagli e della quale il Comune di Mantova si fa proponente.

In destra Mincio, annotazione particolare va fatta per Fossa Magistrale, Fosso Paiolo Basso e Rio di Mantova (cfr. 2.1.1): più che veri e propri affluenti del fiume, essi devono essere considerati come percorsi alternativi alla linea di deflusso principale, cui si riconducono poco più a valle.

Gli alvei in sinistra Mincio sono gestiti dal Consorzio di Bonifica Territori del Mincio, nato nel 2012 dalla fusione dei preesistenti Consorzi di Bonifica Fossa di Pozzolo e Sud Ovest Mantova.

Costituiscono eccezione Canal Bianco e Colatore Diversivo Mincio, facenti capo all'Agenzia Interregionale per il Fiume Po (A.I.PO), Ente al quale fanno naturalmente riferimento anche Fiume Mincio e Laghi di Mantova.

Il reticolo idrico di destra Mincio è parimenti governato dal Consorzio di Bonifica Territori del Mincio; parte del percorso della Fossa Magistrale viene tuttavia gestita dall'azienda AqA S.r.l. (ex Tea Acque S.r.l.), mentre il Rio di Mantova è in carico ad A.I.PO.

Anche relativamente al bacino idrografico del Fissero - Tartaro - Canal Bianco, la gestione del reticolo idrico risulta ripartita fra A.I.PO e Consorzio di Bonifica Territori del Mincio.

Dei corsi d'acqua identificati in ambito comunale, alcuni risultano in toto o in parte vincolati ai sensi dell'Art. 142 del D.Lgs. n. 42 del 22 gennaio 2004 e successive modifiche ed integrazioni (ex L. n. 431 dell'8 agosto 1985 o L. Galasso).

L'elenco include Fiume Mincio – Laghi di Mantova, Cavo Parcarello, Colatore Diversivo Mincio, Dugale Derbasco, Fissero – Tartaro – Canal Bianco, Guerriera Di Canfurlone, Naviglio Di Goito e Rio Freddo.

Analoga tutela è riservata ad una zona umida localizzata in prossimità del Lago Superiore.

Il sistema Fiume Mincio - Laghi di Mantova ed il territorio ad esso circostante rientrano inoltre nella perimetrazione delle fasce A, B e C, definite dall'Autorità di Bacino nel contesto del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po (PAI, 2001).

In relazione a tale suddivisione, si rammenta il significato attribuito a ciascuna tipologia di fascia fluviale:

- Fascia A – Fascia di deflusso della piena, costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente del deflusso della corrente per la piena di riferimento, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;
- Fascia B – Fascia di esondazione, esterna alla precedente, costituita dalla porzione di territorio interessata da inondazione al verificarsi della piena di riferimento. Il limite di tale fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento, ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento);
- Fascia C – Area di inondazione per piena catastrofica, costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quella di riferimento.

Per tali aree si richiamano i disposti di cui alle N.d.A. del PAI, ivi compresa la recente Deliberazione n. 6 del 20 dicembre 2021 dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, concernente il *Progetto di variante alle Norme di attuazione del PAI (articoli 1 e 18)* (cfr. anche *"Norme Geologiche di Piano"*).

Nel caso di Mantova, il margine esterno delle fasce A e B è talora coincidente.

In prossimità di località Valdaro si segnala inoltre l'esistenza di un breve tratto di "limite di progetto tra la Fascia B e la Fascia C".

La delimitazione delle fasce PAI presentata all'interno dello Studio Geologico-Tecnico (cfr. Tavola 6) è conforme alla revisione delle stesse effettuata dall'Ing. Nicola Nabacino, cui si rimanda per ulteriori dettagli e della quale il Comune di Mantova si fa proponente.

Anche l'Autorità di Bacino del Fiume Fissero - Tartaro - Canal Bianco ha redatto nel 2002 un proprio Piano di Assetto Idrogeologico: esso è costituito da una cartografia che individua le condizioni di pericolosità idraulica e/o geologica e le aree a rischio, nonché dalle norme di attuazione che regolamentano l'uso del territorio fornendo indicazioni e criteri per la pianificazione urbanistica.

Secondo detto Piano, i limiti amministrativi di Mantova non sono peraltro coinvolti da zone a pericolosità idraulica.

In ambito comunale, due settori a rischio idraulico sono segnalati per contro dal Programma di previsione e prevenzione di protezione civile della Provincia di Mantova [AMM. PROV. DI MANTOVA (2001-2009)]: il primo è situato ad Est del Colatore Diversivo, in corrispondenza della golena di sinistra Mincio, mentre l'altro è collocato a confine con il Comune di Roncoferraro, sulla sponda destra del Dugale Derbasco.

Il presente lavoro (cfr. Tavola 6) ha tenuto conto anche delle indicazioni contenute nel Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA) di cui alla D.G.R. n. X/6738 del 19 giugno 2017, aggiornato con revisione dell'anno 2020.

In territorio comunale di Mantova vi risultano n. 4 aree, cartografate come esondabili, caratterizzate da pericolosità elevata (H) e rischio elevato (R3), correlate al Reticolo Secondario di Pianura (RSP) - Reticolo consortile: area residenziale di Ponte Rosso, area produttiva di Via Brennero, area di Strada Fossamana ed area urbanizzata nella zona Sud della città di Mantova (Fossa Magistrale).

Un'ulteriore zona esondabile connotata da pericolosità media (M) e rischio moderato (R1), pure correlata al Reticolo Secondario di Pianura (RSP) - Reticolo consortile, individua un'area agricola posta in fregio al Dugale Derbasco (località Pontemerlano).

Da ultimo, si segnala la presenza di un'area allagabile del Reticolo Secondario di Pianura (RSP) ad oggi non cartografata dal menzionato Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA).

Si tratta dell'area di laminazione della Fossa Magistrale, corso d'acqua per larghi tratti tombinato e divenuto nel tempo, di fatto, collettore fognario cittadino di tipo misto con scarico delle acque nel Lago Inferiore.

In caso di eventi particolarmente gravosi ma non eccezionali, l'impianto idrovoro presso la foce non riesce ad allontanare tutte le acque di supero e viene così allagata una porzione dell'area circostante adibita a cassa di espansione.

La frequenza degli allagamenti presenta tempo di ritorno inferiore ai 10 anni e livelli dell'acqua in alcuni punti maggiori di 30 cm, per cui si può definire per l'area un grado di pericolosità elevata (H).

La perimetrazione della vasca di laminazione presentata all'interno dello Studio Geologico-Tecnico (cfr. Tavola 6) è basata sul rilievo planoaltimetrico dell'Ing. Nicola Nabacino, al quale si rimanda per ulteriori dettagli e di cui il Comune di Mantova si fa proponente.

Infine, sempre in relazione al Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA), la cartografia del presente Studio Geologico-Tecnico delinea le aree allagabili afferenti al Reticolo Principale (RP), distinte secondo gli scenari di pericolosità elevata (H), media (M) e bassa (L).

2.1.4 - Sismicità

2.1.4.1 - Notizie di carattere storico

Dalla letteratura specifica risulta che nel territorio di Mantova il rischio sismico è relativamente basso sotto tutti gli aspetti per i quali deve essere considerato e cioè:

- la sismicità locale;
- la distanza dai centri sismici (aree sorgenti) dei terremoti più significativi;
- la frequenza dei fenomeni;
- la quantità di energia liberata.

Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15) mette a disposizione dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo $\geq 4,0$ d'interesse per l'Italia, nella finestra temporale 1000-2014 [ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P. (eds) (2016)].

Il Database Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15) fornisce altresì un set omogeneo di intensità macrosismiche, provenienti da diverse fonti, relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia, sempre nella finestra temporale 1000-2014 [LOCATI M., CAMASSI R., ROVIDA A., ERCOLANI E., BERNARDINI F., CASTELLI V., CARACCILOLO C.H., TERTULLIANI A., ROSSI A., AZZARO R., D'AMICO S., CONTE S., ROCCHETTI E. (2016)].

Un recente studio nell'ambito del Programma Provinciale di previsione e prevenzione di protezione civile [Amm. Prov. di Mantova (2001-2009)], ha analizzato in dettaglio la pericolosità sismica del territorio provinciale; da esso si evince, mettendo a confronto i diversi approcci metodologici utilizzati per la stima del rischio, che il livello di danno atteso, nella più pessimistica delle situazioni, è al massimo pari al grado VII MCS, che indica l'area mantovana come una zona a pericolosità sismica bassa.

Ripresa da detto studio, in Fig. 5 è riprodotta la Carta del rischio sismico per la Provincia di Mantova.

La zona in esame ricade nel settore di raccordo tra il bordo Nord-occidentale delle Pieghe Ferraresi, prolungamento delle strutture appenniniche nell'antistante area di pianura, e la Omoclinale Pedevalpina, la quale costituisce la continuazione sepolta del margine alpino.

In particolare l'ambito è caratterizzato dalla presenza di un supposto elemento tettonico, la Faglia dei Laghi di Mantova già precedentemente citata (cfr. 2.1.1) a proposito dell'influenza esercitata sulla deviazione del corso del Fiume Mincio dell'VIII secolo a.C..

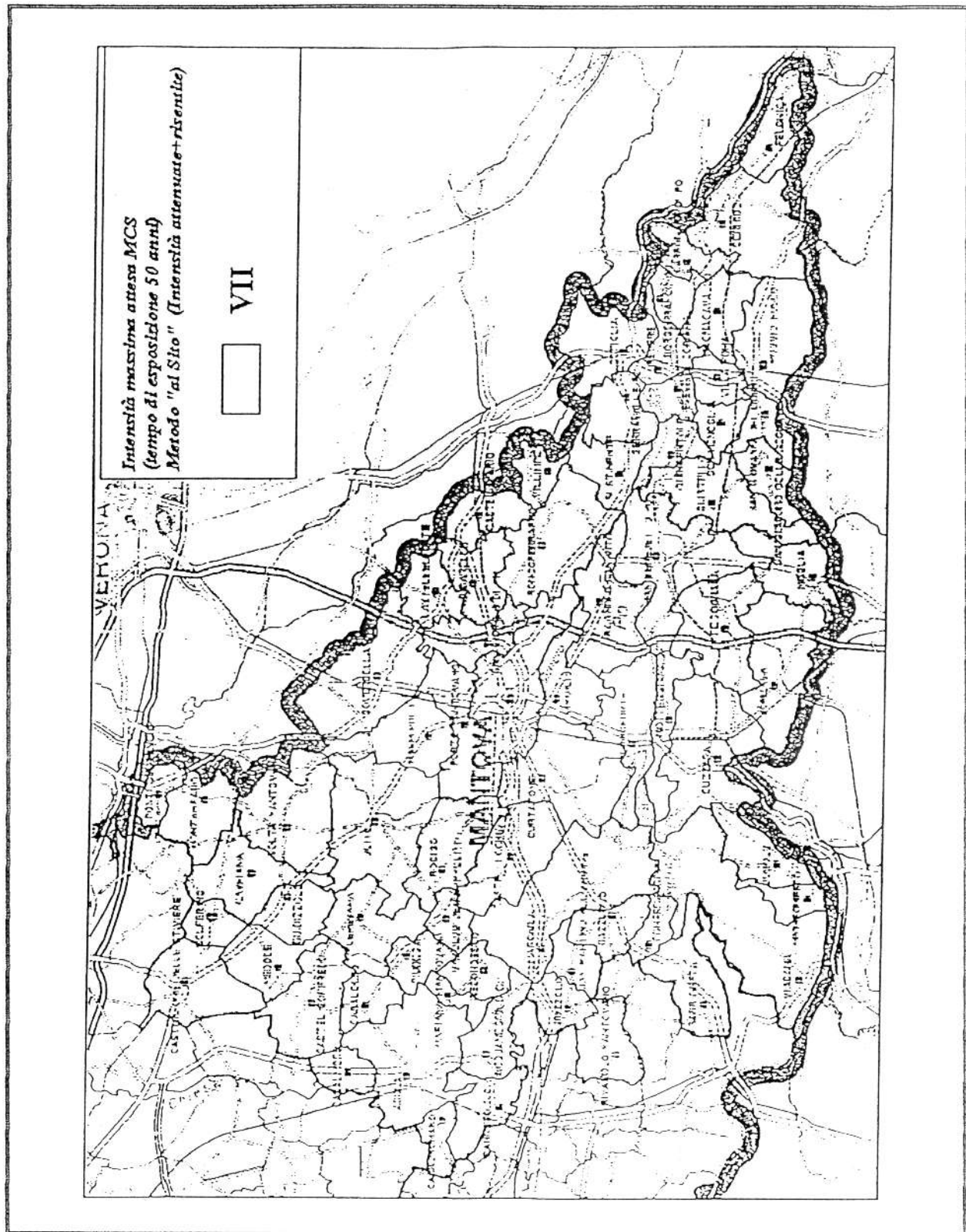


Fig. 5: Pericolosità dei Comuni della Provincia di Mantova espressa come intensità MCS massima attesa, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, calcolata tramite le intensità epicentrali MCS attenuate e corrette con le intensità osservate secondo l'approccio di Sito

L'asse di deformazione in questione rappresenta probabilmente la riattivazione e la prosecuzione di faglie rilevate nell'orizzonte riferibile alla sommità del Pliocene Inferiore, anche se determinati Autori lo imputano a fenomeni di subsidenza differenziata.

L'elemento tettonico descritto viene ritenuto attivo nell'Olocene da *CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1988)*; secondo un rapporto *ENEL (1984)*, date le dimensioni e le ridotte deformazioni plastiche che vi si accompagnano, non sembrano tuttavia ipotizzabili riprese dell'attività cui corrispondano fenomeni sismici di elevata intensità.

La Carta sismica d'Italia del Comitato Nazionale Energia Nucleare - Gruppo Attività Minerarie [*C.N.E.N. (1976)*], che evidenzia le aree esposte agli effetti dei terremoti di alta e massima intensità (VI-XI grado della scala Mercalli, non ne sono contemplati del XII) nel periodo 1893-1965, non include Mantova.

Nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica del C.N.R. [*BARALDI F. et alii (1980)*, *BERNINI M. et alii (1980)*, *PIERI M. & GROPPi G. (1981)*], col quale è stata proposta una riclassificazione del territorio nazionale in zone sismiche, l'area di Mantova si trova al di fuori di ogni elenco e di ogni delimitazione di zone a rischio.

Anche secondo *ENEL (1984)*, in Lombardia e nelle regioni confinanti con la Provincia di Mantova gli epicentri dei terremoti significativi di cui si ha notizia non sono numerosi: i corrispondenti volumi focali non sono in genere particolarmente elevati.

In *SLEJKO D. et alii (1989)*, infine, viene pubblicata una tabella riassuntiva degli eventi sismici di intensità uguale o superiore all'VIII grado della scala Mercalli, al quale corrispondono "rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata", registrati nel settore delle Alpi Orientali durante il periodo storico 238-1984; da essa si rileva che nessun terremoto riguarda Mantova, mentre ne sono evidenziati diversi nelle aree di Cremona, Brescia, Lago di Garda, Verona e Monte Baldo.

Altre fonti riportano di due terremoti verificatisi in epoca storica recente nel mantovano (1693) e nella zona di Sanguinetto (Provincia di Verona, 1841).

In anni più vicini a noi si ricordano un sisma con epicentro nel parmense (1983) e un secondo evento tellurico nell'area di Reggio Emilia (autunno 1996) che si è protratto con scosse rilevabili a livello strumentale per alcuni mesi: entrambi questi fenomeni, del VI-VII grado della scala Mercalli, sono stati avvertiti a Mantova senza tuttavia determinare danni a persone o cose.

Nessuna conseguenza rilevante ha causato nel mantovano anche il sisma di Salò (Provincia di Brescia), verificatosi nel novembre 2004, per il quale è stata stimata una magnitudo pari a 5,2 gradi (terremoto intermedio) della scala Richter.

Il 23 dicembre 2008 è avvenuto un terremoto di magnitudo (MI) 5,1, con ipocentro localizzato ad una profondità di circa 26 Km, tra le Province di Parma e Reggio Emilia e precisamente tra i Comuni di Canossa e Neviano degli Arduini: in seguito all'evento principale delle ore 16:24, è iniziata una sequenza di circa 70 repliche.

Gli eventi descritti sono stati avvertiti dalla popolazione in un'area molto vasta comprendente tutta l'Italia settentrionale, Toscana, Liguria e soprattutto Emilia-Romagna, Veneto e Lombardia. Il rilievo diretto degli effetti macrosismici ha documentato diverse situazioni di danneggiamento sporadico, in particolare riferite a edilizia monumentale, prevalentemente nella zona prossima all'epicentro: nel territorio mantovano si segnalano danneggiamenti nel Comune di Quingentole, tuttavia riferibili a situazioni di degrado preesistente.

Nell'anno 2012, gli eventi avvenuti nei giorni 25 e 27 gennaio hanno avuto rispettivamente magnitudo 4,9 e 5,4 gradi della scala Richter.

Nel primo caso l'ipocentro è stato individuato in Provincia di Reggio nell'Emilia, fra i Comuni di Brescello, Paviglio e Castelnovo di Sotto, ad una profondità di 33,2 Km; il sisma è stato nitidamente avvertito a Mantova, senza tuttavia arrecare danni a persone o cose, e più in generale in tutto il Nord Italia.

Il secondo evento si è verificato invece in Provincia di Parma, tra i Comuni di Corniglio, Berceto, Monchio delle Corti e Palanzano, con ipocentro alla profondità di 60,8 Km; anche in questa occasione non sono stati segnalati danni significativi all'interno del territorio comunale di Mantova, a fronte di danneggiamenti peraltro limitati (caduta di alcuni cornicioni) avutisi in Comuni virgiliani posti a confine con la regione Emilia-Romagna.

Ben altri riflessi sul territorio mantovano hanno avuto invece gli eventi del maggio 2012, connessi all'attività tettonica delle Pieghe Ferraresi citate nelle pagine precedenti.

Il giorno 20 maggio la scossa ha avuto magnitudo 5,9 gradi della scala Richter ed ipocentro alla profondità di 6,3 Km, con Finale Emilia (Provincia di Modena) e S. Agostino (Provincia di Ferrara) come centri abitati più colpiti: si sono avuti vittime, feriti e popolazione sfollata; in Provincia di Mantova si sono contati danni specialmente a edifici monumentali e chiese, in particolar modo a Moglia, mentre presso il capoluogo cittadino qualche segno tutto sommato limitato è stato lasciato in ambienti di Palazzo Ducale.

Gli effetti più disastrosi per il Basso Mantovano si sono avuti il successivo 29 maggio, allorché un'onda sismica di magnitudo 5,8 gradi della scala Richter ed ipocentro alla profondità di 10,2 Km ha coinvolto il distretto di Mirandola (Provincia di Modena); alla prima scossa sono seguite numerose repliche (la principale il 3 giugno con epicentro a Novi di Modena), fortissime nelle ore immediatamente successive e poi via via decrescenti per intensità e frequenza, sebbene il fenomeno si sia protratto quanto meno sino all'anno successivo.

Anche in occasione del terremoto del giorno 29 maggio si sono avuti feriti e vittime, mentre nel territorio della Provincia di Mantova fortunatamente si sono verificati esclusivamente danni di tipo materiale. Questi ultimi hanno riguardato soprattutto l'edilizia monumentale, fra le altre le chiese di Moglia, Quistello, Schivenoglia e Quingentole, ma anche parte dei moderni fabbricati ad uso produttivo e residenziale, con conseguente evacuazione degli abitanti che si è poi protratta per alcuni mesi. In città a Mantova le scosse hanno causato danni quasi esclusivamente al patrimonio artistico e monumentale: sono state segnalate vistose crepe a Palazzo Ducale, sia a Corte Nuova che a Corte Vecchia, che di fatto hanno isolato la preziosa Camera degli Sposi del Mantegna, rimasta a lungo inagibile; è inoltre caduta la parte superiore del campanile della Basilica Palatina di S. Barbara, annesso alla reggia gonzaghesca e restaurato a fine 2015, mentre danni minori si sono avuti a Palazzo Te ed al Palazzo della Ragione.

Svincolato dai descritti avvenimenti, si segnala l'evento tellurico del 3 ottobre 2012, con epicentro nell'Appennino Piacentino, ove è stata registrata una scossa di magnitudo pari a 4,5 gradi della scala Richter, generatasi ad una profondità di oltre 30 Km e che pertanto non è risultata tale da causare danni a persone o cose, sebbene sia stata distintamente avvertita dalla popolazione.

Nel corso del 2013 sono stati registrati due eventi sismici di entità significativa a cavallo tra le Regioni Toscana, Liguria ed Emilia-Romagna: il primo, verificatosi in Garfagnana in data 25 gennaio, ha avuto magnitudo 4,8 gradi della scala Richter ed ipocentro localizzato alla profondità di 10 Km; il secondo, avvenuto in Lunigiana in data 21 giugno, è risultato di magnitudo pari a 5,2 gradi della scala Richter e profondità di 5 Km. In entrambi i casi non si sono avute conseguenze rilevanti per la Provincia di Mantova.

In data 4 luglio 2016 è stato registrato un nuovo sisma nel Basso Mantovano, avente magnitudo 3,5 gradi della scala Richter ed ipocentro alla profondità di 5 Km: le località più prossime alla scossa di terremoto, esenti da segnalazioni di danni a persone o cose, sono risultate quelle di Magnacavallo, Poggio Rusco, Sermide, Villa Poma, San Giovanni del Dosso e Carbonara di Po.

Il giorno 4 giugno 2017 è stato rilevato un terremoto di magnitudo 3,6 gradi della scala Richter, epicentro nel bacino del Lago di Garda ed ipocentro alla profondità di 10 Km: il centro abitato più vicino è risultato quello di San Zeno di Montagna (Provincia di Verona).

Tre scosse di terremoto sono state avvertite nel Mantovano in data 29 dicembre 2020. Particolarmente intensa soprattutto la terza, di magnitudo 4,4 gradi della scala Richter, con epicentro a Salizzole (Provincia di Verona). Secondo le rilevazioni il terremoto si è verificato a 10 Km di profondità.

Da ultimo, in data 9 febbraio 2022 si è avuta una doppia scossa di terremoto di magnitudo 4,3 gradi della scala Richter, con epicentro nel Reggiano, che non ha causato danni a cose o persone. Essa è stata avvertita anche nel Basso Mantovano.

2.1.4.2 - Riferimenti normativi

Come visto precedentemente, il territorio provinciale è stato per lungo tempo, in parte erroneamente, considerato quasi immune dagli eventi sismici: prova ne sia il D.M. LL.PP. del 5 marzo 1984, secondo il quale nessun Comune mantovano venne classificato a rischio.

Viceversa, l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e la D.G.R. n. 7/14964 del 7 novembre 2003 hanno classificato il Comune di Mantova quale zona di tipo 4, ovvero a "bassa sismicità".

Successivamente, con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006, è stata presentata una nuova mappa di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale, recepita dalla Regione Lombardia con la D.G.R. n. X/2129 dell'11 luglio 2014.

La nuova classificazione sismica del territorio regionale sancisce il passaggio del Comune di Mantova da zona 4 a zona 3, con conseguente obbligatorietà di progettazione antisismica per quasi tutte le tipologie di strutture.

Il quadro normativo è stato successivamente integrato con la pubblicazione della D.G.R. n. X/5001 del 30 marzo 2016 *"Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai Comuni in materia sismica (Artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della L.R. 33/2015)"*: l'efficacia del provvedimento ha avuto decorso dalla data di entrata in vigore della nuova zonizzazione sismica di cui alla D.G.R. n. X/2129/2014, ovvero dal 10 aprile 2016.

Ai fini sismici, la D.G.R. n. XI/4317 del 15 febbraio 2021 ha inoltre definito un elenco di interventi privi di rilevanza per la pubblica incolumità.

A livello progettuale del singolo intervento va preso a riferimento il D.M. 17 gennaio 2018 *"Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»"*, entrato definitivamente in vigore in data 22 marzo 2018: con esso si riafferma, al punto 3.2, che la determinazione delle azioni sismiche deve essere effettuata sito per sito, secondo i valori riportati nell'Allegato B al previgente D.M. 14 gennaio 2008 *"Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni"*.

Il nuovo Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) in adeguamento al Piano Territoriale Regionale (PTR) integrato alla L.R. 31/2014 è stato approvato con Deliberazione del Consiglio Provinciale n. 10 del 28 marzo 2022, e il relativo avviso è stato pubblicato sul BURL n. 20 del 18 maggio 2022.

Con il documento A1 - Elaborato Normativo Prescrittivo: Indirizzi Normativi, l'Amministrazione della Provincia di Mantova, al TITOLO III - Sistema tematico rischio, degrado e compromissione paesaggistica, CAPO II - Tutela delle matrici ambientali, idrogeologiche ed idrauliche, riporta l'Art.49.4 relativo alle Aree a rischio sismico.

Al punto 4. Si specifica che i comuni, ai sensi della delibera regionale 30/11/2011, dovranno prevedere analisi di approfondimento sismico (microzonazione) svolta a livello comunale e valutare le aree suscettibili di amplificazione sismica. Le analisi di approfondimento dovranno basarsi sulla cartografia di cui alla Tavola 3 - "Dissesti del territorio provinciale e rischio sismico - Rischio idraulico e Pericolosità sismica".

Dalla predetta Tavola 3, Circondario D Nord e Sud, si evince che nel territorio comunale si rinvencono:

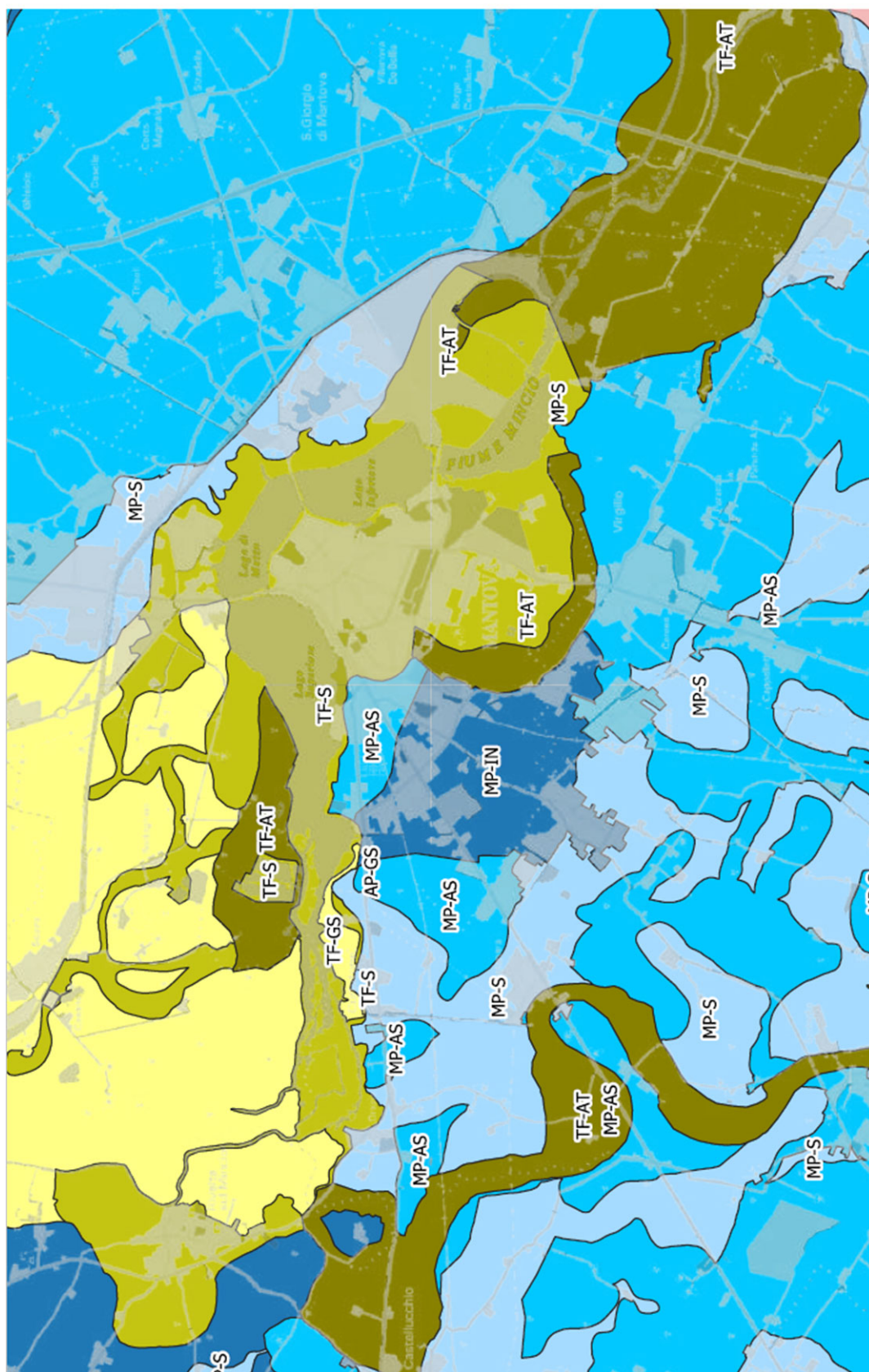


Fig. 5 bis: PTCP Provincia di Mantova (anno 2022) – Stralcio da Tavola 3 - “Dissesti del territorio provinciale e rischio sismico - Rischio idraulico e Pericolosità sismica”

SETTORE	CARATTERISTICHE	SIGLA	DESCRIZIONE	EFFETTI ATTESI								
				Amplificazione stratigrafica			Liquefazione			Densificazione		
ALTA PIANURA	Depositi di alta pianura prevalentemente ghiaiosi di origine fluviale e fluvioglaciale con spessori compresi tra 8 e 10 m soprastanti depositi sabbiosi. Presentano velocità delle onde S generalmente elevata (>360 m/s) dei depositi superficiali e modesta nei depositi sabbiosi (200-300 m/s). Presentano una moderata amplificazione stratigrafica, ma con inversione della velocità; basso rischio di liquefazione e di densificazione.	AP-GS	Depositi prevalentemente ghiaiosi di origine fluviale e fluvioglaciale con spessori compresi tra 8 e 10 m soprastanti depositi sabbiosi	X			X			X		
MEDIA PIANURA	Depositi di media pianura caratterizzati da fitte intercalazioni di depositi granulari (sabbie ghiaiose, sabbie, sabbie limose) e fini (argille e limi) in spessori generalmente modesti (decimetrici o metrici). Presentano velocità delle onde S generalmente moderata (>360 m/s), con amplificazione stratigrafica media: è da valutare con attenzione la possibilità di inversioni di velocità; medio rischio di liquefazione e di densificazione.	MP-IN	Intercalazioni granulari (sabbie ghiaiose, sabbie, sabbie limose) e fini (argille e limi)		X			X			X	
	Depositi sabbiosi di origine fluvioglaciale di media pianura. Presentano velocità delle onde S generalmente moderata (<300 m/s), con amplificazione stratigrafica media; medio il rischio di liquefazione e quello di densificazione.	MP-S	Sabbie di origine fluviale e fluvioglaciale		X			X			X	
	Depositi di media pianura prevalentemente argillosi e limosi superficiali, con spessore fino a 15 m, soprastanti depositi sabbiosi. Presentano velocità delle onde S generalmente moderata (<250 m/s), con amplificazione stratigrafica media; basso il rischio di liquefazione e medio quello di densificazione.	MP-AS	Depositi prevalentemente argillosi e limosi superficiali, con spessore fino a 15 m, soprastanti depositi sabbiosi		X		X				X	
TERRAZZI FLUVIALI	Depositi argillosi e/o torbosi superficiali dei terrazzi fluviali, di spessore 2-5 m, soprastanti depositi sabbiosi. Presentano velocità molto bassa nei depositi superficiali (<100 m/s) e moderata nei depositi sabbiosi. L'amplificazione stratigrafica è alta, come pure il rischio di liquefazione e di densificazione.	TF-AT	Depositi argillosi e/o torbosi superficiali, di spessore 2-5 m, soprastanti depositi sabbiosi			X			X			X
	Depositi prevalentemente sabbiosi dei terrazzi fluviali. Presentano velocità delle onde S generalmente moderata (200-250 m/s) con amplificazione stratigrafica media; elevato rischio di liquefazione e medio rischio di densificazione.	TF-S	Depositi fluviali terrazzati prevalentemente sabbiosi		X				X		X	

2.1.4.3 – Analisi e valutazione degli effetti sismici locali

La pericolosità sismica di base, ovvero la previsione che si possa verificare un evento sismico in una certa area ed in un certo intervallo di tempo, è influenzata dalle condizioni geologiche e geomorfologiche locali, che possono produrre effetti di amplificazione del fenomeno.

Tali effetti vengono distinti in funzione della reazione dinamica dei materiali coinvolti, dividendosi in due grandi gruppi:

- di sito o amplificazione sismica locale;
- di instabilità.

La realtà del Comune di Mantova è in gran parte connotata dalla prima tipologia di effetti, caratteristici di terreni che evidenziano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese.

Essi si concretizzano nell'insieme di modifiche in ampiezza, durata e frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire interagendo con le particolari condizioni locali.

Non rilevandosi in ambito municipale e nell'immediato intorno significativi elementi di amplificazione topografica, quali rilievi morfologici, creste e scarpate con altezza superiore ai 10 m, detti effetti di sito vanno ascritti alla composizione litologica dei terreni.

Si tratta di quelle che la Tabella 1, contenuta nell'Allegato 5 alla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011, designa come *Amplificazioni litologiche e geometriche* riconducibili allo scenario di pericolosità sismica locale "Z4a – Zone di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi".

Limitatamente ad alcuni settori del territorio comunale (sponda sinistra del Lago Superiore, paleoalveo del Fosso Paiolo Basso e Vallazza), interessati dall'affioramento di depositi torbosi e paludosi (cfr. 2.1.2 e Tavola 1), si distinguono inoltre effetti di instabilità potenziale riferibili a terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche: vi possono corrispondere episodi di scivolamento e rottura dovuti a deformazioni permanenti del suolo.

Ancora in relazione alla Tabella 1 del citato Allegato 5, questi ultimi sono identificati come *Cedimenti e/o liquefazioni* cui è associato uno scenario di pericolosità sismica locale "Z2 – Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (Z2a), Zone con depositi granulari fini saturi (Z2b)".

Nel contesto del territorio di Mantova non sono stati rilevati ulteriori scenari di pericolosità rispetto alle tipologie Z4a e Z2 ora descritte.

In Fig. 6 viene proposta la Carta della Pericolosità Sismica Locale (scala 1:40.000) che deriva dalle valutazioni sopra esposte.

Detto elaborato costituisce l'obiettivo del primo livello di approfondimento dell'analisi del rischio sismico, obbligatorio per tutti i Comuni durante la fase pianificatoria.

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale, i cui criteri sono fissati dal citato Allegato 5 alla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011, è complessivamente articolata su tre livelli di analisi con grado di dettaglio crescente, in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica locale come precedentemente identificati.

La procedura si fonda su indagini dirette e prove sperimentali effettuate su alcune aree campione della Regione Lombardia: i risultati di queste ultime sono contenuti in uno "Studio-Pilota" redatto dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale del Politecnico di Milano.

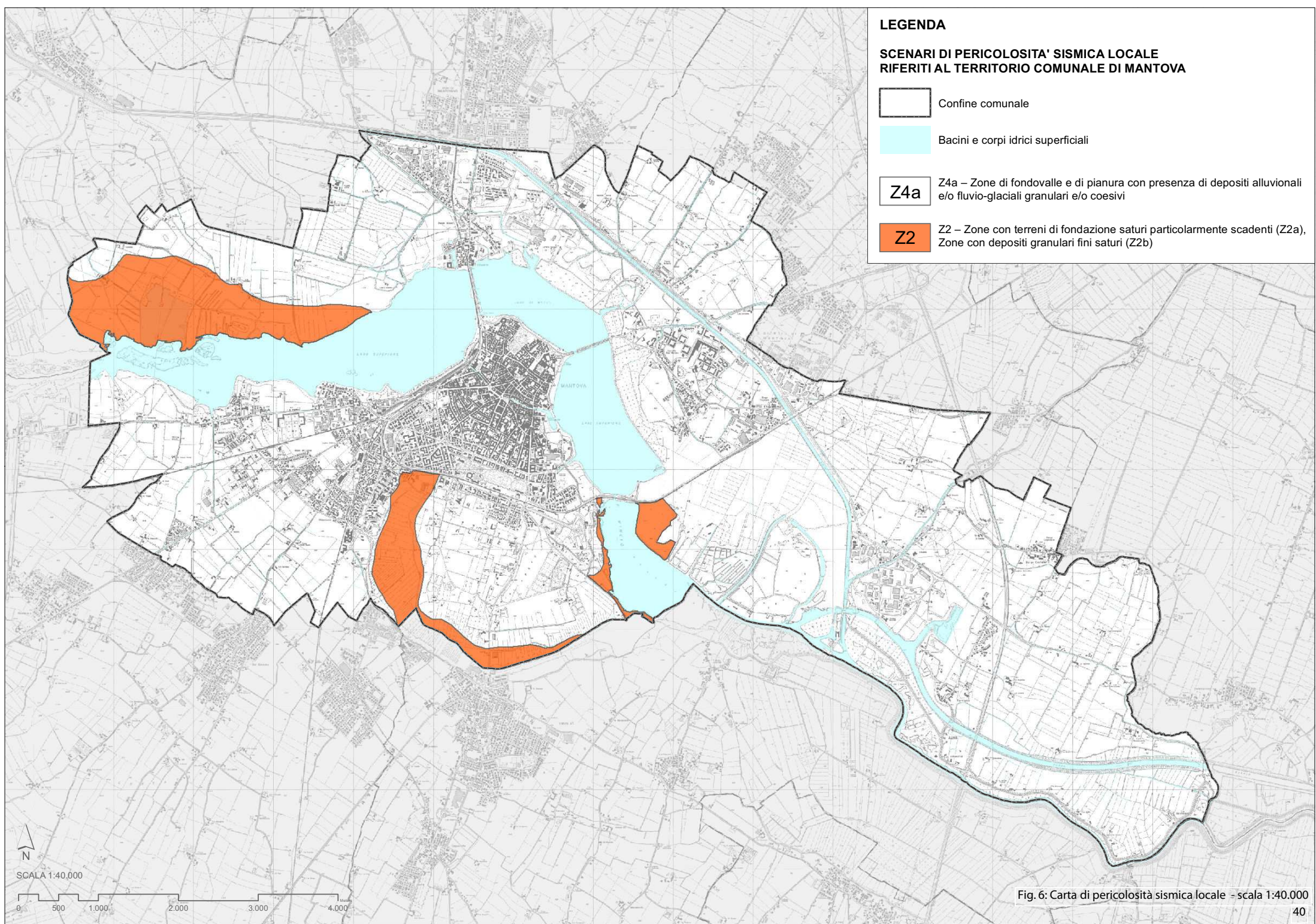
La metodica messa a punto fa riferimento ad una sismicità di base con un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

In occasione del presente studio si è proceduto anche ad un'analisi di secondo livello, consistente nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrate nella descritta Carta della Pericolosità Sismica Locale.

Per i Comuni ricadenti in zona sismica 3, quale è il caso di Mantova, tale stadio deve essere applicato agli ambiti a pericolosità sismica locale (PSL) di tipo Z3 e Z4, interferenti con urbanizzato ed urbanizzabile.

Poiché rientra virtualmente in questa casistica buona parte del territorio comunale, connotato da uno scenario di pericolosità Z4a (cfr. Fig. 6), si è deciso di compiere n. 4 prove a rifrazione atte a definire l'andamento nel sottosuolo della velocità V_s delle onde sismiche di taglio.

Le posizioni dei punti di prova, concordate con il Settore Territorio e Ambiente del Comune di Mantova, sono state scelte sulla scorta delle seguenti caratteristiche: prossimità ad infrastrutture o a luoghi di particolare interesse dal punto di vista storico e monumentale, prospettive di espansione urbanistica, disponibilità nelle vicinanze di informazioni litostratigrafiche e geotecniche sufficientemente circostanziate.



Sono stati così designati gli ambiti:

- Base sismica 1 – Porto di Valdaro;
- Base sismica 2 – Quartiere Te Brunetti;
- Base sismica 3 – Castello di S. Giorgio;
- Base sismica 4 – Zona Industriale.

Non disponendo di dati stratigrafici puntuali, a proposito del Quartiere Te Brunetti si è dato luogo ad un apposito sondaggio a carotaggio continuo, spinto alla profondità di 30,00 m dal piano campagna.

Il relativo profilo (S1) e la documentazione fotografica sono raccolti nelle Appendici 6 e 7 del volume *“Allegati alla Relazione Geologica Generale”*; l'Appendice 5 del medesimo fascicolo contiene, all'interno di una raccolta più ampia, le litostratigrafie dei carotaggi (P27 – Porto di Valdaro, P26 – Castello di S. Giorgio e P12 – Zona Industriale) utilizzati per la taratura dei risultati degli altri stendimenti sismici.

Per l'illustrazione dettagliata delle modalità attuative delle indagini necessarie alla definizione del modello geofisico-geotecnico si rimanda al documento *“Relazione Specialistica di Analisi Sismica”*, redatto a cura di CIS Geofisica S.r.l. ed al quale sono allegate le planimetrie con l'ubicazione delle prove e le corrispondenti sezioni interpretative.

I risultati delle prove a rifrazione hanno costituito il punto di riferimento per la stima della risposta sismica dei terreni, avvenuta attraverso la determinazione del parametro Fattore di Amplificazione Fa.

Relativamente a ciascuna delle quattro basi studiate, il calcolo del valore di Fa è stato compiuto sulle verticali ritenute più significative in ordine alle variazioni della velocità V_s delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità: i valori misurati vengono riepilogati nelle pagine successive in Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5 e Tab. 6.

B1 - PORTO DI VALDARO	PROGRESSIVA 42	PROGRESSIVA 83
PROFONDITÀ (m)	V_s (m/s)	V_s (m/s)
1-2	220	215
2-3	220	215
3-4	230	220
4-5	235	220
5-6	240	225
6-7	240	225
7-8	240	230
8-9	240	230
9-10	245	235
10-11	250	240
11-12	250	240
12-13	260	240
13-14	265	245
14-15	270	250
15-16	270	255
16-17	280	255
17-18	280	255
18-19	280	260
19-20	280	265
20-21	280	270
21-22	280	270
22-23	280	275
23-24	280	280
24-25	280	280
25-26	285	280
26-27	290	280
27-28	290	280
28-29	290	280
29-30	290	280
V_{s,30}	262	250

Tab. 3: Valori di V_s rilevati presso la Base sismica 1

B2 - TE BRUNETTI	PROGRESSIVA 28	PROGRESSIVA 46	PROGRESSIVA 82
PROFONDITÀ (m)	V_s (m/s)	V_s (m/s)	V_s (m/s)
1-2	170	210	245
2-3	175	215	250
3-4	180	220	250
4-5	180	230	260
5-6	180	230	270
6-7	180	240	275
7-8	180	245	280
8-9	180	250	285
9-10	180	260	310
10-11	240	270	340
11-12	300	280	365
12-13	350	290	380
13-14	500	300	410
14-15	600	320	430
15-16	700	340	450
16-17	720	360	460
17-18	760	380	480
18-19	805	420	500
19-20	830	440	520
20-21	835	450	530
21-22	840	500	540
22-23	850	540	550
23-24	870	590	560
24-25	880	610	570
25-26	890	630	580
26-27	900	650	590
27-28	900	670	600
28-29	900	710	610
29-30	900	720	620
V_{s,30}	351	339	390

Tab. 4: Valori di V_s rilevati presso la Base sismica 2

B3 - CASTELLO DI S. GIORGIO	PROGRESSIVA 42	PROGRESSIVA 88
PROFONDITÀ (m)	V_s (m/s)	V_s (m/s)
1-2	180	180
2-3	190	190
3-4	210	200
4-5	230	210
5-6	250	220
6-7	255	225
7-8	260	230
8-9	260	240
9-10	270	245
10-11	280	250
11-12	280	250
12-13	280	250
13-14	280	255
14-15	280	260
15-16	290	265
16-17	300	270
17-18	310	280
18-19	315	290
19-20	320	300
20-21	320	305
21-22	320	310
22-23	320	315
23-24	320	320
24-25	320	320
25-26	325	330
26-27	325	335
27-28	325	345
28-29	330	355
29-30	330	360
V_{s,30}	278	264

Tab. 5: Valori di V_s rilevati presso la Base sismica 3

B4 - ZONA INDUSTRIALE	PROGRESSIVA 47	PROGRESSIVA 88
PROFONDITÀ (m)	V_s (m/s)	V_s (m/s)
1-2	265	250
2-3	280	250
3-4	280	250
4-5	280	250
5-6	280	255
6-7	300	255
7-8	330	260
8-9	370	265
9-10	375	270
10-11	380	280
11-12	390	300
12-13	395	305
13-14	395	315
14-15	400	330
15-16	405	350
16-17	410	400
17-18	420	500
18-19	425	600
19-20	430	700
20-21	450	800
21-22	470	805
22-23	480	810
23-24	490	815
24-25	510	820
25-26	530	850
26-27	560	860
27-28	600	870
28-29	630	900
29-30	660	950
V_{s,30}	395	393

Tab. 6: Valori di V_s rilevati presso la Base sismica 4

Lo scenario di pericolosità sismica locale Z4a tiene dunque conto della litologia prevalente nel sito, la quale ha orientato la scelta della scheda di valutazione più appropriata fra quelle proposte dall'Allegato 5 alla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011; i dati litostratigrafici impiegati quale termine di raffronto e le variazioni dei valori di V_s con la profondità hanno portato alle correlazioni:

- Base sismica 1 – Porto di Valdaro – Scheda litologia limoso-sabbiosa Tipo 2;
- Base sismica 2 – Quartiere Te Brunetti – Scheda litologia limoso-sabbiosa Tipo 1;
- Base sismica 3 – Castello di S. Giorgio – Scheda litologia limoso-sabbiosa Tipo 2;
- Base sismica 4 – Zona Industriale – Scheda litologia limoso-sabbiosa Tipo 1.

All'interno della scheda di valutazione degli effetti litologici ritenuta più idonea (Fig. 7 e Fig. 8), per ogni verticale di ciascuno stendimento sismico è stata poi selezionata la curva che, in ragione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, meglio si adatta alle condizioni locali.

La base dello strato superficiale è stata fissata laddove è stato rilevato un incremento del valore di V_s , rispetto alla lettura del tratto iniziale 1-2 m, pari a 50 m/s.

Si ricorre al criterio descritto a proposito dell'intervallo di periodo 0,1-0,5 s, per il quale gli abachi elaborati dal Politecnico di Milano forniscono tre diverse curve contraddistinte ognuna da una specifica funzione algebrica; per l'intervallo 0,5-1,5 s, viceversa, all'interno delle singole schede litologiche sussiste una sola curva con la relativa formula.

Le formule esprimono il valore del Fattore di Amplificazione F_a in rapporto al periodo proprio del sito T , che viene calcolato considerando la sezione sismica fino alla profondità in cui V_s diviene uguale o superiore a 800 m/s (bedrock sismico).

Laddove con le prove a rifrazione non è stato raggiunto questo limite entro i 30 m investigati (B1, B2 progressive 46-82, B3, B4 progressiva 47), i dati di campagna sono stati posizionati sui diagrammi V_s /profondità forniti dal Politecnico ed interpolati sino a definire la quota (Z) di intersezione con il valore V_s di 800 m/s.

L'equazione per il calcolo di T è la seguente:

$$T = 4 \times \sum_{i=1,n} (h_i) / [\sum_{i=1,n} (V_{s,i} \times h_i) / \sum_{i=1,n} (h_i)],$$

con h_i e $V_{s,i}$ rispettivamente uguali allo spessore ed alla velocità dello strato i -esimo del modello.

EFFETTI LITOLOGICI - SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO - SABBIOSA TIPO 1

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

NOTE:

Comportamento coesivo

Frazione limosa ad un massimo del 95%

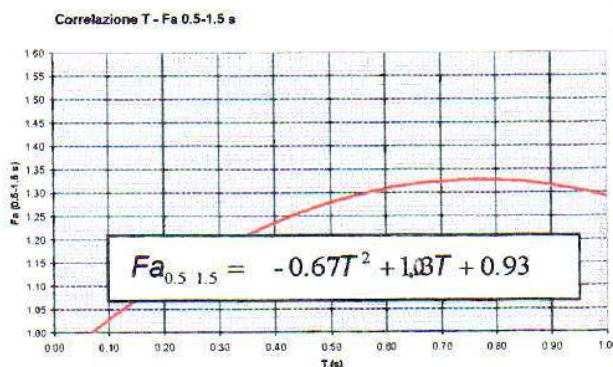
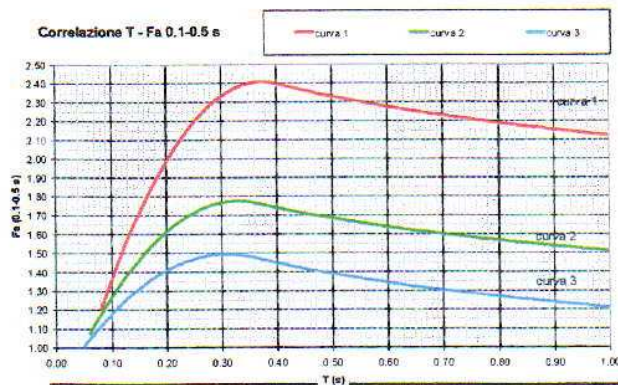
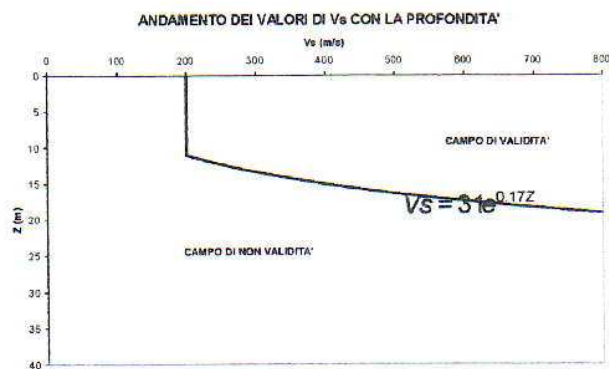
Presenza di clasti immersi con $D_{max} < 2-3$ cm

Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%

Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%

Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%

A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30 \ln T$
2	$0.06 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.5T^2 + 6.3T + 0.73$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.51 - 0.25 \ln T$
3	$0.05 < T \leq 0.35$	$0.35 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -7.3T^2 + 4.5T + 0.80$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.21 - 0.26 \ln T$

Fig. 7: Effetti litologici - Scheda litologia limoso-sabbiosa Tipo 1, tratta dall'Allegato 5 alla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011

EFFETTI LITOLOGICI - SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO - SABBIOSA TIPO 2

PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

NOTE:

Comportamento coesivo

Frazione limosa ad un massimo del 95%

Presenza di clasti immersi con $D_{max} < 2-3$ cm

Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%

Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%

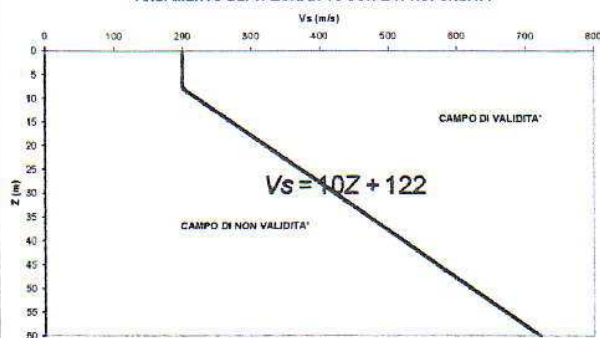
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%

A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

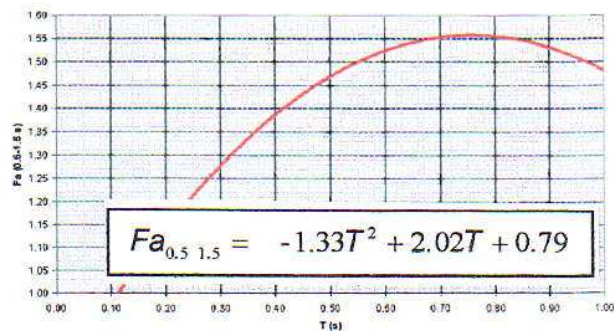
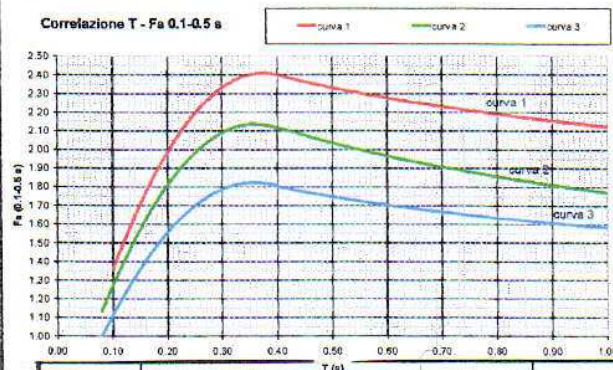


PARAMETRO	INTERVALLO
Peso di volume naturale	18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	26.0-27.9
Contenuto d'acqua naturale	25-30
Limite di liquidità	25-35
Limite di plasticità	15-20
Indice di plasticità	5-15
Indice dei vuoti	0.8-0.9
Grado di saturazione	80-100
Coefficiente di spinta a riposo	0.4-0.5
Indice di compressione	0.10-0.30
Indice di rigonfiamento	0.03-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria	0.002-0.006
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	0-20

ANDAMENTO DEI VALORI DI V_s CON LA PROFONDITA'



Correlazione $T - Fa_{0.1-0.5}$



$$Fa_{0.1-0.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30 \ln T$
2	$0.08 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38 \ln T$
3	$0.05 < T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$0.40 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24 \ln T$

Fig. 8: Effetti litologici - Scheda litologia limoso-sabbiosa Tipo 2, tratta dall'Allegato 5 alla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011

Gli intervalli 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s nei quali viene calcolato il Fattore di Amplificazione sono rappresentativi del periodo proprio delle tipologie edilizie più frequenti in Regione Lombardia: l'intervallo 0,1-0,5 s, in particolare, si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide (indicativamente fino a 5 piani in elevazione), mentre l'intervallo 0,5-1,5 s è caratteristico di strutture più alte e flessibili (da 5 a 10 piani).

In relazione alla Tabella 2 dell'Allegato 5 alla D.G.R. n. IX/2616/2011, il grado di attendibilità dei dati litologici, stratigrafici e geofisici utilizzati per il calcolo di Fa può essere considerato alto.

I valori di Fa sono probabilmente un poco sovrastimati in quanto fra le schede di valutazione al momento disponibili non ne esistono di relative a depositi sabbioso-limosi, che meglio avrebbero rappresentato la situazione stratigrafica locale rispetto a quelle tarate sulla litologia limoso-sabbiosa.

I risultati, approssimati alla prima cifra decimale, sono stati messi a confronto con quelli di soglia comunale forniti dal Politecnico di Milano (banca dati soglie_lomb.xls), che nel caso di Mantova sono (Tab. 7):

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0,1-0,5 s				
CLASSIFICAZIONE	SUOLO TIPO B	SUOLO TIPO C	SUOLO TIPO D	SUOLO TIPO E
zona sismica 3	1,4	1,8	2,1	1,9
VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0,5-1,5 s				
CLASSIFICAZIONE	SUOLO TIPO B	SUOLO TIPO C	SUOLO TIPO D	SUOLO TIPO E
zona sismica 3	1,7	2,3	3,9	2,9

Tab. 7: Valori di soglia di Fa per il Comune di Mantova, tratti dalla banca dati soglie_lomb.xls

In caso di profondità H del substrato ($V_s \geq 800$ m/s) superiore a 30 m, il punto 3.2.2 "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" del D.M. 17 gennaio 2018 distingue le tipologie di sottosuolo in funzione del parametro $V_{s,30}$, inteso come velocità equivalente di propagazione entro i primi 30 m di profondità delle onde di taglio, calcolato con l'espressione:

$$V_{s,30} = 30 / \sum_{i=1,N} (h_i / V_{s,i}),$$

dove h_i e $V_{s,i}$ indicano lo spessore (espresso in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo compreso nei primi 30 m di profondità.

Alla luce delle sezioni interpretative delineate dalle prove sismiche a rifrazione (cfr. Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5, Tab. 6) e dei dati litostratigrafici d'appoggio sono stati individuati sottosuoli riconducibili alle categorie B e C, ovvero:

B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s;

C – Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Di seguito (Tab. 8) viene offerto un quadro sinottico con la comparazione fra i valori del Fattore di Amplificazione Fa calcolati per le verticali più significative di ciascuna base sismica e quelli di soglia comunale (cfr. Tab. 7).

BASE SISMICA	SUOLO TIPO	PROGRESSIVA	Fa 0,1-0,5 s	Fa SOGLIA	Fa 0,5-1,5 s	Fa SOGLIA
B1 – PORTO DI VALDARO	C	42	2,1	1,8	1,5	2,3
B1 – PORTO DI VALDARO	C	83	2,1	1,8	1,5	2,3
B2 – TE BRUNETTI	C	28	2,0	1,8	1,1	2,3
B2 – TE BRUNETTI	C	46	2,3	1,8	1,2	2,3
B2 – TE BRUNETTI	B	82	1,8	1,4	1,2	1,7
B3 – CASTELLO DI S. GIORGIO	C	42	2,2	1,8	1,6	2,3
B3 – CASTELLO DI S. GIORGIO	C	88	2,2	1,8	1,6	2,3
B4 – ZONA INDUSTRIALE	B	47	1,8	1,4	1,2	1,7
B4 – ZONA INDUSTRIALE	B	88	2,1	1,4	1,1	1,7

Tab. 8: Confronto tra i valori di Fa calcolati e quelli di soglia comunale

I campi evidenziati in giallo corrispondono alle situazioni nelle quali Fa calcolato > Fa soglia e lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito; nella definizione dello scarto tra i valori di soglia e quelli ottenuti con il secondo livello di approfondimento è ammessa una tolleranza di +/- 0,1, che tiene conto delle approssimazioni compiute in sede di calcolo.

I risultati conseguiti portano a concludere che, in tutti i casi esaminati a proposito dell'intervallo di periodo 0,1-0,5 s (strutture relativamente basse), la progettazione di nuove costruzioni dovrà essere supportata da un'analisi sismica di terzo livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore secondo la classificazione stabilita dal D.M. 17 gennaio 2018.

Le prescrizioni correlate, definite sulla scorta di quanto rilevato con il presente studio, vengono riportate anche nel fascicolo "*Norme Geologiche di Piano*".

In corrispondenza dei medesimi areali, esente dalla descritta condizione è risultato viceversa l'intervallo 0,5-1,5 s (strutture più alte): in questo caso, infatti, i valori di F_a calcolati sono costantemente inferiori a quelli definiti dalla normativa, il cui spettro appare quindi tale da rispecchiare l'effettiva amplificazione del sito senza richiedere approfondimenti di terzo livello ovvero modifiche dello spettro di norma per una data categoria di suolo, fermi restando gli altri obblighi fissati dal D.M. 17 gennaio 2018.

Il suddetto terzo livello, che la D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 riserva specificamente al momento progettuale e che quindi esula dalle finalità del presente lavoro, andrà infine posto in atto anche per costruzioni strategiche e rilevanti che dovessero essere programmate in ambito Z2 (cfr. Fig. 6); in questo contesto, connotato da potenziali effetti di instabilità riferibili a terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche, la metodologia prevede l'automatico superamento della fase corrispondente al secondo livello di analisi.

Il terzo livello di approfondimento ha lo scopo di ottimizzare le opere definendo gli eventuali interventi di mitigazione della pericolosità sismica.

Si precisa infine che le accurate indagini sismiche a rifrazione descritte nel presente lavoro, ancorché effettuate nell'anno 2007 e nonostante gli aggiornamenti normativi intervenuti successivamente (cfr. 2.1.4.2), risultano tuttora idonee e sufficienti alla valutazione degli effetti sismici locali nell'ambito del territorio comunale di Mantova.

2.2 – CENSIMENTO CAMPIONE DEI POZZI

Si è proceduto alla realizzazione di un censimento campione dei pozzi idrici presenti sul territorio partendo dai dati già disponibili presso l'Amministrazione Provinciale, relativi all'indagine geologica di supporto al Piano Regionale di Risanamento delle Acque [AMM. PROV. DI MANTOVA (1991)]; tali dati sono stati integrati con altri di più recente acquisizione.

Nell'ambito del Comune di Mantova sono stati censiti n. 51 pozzi; essi sono cartografati in Tavola 2 (scala 1:12.000), con indicazione del numero d'ordine progressivo e suddivisi in tre categorie:

- pozzi a litostratigrafia nota (cfr. 2.3.1.1);
- pozzi appartenenti alla rete di monitoraggio della piezometria (cfr. 2.3.1.2);
- pozzi appartenenti alla rete di monitoraggio provinciale del chimismo (cfr. 2.3.2).

Le trivellazioni a litostratigrafia nota, generalmente profonde, sono state prese in considerazione per la definizione degli intervalli cui corrispondono falde produttive, nonché per la ricostruzione di un modello idrogeologico del sottosuolo (Tavola 3); fra tali punti di approvvigionamento idrico si segnalano quelli alimentanti il pubblico acquedotto. Le stratigrafie sono riunite nell'Appendice 1 facente parte del volume "*Allegati alla Relazione Geologica Generale*".

I pozzi del secondo tipo sono stati invece selezionati per l'effettuazione di una specifica campagna piezometrica (Tavola 4), mirata allo studio dei deflussi dell'acquifero più superficiale.

Allo scopo di disporre di un quadro esteso oltre l'ambito locale, per l'elaborazione delle sezioni idrogeologiche ovvero per la campagna piezometrica sono stati individuati ulteriori n. 28 pozzi nei Comuni limitrofi.

Da ultimo, limitatamente al Comune di Mantova, si illustrano in Appendice 2 (cfr. "*Allegati alla Relazione Geologica Generale*") i dati analitici storici [AMM. PROV. DI MANTOVA (1992 a)] dei pozzi censiti che fanno parte della rete di monitoraggio del chimismo delle acque sotterranee (Tavola 4), costituita dalla Provincia di Mantova ed attualmente gestita dall'Autorità Sanitaria.

2.3 - CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE, IDROCHIMICHE E DI VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

2.3.1 - Caratteristiche idrogeologiche

L'assetto idrogeologico del territorio comunale di Mantova è stato ricostruito dapprima mediante l'analisi critica dei dati pubblicati in letteratura; in un secondo tempo questi sono stati verificati ed approfonditi con uno studio specifico, articolato in più fasi.

2.3.1.1 - Sezioni litologiche

Come accennato precedentemente (cfr. 2.2), le stratigrafie di cui all'Appendice 1 hanno permesso la ricostruzione di n. 7 sezioni litologiche interpretative.

Esse sono rappresentate in Tavola 3 (scale 1:25.000 e 1:1.000), ove sono riportate anche le corrispondenti tracce ed i pozzi presi in considerazione.

Al fine di facilitarne la lettura, le sezioni AA', BB', CC' e DD' sono, compatibilmente con i dati disponibili, orientate in senso Nord-Sud; le sezioni EE', FF' e GG' sono altresì disposte in senso Est-Ovest, così da costituire una "rete" a maglie ortogonali.

L'assetto idrogeologico del territorio studiato, descritto complessivamente dalle sezioni, è quello di un monostrato variamente compartimentato dalla presenza di orizzonti limosi e argillosi, poco permeabili o impermeabili, discontinui sia in senso verticale che areale. Al suo interno si distinguono alcuni corpi idrici di notevole sviluppo facilmente individuabili e contrassegnati nelle sezioni con A, B, C, D, la cui sede è costituita da livelli sabbiosi eterometrici (talora con piccole percentuali di ghiaia medio-fine) a permeabilità variabile, localmente interconnessi.

Nell'elaborazione dei profili si è proceduto ad una semplificazione, effettuando una suddivisione basata essenzialmente sulle caratteristiche granulometriche e di permeabilità dei materiali alluvionali: depositi prevalentemente permeabili, costituiti da ghiaie e sabbie, e depositi prevalentemente impermeabili, rappresentati da limi ed argille.

L'acquifero più superficiale (A), intercettato dalle trivellazioni fino alla quota di -15/-20 m s.l.m., è di tipo semiconfinato. Nel settore Sud-orientale del territorio studiato si rilevano in prossimità della superficie topografica materiali di tipo limoso o argilloso ma altrove, quando tale copertura è presente, pare non avere uno sviluppo areale sufficiente a determinare il confinamento dell'acquifero medesimo.

Nello stesso ambito urbano, al di sotto del materiale di riporto di varia natura utilizzato in epoca storica per la bonifica di vaste zone della città (fino a 9 m in corrispondenza di Piazza Virgiliana), le sezioni BB' e FF' evidenziano la presenza di un potente banco sabbioso riferibile all'acquifero A.

Ad una quota compresa tra -20 e -70 m s.l.m. le sezioni di Tavola 3 descrivono l'acquifero B. Il banco a prevalenti limi ed argille potente anche 35 m, che lo separa dal corpo idrico superficiale, sembra in taluni settori ridursi sino a consentire locali comunicazioni. In sezione FF', in particolare, per il distretto occidentale del territorio comunale, i dati disponibili permettono di ipotizzare l'esistenza di un unico orizzonte acquifero fino alla quota di -55 m s.l.m..

Anche il terzo livello permeabile nel sottosuolo dell'area oggetto di indagine (C) è caratterizzato da geometria complessa (numerosi setti impermeabili individuano varie sottounità) e, tuttavia, è possibile considerare il suo sviluppo verticale compreso tra -80 e -120 m s.l.m.. I materiali argilloso-limosi che separano l'acquifero B da C sembrano essere dotati di discreta continuità ed indicano, quindi, un isolamento certo rispetto alla superficie. La falda ospitata nell'orizzonte C viene attualmente emunta da numerosi impianti sia pubblici che privati; ciò attesta elevata produttività e buone potenzialità per tale acquifero sabbioso.

Le trivellazioni più profonde (circa 20 fra quelle censite) raggiungono un quarto importante acquifero (D) tra la quota di -120 e -180 m s.l.m.. Talune sezioni di Tavola 3 lo descrivono come un potente, omogeneo pacco di materiali sabbiosi ma, molto più probabilmente, al suo interno alcuni setti impermeabili, talvolta dotati di apprezzabile sviluppo orizzontale e verticale, ne articolano la struttura (sezioni AA', EE', FF', GG'). Le sezioni BB' e GG' mostrano, inoltre, come verosimilmente si stabilisca nel settore centrale dell'area studiata un collegamento con l'acquifero C.

Le informazioni riguardanti l'assetto idrogeologico a quote inferiori vengono fornite solo da alcune perforazioni. Il pozzo n. 15, alimentante il pubblico acquedotto, attesta in particolare la presenza di un banco di argilla e torba fino alla quota di -220 m s.l.m., cui corrisponde uno spessore di almeno 35 m.

2.3.1.2 - Rete di controllo

È stata predisposta una rete di controllo per il rilievo dei dati piezometrici, costituita da pozzi aventi profondità non superiori a 35 m dal piano campagna e quindi riferibili all'acquifero superficiale.

Alcuni fra i pozzi utilizzati sono ubicati fuori dal territorio comunale di Mantova: ciò è stato necessario per compensare le lacune nella distribuzione dei punti di misura ed ha consentito, inoltre, di estendere l'indagine ad un significativo intorno dell'area di interesse.

Non è stato possibile invece costituire una rete di monitoraggio delle falde profonde a causa della scarsità e disomogeneità dei dati disponibili.

I dati piezometrici sono stati rilevati nel corso di una campagna di misure effettuata durante il mese di luglio 2003; le osservazioni sono state compiute utilizzando un freatometro centimetrato.

Secondo fonti bibliografiche, il periodo estivo corrisponde ad una fase nella quale la superficie freatica raggiunge le massime quote sul livello del mare.

Ad esempio, *BARALDI F. & PELLEGRINI M. (1978)*, utilizzando informazioni fornite dal Genio Civile di Mantova, definiscono l'andamento freaticometrico medio (riferito al periodo 1969-1978), ed individuano due fasi annuali di piena per l'acquifero superficiale del settore urbano del territorio comunale: dicembre-gennaio e giugno-luglio.

Una campagna di indagine effettuata sulla rete provinciale di monitoraggio piezometrico nel 1990 [*AMM. PROV. DI MANTOVA (1991)*] fornisce una parziale conferma di ciò.

La Fig. 9, tratta da *AA.VV. (1994)*, descrive il regime piezometrico per l'unità idrogeologica *Media Pianura*: i mesi di giugno e luglio coincidono con un periodo di "piena" della falda superficiale (i dati si riferiscono ad un pozzo di cui non vengono fornite ulteriori informazioni).

Alla luce di quanto riferito, i valori inerenti ai rilievi del luglio 2003 potrebbero corrispondere alle massime quote della superficie piezometrica; è opportuno tuttavia ricordare che quella stagione estiva è stata eccezionalmente siccitosa, e ciò ha certamente determinato una relativa depressione dell'acquifero superficiale.

In Tab. 9 sono raccolti i dati piezometrici relativi alla campagna di misura 2003.

Parallelamente alle verifiche piezometriche, in occasione delle indagini geognostiche in situ sono state eseguite ulteriori misure del livello statico della falda superficiale (cfr. 2.3.1.5); queste ultime, concentrate in prossimità del capoluogo, hanno fornito risultati sostanzialmente concordanti con quelli riscontrati in corrispondenza dei pozzi idrici.

Pozzo	Località	p. c. (m s.l.m.)	Livello statico (m s.l.m.)	Soggiacenza (m)
1	Mantova <i>Angeli</i>	26,20	17,75	8,45
2	Mantova <i>Cittadella</i>	19,80	17,30	2,50
3	Mantova <i>Te Dolcini</i>	17,40	14,60	2,80
4	Mantova <i>V. Carducci</i>	19,30	15,29	4,01
5	Mantova <i>V. Chiassi</i>	19,30	15,60	3,70
6	Mantova <i>V. Rippa</i>	17,70	14,70	3,00
7	Mantova <i>P.zza Virgiliana</i>	18,10	15,50	2,60
8	Mantova <i>P.zza S. Barbara</i>	22,00	14,45	7,55
9	Mantova <i>S. Giorgio</i>	21,90	15,20	6,70
10	Mantova <i>P.zza Polveriera</i>	18,40	13,30	5,10
11	Mantova <i>Frassino</i>	24,90	15,70	9,20
12	Mantova <i>Strada Ghisiolo</i>	26,10	24,40	1,70
13	Mantova <i>Formigosa</i>	20,60	15,00	5,60
14	Mantova <i>Formigosa</i>	22,10	16,60	5,50
1 B	Bagnolo S. Vito <i>S. Biagio</i>	18,20	16,95	1,25
2 B	Bagnolo S. Vito <i>C.te Levatella</i>	17,00	16,40	0,60
1 BO	Borgoforte <i>S. Cataldo</i>	20,10	18,60	1,50
1 C	Curtatone <i>Grazie</i>	26,00	20,47	5,53
2 C	Curtatone <i>S. Silvestro</i>	23,80	21,00	2,80
3 C	Curtatone <i>Levata</i>	23,50	17,47	6,03
1 M	Marmirolo <i>Dosso</i>	33,00	27,40	5,60

(continua)

(segue Tab. 9)

Pozzo	Località	p. c. (m s.l.m.)	Livello statico (m s.l.m.)	Soggiacenza (m)
1 P	Porto Mantovano <i>Soave</i>	19,10	17,50	1,60
2 P	Porto Mantovano <i>Soave</i>	24,00	22,17	1,83
3 P	Porto Mantovano <i>Drasso</i>	29,90	24,73	5,17
1 V	Virgilio <i>Cappelletta</i>	22,70	20,15	2,55
2 V	Virgilio <i>Cerese</i>	21,10	19,70	1,40

Tab. 9: Valori di soggiacenza osservati in corrispondenza dei pozzi della rete piezometrica

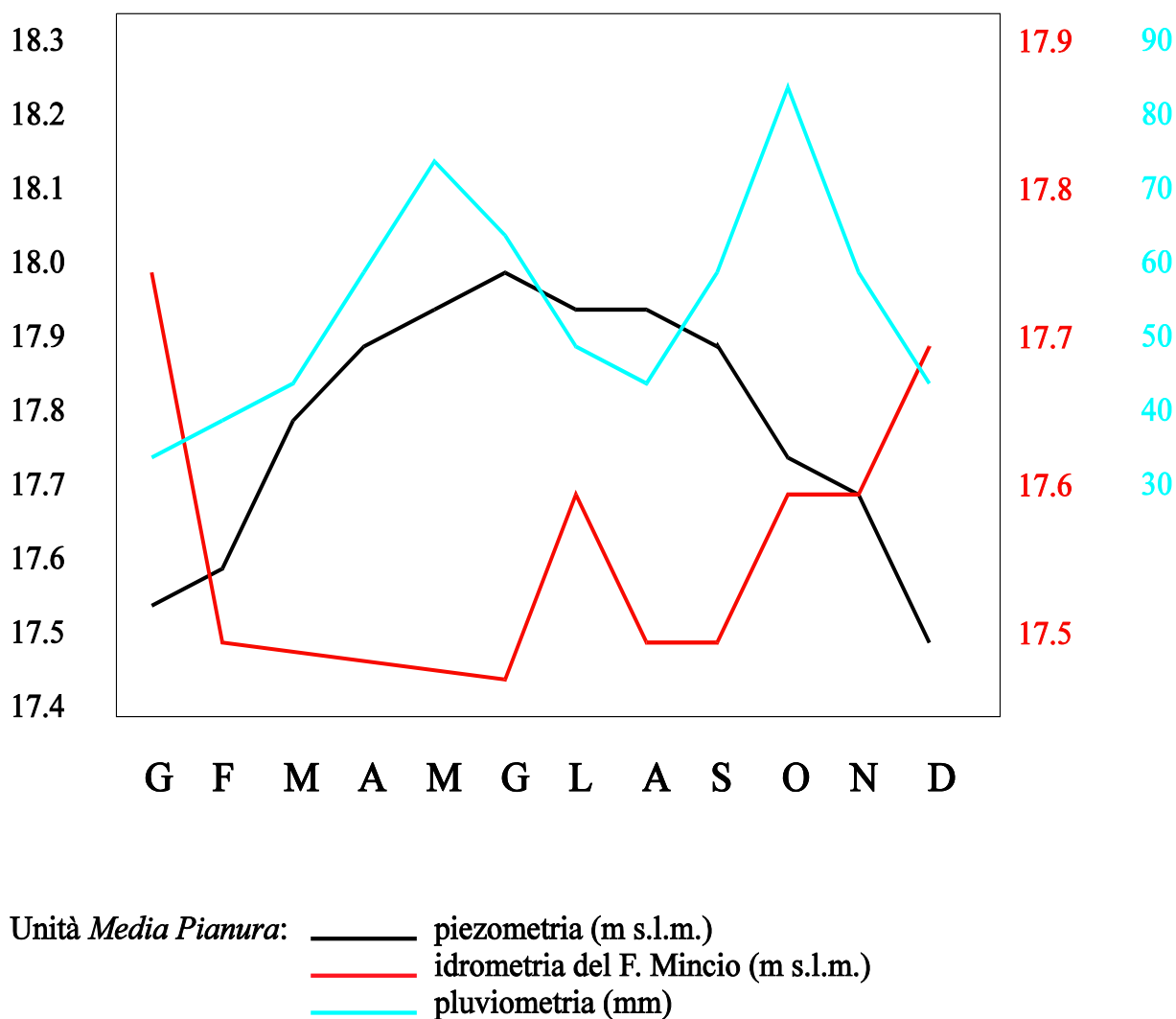


Fig. 9: Piezometria, idrometria (Fiume Mincio) e pluviometria

2.3.1.3 – Carta dei deflussi idrici della falda superficiale

In Tavola 4 (scale 1:50.000 e 1:12.000) sono riportati la superficie piezometrica relativa alla falda superficiale (linee isopieze con equidistanza di 1 m) ed i pozzi (di profondità non superiore a 35 m) utilizzati per la sua ricostruzione.

La conformazione delle isopieze permette di effettuare le seguenti considerazioni:

- il flusso sotterraneo di tutta l'area viene fortemente condizionato dalla presenza dell'asse drenante costituito dall'incisione valliva del Fiume Mincio e dei suoi laghi;
- in sinistra idrografica (Soave, Porto Mantovano, S. Giorgio, Formigosa) le isofreatiche si dispongono con buona approssimazione parallele al corso fluviale, ed il deflusso è orientato verso Sud e Sud-Ovest. Il gradiente idraulico raggiunge il valore di 0,5% in corrispondenza del Lago di Mezzo probabilmente per la presenza del gradino morfologico tra terrazzo e valle, qui particolarmente evidente, e/o per l'abbondanza nel primo sottosuolo di materiali a granulometria fine (sezioni BB' ed EE');
- la destra idrografica è caratterizzata da un deflusso più "dolce" verso Nord-Est e Nord: il gradiente non supera il valore di 0,3% (anche in questo caso la pendenza della superficie piezometrica aumenta in prossimità di una scarpata morfologica, quella che delimita l'antico Lago Paiolo). Le isolinee descrivono in corrispondenza del centro urbano un deciso asse drenante orientato ad Est/Nord-Est: è verosimile che qui al normale richiamo verso Nord si sovrapponga il "travaso" delle acque dal Lago Superiore a quello Inferiore lungo il Rio di Mantova;
- ad Est dell'abitato di Ceresè uno spartiacque piuttosto marcato con direzione Ovest-Sud-Ovest/Est-Nord-Est delimita il dominio del Fiume Mincio, a Nord, da quello del Fiume Po con flusso sotterraneo diretto a Sud-Est.

La Fig. 10 è tratta dalla carta dei deflussi degli acquiferi di profondità inferiore a 50 m nel periodo di settembre 1990 [AMM. PROV. DI MANTOVA (1991)]: la scala minore consente di inquadrare gli elementi sopra descritti nel più vasto contesto provinciale.

Come già detto, nell'ambito del presente lavoro gli scarsi dati disponibili non hanno reso possibile l'allestimento di una rete di monitoraggio e quindi l'elaborazione di una carta delle isopieze per le falde più profonde.

Il secondo acquifero (B nelle sezioni di Tavola 3) ospita un corpo idrico quasi certamente in comunicazione con quello superficiale; è ragionevole, in questo caso, ipotizzare un generale equilibrio idraulico ed una concordanza sostanziale delle direzioni di flusso sotterraneo.

Gli acquiferi posti a maggiore profondità (C e D nelle sezioni di Tavola 3) sono verosimilmente caratterizzati da un regime idraulico poco o nulla influenzato da fattori locali di superficie. La Fig. 11 è mutuata dalla carta dei deflussi degli acquiferi di profondità superiore a 100 m, sempre relativamente al periodo settembre 1990 [AMM. PROV. DI MANTOVA (1991)]; le isopieze sembrano risentire solo debolmente della depressione valliva del Fiume Mincio, individuando per le acque profonde un deflusso verso Sud e Sud-Est organico al sistema drenante del Fiume Po.

2.3.1.4 – Regime ed alimentazione degli acquiferi

Indicazioni riguardo al regime ed ai fattori d'alimentazione degli acquiferi possono essere ricavate dalle indagini svolte nell'area di interesse, già precedentemente ricordate (cfr. 2.3.1.2).

La Fig. 9 sopra illustrata, unitamente alle oscillazioni piezometriche mensili dell'acquifero superficiale dell'unità idrogeologica *Media Pianura*, descrive il regime del Fiume Mincio e gli apporti meteorici nella zona oggetto di studio. Le precipitazioni certamente forniscono un contributo alla ricarica dell'acquifero superficiale nei settori privi di copertura impermeabile. Analogamente è probabile che il corso d'acqua, mediante le dispersioni di subalveo (cfr. sezioni AA', BB', FF' e GG'), eserciti una significativa azione di alimentazione nei confronti dei corpi idrici con esso direttamente comunicanti.

L'andamento registrato nel corso dell'anno per questi due importanti elementi del bilancio idrogeologico, con un picco negativo nei mesi di luglio e agosto per gli apporti meteorici ed una fase di magra fluviale prolungata per quasi tutta la stagione estiva, risulta tuttavia discordante rispetto al regime piezometrico osservato (massimi freaticometrici nei mesi di giugno e luglio).

È pertanto verosimile che l'alimentazione (ed il regime) della prima falda, e soprattutto di quelle più profonde dell'intera unità idrogeologica di *Media Pianura*, siano principalmente da ricondurre agli apporti idrici (ed al transfer di energia) forniti dai corpi acquiferi sotterranei d'*Alta Pianura*, a loro volta caratterizzati da piene tardo-estive amplificate dalle irrigazioni che coinvolgono terreni ad elevata permeabilità [AMM. PROV. DI MANTOVA (1991)].

Contemporaneamente l'azione drenante del Fiume Mincio, almeno nel tratto a monte della città di Mantova, sembra influenzare in modo decisivo le oscillazioni freatiche sovrapponendosi alla piena della falda ed attenuandone gli effetti nei mesi di agosto e settembre (Fig. 9).

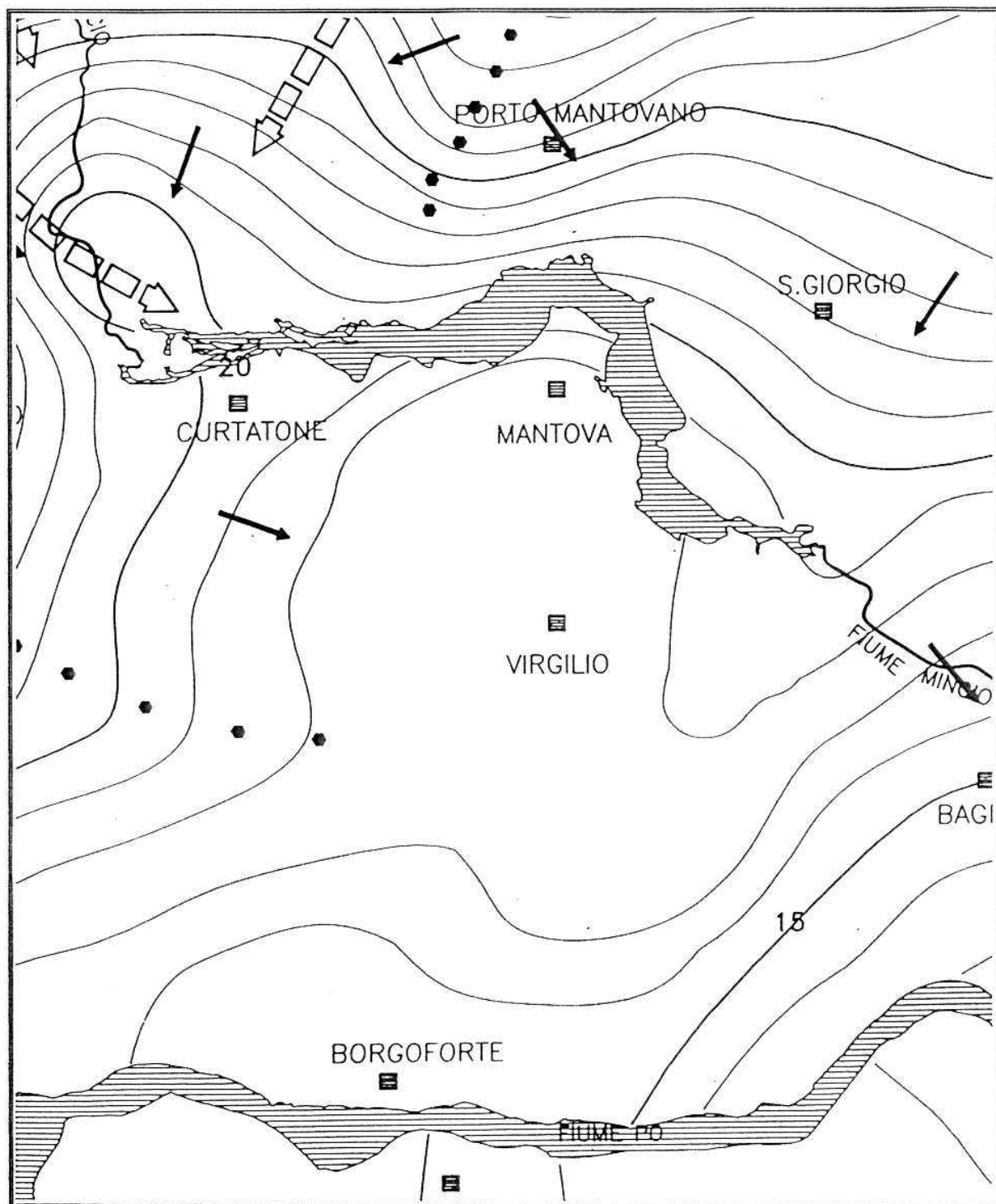


Fig. 10: Carta dei deflussi degli acquiferi di profondità inferiore a 50 m

settembre 1990 (Scala 1:100.000)

20 isopieze e loro quota assoluta s.l.m.

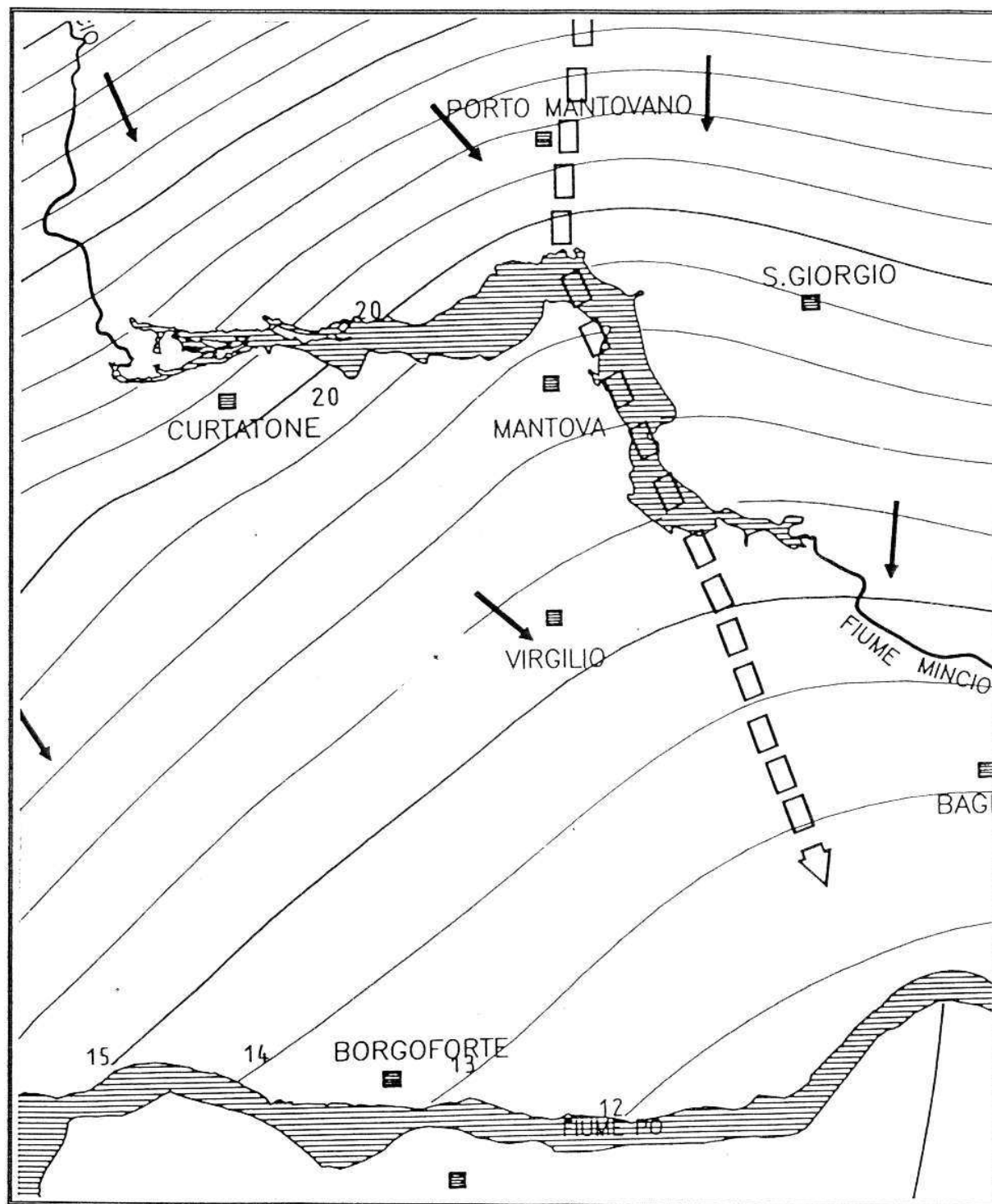


Fig. 11: Carta dei deflussi degli acquiferi di profondità superiore a 100 m
 settembre 1990 (Scala 1:100.000)

20 isopieze e loro quota assoluta s.l.m.

2.3.1.5 - Soggiacenza

Nella già citata Tab. 9, unitamente ai dati piezometrici dei singoli pozzi, vengono indicati i corrispondenti valori di soggiacenza osservati. Quest'ultima varia nell'ambito del territorio studiato e nel corso dell'anno: è infatti legata alle oscillazioni della falda superficiale cui si è fatto cenno nei paragrafi precedenti. Le misurazioni effettuate nel mese di luglio 2003 dovranno peraltro tener conto dell'eccezionale siccità estiva: per la stima della soggiacenza minima sarà opportuno utilizzare un ragionevole fattore di correzione.

La Tab. 10 raccoglie altresì i valori della profondità di falda misurati in Comune di Mantova durante l'esecuzione dei sondaggi e delle prove penetrometriche (cfr. 2.4.1):

penetrometria/sondaggio	soggiacenza (m)
CPT 1	-5,60
CPT 2	-6,00
CPT 3	-1,50
CPT 4	-8,80
CPT 5	-5,80
CPT 6	-7,00
CPT 7	-5,50
CPT 8	-8,00
CPT 9	-7,40
CPT 10	-2,80
E 9	-3,30
E 10	-3,00

Tab. 10: Dati relativi alla soggiacenza riscontrati in occasione delle
indagini geognostiche in situ – estate 2003

La sovrapposizione di tutti i dati riguardanti la quota della superficie piezometrica a quelli topografici e morfologici ha permesso l'elaborazione di cartografie che forniscono indicazioni sulla soggiacenza limitatamente ai dintorni del capoluogo e delle principali frazioni periferiche.

Esse delineano le profondità del livello freatico rispettivamente in corrispondenza di centro cittadino e sua periferia occidentale (Fig. 12), Cittadella e Colle Aperto (Fig. 13), Lunetta e Frassino (Fig. 14).

L'esame di tali cartografie consente le valutazioni esposte di seguito:

Fig. 12

- presso il centro storico del capoluogo si rilevano valori di soggiacenza generalmente superiori ai 3,00 m, i quali aumentano anche sino a 8,00÷9,00 m in taluni settori degli abitati di Castelnovo Angeli, Dosso del Corso e Borgo Chiesanuova;
- ancora in corrispondenza di Mantova, livelli freatici compresi fra 2,00 e 3,00 m di profondità contraddistinguono le zone di Piazza Virgiliana e del quartiere Valletta Paiolo;
- la falda idrica si approssima alla superficie topografica presso il quartiere Te Brunetti e soprattutto a Sud della città; nella depressione morfologica che sino al XVIII secolo ospitava il Lago Paiolo, in particolare, essa è riscontrabile anche a meno di 1,00 m dal piano campagna.

Fig. 13

- la falda evidenzia valori di soggiacenza anche ampiamente superiori ai 3,00 m nei dintorni di Colle Aperto, dove alla significativa profondità delle quote piezometriche che di norma contraddistingue il livello fondamentale della pianura si sovrappone l'effetto drenante dovuto alla vicinanza del Diversivo Mincio;
- il tetto della falda si avvicina repentinamente al piano campagna in corrispondenza di Cittadella, specie al piede della scarpata che delimita la Valle del Mincio ove diviene subaffiorante.

Fig. 14

- i dintorni di Lunetta e Frassino, situati sul livello fondamentale della pianura, denotano valori di soggiacenza notevolmente superiori ai 3,00 m; la superficie freatica risente anche in questo caso dell'influenza del vicino Diversivo Mincio.

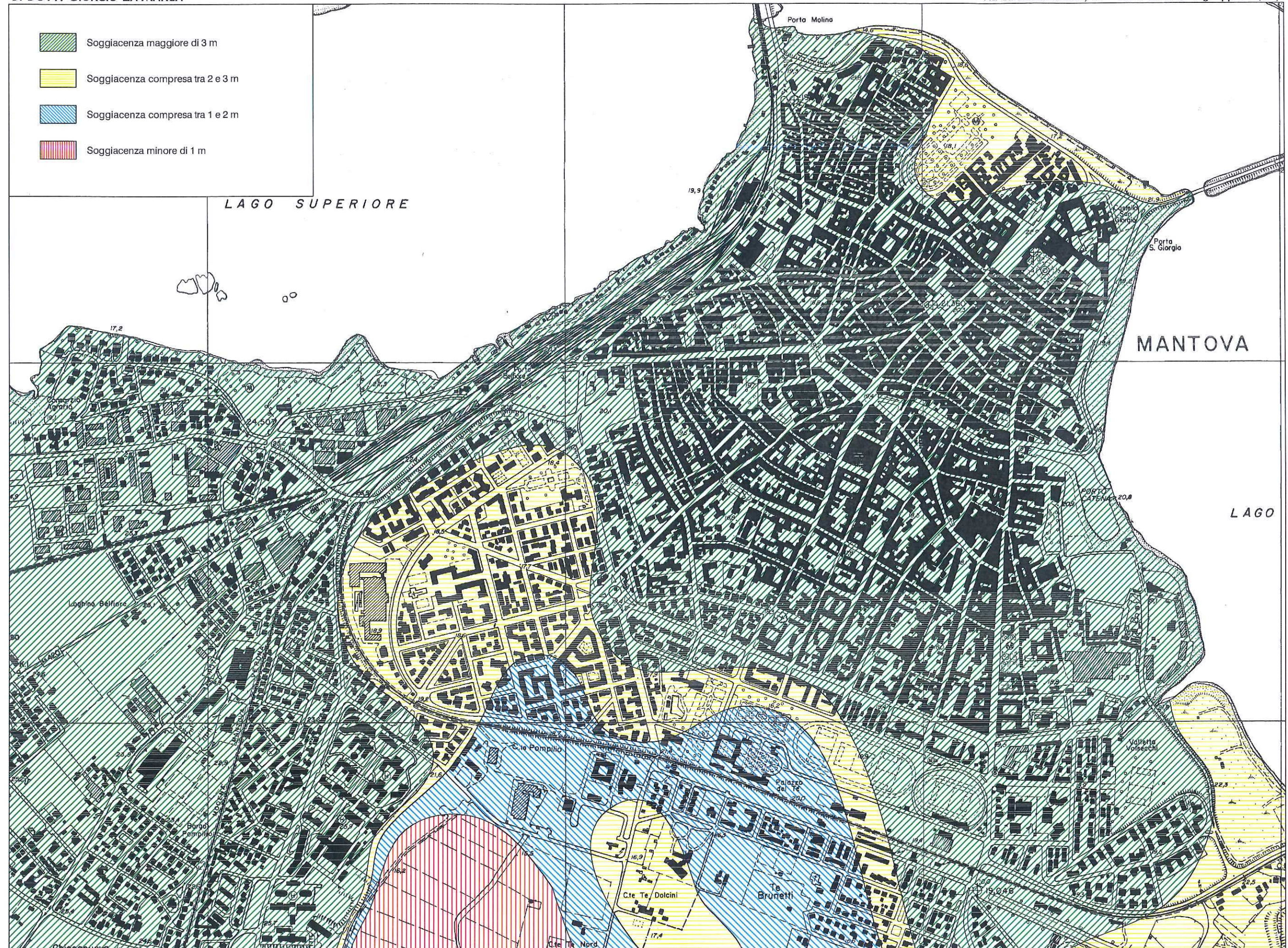


Fig. 12: Carta della soggiacenza relativa al centro storico di Mantova ed alla periferia occidentale (scala 1:10.000)

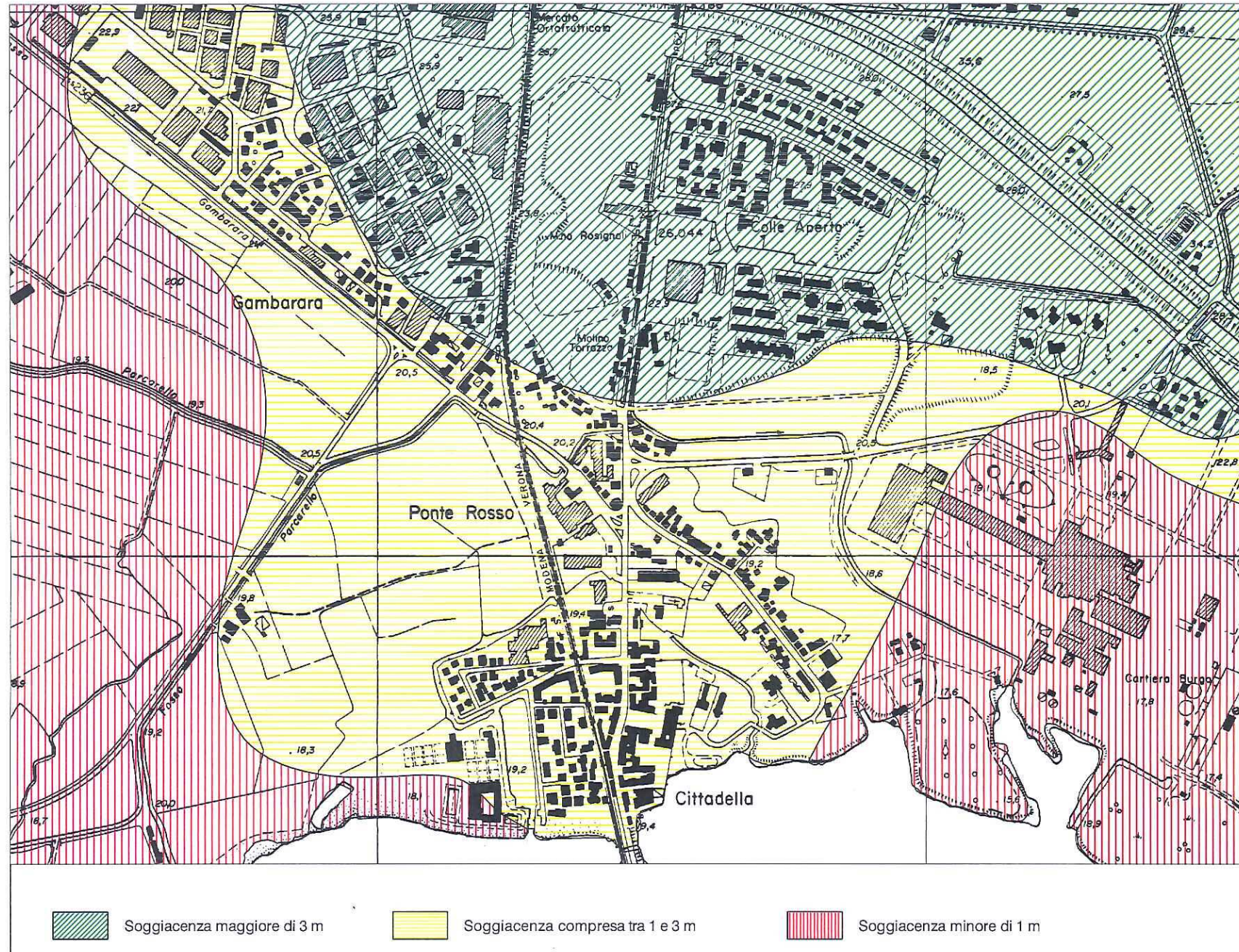


Fig. 13: Carta della soggiacenza relativa agli abitati di Cittadella e Colle Aperto (scala 1:10.000)



2.3.1.6 - Caratteristiche idrauliche degli acquiferi

In Tab. 11 si riportano infine alcune informazioni di tipo generale relativamente alle caratteristiche idrauliche degli acquiferi rilevate in territorio di Mantova.

Ubicazione pozzo	Trasm. (m ² /s)x10 ⁻³	Cond. idr. (m/s)x10 ⁻⁴	Coeff. Immagazz.	Profondità (m)	Diametro (mm)	Filtri (da m a m)	Portata (l/s)	Abbass. (m)
zona Nord	12,5	3,2		240	263	56-70 120-169 210-230	60	2,4
zona Sud	10,0	2,8		212	420-310	60-73 115-129 160-173 195-202	110	5,1
B. Pompilio	36,0		7,20 x 10 ⁻⁴				50	4,4

Tab. 11: Dati idraulici degli acquiferi

Il nuovo Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA 2016), approvato dalla Regione Lombardia con D.G.R. n. X/6990 del 31 luglio 2017, ha formulato una classificazione quantitativa dei corpi idrici sotterranei ai sensi del D.Lgs. n. 152 dell'11 maggio 1999 e successive modifiche ed integrazioni: per ulteriori approfondimenti in materia si rinvia a detto strumento di pianificazione sovraordinata.

2.3.2 - Caratteristiche idrochimiche

Si sono esaminati i dati analitici provenienti dall'archivio della Provincia di Mantova, la quale anni fa ha costituito una rete di pozzi per il controllo del chimismo delle acque sotterranee estesa a tutto il territorio amministrato [AMM. PROV. DI MANTOVA (1992 a)]; i punti di approvvigionamento idrico di tale rete - attualmente gestita dall'Autorità Sanitaria - ubicati in Comune di Mantova sono evidenziati in Tavola 4.

Le informazioni disponibili riguardano l'anno 1991: per quanto datate e pur non affrontando la ricerca di sostanze di tipo inquinante, esse consentono di delineare un quadro abbastanza preciso del variare delle concentrazioni di numerosi parametri chimici in funzione della profondità. La loro disamina, integrata da notizie di carattere bibliografico, evidenzia la situazione di seguito descritta.

Nei campioni considerati risulta sempre assente l'idrogeno solforato, mentre il pH denota un leggero incremento in corrispondenza delle falde più profonde.

Conducibilità elettrica specifica, durezza ed alcalinità, altresì, decrescono all'aumentare della profondità.

I cloruri ed i solfati sono presenti, peraltro in concentrazioni piuttosto modeste, soltanto nelle acque della falda più superficiale.

Quasi sempre assenti sono pure i nitrati (di solito riconducibili alle pratiche agricole) ed i nitriti (dovuti ad attività antropiche).

Discorso a parte meritano i parametri ammoniacale e ferro: essi, per lo più di origine endogena, si riscontrano frequentemente in alte concentrazioni nelle falde del territorio mantovano. La loro presenza di per sé non costituisce un pericolo per la salute dell'uomo, anche se elevati tenori comportano l'alterazione dei caratteri organolettici (colore, odore e sapore) dell'acqua.

Nel caso specifico di Mantova, i dati disponibili ne delineano sovente quantitativi rientranti entro i limiti fissati dal D.Lgs. n. 31 del 2 febbraio 2001 (0,5 mg/l per l'ammoniaca e 0,2 mg/l per il ferro), o al più di poco eccedenti; alle maggiori profondità, soprattutto a proposito dell'ammoniaca, non mancano tuttavia casi di ingenti concentrazioni.

Da ultimo, non si rilevano significative anomalie nei valori dei parametri fosforo, calcio, magnesio, sodio e potassio.

2.3.3 - Caratteristiche di vulnerabilità degli acquiferi

La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi 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 di eventuali coperture a granulometria fine e con bassa permeabilità, che costituiscono elementi di protezione degli acquiferi sottostanti;
- presenza di livelli ghiaioso-sabbiosi sotterranei, elementi che favoriscono la diffusione di sostanze inquinanti;
- la soggiacenza della superficie piezometrica dell'acquifero ovvero lo spessore della zona insatura, cui corrisponde l'azione depurante ad opera dei depositi litoidi;
- le condizioni di alimentazione degli acquiferi ed il regime di scambio con i corsi d'acqua superficiali;
- le condizioni geomorfologiche particolari, quali la presenza di importanti paleovalle o di terrazzi fluviali.

In Tavola 4, redatta secondo la legenda proposta dal C.N.R.-G.N.D.C.I. (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche) e derivata da *AMM. PROV. DI MANTOVA (1992 c)*, sono state distinte zone caratterizzate da gradi di vulnerabilità variabili fra *basso* ed *estremamente elevato*.

Il suddetto metodo C.N.R.-G.N.D.C.I. definisce una vulnerabilità di tipo intrinseco, quindi asettica rispetto al tipo di attività antropiche presenti sul territorio.

La delimitazione di areali omogenei, connotati da uno specifico livello di rischio idrogeologico, è stata ottenuta per sovrapposizione e incrocio delle carte tematiche descritte nelle pagine precedenti.

Ne derivano le seguenti considerazioni:

- la presenza di un bacino lacustre disperdente conferisce alla zona immediatamente circostante carattere di sensibilità ambientale *estremamente elevata*; a conferma di ciò, il Piano Territoriale di Coordinamento del Parco Regionale del Mincio la classifica come "area di tutela idrogeologica per alta vulnerabilità";
- gli affioramenti sabbiosi della Valle Paiolo e ghiaioso-sabbiosi del livello fondamentale della pianura sono connotati da condizioni di vulnerabilità *elevata*;

- ai terreni limosi ed in minor misura argillosi che pure si rilevano esternamente alla valle fluviale, corrisponde infine un grado di vulnerabilità *medio-basso*.

Data la stretta connessione tra gli elementi idrogeologici e la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento, il riquadro di Tavola 4 alla scala 1:50.000 illustra la conformazione delle isopieze relativa alla falda più superficiale: l'andamento dei deflussi è stato ricostruito mediante apposita campagna di misure, effettuate nel mese di luglio 2003 (cfr. 2.3.1.2). La medesima cartografia riporta l'ubicazione dei punti d'acqua inclusi nelle reti di controllo della piezometria e della qualità delle acque sotterranee.

2.4 - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

2.4.1 - Zone di possibile trasformazione urbanistica

Nel corso dell'estate 2003 sono stati compiuti n. 10 sondaggi con escavatore (E 1 ÷ E 10) per la caratterizzazione di massima dei terreni in alcune delle zone allora indicate dal Comune di Mantova come possibili sedi di espansione urbanistica; parallelamente sono state effettuate n. 10 prove penetrometriche statiche (CPT 1 ÷ CPT 10).

Nelle Appendici 3 e 4 (cfr. *"Allegati alla Relazione Geologica Generale"*) si riportano le stratigrafie dei sondaggi con escavatore nonché le tabelle e i diagrammi delle penetrometrie.

È necessario sottolineare che queste terebrazioni, dato il loro numero esiguo in relazione alle superfici coinvolte, hanno il significato di rilievi puntuali; il loro compito è quello di costituire uno strumento di riferimento per gli Amministratori ed i Tecnici che devono operare le scelte di Piano. Tali studi non sostituiscono dunque le indagini geognostiche di maggior dettaglio previste dal D.M. 17 gennaio 2018 *"Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»"* per la pianificazione attuativa e la progettazione esecutiva.

I rilievi hanno condotto alla ricostruzione delle stratigrafie dei terreni investigati. I sondaggi con escavatore meccanico sono stati spinti a profondità variabili fra 2,00 e 4,65 m dal piano campagna, mentre le prove penetrometriche hanno raggiunto la profondità di 10,00 m; queste ultime sono state eseguite con un penetrometro statico olandese tipo Gouda da 10 tonnellate montato su autocarro gommato. Le caratteristiche dello strumento sono le seguenti:

- Velocità di avanzamento della punta = 2 cm/s;
- Punta meccanica tipo Begemann: $\phi = 35,7$ mm;
- Area di punta conica con angolo aperto $60^\circ = 10$ cmq;
- Area laterale manicotto d'attrito = 150 cmq.

Le successioni stratigrafiche sono state delineate secondo le classi granulometriche A.G.I. (1977), integrate con le correlazioni fra i valori di resistenza alla punta R_p e laterale R_l proposte dal diagramma di Schmertmann (1978).

L'ubicazione delle prospezioni, in taluni casi decentrata per problemi di accessibilità dovuti alla presenza delle coltivazioni agrarie, è illustrata nella Carta geologico-applicativa di Fig. 15.

Per quanto concerne le aree investigate, non sono stati determinati precisi valori di capacità portante, che alla luce della ridotta densità di prove e sondaggi avrebbero avuto scarso significato.

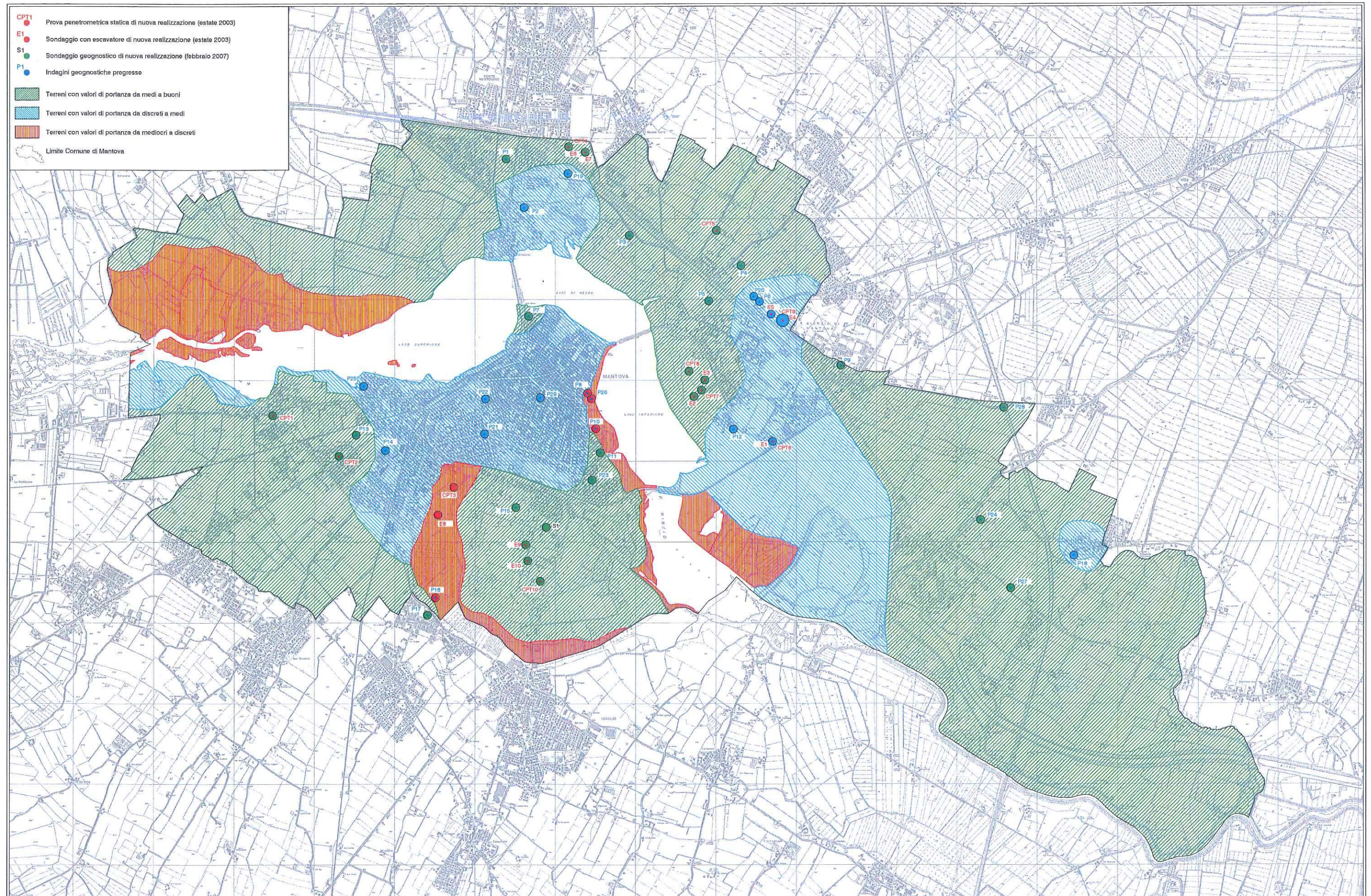


Fig. 15: Carta geologico-applicativa (scala 1:30.000)

Di ciascuna di tali aree si è preferito altresì fornire un giudizio di tipo qualitativo, comunque utile ad indirizzare la pianificazione, basato sul riconoscimento di tre tipologie di terreni di fondazione: con valori di portanza da medi a buoni, da discreti a medi, da mediocri a discreti.

I risultati di queste valutazioni sono riassunti in Tab. 12, che comprende anche il sondaggio a carotaggio continuo S1 attuato nel febbraio 2007 nel contesto delle indagini sismiche (cfr. 2.1.4.3 e Appendici 6 e 7 del volume *"Allegati alla Relazione Geologica Generale"*).

località	penetrometria/sondaggio	valori di portanza
Castelnuovo Angeli	CPT 1	da medi a buoni
Dosso del Corso	CPT 2	da medi a buoni
Valle Paiolo	CPT 3/E 8	da mediocri a discreti
Colle Aperto	CPT 4/E 6/E 7	da medi a buoni
Cantiere Martinotti	CPT 5	da medi a buoni
Via Brennero - Strada Cipata	CPT 6/E 1	da discreti a medi
Via Bassano da Mantova	CPT 7/CPT 8/E 2/E 3	da medi a buoni
Ampliamento P.L. Ghisiolo	CPT 9/E 4/E 5	da discreti a medi
Cantiere Reggiani	CPT 10/E 9/E 10	da medi a buoni
Quartiere Te Brunetti	S 1	da medi a buoni

Tab. 12: Caratterizzazione geotecnica di massima dei terreni di fondazione nelle zone di possibile espansione urbanistica

Da quanto esposto emerge che l'unica area veramente problematica fra quelle prese in considerazione corrisponde alla Valle Paiolo (CPT 3 / E 8, zona marginale prossima al Fosso Paiolo Basso), connotata dalla presenza di una coltre superficiale di depositi torbosi aventi spessore talvolta superiore ai 3,00 m (cfr. 2.1.2); in questa zona, inoltre, la falda idrica è prossima alla superficie topografica.

Orientativamente, si possono ritenere idonei alla costruzione di fabbricati con almeno un piano posto sotto la quota di campagna quei settori del territorio comunale ove il livello freatico viene rilevato a profondità non inferiori a 3,00 m (cfr. 2.3.1.5).

2.4.2 – Indagini geognostiche pregresse

I dati inerenti a prove e sondaggi di cui al paragrafo precedente sono stati integrati con altri relativi a rilievi più o meno recenti, in taluni casi eseguiti dal nostro Studio oppure la cui documentazione è stata reperita presso il Comune di Mantova.

Complessivamente si tratta di prospezioni relative a n. 29 cantieri, delle quali si riportano in Appendice 5 (cfr. *“Allegati alla Relazione Geologica Generale”*) gli estratti più significativi.

Questa ricerca ha consentito di ampliare ulteriormente, anche rispetto allo studio del 2003 allorché risultavano disponibili n. 18 perforazioni, le conoscenze delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo del territorio comunale; la maggior parte dei dati raccolti si concentra ovviamente in prossimità dei centri abitati.

La Tab. 13, elaborata secondo gli stessi criteri di quella concernente le terebrazioni nelle zone di possibile espansione urbanistica, riassume le valutazioni in merito alla capacità portante.

Queste ultime, unitamente all'ubicazione dei luoghi di indagine, sono graficamente illustrate in Fig. 15.

Grazie alla maggior quantità di dati ora resisi disponibili, gli stessi sono stati omogeneizzati così da caratterizzare, almeno a livello qualitativo, l'intero territorio comunale dal punto di vista delle proprietà geotecniche.

Le aree che evidenziano acclarati problemi dal punto di vista litostratigrafico sono quelle di Vicolo Stretto (P 8 / P 26, inquinamento del substrato per il quale è previsto un intervento di bonifica, cfr. *“Norme Geologiche di Piano”*), Fiera Catena (P 10, materiale di riporto sovrastante a depositi di palude) e del Fosso Paiolo Basso (P 16, depositi torbosi).

A queste si aggiungono le zone contraddistinte da sedimenti torbosi e paludosi del Lago Superiore e della Vallazza, riprese dalla Tavola 1 e che con altra valenza sono perimetrate anche nella Carta della Pericolosità Sismica Locale di Fig. 6.

È opportuno precisare che la presenza di condizioni geotecniche sfavorevoli non è sempre preclusiva della fattibilità degli interventi in progetto: chiaramente in tali situazioni è necessario ricorrere a tecniche costruttive particolari (es. fondazioni su pali nel caso di terreni torbosi), la cui attuazione richiede un'attenta valutazione del rapporto costi/benefici.

località	penetrometria/sondaggio	valori di portanza
Ponte Rosso	P 1	da medi a buoni
Cittadella	P 2	da discreti a medi
Cittadella	P 3	da medi a buoni
Tangenziale Nord	P 4	da medi a buoni
P.L. Ghisiolo	P 5	da medi a buoni
Boccabusa	P 6	da discreti a medi
Porta Mulina	P 7	da medi a buoni
Vicolo Stretto	P 8	da mediocri a discreti
Via Sartori	P 9	da medi a buoni
Fiera Catena	P 10	da mediocri a discreti
Fiera Catena - PalaGiustizia	P 11	da medi a buoni
Strada Cipata	P 12	da discreti a medi
Dosso del Corso	P 13	da medi a buoni
Borgo Chiesanuova	P 14	da discreti a medi
Te Brunetti	P 15	da medi a buoni
Valle Paiolo	P 16	da mediocri a discreti
S.P. n. 29	P 17	da medi a buoni
Castelletto Borgo	P 18	da discreti a medi
Colle Aperto	P 19	da discreti a medi
Boccabusa	P 20	da discreti a medi
Piazzale A. Gramsci	P 21	da discreti a medi
Via Conciliazione/L. Fancelli	P 22	da discreti a medi
Via L.C. Volta	P 23	da medi a buoni
Zona Industriale Valdaro 2	P 24	da medi a buoni
Via G. Pascoli	P 25	da discreti a medi
Vicolo Stretto	P 26	da mediocri a discreti
Ex S.S. 482 "Ostigliese"	P 27	da medi a buoni
C.te Tridolo	P 28	da medi a buoni
Via Principe Amedeo	P 29	da discreti a medi

Tab. 13: Caratterizzazione geotecnica di massima dei terreni di fondazione in zone oggetto di indagini geognostiche pregresse

L'Appendice 5 (cfr. *"Allegati alla Relazione Geologica Generale"*) è stata integrata con riferimento alla sezione del *Geoportale* di Regione Lombardia intitolata *"Banca dati geologica sottosuolo"*, in aggiornamento periodico, ed in cui vengono riportate e pubblicate le risultanze delle ricerche di pozzi ed indagini geognostiche realizzate sul territorio lombardo, restituendo evidenza dei seguenti dati: localizzazione, quota, profondità e stratigrafia.

3 - CARTA DI SINTESI

La Carta di Sintesi, illustrata in Tavola 5 alla scala 1:12.000, raccoglie le informazioni peculiari riguardanti gli aspetti geologico-naturali e antropici del territorio: scopo della Carta di Sintesi è quello di fornire un quadro completo degli elementi utili alla pianificazione urbanistica.

In dettaglio vengono rappresentati:

Elementi geologico-naturali:

- orli di scarpata di erosione fluvioglaciale (cfr. Tavola 1);
- tracce di corsi fluviali estinti (cfr. Tavola 1);
- aree con terreni geotecnicamente scadenti nel primo sottosuolo (cfr. Fig. 15);
- limiti del bacino del Fiume Fissero - Tartaro - Canal Bianco (cfr. Piano di Assetto Idrogeologico omonimo);
- reticolo idrico superficiale/in sottopasso (cfr. analisi/proposte Ing. Nicola Nabacino).

Elementi antropici:

- cave cessate (cfr. Tavola 1);
- argini (Regolamento di Polizia Idraulica);
- discarica controllata per rifiuti di tipo industriale;
- depuratore comunale;
- cimiteri;
- manufatti idraulici;
- pozzi pubblici.

Gli elementi antropici possono anche essere così raggruppati:

- produttori reali o potenziali di inquinamento;
- potenziali ingestori e viacoli di inquinamento;
- preventori e/o riduttori dell'inquinamento;
- preventori e/o riduttori del rischio idraulico;
- principali soggetti a rischio di inquinamento.

Per la rappresentazione in Tavola 5 di taluni fattori antropici sopra indicati, qualora non previsti dalle Legende di cui alla D.G.R. n. VI/40996 del 15 gennaio 1999 ed alla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011, si è fatto riferimento alla Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei proposta da *CIVITA M. (1990)* e recepita dal C.N.R.-G.N.D.C.I. (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche).

4 - CARTA DEI VINCOLI

La Carta dei Vincoli, illustrata in Tavola 6 alla scala 1:12.000, raccoglie in unico elaborato le informazioni riguardanti i vincoli all'uso del territorio.

In dettaglio vengono rappresentati:

Elementi antropici e vincoli all'uso del territorio:

- aree di tutela idrogeologica;
- tratti di corsi d'acqua vincolati ai sensi dell'Art. 142 del D.Lgs. 42/04 (ex L. 431/85);
- tessuto urbano consolidato;
- ambiti di trasformazione e di pianificazione attuativa;
- limiti esterni delle fasce A, B e C del PAI (cfr. analisi/proposte Ing. Nicola Nabacino) (1*);
- area esondabile/a rischio idraulico, ai sensi del PGRA (ambiti territoriali RP);
- area esondabile/a rischio idraulico, ai sensi del PGRA (ambiti territoriali RSP);
- fasce di rispetto in materia di polizia idraulica (cfr. analisi/proposte Ing. Nicola Nabacino);
- argini (Regolamento di Polizia Idraulica);
- area di laminazione della Fossa Magistrale (cfr. analisi/proposte Ing. Nicola Nabacino);
- siti contaminati ed aree con impianti di smaltimento rifiuti (Settore Territorio e Ambiente del Comune di Mantova) (2**);
- discarica controllata per rifiuti di tipo industriale;
- depuratore comunale con area di pertinenza;
- cimiteri con fasce di rispetto;
- manufatti idraulici;
- pozzi pubblici con zona di tutela assoluta e zona di rispetto.

Per la rappresentazione in Tavola 6 di taluni fattori antropici sopra indicati, qualora non previsti dalle Legende di cui alla D.G.R. n. VI/40996 del 15 gennaio 1999 ed alla D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011, si è fatto riferimento alla Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei proposta da CIVITA M. (1990) e recepita dal C.N.R.-G.N.D.C.I. (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche).

(1*) A proposito della rappresentazione dei limiti esterni delle Fasce A e B del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Fiume Po (PAI, 2001), laddove coincidenti, in conformità alle disposizioni della D.G.R. n. IX/2616/2011 è stato indicato il graficismo corrispondente alla Fascia B (le norme da applicare saranno invece quelle di Fascia A).

(2**) Per l'elenco completo dei siti contaminati si veda il fascicolo *"Norme Geologiche di Piano"*.

Come riferito in Premessa, l'incrocio degli elementi illustrati nelle diverse tavole tematiche di inquadramento e di dettaglio, alla luce anche dei fattori antropici e dei vincoli all'uso del territorio, ha condotto infine all'elaborazione della nota Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano: essa viene proposta in Tavola 7 alla scala 1:5.000, su base cartografica catastale, ed in Tavola 8 alla scala 1:12.000, su base cartografica regionale.

Per la trattazione dettagliata dei contenuti di detto elaborato si rimanda al menzionato documento *"Norme Geologiche di Piano"*, parte integrante del presente lavoro.

5 - CARTA PAI - PGRA

La Carta PAI - PGRA, illustrata in Tavola 9 alla scala 1:12.000, riunisce in unico elaborato le informazioni mutate da detti strumenti di pianificazione sovraordinata.

In dettaglio vengono rappresentati:

Vincoli all'uso del territorio:

- limiti esterni delle fasce A, B e C del PAI (cfr. analisi/proposte Ing. Nicola Nabacino) (1*);
- area esondabile/a rischio idraulico, ai sensi del PGRA (ambiti territoriali RP);
- area esondabile/a rischio idraulico, ai sensi del PGRA (ambiti territoriali RSP).

La Tavola 9 propone inoltre, in singoli riquadri a margine della stessa, l'insieme degli elementi conoscitivi dai quali trae origine l'immagine sinottica della Carta PAI - PGRA: essi sono specificamente dedicati alle Fasce PAI, al PGRA - Ambito territoriale RP ed al PGRA - Ambito territoriale RSP; un quarto riquadro, coerentemente, delinea le classi di rischio idraulico attribuibili ai diversi settori del territorio comunale.

Nella legenda di Tavola 9 si evidenzia infine che l'indicazione dei tiranti attesi entro le aree allagabili PGRA e/o nelle fasce A e B del PAI, verrà resa nota a conclusione dello studio di modellazione idraulica attualmente in corso da parte del Comune di Mantova.

(1*) A proposito della rappresentazione dei limiti esterni delle Fasce A e B del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Fiume Po (PAI, 2001), laddove coincidenti, in conformità alle disposizioni della D.G.R. n. IX/2616/2011 è stato indicato il graficismo corrispondente alla Fascia B (le norme da applicare saranno invece quelle di Fascia A).

Il Tecnico

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AA.VV. (1994): Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi. Provincia di Mantova. Quad. di Tecniche di Protezione Ambientale, Sez. Protezione Acque Sotterranee, 34, Pitagora ed., Bologna, a cura di F. Baraldi & A. Zavatti.

AMM. PROV. DI MANTOVA (1991): Piano Regionale di Risanamento delle Acque - Studi e indagini finalizzati al risanamento delle falde idriche inquinate utilizzate a fini potabili - Vol. 5, Modello idrodinamico delle acque sotterranee. A cura di TSA s.r.l. - Mantova, Lombardia Risorse S.p.A. - Milano, D.A.M. S.p.A. - Ravenna.

AMM. PROV. DI MANTOVA (1992 a): Piano Regionale di Risanamento delle Acque - Studi e indagini finalizzati al risanamento delle falde idriche inquinate utilizzate a fini potabili - Vol. 4, Rete di monitoraggio delle caratteristiche chimiche delle acque sotterranee. A cura di TSA s.r.l. - Mantova, Lombardia Risorse S.p.A. - Milano, D.A.M. S.p.A. - Ravenna.

AMM. PROV. DI MANTOVA (1992 b): Piano Regionale di Risanamento delle Acque - Studi e indagini finalizzati al risanamento delle falde idriche inquinate utilizzate a fini potabili - Parte B, 2ª Fase, 2º Stralcio, 1ª Subzona - Vol. A, Caratteristiche geologiche e geomorfologiche. A cura di TSA s.r.l. - Mantova, Lombardia Risorse S.p.A. - Milano, D.A.M. S.p.A. - Ravenna.

AMM. PROV. DI MANTOVA (1992 c): Piano Regionale di Risanamento delle Acque - Studi e indagini finalizzati al risanamento delle falde idriche inquinate utilizzate a fini potabili - Parte B, 2ª Fase, 2º Stralcio, 1ª Subzona - Vol. B, Caratteristiche di vulnerabilità. A cura di TSA s.r.l. - Mantova, Lombardia Risorse S.p.A. - Milano, D.A.M. S.p.A. - Ravenna.

AMM. PROV. DI MANTOVA (2001): Rapporto su lo stato dell'ambiente nel territorio mantovano. Cierre Edizioni, Verona.

AMM. PROV. DI MANTOVA (2001-2009): Programma provinciale di previsione e prevenzione di protezione civile. Mantova.

AMM. PROV. DI MANTOVA (2004): Proposte per un primo bilancio idrico della Provincia di Mantova. A cura di Dott. Ing. Elena Pasolini.

AMM. PROV. DI MANTOVA (2005): Attività tecniche a supporto dell'aggiornamento del bilancio ambientale nel settore delle risorse idriche - Studi inerenti agli acquiferi sotterranei. A cura di Dott. Geol. Giorgio La Marca.

AMM. PROV. DI MANTOVA (2012): Piano speditivo di emergenza provinciale di protezione civile - Rischio sismico. Provincia di Mantova, Mantova.

AMM. PROV. DI MANTOVA (2021): Piano Provinciale Cave. Mantova.

AMM. PROV. DI MANTOVA (2022): Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (approvazione), in adeguamento al Piano Territoriale Regionale integrato alla L.R. n. 31/2014. Provincia di Mantova, Mantova.

ARPA LOMBARDIA - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE (2013): Stato delle acque sotterranee della Provincia di Mantova - Rapporto annuale 2012. Dipartimento di Mantova, settembre 2013.

ARPA LOMBARDIA - AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE (2015): Stato delle acque sotterranee Area Idrogeologica Oglio-Mincio - Rapporto annuale 2014. Settore Monitoraggi Ambientali, Milano, ottobre 2015.

ATTENE FRANCHINI S. et alii (19__): Appunti stratigrafici sull'antica topografia di Mantova. Lavoro svolto nel quadro delle ricerche MPI "Geomorfologie della pianura padana".

AZZI C. (1972): Considerazioni sui laghi di Mantova: premesse, situazioni e possibilità. Civiltà Mantovana, Anno VI, Quaderno 31-32. Mantova.

AZZI C. (1988): Le vallette a Sud di Mantova. Quadrante Padano, Marzo 1988. Mantova.

BARALDI F. & PELLEGRINI M. (1976): Falde acquifere della provincia di Mantova. I.R.S.A. - C.N.R., 28(6), Roma.

BARALDI F. & PELLEGRINI M. (1978): Caratteristiche idrogeologiche della falda freatica nella città di Mantova. I.R.S.A. - C.N.R., 34(15), Roma.

BARALDI F. et alii (1980): Neotettonica di parte dei Fogli Peschiera del Garda (48), Verona (49), Mantova (62) e di tutto il Foglio Legnago (63). C.N.R., Prog. Final. Geodinamica, pubbl. n. 356.

BARALDI F., CANTONI A. & NOVELLINI G. (1990): Caratteristiche geotecniche del sottosuolo della città di Mantova. Atti VII Congr. Naz. dell'O.N.G., 25-27 ott. 1990, Roma.

BARALDI F. (2020): Caratteristiche idrogeologiche e idrochimiche delle falde acquifere presenti nel sottosuolo di Mantova e zone limitrofe. Printed in Poland by Amazon Fulfillment.

BERNINI M. et alii (1980): Carta neotettonica d'Italia. Note illustrative relative ai Fogli 61 (Cremona), 62 (Mantova), 72 (Fiorenzuola d'Arda), 73 (Parma), 74 (Reggio Emilia), 86 (Modena). C.N.R., Prog. Final. Geodinamica, vol.2, Roma.

CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1988): Contributo alla definizione del limite tra evidenze di Neotettonica e fenomeni dovuti ad altre cause. Suppl. Geogr. Fis. Din. Quat., Vol.1.

CIVITA M. (1990): Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei. In: a cura di A. Zavatti (1990) - Quad. di Tecniche di Protezione Ambientale, Sez. Protezione Acque Sotterranee, 11, Pitagora ed., Bologna.

C.N.E.N. (1976): Relazione sulle aree suscettibili di insediamento di centrali nucleari nella Regione Lombardia. Doc. Disp., (76), 29, Roma.

COZZAGLIO A. (1933): Note illustrative della Carta Geologica delle Tre Venezie, Foglio 62 Mantova. Ministero dei Lavori Pubblici, Ufficio Idrografico del R. Magistrato alle Acque - Venezia, Sezione Geologica, Padova.

COZZAGLIO A. (1934): Carta Geologica delle Tre Venezie, Foglio 62 Mantova della Carta d'Italia al 1:100.000 dell'Istituto Geografico Militare. Ministero dei Lavori Pubblici, Ufficio Idrografico del R. Magistrato alle Acque - Venezia.

DISS WORKING GROUP (2015): Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0. A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI: 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.

ENEL (1984): Rapporto di localizzazione di una centrale elettronucleare nella Regione Lombardia, Aree di San Benedetto Po e Viadana. Roma.

E.R.S.A.L. & AMM. PROV. DI MANTOVA (1997): I suoli della Pianura Mantovana Centrale. Prog. Carta Pedologica, SSR 20, Milano.

E.R.S.A.L. - ENTE REGIONALE DI SVILUPPO AGRICOLO DELLA LOMBARDIA (1997): Commento climatico all'annata agraria 1996. Servizio Tecnico - Ufficio Agrometeorologico, N°18, Milano.

E.R.S.A.L. - ENTE REGIONALE DI SVILUPPO AGRICOLO DELLA LOMBARDIA (1998): Atti del Convegno "Due secoli di osservazioni meteorologiche a Mantova, aspetti scientifici e storici". Mantova, 22 ottobre 1998, Teatro Bibiena.

FERRARI D. (a cura di) (1985): Mantova nelle stampe. Ed. Grafo, Brescia.

GASPERI G. & GELMINI R. (1976): Determinazione speditiva della granulometria di rocce sciolte. Gruppo di Studio del Quaternario Padano, Quaderno n.3. Litografia Massaza & Sinchetto, Torino.

ISPRA - ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE (2015): Modello geologico 3D e geopotenziali della Pianura Padana centrale (Progetto GeoMol). Rapporti 234/2015.

LOCATI M., CAMASSI R., ROVIDA A., ERCOLANI E., BERNARDINI F., CASTELLI V., CARACCIOLO C.H., TERTULLIANI A., ROSSI A., AZZARO R., D'AMICO S., CONTE S., ROCCHETTI E. (2016): DBMI15, the 2015 version of the Italian Macro seismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.

MELETTI C. & VALENSISE G. (2004): Zonazione sismogenetica ZS9 - App. 2 al Rapporto Conclusivo. Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

PIERI M. & GROPPi G. (1981): Subsurface geological structure of the Po plain, Italy. C.N.R., Prog. Final. Geodinamica, pubbl. n. 414, Napoli.

ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLi B., GASPERINI P. (eds) (2016): CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.

QUARTA G. & PIGOZZI F. (1990): Le torri demaniali di Mantova. Accertamento delle condizioni statiche e dello stato di conservazione generale per lo studio del consolidamento, della valorizzazione e del riuso. Centro Documentazione Beni Culturali, Atti del 6° Convegno Nazionale "Il riuso dei castelli", 1ª rassegna del riuso delle fortificazioni italiane, 6 dicembre 1990, Complesso Monumentale di San Michele a Ripa, Roma.

REGIONE LOMBARDIA (2001): Acque sotterranee in Lombardia - Gestione sostenibile di una risorsa strategica. Milano, giugno 2001.

REGIONE LOMBARDIA (2006): Convegno "Piano di Governo del Territorio - Criteri ed indirizzi per la redazione della componente geologica, idrogeologica e sismica". Milano, Centro Congressi Palazzo delle Stelline, 29 marzo 2006.

REGIONE LOMBARDIA (2013): Seminario "Approfondimenti geologici per la valutazione degli effetti sismici locali nel territorio dell'Oltrepo mantovano". Mantova, Sala Consiliare Fondazione Università, 10 ottobre 2013.

REGIONE LOMBARDIA (2017): Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA 2016) - Elaborato 2 "Caratterizzazione, monitoraggio e classificazione dei corpi idrici sotterranei". Milano, luglio 2017.

SLEJKO D. et alii (1989): Seismotectonics of the Eastern Southern-Alps: a review. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. XXXI, n. 122, Osservatorio Geofisico Sperimentale, Trieste.

SPAGNA V. (1996): Il Piano Regolatore Generale dei Comuni come strumento per la mitigazione del rischio geologico. Seminario di studi sui problemi della Difesa del suolo. Torino, 30 novembre 1996. In Geologia tecnica & ambientale, anno VI, n. 1 gennaio/marzo 1998.