

COMUNE DI CASTEL GOFFREDO



PROVINCIA DI MANTOVA



REGIONE LOMBARDIA



RegioneLombardia



PGT

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

COMPONENTE GEOLOGICA	
RELAZIONE	
DATA	6 FEBBRAIO 2013 VIGENTE
DATA DI ADOZIONE DEL PGT	D.C.C. n° 27 del 28/08/2012
DATA DI APPROVAZIONE DEL PGT	D.C.C. n° 44 del 27/12/2012

SINDACO
dr. Mauro Falchetti

ASSESSORE ALL'URBANISTICA
geom. Gianpiero Rocca

RESPONSABILE DEL SETTORE
ing. Davide Bossini

PROGETTISTA :	ELABORATO:
Dott. geol. Rosario Spagnolo GEOLOGIA TECNICA - IDROGEOLOGIA Via Stradella, 35 - 46030 BIGARELLO (MN) Tel e Fax 0376.262759 - 338.2949637 E-mail: ro.spagnolo@tiscali.it	

RELAZIONE ILLUSTRATIVA
INDICE DEI CAPITOLI

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	8
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	9
4	ASPETTI METEO CLIMATICI.....	13
4.1	CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE.....	15
4.2	CAPACITA' D'USO DEL SUOLO.....	17
5	ASSETTO GEOLOGICO.....	24
6	ASSETTO GEOMORFOLOGICO.....	27
7	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE.....	29
7.1	SCHEMA IDROGEOLOGICO.....	30
7.2	SCHEMA IDROGEOLOGICO LOCALE.....	32
7.3	CARATTERISTICHE IDROCHIMICHE.....	34
7.4	GEOMORFOLOGIA DI DETTAGLIO.....	35
7.5	IDROGRAFIA E IDROLOGIA.....	36
8	DEPOSITI SUPERFICIALI.....	42
9	ANALISI GEOTECNICA.....	44
9.1	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	45
9.2	VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI.....	46
10	PTUA – PROGRAMMA DI TUTELE E USO DELLE ACQUE.....	52
11	ELEMENTI IDROGRAFICI.....	55
12	NORMATIVA DI RIFERIMENTO RETICOLO PRINCIPALE	60
13	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	61
14	METODOLOGIA DI INDAGINE.....	62
15	INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE.....	63
16	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	69
17	SISMICITA' STORICA.....	70

18	PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE.....	71
19	RISCHIO SISMICO E ZONAZIONE SISMICA.....	73
20	MODELLO GEOLOGICO.....	76
21	RISULTATI DELLE PROVE MAW.....	78
22	ANALISI DEL RISCHIO SISMICO.....	99
23	VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI.....	100
24	CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PSL).....	103
25	VINCOLI GEOLOGICI-IDROGEOLOGICI.....	111
26	FASE DI SINTESI.....	111
27	CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA.....	113
	BIBLIOGRAFIA.....	114

INDICE DELLE TAVOLE

TAV.1: Carta geolitologica	scala 1:10.000
TAV.2: Carta idrogeologica	scala 1:10.000
TAV.3: Carta della vulnerabilità dell'acquifero	scala 1:10.000
TAV.4: Carta dei vincoli	scala 1:10.000
TAV.5: Carta della pericolosità sismica locale	scala 1:10.000
TAV.6: Carta di sintesi	scala 1:5.000
TAV.7: Carta della fattibilità geologica	scala 1:5.000

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1. Ubicazione masw
Fig.2. Ubicazione masw
Fig.3. Ubicazione sondaggi geognostici

INDICE DELLE TABELLE

INDICE DEGLI ALLEGATI

Allegato n° 8: scheda censimento pozzi pubblici
Schede pozzi privati
Tabelle parametri geotecnici

1 PREMESSA

Il Comune di Castel Goffredo è dotato di studio geologico di supporto alla pianificazione territoriale, redatto in occasione della variante generale del P.R.G. coerentemente con le disposizioni tecniche e normative stabilite dalla L.R. 41/97 e dalle relative D.G.R. applicative ed approvato in tal senso dagli enti preposti.

La Legge Regionale 11 marzo 2005, n° 12 Legge per il Governo del Territorio ha abrogato la precedente l.r.24 novembre 1997 n° 41, e le relative D.G.R. applicative, che hanno costituito sino ad ora, gli indirizzi tecnici per gli studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici generali dei comuni.

Con l'entrata in vigore della Legge per il Governo del Territorio si è modificato l'approccio alla materia urbanistica passando da concetti pianificatori a concetti di Governo del Territorio, secondo il quale i diversi livelli di pianificazione si devono integrare armonicamente anche mediante l'approfondimento di singole tematiche territoriali in funzione della sostenibilità ambientale delle scelte pianificatorie da effettuare. La pianificazione comunale si concretizza attraverso il Piano di Governo del Territorio, che definisce l'assetto del territorio comunale ed è articolato nei seguenti atti:

- ✓ il documento di piano;
- ✓ il piano dei servizi;
- ✓ il piano delle regole.

Lo studio geologico comunale costituisce un supporto essenziale per l'individuazione delle potenzialità e delle vocazioni d'uso del territorio,

rappresentando uno strumento per una più equilibrata gestione dei processi e delle risorse naturali e ambientali rapportati all'urbanizzazione.

L'analisi dei dati geologici disponibili, la raccolta delle informazioni necessarie alla comprensione della struttura e delle caratteristiche geologiche del territorio comunale, nonché la redazione della relazione geologica tecnica e degli elaborati cartografici di corredo, sono stati effettuati in conformità a quanto previsto dalla vigente normativa regionale.

Come accennato, gli elementi di supporto alla redazione del presente studio sono rappresentati dalla sintesi delle conoscenze acquisite attraverso lavori precedenti e, in secondo luogo, da rilievi operati in sito per verificare le situazioni apparentemente più critiche in funzione della realizzazione dell'analisi sismica.

I nuovi criteri forniscono le indicazioni per l'analisi del rischio sismico, in attuazione all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 e s.m.i.. Lo scopo dell'indagine è la caratterizzazione dinamica del sottosuolo nelle prime decine di metri con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche, quali velocità delle onde longitudinali, trasversali e i relativi parametri elastici.

Lo studio è volto alla redazione ex novo della Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) che costituisce il primo livello di approfondimento della componente sismica territoriale.

Per valutare se all'interno del territorio comunale sono presenti situazioni litologiche e geomorfologiche in grado di produrre effetti di amplificazione sismica locale è stata applicata la metodologia contenuta nell'Allegato 5 della D.G.R. 28 marzo n° 8/7374. Per la predisposizione della carta sismica locale sono state considerate diverse indagini geognostiche ed

effettuata un'indagine geofisica in 10 siti rappresentativi di diversi scenari geologico-stratigrafici suscettibili di fenomeni di amplificazione sismica locale.

Per quanto riguarda i criteri da seguire per gli studi di pericolosità sismica locale la direttiva regionale definisce due fasi di analisi da completarsi con tre diversi livelli di approfondimento. Il primo livello prevede un approccio di tipo qualitativo e costituisce la base per i successivi livelli di approfondimento, il secondo livello consente sia una caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi sia l'individuazione degli ambiti suscettibili di amplificazione, mentre il terzo livello permette sia la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi sia la quantificazione degli effetti di liquefazioni.

Il presente lavoro si è articolato in diverse fasi di lavoro e tutte consequenziali:

- fase di ricerca storica e bibliografica;
- fase di verifiche ed analisi di campo;
- fase di sintesi;
- fase di proposte operative con individuazione e delimitazione delle classi di fattibilità geologica.

La componente geologica non si limita ai soli aspetti geotecnici, ma approfondisce una serie di tematismi di carattere geo-idrogeologico e geo-ambientali relative alle dinamiche della componente fisica del territorio.

La fase di sintesi/valutazione ha condotto alla predisposizione della carta dei vincoli che individua le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative in vigore di contenuto geologico e della carta di sintesi che propone una zonazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità geologico, geotecnico, idrogeologico e sismico.

La zonazione geologica individuata nella carta della fattibilità geologica condotta su base geomorfologica, idrogeologica e geotecnica è derivata dalla sovrapposizione grafica di più tematismi comprendendo ambiti omogenei per pericolosità geologica.

Al mosaico della fattibilità sono state sovrapposte, con apposito retino trasparente, le aree soggette ad amplificazione sismica locale desunte dalla carta della pericolosità sismica locale.

Infine, la componente geologica sancisce l'obbligatorietà delle valutazioni, definendo criteri e livelli di approfondimento inserendo a pieno titolo le indicazioni tecniche, le prescrizioni e i vincoli derivanti all'interno delle Norme Tecniche d'Attuazione del P.G.T..

Le prescrizioni geologiche e geotecniche di seguito elencate, riferite alle classi di fattibilità geologica individuate, in relazione all'utilizzo a scopi edificatori e alle modifiche di destinazione d'uso del territorio comunale, sono redatte con riferimento alle Direttive Regionali.

Le presenti Norme Geologiche di Piano costituiscono, unitamente alla cartografia tematica, parte integrante del Piano delle Regole e contengono la normativa d'uso della carta della fattibilità geologica per le azioni di piano.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il territorio comunale di Castel Goffredo ha una superficie totale di 42,24 Km² e si colloca nella fascia settentrionale della provincia di Mantova.

I comuni limitrofi sono: Castiglione delle Stiviere a nord, Medole e Ceresara a est, Casaloldo e Asola a sud, Casalmoro, Acquafredda e Carpenedole a ovest.

Le distanze in linea d'aria dei centri abitati sopra citati con il comune di Castel Goffredo sono:

Castiglione delle Stiviere	Km 10
Medole	Km 4
Ceresara	Km 7
Casaloldo	Km 4
Asola	Km 9
Casalmoro	Km 6
Acquafredda (BS)	Km 4
Carpendole (BS)	Km 8

Sono presenti nuclei abitativi minori quali Berenzi, Bocchere, Casalpoglio, Coletta, Gambina, Giliani, Lisnetta, Lodolo, Lotelli, Perosso, Poiano, Profondi, Romanini, Sant'Anna, Selvole, Valzi, Villa e Zecchini.

Il territorio presenta una morfologia pianeggiante di origine fluviale modellato dall'azione erosivo-deposizionale dei corsi d'acqua; l'uso del suolo è rappresentato prevalentemente dall'attività agricola.

Le quote vanno da un massimo di 58 m. s.l.m. nella zona a nord ad un minimo di 44 m. s.l.m. nella parte a sud; mentre la quota media è di circa 50 m.s.l.m.

Il territorio è attraversato da nord a sud dal Vaso Tartaro e dalla Seriola Fuga, salvaguardano il territorio da possibili esondazioni.

La rete idrografica superficiale è rappresentata da un sistema di canalizzazione sia naturale che artificiale, svolgendo importanti funzioni irrigue e di scolo, sviluppando una notevole ramificazione e gerarchizzazione anche a livello capillare.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Sono state richiamate le fonti normative regionale e statali, in particolare le norme prese in considerazione per la stesura del presente documento sono:

- ✓ L.R. 11 marzo 2005 n° 12 – Legge per il Governo del Territorio;
- ✓ D.G.R. n° 8/1566 del 22 dicembre 2005 – Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. n° 12 del 11 marzo 2005;
- ✓ D.G.R. n° 14964 del 7 novembre 2003 – Disposizioni preliminari per l'attuazione dell'Ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- ✓ D.G.R. 25 luglio 1986, n° 4/12028 – Determinazione, in applicazione dell'art.1 quater L. 8 agosto 1985, n° 431 dei corsi d'acqua classificati pubblici ai sensi del Testo Unico delle disposizioni di legge sulle acque ed impianti elettrici, approvato

con R.D. 11 dicembre 1933, n° 1775, esclusi in tutto o in parte, per la loro irrilevanza ai fini paesaggistici, dal vincolo ex L. 29 giugno 1939, n° 1497 imposto in forza dell'art. 1, lett. c, L. 08.08.1985, n° 431;

- ✓ D.G.R. 29 ottobre 2001 – n° 7/6645;
- ✓ D.M. 11.03.1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate.....”;
- ✓ D.M. 5 marzo 1984 “Dichiarazione di sismicità di alcune zone della regione Lombardia”;
- ✓ D.M. 16 Gennaio 1996: Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche;
- ✓ Legge n° 64 del 02/02/1974: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- ✓ D.G.R. n° 6/15137/1996 - “Direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee (pozzi e sorgenti) destinati a consumo umano (D.P.R. n° 236/1988);
- ✓ L. n. 183/1989 – Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo; istituzione delle Autorità di Bacino per la redazione dei Piani di bacino idrografico;
- ✓ D.lgs. n° 152/99 (T.U. Ronchi sulla tutela delle acque dall'inquinamento) e successive modificazioni;

- ✓ D.lgs. n° 152/06 – Norme in materia ambientale;
- ✓ L. n° 431/85 (Legge Galasso);
- ✓ R.D. n° 523/1904 (fascia di rispetto dei corsi d'acqua secondari);
- ✓ Decreto Direttore Generale – 3 Agosto 2007, n° 8943, Linee Guida di Polizia Idraulica;
- ✓ D.P.R. 236/88 (aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile);
- ✓ L. 5 gennaio 1994, n° 36 – Disposizioni in materia di risorse idriche;
- ✓ D.M. 25 ottobre 1999, n° 471 – Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'art. 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n 22 e s.m.i.;
- ✓ L. 5 gennaio 1994, n° 37 Norme per la tutela ambientale delle aree demaniali dei fiumi, dei torrenti, dei laghi e delle altre acque pubbliche;
- ✓ R.D. 11 dicembre 1933, n° 1775 Approvazione del Testo Unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici;

- ✓ Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.), adottato con delibera del Comitato Istituzionale n° 26/97, approvato con D.P.C.M. del 24/07/98;
- ✓ D.G.R. 25/01/02 – n° 7/7868. Determinazione del reticolo idrico principale. Trasferimento delle funzioni relative alla polizia idraulica concernenti il reticolo minore;
- ✓ O.P.C.M. 20 Marzo 2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- ✓ D.d.u.o. 21 novembre 2003, n° 19904 – Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 dell'o.p.c.m. n° 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n° 14964 del 7 novembre 2003;
- ✓ D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

4 ASPETTI METEO CLIMATICI

L'area indagata fa parte della Pianura Padana, le condizioni climatiche sono sostanzialmente di tipo “continentale”, con inverni rigidi ed estati calde, le piogge sono ben distribuite durante tutto l'anno (600 – 1000 mm/anno).

In inverno l'area padana risulta molto spesso coperta da uno strato piuttosto spesso d'aria fredda che, in situazioni di scarsa ventilazione, determina la persistenza di formazioni nebbiose che tendono a diradarsi solo nelle ore pomeridiane.

In primavera si può assistere ad episodi piovosi di una certa entità che, man mano che la primavera avanza, tendono ad assumere carattere temporalesco.

Nella stagione estiva le temperature elevate associate all'alta umidità ed alla scarsa ventilazione danno luogo a prolungati periodi di afa, le precipitazioni sono frequenti con carattere temporalesco.

Nella stagione autunnale il tempo si caratterizza dall'ingresso sull'area padana di intense perturbazioni e le piogge sono in genere di rilevante entità.

Nel dettaglio la zona di Castel Goffredo, che fa parte del settore settentrionale della pianura mantovana, è caratterizzata dai seguenti valori:

- il mese più freddo è gennaio con temperatura media compresa tra 0° e 2°C ;
- il mese più caldo è luglio con temperature maggiori di 30°C ;
- la temperatura media annua oscilla tra 12° e 13°C ;
- l'escursione termica è superiore ai 18°C ;
- i giorni di gelo, con temperatura minima uguale o inferiore a 0° C, oscillano tra i 45 e i 60 giorni all'anno ;
- l'umidità media dell'anno si aggira su valori del 65%, con il massimo valore in dicembre 80% e con il minimo valore in luglio 55%;

- il regime pluviometrico è caratterizzato da due picchi massimi di precipitazione nell'arco dell'anno: uno in primavera , l'altro in autunno.

I giorni di pioggia oscillano tra 50 e 70 l'anno con caduta massima di 100 mm al giorno. Il valore dell'evapotraspirazione potenziale presenta un minimo nel mese di gennaio, pari a 2,2 mm/mese ed un massimo nel mese di luglio pari a 156,1mm/mese, con un valore annuo pari a 851 mm/a.

Il regime idrico più frequente è quello ustico, caratterizzato da almeno 90 giorni cumulativi dell'anno in cui la stazione di controllo è asciutta o parzialmente asciutta.

Segue il regime idrico di tipo xerico, con 45 giorni consecutivi di secchezza del suolo nei quattro mesi dopo il solstizio d'estate e per almeno 6 anni su 10.

Per una migliore definizione delle caratteristiche climatiche locali, si riportano in tabella 1 i dati termopluviometrici mensili rilevati dalla stazione di Castel Goffredo.

Tabella 1: temperature, evapotraspirazione potenziale e precipitazioni medie mensili di Castel Goffredo

	GEN.	FEB.	MAR.	APR.	MAG	GIU.	LUG	AGO	SET.	OTT	NOV.	DIC.	ANNO
T°C	1,8	4,5	8,7	13,0	17,9	22,1	24,3	23,4	19,8	13,8	7,8	2,9	13,3
P. m	60	54	64	69	92	75	73	85	62	84	79	54	851
EP.	2,2	8,5	27,6	54,6	98,1	134	156	136	92,2	49,5	18,3	4,2	781,9

Da questa tabella emerge come la precipitazione media annua è di 675 mm.

Si evince pure che i mesi di maggio, agosto e ottobre sono i più piovosi mentre i mesi di febbraio e dicembre i meno piovosi.

Tale apporto è insufficiente al fabbisogno idrico vista la forte richiesta d'acqua, pertanto viene integrato da prelievi nella fitta rete di canali che attraversano il territorio comunale.

Per quanto riguarda le temperature si notano variazioni positive da gennaio a luglio e negative da luglio a gennaio con inverni freddi ed estati calde.

Il regime termico dei suoli è di tipo mesico, caratterizzato da una temperatura media annua del suolo compresa tra 8 e 15 °C, nonché da una differenza tra temperatura media estiva e quella invernale superiore a 5°C.

L'evapotraspirazione assume il suo massimo valore a luglio per poi diminuire toccando il valore minimo nel mese di gennaio.

La particolarità climatica della zona è la tendenza ad una certa irregolarità ai valori normali, mentre a nord la presenza del lago di Garda consente una regolarità nei dati meteorologici grazie ad un effetto mitigatore.

4.1 CARATTERISTICHE PEDOLOGICHE

La conoscenza delle caratteristiche dei suoli all'interno delle aree di pianura a preminente vocazione agricola assume una funzione di estrema importanza, in particolar modo nell'ambito di una pianificazione territoriale a scala sovracomunale che pone tra gli obiettivi principali la valorizzazione dell'ambiente e del paesaggio in armonia con la costante crescita delle attività antropiche all'interno di quel processo di sviluppo che ha assunto negli ultimi anni un ruolo di assoluta priorità per una programmazione eco-sostenibile.

I processi pedogenetici quali:

- ✓ assorbimento della sostanza organica;

- ✓ alterazione dei minerali primari in secondari;
- ✓ redistribuzione del materiale in seno al profilo, con la formazione di un nuovo orizzonte detto di accumulazione;

consentono tanto la formazione del suolo quanto l'evoluzione dello stesso, da un substrato minerale a orizzonti diversi sia sotto l'aspetto fisico che chimico.

Bisogna sottolineare che i processi citati determinano tre tipi di orizzonti.

- 1) strato poco alterato, l'alterazione è limitata alla sola sostanza organica (strato A);
- 2) strato alterato (strato B);
- 3) strato di redistribuzione visibile di certi elementi del complesso di alterazione (strato C).

Ogni tipo di suolo è correlabile con l'ambiente-paesaggio in cui si è formato ed evoluto. In ogni ambiente-paesaggio è predominante l'influenza di alcuni dei fattori pedogenetici menzionati sopra, determinando particolari tipi di suoli.

Le informazioni sui suoli riguardano diversi parametri:

Capacità d'uso

Attitudine allo spandimento dei reflui zootecnici

Attitudine allo spandimento dei fanghi di depurazione

Capacità protettiva per le acque sotterranee

Capacità protettiva per le acque superficiali

Valore naturalistico

Tessitura del primo metro

AWC del primo metro

drenaggio

L'area oggetto di studio appartiene alla porzione settentrionale di pianura con intensi fenomeni di idromorfia riconducibili all'emergenza dei fontanili e alla presenza di una falda sottosuperficiale caratterizzate da variabile presenza di scheletro nel suolo e di pietrosità in superficie (classificazione operata dal Servizio del Suolo dell'ERSAL).

Questi suoli sono morfologicamente pianeggianti o sub-pianeggianti, lievemente depressi rispetto al livello fondamentale dell'alta pianura idromorfa. Il substrato è limoso-sabbioso-ghiaioso-ciottoloso, calcareo, la falda si trova tra 100 e 200 cm dal p.c.

La falda è semiconfinata ed è la causa degli evidenti segni di idromorfia nei profili pedologici; questi fattori unitamente alla diffusa pratica dei livellamenti, rappresentano un ostacolo all'avanzamento dei processi pedogenetici ed evolutivi.

4.2 CAPACITA' D'USO DEL SUOLO

Nel territorio comunale di Castel Goffredo i suoli sono stati classificati nell'ordine degli inceptisols, in esso sono stati inclusi suoli i cui processi pedogenetici hanno determinato alterazioni di natura fisico-chimico dei sedimenti originari. L'area considerata presenta suoli profondi talvolta moderatamente profondi, limitati da un substrato sabbioso fine molto calcareo a tessitura media o moderatamente fine, calcarei. I suoli presentano un drenaggio buono, in cui si sono formati suoli evoluti, a profilo ben differenziato e a substrato grossolano.

A seguire vengono riportati le classi di capacità d'uso dei suoli relative alle aree non urbanizzate e riportate le informazioni principali raccolte durante il rilevamento e provenienti da studi precedenti. Esse riguardano:

- la superficie delle singole are considerate, rappresentate da uno o più poligoni;
- la collocazione geografica nel territorio cittadino;
- le utilizzazioni prevalenti delle superfici;
- i fenomeni di alterazione e degrado conosciuti;
- la morfologia del suolo;
- la famiglia granulometrica (granulometria degli orizzonti sottosuperficiali);
- la profondità di comparsa della pietrosità;
- la profondità di comparsa di materiale calcareo;
- il tipo di drenaggio complessivo e l'eventuale presenza di fenomeni di idromorfia;
- valori indicativi dell'intervallo di valori di conducibilità idraulica del suolo;
- principali limitazioni d'uso.

Nella classificazione il terreno è stato suddiviso in otto classi di capacità d'uso. La suddivisione prevede per le prime 4 classi suoli adatti all'attività agricola, pur presentando crescenti limitazioni. Le classi II, VI e VII presentano suoli adatti al pascolo e alla forestazione. I suoli dell'VIII classe sono destinati a fini ricreativi, estetici e naturalistici.

La classificazione non tiene conto dei miglioramenti fondiari apportati (irrigazione e bonifiche idrauliche).

Tab. 2: Classificazione dei suoli.

CLASSI	SUOLI ADATTI ALL'AGRICOLTURA
1	Suoli con scarse o nulle limitazioni, idonei ad ospitare una vasta gamma di colture. Si tratta di suoli piani o in leggero pendio, con limitati rischi erosivi, profondi, ben drenati, facilmente lavorabili. Sono molto produttivi e adatti a coltivazioni intensive; sono ben forniti di sostanze nutritive, ma per mantenere la fertilità necessitano delle normali pratiche colturali: concimazioni minerali, calcinazioni, letamazioni.
2	Suoli con alcune lievi limitazioni, che riducono l'ambito di scelta delle colture e/o richiedono modesti interventi di conservazione. Le limitazioni possono essere di vario tipo: leggera acclività, moderata suscettività all'erosione; profondità del suolo non ottimale; struttura leggermente sfavorevole; debole salinità; occasionali allagamenti; lievi problemi di drenaggio; deboli limitazioni climatiche.
3	Suoli con limitazioni sensibili, che riducono la scelta delle colture impiegabili (oppure la scelta del periodo di semina, raccolta, lavorazione del suolo) e/o richiedono speciali pratiche di conservazione. Possibili limitazioni: moderata acclività, alta suscettività all'erosione; frequenti allagamenti; consistenti ristagni idrici per problemi di drenaggio interno; moderata profondità del suolo; limitata fertilità non facilmente correggibile; moderata salinità; moderate limitazioni climatiche.
4	Suoli con limitazioni molto forti, che restringono fortemente la scelta delle colture e/o richiedono per la conservazione pratiche agricole spesso difficili e dispendiose. Sono adatti solo a poche colture; la produzione può rimanere bassa, malgrado gli input forniti. Possibili limitazioni: forte acclività; forte suscettività all'erosione; limitata profondità del suolo; discreta salinità; frequenti inondazioni; drenaggio molto difficoltoso; clima moderatamente avverso.
	SUOLI ADATTI AL PASCOLO E ALLA FORESTAZIONE
5	Suoli con limitato o nullo rischio erosivo, ma con altri vincoli che, impedendo la lavorazione del terreno, ne limitano l'uso al pascolo e al bosco. Si tratta di suoli pianeggianti o quasi, con una o più delle seguenti limitazioni: marcata pietrosità o rocciosità, elevati rischi d'inondazione, presenza di acque stagnanti senza possibilità di eseguire drenaggi.
6	Suoli con limitazioni molto forti, adatti solo al pascolo e al bosco; rispondono positivamente agli interventi di miglioramento del pascolo (correzioni, concimazioni, drenaggi). Hanno limitazioni permanenti e in gran parte ineliminabili: forte acclività, marcato pericolo d'erosione, elevata pietrosità o rocciosità, profondità molto limitata, eccessiva umidità, marcata salinità, elevata possibilità d'inondazione, forti limitazioni climatiche.
7	Suoli con limitazioni molto forti, adatti solo al pascolo e al bosco; non rispondono positivamente agli interventi di miglioramento del pascolo. Le limitazioni sono permanenti e ineliminabili: fortissima acclività, erosione in atto molto marcata, limitatissima profondità, pietrosità o rocciosità molto elevata, eccessiva umidità, forte salinità, limitazioni climatiche molto forti.
	SUOLI ADATTI AL MANTENIMENTO DELL'AMBIENTE NATURALE
8	Suoli con limitazioni talmente forti da precludere l'uso per fini produttivi e da limitarne l'utilizzo alla protezione ambientale e paesaggistica, ai fini ricreativi, alla difesa dei bacini imbriferi e alla costruzione di serbatoi idrici. Le limitazioni sono ineliminabili e legate a: erosione, clima, pietrosità o rocciosità, drenaggio, salinità.

Per omogeneizzare in un sistema quantitativo la precedente suddivisione, essenzialmente qualitativa, è stata proposta, dall'Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia una tabella sperimentale che individua delle soglie numeriche, laddove è possibile, relative ai parametri che caratterizzano le varie classi.

I parametri scelti sono i seguenti:

Profondità: (in cm): indica lo spessore del suolo; ad un maggiore spessore corrispondono suoli più maturi e, quindi, migliori.

Scheletro: (in %): indica la quantità di materiale che non ha subito pedogenesi e che costituisce il residuo litico del substrato; a minore % di scheletro corrisponde suolo più evoluto.

Tessitura: (in %): indica la presenza dei componenti fini (argilla, limo, sabbia); un equilibrio fra componenti più fini (argille) e quelli più grossolani (sabbie) rappresenta un suolo con buone caratteristiche, che peggiorano con la predominanza di uno dei tre componenti sugli altri.

Rocciosità: (in %): la presenza di grossi ciottoli o di frammenti grossolani di fratturazione della roccia madre: influenza negativamente lo sviluppo vegetazionale e la lavorabilità del suolo.

Fertilità : è rappresentata dai seguenti parametri chimici:

- pH – indica il valore di acidità del suolo; a maggiore acidità ($\text{pH} < 6$) corrispondono minori attitudini allo sviluppo vegetale;
- CSC – capacità di scambio cationico; tanto è maggiore tanto più il suolo si arricchisce ed interscambia elementi quali Ca, Mg, Na, K;

- TBS – tasso di saturazione basica; è proporzionale all'aumento del pH. I terreni con alto TBS presentano caratteristiche migliori di quelli con tasso limitato;
- Salinità;
- CaCO₃ – carbonati totali; si tratta di una determinazione che viene effettuata su tutti i campioni con pH>7.

Drenaggio: viene mantenuta una suddivisione qualitativa del tipo di drenaggio, sulla base della velocità di scorrimento dell'acqua nel terreno: da buono a impedito.

Rischio di inondazione: indica la possibilità di un terreno di rimanere inondato; esso comprende anche quei terreni con falda freatica prossima al piano campagna. I valori tengono conto sia del numero di eventi nel tempo sia dei giorni di permanenza dell'acqua.

Limitazioni climatiche: comprendono l'escursione termica diurna ed annuale; quanto più essa è marcata tanto maggiori saranno gli impedimenti vegetativi.

Acclività: definisce la pendenza del suolo; col crescere della pendenza diminuiscono le possibilità pedogenetiche ed aumentano i rischi di erosione.

Erosione: è correlata al parametro precedente nonché ad altri fattori quali il clima, le precipitazioni, il tipo di vegetazione, il tipo di substrato, ecc.

Attitudine allo spandimento dei reflui zootecnici

A seconda della loro composizione e delle caratteristiche ad essi intrinseche molti suoli possono avere da nessuna ad una più o meno accentuata vocazione allo spandimento dei reflui zootecnici non strutturati, quali liquami. Tale attitudine viene segnalata con un'aggettivazione dall'ERSAL.

Attitudine allo spandimento dei fanghi di depurazione

Analogamente al caso precedente vengono segnalati dall'ERSAL i suoli che hanno caratteristiche tali da rendere possibile l'utilizzazione agronomica dei fanghi di depurazione urbana mediante un'accurata gestione delle pratiche agricole (epoca di distribuzione, adeguati stoccaggi in azienda, quantitativi e struttura del refluo ecc.). Tale spandimento può rendersi possibile a seconda delle limitazioni presenti e ad una corretta valutazione delle esigenze colturali e dell'epoca di semina.

Capacità protettiva per le acque sotterranee

Tale capacità, anche questa intrinseca alle caratteristiche lito-tessiturali del suolo, riguarda la possibilità di trattenere possibili inquinanti idrosolubili e permettere quindi di svolgere una efficace opera di protezione nei confronti delle acque sotterranee.

Capacità protettiva per le acque superficiali

Anche questa capacità è relativa alla struttura e tessitura dei componenti del suolo, nonché alla pendenza del terreno su cui si è sviluppato e riguarda la velocità di infiltrazione più o meno marcata delle acque di scorrimento superficiale nel terreno, quindi la tendenza a determinare fenomeni di ruscellamento, con accresciuto rischio di erosione del profilo pedologico.

Valore naturalistico

La funzione naturalistica dei suoli è correlata con il ruolo che i suoli hanno nel determinare le caratteristiche degli habitat naturali, nel proteggere la biodiversità e nel conservare importanti patrimoni culturali per l'uomo (ad esempio suoli su terrazzamenti antichi).

Tessitura del primo metro

La tessitura concerne la proporzione relativa delle particelle minerali, di diametro inferiore a 2 mm, costituenti la cosiddetta "terra fine" del suolo. La tessitura viene determinata mediante analisi granulometriche di laboratorio oppure viene stimata al tatto in campagna.

Attraverso la combinazione quantitativa specifica di sabbia, limo e argilla costituenti la terra fine di un campione di suolo si definiscono le classi tessiturali del primo metro.

Le classi tessiturali previste dal USDA sono le seguenti (in parentesi le sigle dei codici ERSAL):

Grossolana	sabbiosa (S), sabbioso-franca (SF)
Moderatamente grossolana	franco-sabbiosa (FS)
MEDIA	franco-sabbiosa media (FS) , franca (F), franco-limosa (FL), limosa (L),
Moderatamente fine	franco-sabbioso-argillosa (FSA), franco-argillosa (FA), franco-limoso-argillosa (FLA)
FINE	argillosa (A), argilloso-sabbiosa (AS), argilloso-limosa (AL)

AWC del primo metro

Le capacità di ritenzione idrica stimata (AWC) viene riportata soltanto nella descrizione delle unità cartografiche.

La zona studiata è a vocazione agricola in cui dominano prevalentemente colture erbacee.

Il territorio comunale ricade in II e III e IV classe.

I suoli di seconda classe presentano alcune limitazioni che riducono la scelta delle colture o richiedono moderate pratiche di conservazione.

I suoli di terza classe presentano severe limitazioni che riducono la scelta delle colture e richiedono particolari pratiche di conservazione.

I suoli di IV classe forti limitazioni difficilmente eliminabili, che riducono drasticamente la scelta delle colture e che richiedono una gestione estremamente accurata

La classificazione è stata redatta seguendo la metodologia Land Capability Classification, e lo schema interpretativo dell'ERSAL, che prevede la suddivisione del territorio in classi, sottoclassi ed unità.

5 ASSETTO GEOLOGICO

Le vicende geologiche del comune di Castel Goffredo sono in stretta relazione alla genesi e successiva evoluzione della Pianura di cui fa parte.

La ricostruzione paleogeografica è stata realizzata grazie alle ricerche dell'AGIP e ai successivi studi effettuati dall'ENEL.

Il Triassico è stato caratterizzato da una tettonica distensiva che ha interessato la zona sudalpina, creando situazioni di alti e bassi strutturali in direzione nord-sud. Nel Cretaceo si ha la formazione di promontori, che dominavano zone più profonde. Nel Dogger la regione viene sommersa, fino a quando nel Turoniano, si ha il passaggio ad un regime compressivo; nell'Eocene si ha la formazione della catena alpina e successivamente appenninica, a seguito della collisione tra la zolla europea e quella africana. Tutto ciò portò alla formazione di un bacino marino posizionandosi con l'area attualmente occupata dalla Pianura Padana. In questo bacino si accumularono sedimenti provenienti dai processi di disgregazione delle catene montuose emergenti e trasportati dai corsi d'acqua.

Nel corso del Pleistocene il bacino appare colmato da depositi fluvioglaciali e fluviali che hanno prodotto un'accentuata subsidenza; lo spessore dei depositi raggiunge i 1500 m. nella media Pianura.

Il passaggio dall'ambiente marino, lagunare e poi continentale, viene evidenziato dall'interfaccia tra le acque salate e le acque dolci che si rinviene ad una profondità compresa tra i 350 e i 400 m.

Dall'inizio del Pleistocene la Pianura Padana emerge dalle acque marine ed inizia a subire le evoluzioni morfodinamiche di tipo continentale; i fenomeni legati agli eventi climatici hanno impresso il segno più evidente sul terreno.

Vengono riconosciuti cinque periodi glaciali: Donau, Gunz, Mindel, Riss e Würm che hanno avuto fine all'inizio dell'Olocene.

Durante i periodi glaciali e interglaciali si sono avuti processi fisico-chimici che hanno rimodellato l'opera geomorfologica operata dai ghiacciai.

Nella fase postglaciale i depositi fluvioglaciali e fluviali riempiono le aree esterne agli apparati morenici.

Le conoidi, ciottoloso-ghiaioso-sabbiose, dell'alta Pianura passano ai depositi fluviali limosi-argillosi della media e bassa Pianura.

Le unità geologiche affioranti, di ambiente continentale, sono costituite da morene, depositi fluvioglaciali e alluvioni di età compresa tra il Pleistocene e l'Olocene.

La pianura mantovana occidentale è costituita, a livello geolitologico, da quattro aree ben distinte:

- alta pianura pedemorenica;
- antichi scaricatori fluvioglaciali;
- media pianura;
- bassa pianura alluvionale.

L'origine di questa parte di pianura è fluvioglaciale: a seguito dello scioglimento dei ghiacciai quaternari del Garda sono stati depositati gli attuali sedimenti.

L'area studiata è costituita da una successione di alluvioni gradate da monte a valle (Pleistoceniche) lungo un piano inclinato, la cui lieve pendenza ha favorito una cernita granulometrica dei sedimenti.

La pianura pedemorenica si caratterizza per la presenza di sedimenti a granulometria grossolana (Wurmiano), alternati ad altri più antichi, che identificano brevi stasi del processo di costruzione della pianura.

La media pianura presenta materiali a granulometria media, che diventano medio-fini nella sua porzione meridionale. Su questo livello si trovano le incisioni prodotte dagli antichi scaricatori fluvioglaciali, che fuoriuscivano direttamente dall'anfiteatro morenico gardesano. Queste sono state successivamente colmate da materiali sabbiosi più o meno fini, spesso diversi da quelli adiacenti.

Le unità geologiche affioranti, di ambiente continentale, sono costituite da morene, depositi fluvioglaciali e alluvioni di età compresa tra il Pleistocene e l'Olocene.

Dall'Olocene ad oggi l'elemento geomorfologico principale è costituito dai corsi d'acqua che, erodendo i depositi morenici a monte, hanno depositato i sedimenti a valle, contribuendo all'assetto attuale del territorio.

6 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

La distribuzione delle unità litologiche superficiali è legata all'assetto geomorfologico del territorio e di conseguenza ai fenomeni di erosione e deposizione fluviale antichi e recenti.

I processi di sedimentazione delle particelle dipendono dal loro comportamento idraulico, ovvero dalla risposta nei confronti dell'agente al quale sono sottoposti; esso è condizionato da numerosi parametri, quali la dimensione, la forma ed il peso specifico.

La pianura mantovana occidentale degrada dolcemente da nord-ovest verso sud-est con un gradiente intorno al 0.28%. La quota massima si attesta sui 90 m s.l.m., mentre la minima è di circa 25 m s.l.m..

L'area studiata è caratterizzata da due unità fisiografiche, il "Livello Fondamentale della Pianura" e le valli alluvionali dei fiumi attuali e dei paleoalvei.

I lineamenti morfologici della Pianura Padana, cui appartiene il territorio comunale di Castel Goffredo, sono la diretta conseguenza delle glaciazioni. La morfologia glaciale è costituita da forme di erosione (conche e circhi glaciali, bacini lacustri, valli con profilo a U, ecc.) e da forme di accumulo (morene, depositi fluvioglaciali, ecc.).

Il territorio mantovano, in funzione della sua altimetria, si riesce a suddividerlo in quattro zone:

- zona delle colline moreniche, con quota superiore ai 56 m;
- zona dell'alta pianura, compresa tra le quote 36 e 56 m. s.l.m.;
- zona della media pianura, compresa tra le quote 13 e 36 m. s.l.m.;
- zona della bassa pianura, compresa tra le quote 7 e 13 m. s.l.m..

Il territorio di Castel Goffredo è ubicato a nord-ovest di Mantova e occupa la zona dell'alta pianura.

La zona della media pianura ha come limite settentrionale le lingue ghiaiose-sabbiose delle formazioni Rissiane, Rissiano-Wurmiano che si esauriscono nella pianura. A sud il confine è costituito da depositi recenti, prevalentemente sabbiosi e alluvionali attribuibili al Po.

Avvicinandosi alle aree di defluenza degli scaricatori principali (Mincio, Oglio e Chiese) i depositi sono generalmente più grossolani e riconducibili a periodi di sedimentazione che vanno dall'Interglaciale Mindel-Riss al Postglaciale (recente).

Si possono distinguere 4 zone:

- zona influenzata dal Mincio ;
- zona influenzata dall'Oglio;
- zona influenzata dagli scaricatori secondari (fossi e seriole);
- zona influenzata dal Po.

In questa parte di pianura è possibile osservare delle depressioni allungate con direzione nord-sud, che rappresentano tracce di antichi paleoalvei.

Numerosi lobi di meandro si rinvergono all'interno delle valli attuali, che si caratterizzano per la presenza di depositi alluvionali, sabbie e sabbie limose; le valli sono delimitate da scarpate con dislivelli differenti in funzione dei corsi d'acqua.

L'azione antropica, nel corso dei secoli, ha modificato il regime idrologico. Inoltre, la costruzione di canali a scopo irriguo e di bonifica, l'imbrigliamento dei fontanili e la realizzazione di arginature hanno modificato la morfologia superficiale.

7 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Dall'analisi dettagliata di diverse stratigrafie, che si sviluppano da nord a sud della provincia, è possibile distinguere tre zone che presentano caratteristiche diverse.

ALTA PIANURA

L'acquifero si caratterizza per la presenza di depositi ghiaiosi e ghiaiosi-sabbiosi e ingloba orizzonti impermeabili (argille e argille-limose).

Costituisce la principale zona di alimentazione delle falde idriche in pressione, che caratterizzano la fascia settentrionale della Media Pianura.

MEDIA PIANURA

Le intercalazioni a granulometria grossolana sono sede di falde in pressione, suddivise dagli strati argillosi, ed alimentate dalla falda freatica dell'Alta Pianura.

La struttura idrogeologica è caratterizzata da un sistema multifalde, costituito dall'alternanza di falde acquifere indipendenti, separate da livelli argillosi o bassa permeabilità.

BASSA PIANURA

Tutte le falde della bassa pianura, per la presenza di uno strato sovrastante impermeabile sono in pressione, sono ospitate in depositi sabbiosi.

Aree di emergenza delle falde sono diffuse soprattutto a sud del fiume Oglio e del Po, dove le falde si trovano quasi ovunque sub-affioranti, e danno luogo a sifonamenti ossia ai cosiddetti fontanazzi.

7.1 SCHEMA IDROGEOLOGICO

Al fine di acquisire gli elementi utili alla ricostruzione del quadro idrogeologico del territorio indagato, sono stati esaminati i dati disponibili relativamente ai pozzi esistenti nel Comune di Castel Goffredo e zone limitrofe.

Le elaborazioni effettuate hanno sostanzialmente permesso di correlare tali dati ricostruendo, con buona approssimazione, la distribuzione areale, l'andamento, le caratteristiche litologiche e i reciproci rapporti dei livelli permeabili e impermeabili, che, data la loro origine alluvionale, costituiscono un complesso sistema possedente accentuati caratteri di discontinuità per la presenza di digitazioni laterali e di variazioni verticali.

L'acquifero ha uno spessore di circa 300-400 m ed è contenuto in depositi continentali glaciali, fluvioglaciali e fluviali, che hanno colmato il bacino padano durante il Pliocene e il Pleistocene.

All'interno di questo grande serbatoio si possono distinguere varie unità idrogeologiche e sub-sistemi, che non corrispondono a dei limiti ben precisi, ma piuttosto a zone d'influenza o di dominio prevalente di un determinato corso d'acqua o di una determinata formazione geologica.

Sotto il piano campagna è presente un livello impermeabile di argille grigio-chiare, potente dai 10 ai 20 m. La prima falda, il cui letto è localizzato a 25-30 m di profondità, è contenuta in ghiaie medio-grosse, frammiste a sabbie pure medio-grosse di colore grigio-chiaro al tetto e grigio scure al letto.

Questa falda è separata dalla successiva da un livello di argille marnose, grigio-scure, potente dai 5 ai 10 m.

La seconda falda, presente tra i 35 e i 50 m circa, ha sede in sabbie medio-grosse, di colore scuro, accompagnate da piccole percentuali di ghiaia medio-fine.

La terza falda presenta al tetto un pacco di argille scure dello spessore variabile dai 5 ai 9 m e ha sede in un livello, compreso tra i 55-60 e gli 80 metri, costituito da sabbie e ricco di acqua.

Le falde sospese risultano contenute in più distinti orizzonti discontinui e lentiformi all'interno della litozona argillosa superficiale e sono o debolmente in pressione o localmente libere.

Sulla base delle ricostruzioni litostratigrafiche di dettaglio effettuate sulla scorta dei numerosi dati puntuali disponibili, è possibile stabilire l'inesistenza di rapporti di comunicazione diretta tra le lenti sabbioso-limose, ospitanti le falde sospese, e la litozona sabbiosa, ospitante la falda principale, nonché la marcata discontinuità areale di tali lenti.

Da attenti controlli topografici effettuati sui corsi d'acqua superficiali hanno inoltre evidenziato una congruenza tra i livelli idrometrici e le quote piezometriche delle falde sospese: questo elemento avvalorava l'ipotesi di una probabile locale correlazione tra alcune falde sospese e il reticolato idrico superficiale; al contrario, la scarsa profondità dei canali superficiali e lo spessore complessivo della litozona argillosa superficiale, all'interno della quale sono incisi i loro alvei, sono elementi che portano ad escludere l'esistenza di rapporti diretti tra le acque superficiali e la prima falda principale.

Non è, inoltre, da escludere che le lenti sabbioso-limose rappresentino distinti paleoalvei incisi, in tempi diversi e a più livelli, nella litozona

argillosa superficiale, successivamente abbandonati e ricoperti da *facies* fini di piana alluvionale a bassa energia.

7.2 SCHEMA IDROGEOLOGICO LOCALE

Da un'approfondita ricerca sui pozzi comunali e su studi geologici pregressi, al fine di ricostruire le isopieze, la struttura idrogeologica locale e la soggiacenza della falda, sono stati acquisiti numerosi dati. Per i pozzi privati in allegato vengono riportati le schede di alcuni pozzi. Pertanto, nella carta idrogeologica viene riportato il solo pozzo pubblico. Vengono, però, descritte anche alcune stratigrafie di pozzi privati.

Pozzo n° 1

Profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione litotipi
0.00 - 1.00	1.00	Terreno vegetale
1.00 - 6.00	5	Argilla poco compattata
6.00 - 8.00	2	Sabbia scura
8.00 - 10.0	2	Sabbia media
10.0 - 16.0	6	Sabbia medio-grossa
16.0 - 27.0	11	Argilla molto compatta
27.0 - 47.0	20	Sabbia media con Ghiaietto

Pozzo n° 2

Profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione litotipi
0.00 - 1.00	1	Terreno vegetale
1.00 - 5.00	4	Argille
5.00 - 13.0	8	Sabbia fine
13.0 - 15.0	2	Argilla torbosa
15.0 - 20.0	5	Sabbia media
20.0 - 23.0	3	Argilla scura
23.0 - 36.0	13	Sabbie fine
36.0 - 38.0	2	Sabbia e ghiaietto
38.0 - 43.0	5	Limo argilloso
43.0 - 68.0	25	Sabbia e ghiaia

Pozzo n° 3

Profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione litotipi
0.00 - 1.00	1	Terreno vegetale
1.00 - 5.00	4	Argille poco compatta
5.00 - 15.0	10	Sabbie medio-fini
15.0 - 19.0	4	Sabbia e ghiaia
19.0 - 27.0	8	Argille
27.0 - 54.0	27	Sabbia e ghiaia
54.0 - 60.0	6	Argille

Pozzo n°4

Profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione litotipi
0.00 - 1.00	1	Terreno vegetale
1.00 - 2.00	1	Argille
2.00 - 6.00	4	Sabbie grossa con ghiaia
6.00 - 16.0	10	Sabbia scura melmosa
16.0 - 27.0	11	Argilla compatta
27.0 - 47.0	20	Sabbia con ghiaietto
47.0 - 52.0	5	Argilla limosa

Pozzo n° 5

Profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione litotipi
0.00 - 1.00	1	Terreno vegetale
1.00 - 6.00	5	Argilla limosa
6.00 - 39.0	33	Sabbia e ghiaietto
39.0 - 49.0	10	Argille compatte

Pozzo n°6

Profondità (m)	Spessore (m)	Descrizione litotipi
0.00 - 1.00	1	Terreno vegetale
1.00 - 10.0	9	Argille
10.0 - 20.0	10	Sabbie medie
20.0 - 30.0	10	Limi argillosi

I caratteri idrogeologici evidenziano come la trasmissività diminuisca generalmente da nord a sud e, comunque, presenti valori elevati, in corrispondenza dei depositi ghiaiosi sabbiosi, e medi per depositi limo-sabbiosi.

Dai numerosi pozzi riportati in allegato emerge chiaramente come i litotipi in questione presentino caratteristiche granulometriche grossolane (ghiaie), medie (sabbie) e fini (argille).

7.3 CARATTERISTICHE IDROCHIMICHE

Sono stati analizzati i dati relativi alle indagini idrochimiche delle acque sotterranee nel territorio comunale, per avere notizie sul marcher chimico-fisico zonale è necessario fare riferimento ai sottoesposti valori medi del chimismo tipico delle acque della zona, forniti dal comune di Castel Goffredo.

MARCHER CHIMICO TIPICO DELL'AREA DI CASTEL GOFFREDO

□ PH	7.2 – 7.9;
□ CONDUCIBILITA' ELETTR.	385 - 600 μ S/cm;
□ RESIDUO FISSO	284 - 500 mg/l;
□ DUREZZA TOTALE	fino a 43° F;
□ ALCALINITA'	200 - 300 mg/l;
□ CLORURI	< 5 mg/l;
□ SOLFATI	20 – 35 mg/l;
□ AMMONIACA	5 - 10 mg/l;
□ NITRATI	30 - 45 mg/l;
□ NITRITI	< 0.01;
□ FERRO	0.01 – 0.05 mg/l;

□ FOSFORO	0 - 3 mg/l;
□ CALCIO	40 - 100 mg/l;
□ SODIO	0 - 20 mg/l;
□ ARSENICO	< 1.00 mcg/l;
□ MANGANESE	< 0.01 mg/l.

7.4 GEOMORFOLOGIA DI DETTAGLIO

Il territorio comunale è compreso tra 58 e 44 m s.l.m., il principale elemento topografico di tutto il territorio è una scarpata di circa 3 m, che inizia a nord dell'abitato di Castel Goffredo e si esaurisce in prossimità dei Listini, la sua origine è da ricercare nell'azione erosiva della Seriosa Fuga, che nasce dalle risorgive e che nel tempo ha rimaneggiato i depositi alluvionali Wurmiani. La pendenza della superficie topografica è inoltre spezzata in tre segmenti a partire dalla quota 53.5 m s.l.m. alla quota 50 – 51 m s.l.m., in tale intervallo vi è una minore inclinazione delle porzioni più settentrionali e meridionali del p.c..

Preme ricordare che buona parte del territorio comunale è stato fortemente influenzato dall'azione dell'uomo ed in particolare la zona nord-ovest, in passato, è stata bonificata in quanto sede di estese paludi.

Nella carta geomorfologica sono state riportate le poche evidenze morfologiche del territorio studiato.

L'elemento caratterizzante dell'area è rappresentato, sia a sud che a est, dai paleoalvei d'età tardoglaciale, che sono legati alle divagazioni dei corsi d'acqua.

L'assetto altimetrico del territorio appare abbastanza monotono e le discontinuità morfologiche più importanti sono rappresentate da leggere

depressioni entro cui scorrono gli elementi del reticolo idrografico superficiale.

Gli interventi antropici sul territorio sono finalizzati essenzialmente al controllo delle acque superficiali e alla sistemazione agraria dei terreni in funzione soprattutto delle coltivazioni, pertanto non si riscontrano fenomeni di morfogenesi attiva.

7.5 IDROGRAFIA E IDROLOGIA

Nella carta idrogeologica sono stati riportati diversi elementi: isopieze, con equidistanza di un metro, pozzi a stratigrafia nota, la direzione di flusso sotterraneo, la rete del drenaggio superficiale.

La piezometria dell'acquifero superficiale è stata ricostruita servendosi dei dati di quattro campagne di rilevamento piezometrico (effettuati a Marzo, Giugno, Settembre e Dicembre dell'anno 1990 e integrati da rilevamenti effettuati nel 2012) e della carta idrogeologica allegata al Piano Regionale di Risanamento delle acque, nel corso del presente studio sono stati effettuati controlli nei punti di misura accessibili (pozzi a camicia e piezometri), che hanno confermato i dati precedenti.

Il campo di moto degli acquiferi presenti nelle zone indagate è diretto da nord a sud, la piezometria varia da 57 m s.l.m., a nord di Castel Goffredo, a 44 m s.l.m. a sud, ai confini con il comune di Casaloldo.

La variazione annua del livello piezometrico è da mettere in relazione sia alle precipitazioni meteoriche sia alle acque di irrigazione nel periodo aprile - settembre. Le isopieze vengono riferite al periodo di massima escursione e presentano equidistanza di un metro. La soggiacenza della falda varia da 1 a 3 m, in relazione alla zona considerata, ed è legata nel corso dell'anno, alle

oscillazioni della falda superficiale; il flusso sotterraneo presenta direzione nord-sud.

Il territorio è costituito da una fitta rete di scolo con canali e fossati; la gestione delle acque superficiali è affidata al Consorzio di Bonifica Alta e Media Pianura Mantovana. Vengono di seguito riportati i corsi d'acqua più significativi:

Il fiume Osone nasce più a sud dei suoi principali affluenti, da deboli risorgive della zona sotto Medole, con il nome di Osoncello, che cambia in Osone alla corte Codosso tra Ceresara e Castel Goffredo, dove riceve il Gamberedolo. Di qui scendendo verso valle passa ad est dell'abitato di Gazoldo ricevendo le acque del Vaso Gozzolina prima e della Seriola Piubega poi, attraversa successivamente l'abitato di Castellucchio per gettarsi nel Lago Superiore con due sbocchi: uno a monte delle Grazie (Osone Vecchio), l'altro in località Quattro Venti del Comune di Curtatore, per il corso dell'Osone Nuovo, canale che attualmente alimenta nel periodo estivo alcuni impianti di pluvirrigazione del Consorzio di Bonifica Sud Ovest.

Ha un corso molto tortuoso, che aveva originariamente una lunghezza di oltre 40 Km, successivamente notevolmente ridotta con lavori di rettifica di molte anse.

Se si esclude la Seriola Marchionale, che si getta nell'Osone poco a monte delle sue foci, con possibilità di scarico sia nell'Osone Vecchio che nell'Osone Nuovo, gli affluenti importanti dell'Osone sono tutti di destra; il Vaso Gozzolina alla periferia di Gazoldo, la Seriola Piubega poco più a valle ed il Fossadoldo all'altezza di Sarginesco.

In sinistra, poco a monte di Sarginesco, in località Sacchina, nasce dall'Osone la Seriola di Castellucchio, che costituisce un diversivo a salvaguardia dell'abitato e torna nell'Osone Vecchio poco a monte della sua immissione nel Lago Superiore.

A valle di Castellucchio, in corrispondenza del sostegno Zanetti, dal canale, che da qui in poi assume il nome di Osone Vecchio, si stacca in destra il ramo dell'Osone Nuovo.

La manovra del sostegno consente di deviare nel periodo irriguo le acque dell'Osone nell'Osone Nuovo, a favore delle irrigazioni dell'ex comprensorio di Roncocorrente, ora facente parte del Consorzio di Bonifica Sud Ovest.

Gli scarichi dell'Osone nel Lago Superiore sono, in questo periodo, ridotti a poche centinaia di l/s.

Il Vaso Gozzolina nasce nei pressi di Castiglione delle Stiviere, raccogliendo acque di risorgiva e si impingua subito per gli apporti del fosso Riale di cui si è detto.

A monte di Medole, dopo aver confuso le proprie acque con quelle della Seriola Marchionale, si allontana da questa verso ovest, seguendo un percorso parallelo in destra di Osone, sul limite occidentale del bacino, lungo il quale incrocia ripetutamente la Seriola di Piubega.

Il Vaso Gozzolina passa a nord di Piubega e di Gazoldo degli Ippoliti e si getta nell'Osone poco a valle di questo abitato, dopo un percorso di 29 km.

Il suo regime idraulico è simile a quello della Seriola Marchionale, con afflussi nella parte alta del corso provenienti dalle risorgive, dalla

falda e dagli scarichi, integrati nel periodo irriguo con alimentazioni dal Canale Principale e dal Canale Primario di Mariana per 500/600 l/s.

Il bacino scolante del Vaso Gozzolina è di 2457 ettari.

La Seriola Piubega nasce in territorio bresciano, nel Comune di Carpenedolo, da fontanili abbastanza ricchi ed ha un percorso assai prossimo a quello del Vaso Gozzolina, con il quale si incrocia ripetutamente, così che la Gozzolina segna il confine di bacino nella parte alta, mentre la Piubega lo segna nella parte bassa.

Sfocia in Osone poco a valle della Gozzolina, dopo un percorso complessivo di 26 km.

Il suo regime idraulico è simile a quello della Gozzolina con la quale esistono diversi collegamenti che permettono scambi idrici a seconda delle esigenze.

Questo regime è caratterizzato dagli afflussi da risorgiva e da falda nel tronco superiore, integrati nel periodo irriguo da alimentazioni derivate dal Canale Principale alla Corte Annunciata, a sud di Medole, che raggiungono la portata massima di 1000-1200 l/s.

Nella zona circostante l'abitato di Piubega la Seriola ha diverse possibilità di scarico delle acque in direzione del canale Zenerato, che recapita nel Tartaro Fabbrezza.

La superficie del bacino scolante è di 2208 ha circa.

Il sottobacino del Tartaro Fabbrezza

Il Tartaro Fabbrezza nasce nei pressi della località Lame in Comune di Carpenedolo in Provincia di Brescia. Il suo bacino scolante è di circa 10245 ha, dei quali 644 ha all'esterno del comprensorio. Il suo corso ha una lunghezza di circa 37,3 km ed attraversa gli abitati di Castel Goffredo,

Casaloldo, Mariana Mantovana, Redondesco e Casatico, prima di sfociare in Oglio nei pressi di San Michele in Bosco.

Superato Redondesco, poco a valle della località Pioppino, il Fabbrezza incrocia a raso il canale Fosso Bresciano-Scolo Cavata, che è stato opportunamente ricalibrato, a metà degli anni 80, al fine di far defluire più celermente in Oglio, senza passare attraverso l'abitato di Casatico, buona parte delle acque di piena dello stesso Tartaro e del Vaso Zenerato.

Essendo scarsi gli apporti, nel periodo irriguo, dovuti alle risorgenze ed al drenaggio della falda impinguata dalle irrigazioni nella parte posta all'esterno del comprensorio, il canale viene alimentato in località Perosso di Castel Goffredo con portate irrigue dal Canale Principale che, nei momenti di punta, possono arrivare a 1000÷1500 l/s.

Molto gravosi sono, invece, gli apporti delle acque meteoriche provenienti soprattutto dalla zona di Carpenedolo, anche per il considerevole sviluppo che il suddetto abitato e le sue aree industriali hanno avuto negli ultimi anni, che determinano tracimazioni ed allagamenti nelle parti più depresse degli abitati di Castel Goffredo e di Casaloldo.

Tributari del Fabbrezza sono nel suo corso superiore la Frizza ed il Lodolo dei Berenzi ed in quello centrale la Seriolazza, il Fossadone ed il fosso Malpasciuto. Molto più importanti sono i tributari del suo corso inferiore, a valle dell'incrocio con lo scolmatore Scolo Cavata - Fosso Bresciano, quali lo Zenerato ed il Tomba.

Il sottobacino del Tartaro Fuga.

Il Tartaro Fuga nasce da fontanili in località Profondi in Comune di Carpenedolo - Provincia di Brescia. Il suo corso, che ha una lunghezza di circa km 23,4, segue quasi affiancato quello del Fabrezza da cui si allontana subito dopo l'attraversamento della strada Postumia, per sfociare in Oglio dopo aver ricevuto gli apporti dei Vasi Tartarello, Tornapasso e Tornapassolo.

Nel periodo irriguo la scarsa portata delle risorgive viene incrementata dal Canale Principale con un contributo di 800÷1000 l/s.

Il bacino scolante del Tartaro Fuga è di circa 7695 ettari, dei quali circa 600 in Provincia di Brescia nel comprensorio del Consorzio di Bonifica Medio Chiese.

Nei periodi di piena il Fuga diventa pericoloso, nel suo corso superiore, in corrispondenza degli abitati di Castel Goffredo e di Casaloldo, soprattutto per i considerevoli apporti meteorici provenienti dal territorio di Carpenedolo.

Nel suo corso inferiore, a partire dall'abitato di Mariana, le condizioni idrauliche migliorano sensibilmente per effetto dei lavori di ricalibratura, parte già effettuati e parte ancora in corso, eseguiti dal Servizio Provinciale del Genio Civile.

8 DEPOSITI SUPERFICIALI

La tavola cui si riferisce questo paragrafo illustra graficamente i dati relativi all'estensione ed alla natura litologica delle principali litozone subsuperficiali che interessano il comune di Castel Goffredo.

La caratterizzazione litologica degli orizzonti subsuperficiali compresi tra il piano campagna e la profondità di circa 1.3 m è stata effettuata attraverso il riconoscimento speditivo di campagna dei terreni, indagati puntualmente per mezzo di trivella manuale.

Naturalmente sul posto è stato possibile classificare da un punto di vista granulometrico i depositi intercettati, mediante taglio con filo d'acciaio avente diametro di 0,2 mm e fissato ad un archetto metallico, mirato alla individuazione dettagliata dei limiti tra le varie classi granulometriche.

In seguito ad un'analisi dettagliata dei litotipi prelevati nelle aree di indagine, si possono riconoscere i seguenti litotipi:

litotipi prevalentemente ghiaiosi

Rappresentano depositi in cui si è rilevata la presenza di sedimenti in cui la componente ghiaiosa risulta prevalente rispetto alle componenti sabbioso e limoso. I ciottoli che costituiscono l'ossatura principale presentano mediamente diametri compresi tra 1 cm e 3 cm; i depositi si presentano sciolti con una limitata presenza di matrice intergranulare fine; il deposito presenta una classe di permeabilità da buona ad elevata, con un coefficiente di permeabilità K di circa 10^{-2} cm/sec.

litotipi prevalentemente sabbiosi-ghiaiosi

Sono caratterizzati da sedimenti prevalentemente sabbiosi a grana medio-grossa associati a depositi ghiaiosi più grossolani. Il grado di permeabilità da assegnare a questo litotipo è funzione della percentuale di matrice fine

presente all'interno del deposito, il coefficiente di permeabilità K assume valori di circa 10^{-3} cm/sec.

litotipi prevalentemente sabbiosi

Sono depositi che presentano un range granulometrico variabile dalle sabbie medie alle sabbie fini, presenti al di sotto di una coltre di alterazione di spessore di 50 cm; le percentuali di materiale fine risulta complessivamente media e il coefficiente di permeabilità presenta valori di circa 10^{-4} cm/sec.

litotipi prevalentemente sabbiosi-limosi o limosi-sabbiosi

Presentano una composizione granulometrica di transizione tra le sabbie incoerenti ed i limi.

Complessivamente il litotipo presenta una permeabilità piuttosto bassa a causa dell'abbondante presenza di materiale fine semipermeabile; il valore riscontrato K si attesta a 10^{-4} e 10^{-5} cm/sec.

litotipi prevalentemente limosi o limosi-argillosi

Sono depositi prevalentemente di natura coesiva a granulometria fine, rappresentati da limi-argillosi debolmente sabbiosi, con un buon grado di compattazione e con presenza di residui organici di natura torbosa. L'elevata percentuale di materiale impermeabile riduce notevolmente la capacità di drenaggio in corrispondenza dei terreni caratterizzati da tali sedimenti; il coefficiente di permeabilità K assume valori da molto bassi a bassi, dell'ordine dei $10^{-6} - 10^{-7}$ cm/sec.

9 ANALISI GEOTECNICA

Per la definizione dei caratteri geologico tecnici del sottosuolo di Castel Goffredo sono stati raccolti tutti i dati di prove penetrometriche e perforazioni eseguite nel territorio comunale e negli immediati dintorni. E' stata inoltre effettuata una campagna di prove penetrometriche e geofisiche (masw), al fine di completare il quadro conoscitivo del territorio.

I dati geotecnici pregressi, così come prima ricordato, sono stati integrati con una serie di prove effettuate nel corso del presente studio e volte ad approfondire e verificare le conoscenze dei caratteri geologico-geotecnici e sismici del territorio comunale.

Grazie ad un rilevamento geologico si è riusciti a caratterizzare il colore, la degradazione e il grado d'impregnazione idrica dei litotipi individuati.

La definizione dell'assetto stratigrafico e la parametrizzazione geotecnica dei terreni indagati è stata conseguita dalle tabelle delle prove penetrometriche statiche e dinamiche, che hanno mostrato una situazione litologica caratterizzata da una serie di livelli con proprietà geomeccaniche differenti, e con spessori alquanto variabili in senso verticale e areale.

9.1 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

Le indagini hanno consentito di caratterizzare geomeccanicamente i terreni di fondazione della gran parte del territorio comunale. Le prove geotecniche in situ hanno rilevato la presenza di successioni litologiche composte da terreni a granulometria variabile, con caratteristiche geotecniche da medie a buone.

La successione litostratigrafica è rappresentata dall'alternanza di sabbie-ghiaiose, sabbie, sabbie-limose, limi sabbiosi, limi ed argille; si tratta pertanto di alternanza tra materiali di natura granulare con altri di natura prettamente coesivi. Per tali motivi anche se le caratteristiche geotecniche generali del terreno, appaiono buone, la presenza di livelli di natura compressibile, dello spessore variabile (1 – 5 m), comportano un ridimensionamento, in certe zone, delle caratteristiche geomeccaniche, per i cedimenti assoluti e di consolidazione che sono attesi dai livelli litologici appena citati.

ORIZZONTE SABBIOSO-GHIAIOSO

i parametri geotecnici che caratterizzano i depositi sono:

- γ_n (peso di volume naturale) = 1.6 ÷ 1.95 t/m³;
- ϕ = angolo di attrito interno efficace = 31° ÷ 35°.
- E_u (modulo di deformazione non drenato) = 150 ÷ 300 Kg/cm²;
- R_p (resistenza penetrometrica di punta) = 100 ÷ 250 Kg/cm².

ORIZZONTE SABBIOSO-LIMOSO

I parametri geotecnici che caratterizzano la litozona sono:

- γ_n (peso di volume naturale) = 0.90 ÷ 1.85 t/m³;

- M_0 (modulo di deformazione edometrico) = $80 \div 150 \text{ Kg/cm}^2$;
- ϕ = angolo di attrito interno efficace = $28^\circ \div 32^\circ$;
- R_p (resistenza penetrometrica di punta) = $50 \div 100 \text{ Kg/cm}^2$.

ORIZZONTE LIMO-ARGILLOSO

I valori riscontrati nelle tabelle sono:

- y' = peso dell'unità di volume (efficace) del terreno = $0,8 \div 1,85 \text{ t/m}^3$;
- D_r = densità relativa = $50\% \div 60\%$;
- M_0 = modulo di deformazione edometrico = $40 \div 90 \text{ Kg/cm}^2$;
- c_u (coesione non drenata) = $0.4 - 0.75 \text{ Kg/cm}^2$.

9.2 VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI

La vulnerabilità naturale degli acquiferi all'inquinamento rappresenta un indicatore ambientale di suscettibilità delle falde idriche al carico antropico esistente.

La vulnerabilità idrogeologica concerne la possibilità che le acque di falda possono essere più o meno esposte al rischio d'inquinamento idrico. Esso viene definito come "l'impatto di qualunque attività antropica, volontaria o accidentale, che comporti uno sversamento, in uno o più dei sottosistemi componenti il sistema ambiente, di sostanze tali da causare una variazione negativa di tipo chimico e/o fisico della qualità naturale delle acque, tale da mettere in pericolo la salute dell'uomo e degli altri esseri viventi".

La metodologia fa riferimento in parte a quella sperimentata e proposta da vari Autori, in parte segue una elaborazione originale in relazione ai dati a disposizione e alla realtà territoriale.

Si è considerato soprattutto quanto proposto nella metodologia CNR-GNDCI e nelle successive modifiche e integrazioni della stessa, proposte da vari enti e ricercatori sia per scopi generali, sia negli ultimi anni, in particolare per lo studio della vulnerabilità da nitrati delle falde, come richiesto dal Dlgs. 152/06. Si è anche considerato quanto messo a punto, sempre dalla linea di ricerca CNR-GNDCI, cioè il metodo Sintacs, metodo parametrico di valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, basato su sette fattori di vulnerabilità.

Per la valutazione della vulnerabilità intrinseca delle acque di falda, che dipende dalle caratteristiche naturali, climatiche, pedologiche e idrogeologiche del sistema, tutte le metodologie si basano sull'esame e la sovrapposizione di alcune informazioni tematiche, più o meno approfondite e quantificate, riferite sostanzialmente:

- alle caratteristiche del suolo e la sua capacità di attenuazione della vulnerabilità;
- alle caratteristiche dello strato insaturo, sovrastante la falda, e alla sua capacità di trasmettere gli inquinanti alla falda;
- alle caratteristiche idrogeologiche e alla profondità delle falde idriche.

La vulnerabilità degli acquiferi non dipende solo dai parametri naturali, ma anche dalle pressioni a cui l'ambiente è sottoposto, sotto forma di centri di pericolo e fonti di inquinamento.

Nel caso in esame si è adottata una metodologia di valutazione della vulnerabilità complessiva, basata su più stadi di elaborazione e tematismi.

La vulnerabilità quindi rappresenta il grado di protezione degli acquiferi sottiacenti il territorio più o meno antropizzato, ed indica la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi ad ingerire e diffondere un

inquinante idroveicolato. Essa dipende dalle caratteristiche idrodinamiche dell'acquifero e dalla litologia del terreno non saturo soprastante.

I fattori presi in considerazione per la valutazione della vulnerabilità sono:

- ✓ tipo e grado di permeabilità dei depositi;
- ✓ tipo e spessore di eventuali coperture a granulometria fine e con bassa permeabilità;
- ✓ presenza di livelli ghiaiosi sotterranei;
- ✓ soggiacenza della superficie piezometrica dell'acquifero;
- ✓ condizioni geomorfologiche particolari, quali la presenza di importanti paleoalvei o di terrazzi fluviali.

I parametri che invece caratterizzano le sostanze inquinanti, e quindi la loro possibilità a spostarsi nelle acque sotterranee e a determinarne il potenziale d'impatto, sono:

- la **densità** (massa dell'unità di volume): pertanto a maggiore densità si ha maggiore spostamento verso il basso;
- **viscosità** (resistenza al moto o attrito interno di un fluido): a maggiore viscosità corrisponde maggiore lentezza negli spostamenti orizzontali e verticali;
- **conducibilità idraulica**, proprietà legata alle due precedenti oltre che alla permeabilità dell'acquifero;
- **solubilità** (massa della sostanza che si dissolve per unità di volume di solvente): quindi a maggior solubilità si ha minor concentrazione dell'inquinante nell'acqua, ma anche maggior dispersione dello stesso;

- **volatilità** (proprietà delle sostanze a passare allo stato di vapore): a maggiore volatilità si ha maggior dispersione della sostanza e quindi una minor persistenza;

persistenza, essa è una caratteristica di comportamento che dipende dalla tipologia della sostanza e dalle interazioni che essa ha con l'ambiente. Definisce il tempo di durata che una sostanza mantiene fino alla sua eliminazione dalla corpo idrico.

Con il primo approfondimento si è preso in considerazione l'effetto protezione e attenuazione dell'inquinamento offerto dalla presenza dei vari tipi di suoli e dalle loro caratteristiche fisico-chimiche.

Infine, vengono considerati i fattori antropici poichè rappresentano elemento di rischio, quali:

- impianti zootecnici e trattamento con fitofarmaci in aree agricole;
- aree artigianali, cimiteri, reti fognarie e discariche;
- attività estrattiva di inerti.

La vulnerabilità intrinseca di un acquifero è, come abbiamo visto, legata all'interazione tra i fattori fisici dell'acquifero e quelli della sostanza inquinante, fattori che insieme danno luogo a tre principali processi che si producono all'interno del sistema/sottosuolo e che sono:

- lo spostamento della sostanza inquinante (fluida o solida e idroportata) attraverso lo strato insaturo, fino a raggiungere la superficie freatica sottostante;
- la dinamica del flusso sotterraneo della falda e dell'inquinante attraverso lo strato saturo;
- la concentrazione residua di un inquinante fluido o idroportato

nel suo viaggio dalla sua partenza al suo arrivo nello strato saturo.

La capacità del sistema suolo-sottosuolo-acquifero di attenuare l'impatto determinato dall'inquinante, caratterizza il grado di vulnerabilità ed è direttamente proporzionale alla lunghezza del percorso che l'inquinante compie per giungere allo strato saturo ed inversamente proporzionale alla velocità di filtrazione e alla dispersione cinematica che sono invece tipiche del mezzo. Durante il percorso dell'inquinante concorrono alla mitigazione dell'impatto la tipologia dell'insaturo, le interazioni molecolari dell'inquinante con l'ambiente, la diluizione eventuale che viene a determinarsi, ad esempio nel caso di abbondanti piogge.

La complessità e la variabilità dei vari parametri da prendere in considerazione, ha determinato la genesi di una miriade di metodi di valutazione della vulnerabilità, tutti finalizzati a descrivere in un qualsiasi scenario fisiografico, nel modo più semplice e oggettivo possibile, una zonizzazione per aree omogenee della vulnerabilità degli acquiferi dall'inquinamento.

Il principio su cui si basano tutti i metodi esistenti è quello di dare una valutazione ai diversi tipi di parametri presi in considerazione, valutazione che non può che essere arbitraria, con la quale si attribuiscono dei punteggi relativi alla funzione che il parametro assunto svolge nel contesto indagato.

L'assunzione dei parametri è pertanto legata alla possibilità di reperire gli stessi: in modo empirico, da fonti bibliografiche, tramite prove dirette di vario genere (carotaggi, prove di portata, piezometrie, granulometrie, prove di laboratorio ecc.). Sembrerebbe quindi che più parametri si utilizzano più ci si approssima ad un modello teorico vicino alla situazione reale. In realtà ciò vale per aree ristrette, ove la manipolazione di molti dati così complessi

garantisce in effetti un risultato in sintonia con la mole di lavoro svolto. Per aree più estese, la comparazione dei diversi metodi su una stessa area campione, con l'utilizzo degli stessi dati, ha suggerito ai ricercatori che metodi relativamente semplici danno risultati analoghi a metodi di più complessa applicazione.

La scelta del metodo è inoltre condizionata anche dalla possibilità di reperire in modo omogeneo su un territorio i valori necessari alla parametrizzazione. Quindi è inutile utilizzare un metodo complesso quando i valori necessari alla sua applicazione non coprono l'intero territorio d'indagine.

In tale metodo i fondamentali fattori presi in considerazione, che controllano la vulnerabilità sono:

- l'accessibilità idraulica, intesa come l'effettiva possibilità che un inquinante idroportato abbia per giungere nello strato saturo;
- la capacità di attenuazione dell'insaturo, ossia l'insieme dei processi che portano a diminuire la concentrazione dell'inquinante.

Questi fattori si esplicano nella valutazione della vulnerabilità intrinseca tramite i seguenti parametri d'ingresso:

- tipo di acquifero (falda libera, confinata, semiconfinata);
- litologia e grado di consolidazione dell'insaturo;
- soggiacenza.

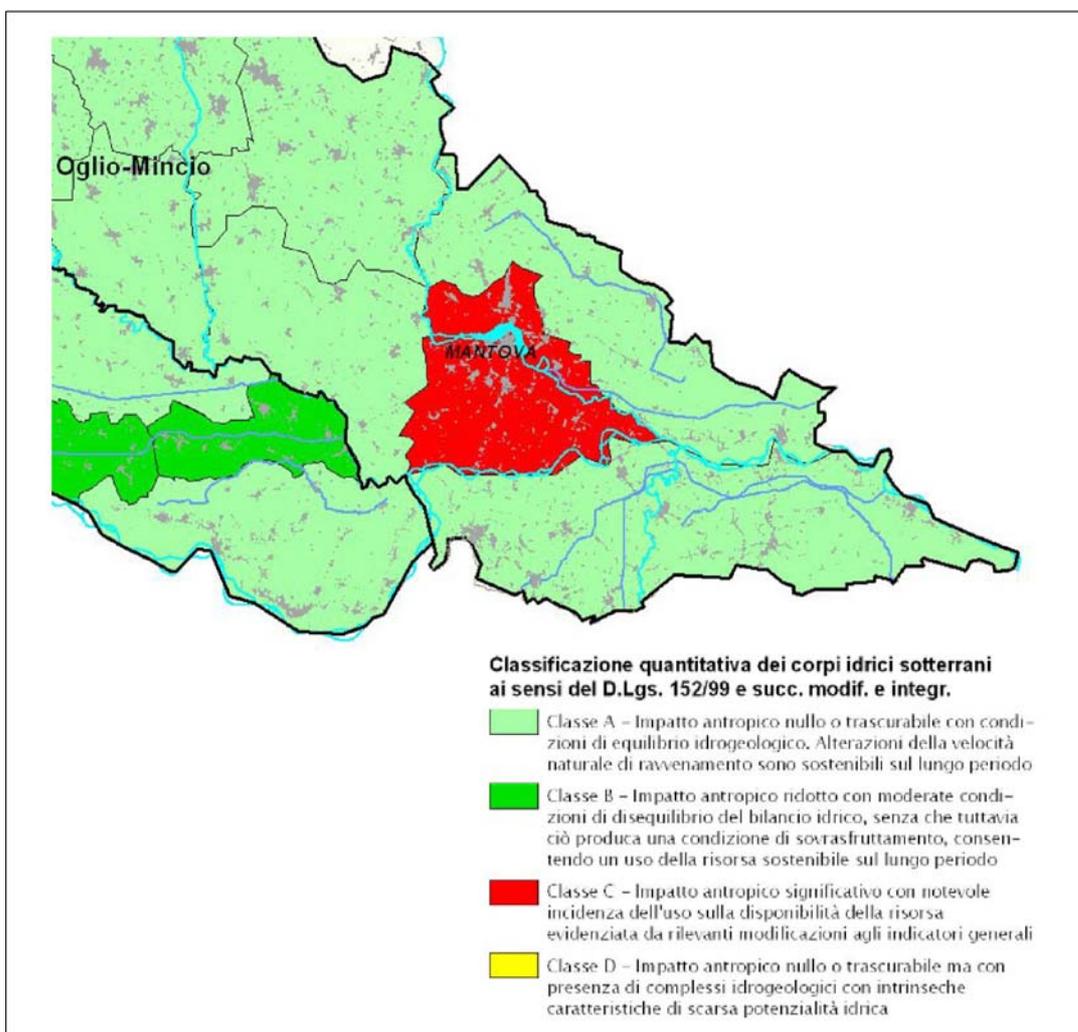
Dalla elaborazione di tutti i fattori elencati sono emerse diverse zone omogenee che presentano il seguente grado di vulnerabilità:

vulnerabilità MEDIA, vulnerabilità ALTA e vulnerabilità ELEVATA.

10 PTUA – PROGRAMMA DI TUTELE E USO DELLE ACQUE

La classificazione quantitativa PTUA dei corpi idrici sotterranei, ai sensi del D.L.vo 152/06, avviene attraverso quattro classi “A, B, C, D” ad impatto antropico crescente. Il comune di Castel Goffredo è classificato in Classe A con le seguenti caratteristiche:

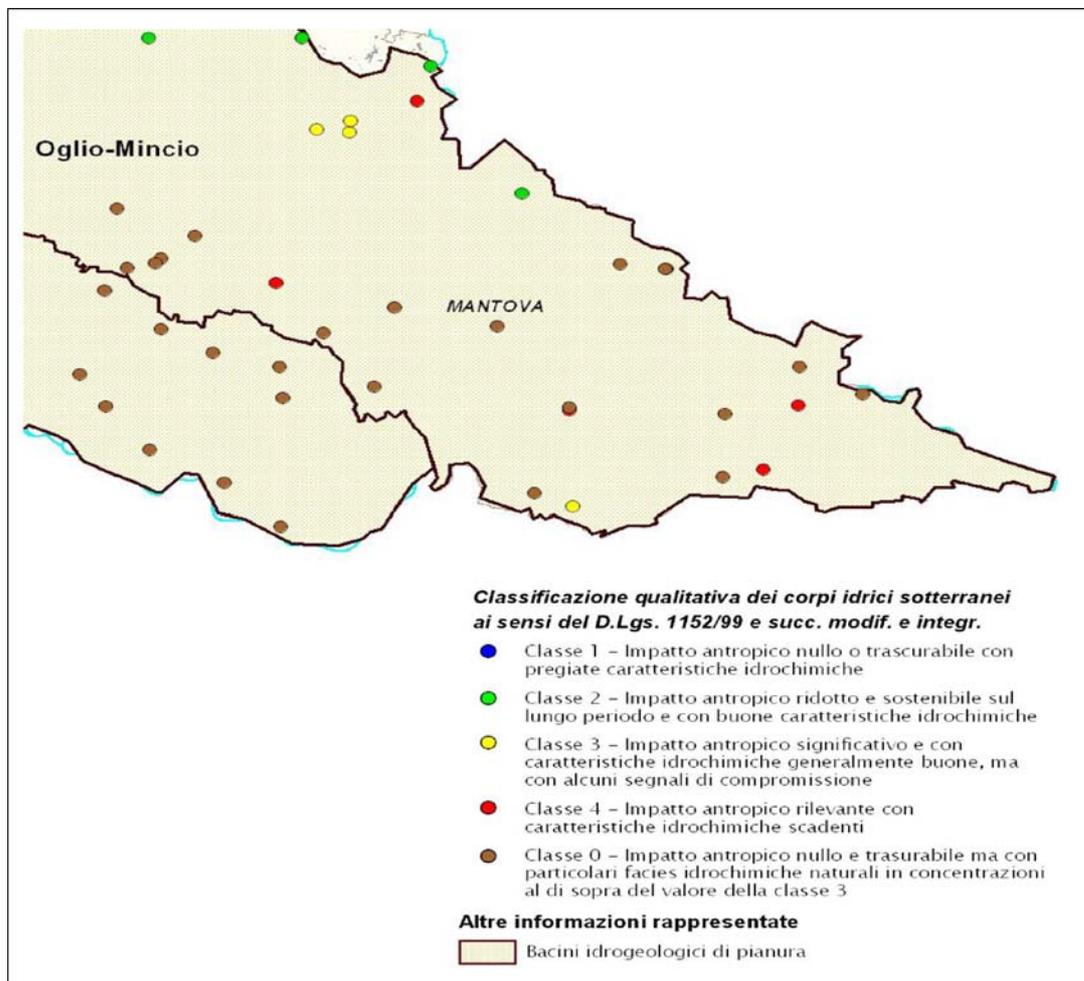
impatto antropico significativo nullo o trascurabile con condizioni di equilibrio idrogeologico. Alterazioni della velocità naturale di ravvenamento sono sostenibili su lungo periodo.



Classificazione qualitativa dei corpi idrici sotterranei

La classificazione qualitativa PTUA dei corpi idrici sotterranei, ai sensi del D.L.vo 152/06, avviene attraverso cinque classi “1, 2, 3, 4, 0” ad impatto antropico crescente. Il comune di Castel Goffredo è classificato in Classe 2 con le seguenti caratteristiche:

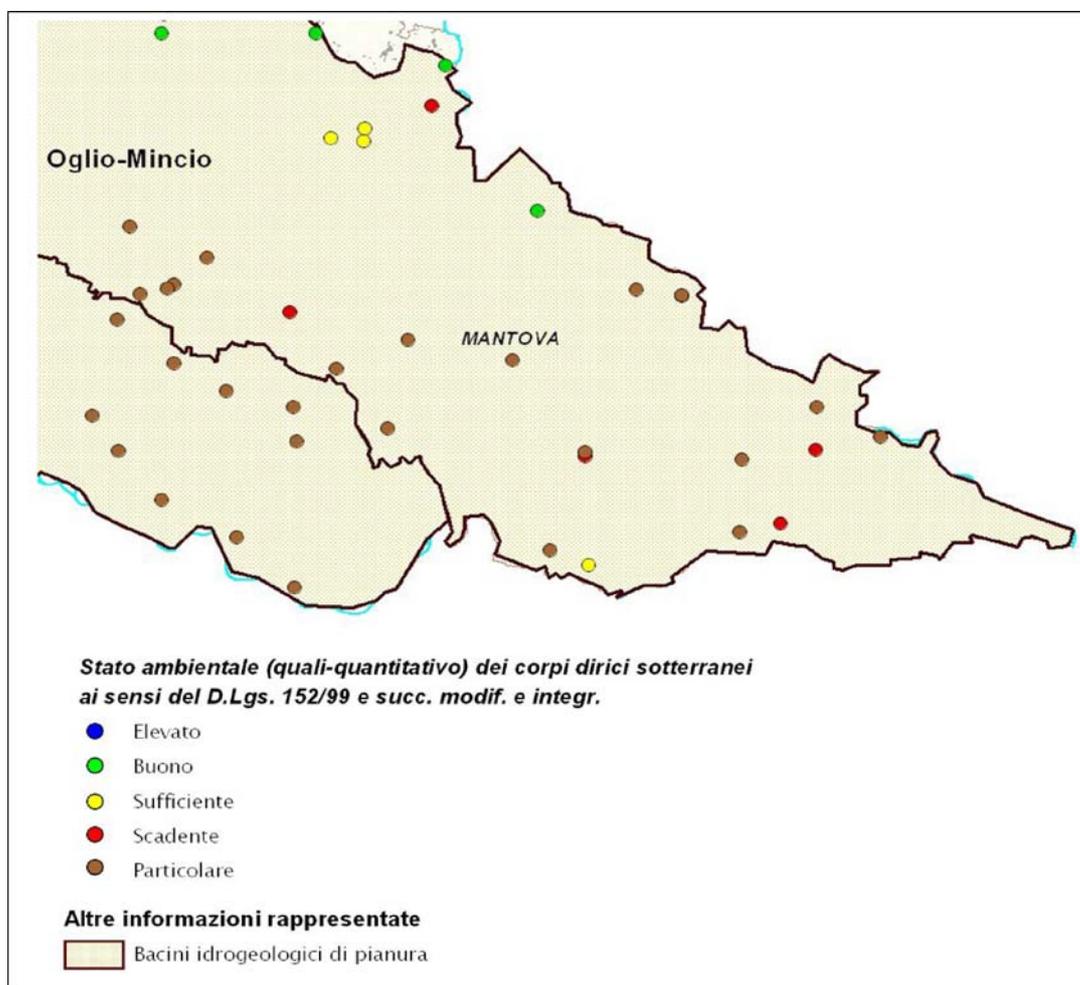
- impatto antropico ridotto e sostenibile sul lungo periodo e con buone caratteristiche idrochimiche.



Classificazione Stato ambientale (quali-quantitativo) dei corpi idrici sotterranei

La classificazione PTUA dello “Stato Ambientale” dei corpi idrici sotterranei, ai sensi del D.L.vo 152/06, viene definito valutando lo stato quantitativo dell’acquifero e lo stato qualitativo definito sulla base della determinazione di parametri chimici principali e addizionali.

Lo stato ambientale può essere: elevato, buono, sufficiente, scadente, particolare. Il comune di Castel Goffredo è classificato come: **Buono**.



11 ELEMENTI IDROGRAFICI

Con la determina D.g.r. 25 gennaio 2002, n.7/7868 e D.g.r. 22 dicembre 2011, n° IX/2762, la Regione Lombardia ha individuato i reticoli idrografici pubblici principali nell'intero territorio regionale, istituendo un elenco di corsi d'acqua che possiedono i requisiti elencati nella d.g.r. n.VI/47310 del 22 dicembre 1999, verificando poi la corrispondenza con i seguenti criteri:

- significatività dei bacini idrografici (bacini idrografici sottesi da corsi d'acqua superiori ai 2 Km);
- particolarità specifiche per corsi d'acqua di lunghezza >2Km (rilevanze e/o problematiche di tipo idraulico-idrogeologico di tipo particolare, come presenza di interventi di versante, sbarramenti idraulici, derivazioni d'acqua);
- individuabilità dei tratti costituenti il reticolo principale.

Inoltre nel reticolo principale sono stati inseriti i corsi d'acqua che nel tempo sono stati interessati da:

- rilevanti problematiche idrauliche o idrogeologiche;
- interventi idraulici o di versante particolarmente significativi (caratteristica che vale anche per quei corsi d'acqua che fungono da confine tra comuni limitrofi);
- opere di sbarramento o autorizzazioni di derivazioni d'acqua a scopo idroelettrico.

I corsi d'acqua principali devono possedere almeno una delle seguenti caratteristiche (d.g.r. n. VI/47310, 22 Dicembre 1999):

- corsi d'acqua già iscritti negli elenchi delle acque pubbliche;

- corsi d'acqua anche non iscritti su cui sono state eseguite opere idrauliche da parte di Enti pubblici;
- corsi d'acqua oggetto di derivazioni e/o attingimenti;
- corsi d'acqua non iscritti su cui sono già state rilasciate autorizzazioni di polizia idraulica, avendone riconosciuto la caratteristica di acque pubbliche.

Con tale delibera ha inoltre trasferito ai Comuni la competenza sul reticolo idraulico pubblico minore esistente all'interno del proprio territorio. Tale competenza si è specificata con deliberazione della G.R. n.7/13950 del 1 agosto 2003 ove i Comuni devono provvedere all'approntamento di una cartografia che indichi il reticolo idrografico e le relative fasce di rispetto, nonché la relativa normativa con l'indicazione delle attività vietate e soggette ad autorizzazione all'interno delle stesse.

Il reticolo idrografico cosiddetto "minore" viene individuato quindi dalla citata determina 25 gennaio 2002, n.7/7868 secondo specifici criteri enunciati nell'allegato B di detta delibera che così definisce tale reticolo al punto 4:

il reticolo minore di competenza comunale, individuato in base alla definizione del regolamento di attuazione della legge 36/94, ossia il reticolo idrografico costituito da tutte le acque superficiali (...) ad esclusione di tutte le acque piovane non ancora convogliate in un corso d'acqua. In particolare dovranno essere in linea generale inseriti i corsi d'acqua rispondenti ad almeno uno dei seguenti criteri:

- siano indicati come demaniali nelle carte catastali o in base a normative vigenti;
- siano stati oggetto di interventi di sistemazione idraulica con finanziamenti pubblici;
- siano interessati da derivazioni d'acqua;

- siano rappresentati come corsi d'acqua dalle cartografie ufficiali (CTR, IGM)".

Sempre sulla base dell'Allegato B della Delibera regionale n.7/13950 il reticolo minore di competenza comunale viene individuato per differenza e comunque seguendo la definizione del regolamento di attuazione della legge 36/94 all'art.1 Demanio idrico comma 1-2 (DPR 18/2/99 n.238, G. U. del 26 luglio 99) che recita:

1. "appartengono allo Stato e fan parte del demanio pubblico tutte le acque sotterranee e le acque superficiali anche raccolte in invasi o cisterne" (c.1);
2. "la disposizione di cui al comma 1 non si applica a tutte le acque piovane non ancora convogliate in un corso d'acqua o non ancora raccolte in invasi o cisterne" (comma 2).

I corsi d'acqua devono rispondere in linea generale ad almeno uno dei seguenti criteri (Allegato B) per appartenere al reticolo minore di competenza comunale:

1. siano indicati come demaniali nelle carte catastali o in base a normative vigenti;
2. siano stati oggetto di interventi di sistemazione idraulica con finanziamenti pubblici.

I corsi d'acqua che presentano uno dei criteri appena menzionati possono essere esclusi dal reticolo di competenza comunale sulla base di un studio di dettaglio adeguato allo scopo e potrà comunque avvenire solo nel caso in cui gli stessi non presentino le caratteristiche di acqua pubblica ai sensi della L.36/94 e relativo regolamento sopra richiamati.

RETICOLO IDRICO PRINCIPALE

Il reticolo idrico principale è costituito da tutti i corsi d'acqua inseriti nell'Allegato A della D.G.R. n° 8/8127 del 01.10.2008, con la D.G.R. n° IX/2762 del 22 dicembre 2011, le competenze, dei corsi d'acqua del reticolo principale, sono state affidate all'AIPO; nel territorio comunale non ricadono corsi d'acqua principali, pertanto tutti i corsi d'acqua sono gestiti dal Consorzio di Bonifica Alta e Media Pianura Mantovana.

INDIVIDUAZIONE DEL RETICOLO IDRICO DI COMPETENZA CONSORZIALE

Il reticolo idrico di competenza dei consorzi di bonifica è costituito da tutti i corsi d'acqua inseriti nella D.G.R. n° IX/2762 del 22 dicembre 2011. Il consorzio operante all'interno del territorio comunale è il Alta e Media Pianura Mantovana, per il quale l'elenco dei canali comprende:

codice siber	nome
4448	Allacciante Gambino di Casalpoglio-Bai
4449	Allacciante Lessico-Mediarolo
4442	Canale Principale
4443	Canale Secondario Casalmoro
4329	Corgolo Vaso
11951	Fossadazzo Fosso
4480	Fuga della Grilla
4345	Gambaredolo e Gambaredoletto Vaso
4461	Gambina-S. Appollonio-Polenta Fosso
4511	Gambina Baitella
4326	Gambino o Gambino di Casalpoglio Vaso
4333	Gozzolina Vaso
4341	Gramma Vaso
4337	Isorella Roggia
4342	Lodolo Fosso
4463	Madonna del Platano Fosso
4510	Mediarolo Vaso
4331	Osone Vecchio Fiume
4344	Pioppe-S. Anna Fosso
4332	Piubega Seriola
4468	Pratola Fosso
4357	Redondolo Fughetta
4338	Ressico Vaso
4327	Tartaro Fabbrezza
4323	Tartaro Fuga

Per quanto riguarda il reticolo idrico minore di competenza comunale, preme ricordare come il piano sia in fase di stesura a cura del Consorzio di Bonifica.

12 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO RETICOLO PRINCIPALE**

Tale normativa viene citata al fine della completa comprensione del contesto di applicazione delle norme di riferimento.

La normativa di riferimento "Polizia delle acque pubbliche" per i corsi d'acqua appartenenti al Reticolo Principale (Allegato "A" alla D.G.R. n° VII/13950/03 – D.G.R. n° IX/2762 del 22 dicembre 2011), che rientra nell'ambito delle competenze Regionali, è costituita da quanto disposto:

1. dagli artt. n° 59, 96, 97, 98, 99, 100, 101 del R.D. n°523/1904, per quanto non espressamente modificato dal presente, con particolare riferimento al punto "f" dell'art.96;
2. dall'art.9, commi 5, 6 e 6-bis contenute nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), per le aree di esondazione e i dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua;
3. dalla Deliberazione di Giunta Regionale 25/01/2002, n°VII/7868/02, (per le parti fatte salve) e dalla D.G.R. n° VII/13950/03.

I corsi d'acqua appartenenti al reticolo principale sono stati individuati dalla Regione Lombardia (All. A d.g.r. 7/13950).

13 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La metodologia utilizzata, per la zonazione sismica, è stata calibrata alla scala del problema, illustrando i procedimenti con i quali analizzare e quantificare l'influenza che le condizioni locali di sito (proprietà fisico meccaniche dei terreni, morfologia superficiale e sepolta e regime delle acque), hanno sul moto sismico e sugli effetti indotti da un terremoto.

La microzonazione sismica consiste nell'analisi e nella rappresentazione della distribuzione spaziale della pericolosità sismica territoriale e della vulnerabilità sismica, pertanto il presente documento vuol valutare:

- la risposta sismica locale;
- vulnerabilità dell'ambiente fisico;
- vulnerabilità del territorio.

Per verificare se all'interno del territorio comunale sono presenti situazioni litologiche e geomorfologiche in grado di produrre effetti di amplificazione sismica locale è stata applicata la metodologia contenuta nell'Allegato 5 della D.G.R. n° 8/7374 del 28.05.2008.

Per quanto riguarda i criteri da seguire per gli studi di pericolosità e di microzonazione sismica, la direttiva regionale definisce due fasi di analisi, da completarsi con tre diversi livelli di approfondimento. Il primo livello prevede un approccio di tipo qualitativo e costituisce la base per i successivi livelli di approfondimento, il secondo livello consente sia una caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi sia l'individuazione degli ambiti suscettibili di amplificazione, mentre il terzo livello permette sia la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi sia la quantificazione degli effetti di instabilità dei versanti e liquefazioni.

Per la predisposizione della carta sismica locale sono state considerate diverse indagini geognostiche pregresse ed effettuata un'indagine geofisica in dieci siti rappresentativi dei diversi scenari geologico-stratigrafici suscettibili di fenomeni di amplificazione sismica locale.

14 METODOLOGIA DI INDAGINE

Così come ricordato in premessa la metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio crescente: i primi due livelli sono obbligatori (in funzione della zona sismica comunale) in fase di pianificazione, il terzo livello è obbligatorio in fase di progettazione sia quando con il secondo livello si dimostri l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di amplificazione, sia per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione.

L'analisi di primo livello si è basata sull'interpretazione di tutte le informazioni esistenti, nella fattispecie sono:

- relazioni geologiche-geotecniche di professionisti;
- documenti dell'ufficio tecnico comunale;
- bibliografia.

Dall'indagine è stato possibile caratterizzare il territorio da un punto di vista geologico, geotecnico e geofisico.

Per quanto riguarda il secondo livello si è cercato di approfondire le informazioni sui caratteri geofisici, geologici e geotecnici di diverse aree comunali, a tal proposito sono stati realizzati i seguenti approfondimenti:

- rilievi geologici finalizzati a riconoscere e riportare su carta le unità geologiche suscettibili di amplificazione del moto sismico e liquefazione;
- prove masw per la misura della V_{s30} ;

- sondaggi geognostici per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione.

L'approfondimento di terzo livello si ha quando il potenziale rischio sismico è elevato o quando si prevede di realizzare insediamenti strategici di protezione civile.

15 INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE

Al fine di realizzare il presente studio si è reso indispensabile realizzare nuove indagini geognostiche e sismiche, oltre che all'utilizzo delle informazioni ricavate da studi pregressi. Nel mese di Agosto 2011 sono stati realizzati dalla Società Gea Engineering n° 10 prove geofisiche (Masw).

Indagini eseguite:

- Multi-channel Analysis of Surface Waves (MASW) per il calcolo della velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (V_s), utile per la classificazione del sottosuolo di fondazione prevista dalla normativa vigente.

Prove pregresse:

- prove penetrometriche CPT – CPTU;
- carotaggi, sondaggi e stratigrafie pozzi.

Di seguito vengono descritte le metodologie utilizzate per le indagini realizzate.

La masw (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente. L'analisi delle onde superficiali permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali (V_s) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico.

L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale mazza battente su piastra metallica o cannoncino sismico, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo. Il risultato è un sismogramma che contiene molteplici informazioni quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

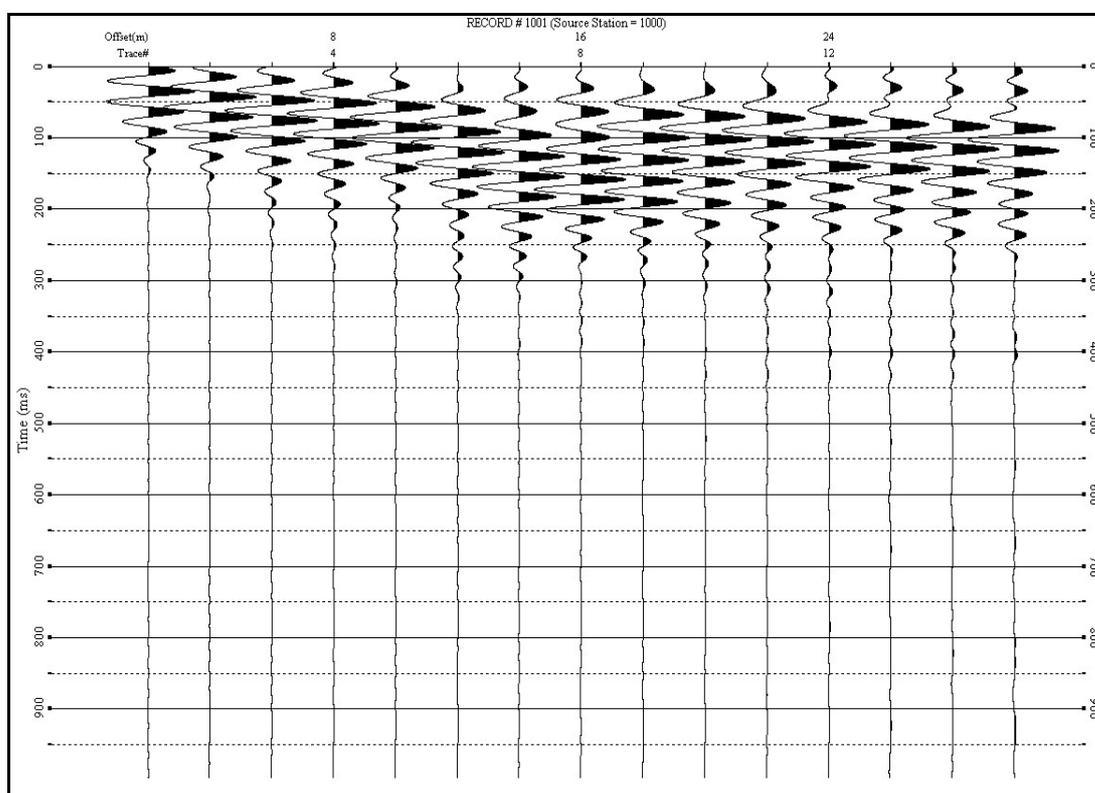
La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza. Il diagramma, riferibile al centro della linea sismica, rappresenta un valor medio della sezione di terreno interessata all'indagine di lunghezza circa corrispondente a quella della linea sismica e profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati e della geometria dello stendimento.

Il metodo Masw sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p).

Le onde di Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, producendo un movimento ellittico delle particelle durante il transito. Con i metodi di energizzazione usuali i due terzi dell'energia prodotta viene trasportata dalle onde di Rayleigh a fronte di meno di un terzo suddiviso tra le rimanenti tipologie di onde. Inoltre le onde di Rayleigh sono meno

sensibili delle onde P e S alla dispersione in funzione della distanza e con un'attenuazione geometrica inferiore.

Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. In pratica il metodo Masw di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri.



- Sismogramma -

La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale, infatti la massima lunghezza d'onda acquisibile è circa corrispondente alla lunghezza dello stendimento; mentre la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 metri, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing.

Nella campagna di indagine del lavoro in oggetto sono stati eseguiti n. 3 stendimenti di 24 geofoni con spaziatura tra i geofoni di 2,0 metri per una lunghezza di ogni linea sismica di 46,0 metri. L'energizzazione è stata eseguita a 2,0 e 10,0 metri dal primo geofono. Per ridurre il rumore di fondo e migliorare la qualità complessiva dei sismogrammi sono stati sommati più tiri.

I siti di indagine sono collocati in aree antropizzate o scarsamente antropizzate, non caratterizzate da particolari fonti di rumore antropico in grado di interferire in modo significativo con il segnale sismico.

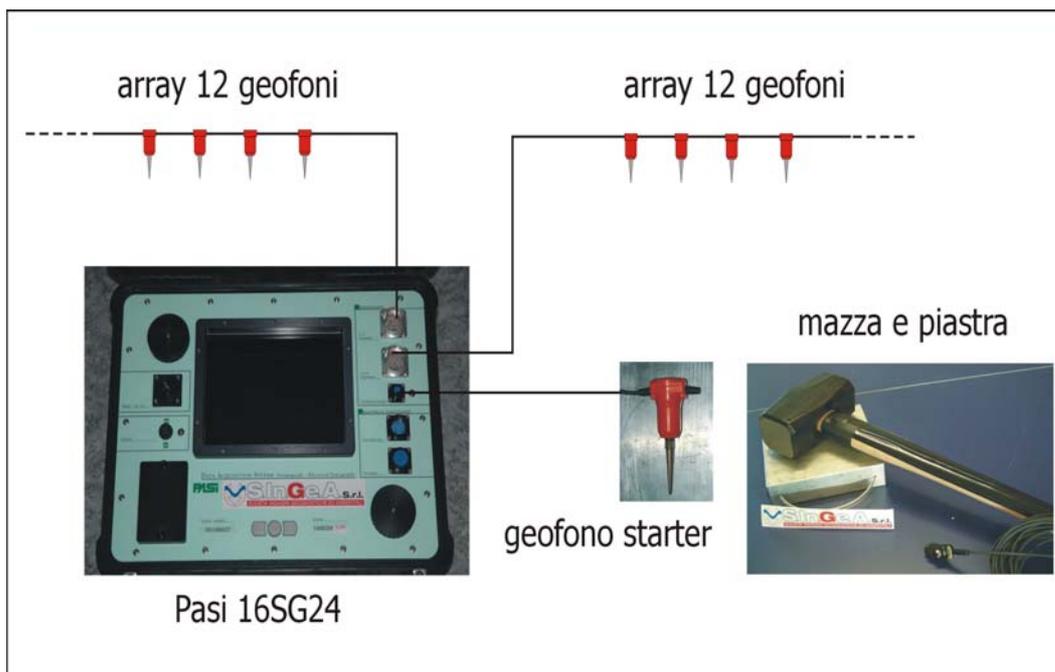
STRUMENTAZIONE

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "PASI 16SG24", dotato di 24 geofoni verticali Oyo Geospace con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

Lo strumento è in grado di gestire l'acquisizione simultanea su 24 canali e di rilevare l'istante di energizzazione (tempo zero) tramite geofono starter. È inoltre equipaggiato di software proprietario in grado di gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtraggi delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione sismogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma e sottrazione di ulteriori sismogrammi;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio.



ELABORAZIONE

L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*Winmasw 4.3 – Eliosoft*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

La fase iniziale consiste nel filtraggio del segnale sismico per eliminare il “rumore” ed eventuali frequenze indesiderate. Il software permette di visualizzare il sismogramma nel dominio spazio-tempo e visualizzando i grafici frequenza-ampiezza anche per le singole tracce. Sono disponibili varie modalità di gestione del segnale, le cui principali sono i filtri “passa basso”, “passa alto”, “passa banda”, “taglia banda”, il “muting” e l'ACG. Inoltre tramite le curve di attenuazione delle onde superficiali è possibile valutare con maggior precisione la qualità dei dati acquisiti.

La fase successiva consiste nel calcolo della curva di dispersione, visualizzata tramite diagramma frequenza-numero d'onda con appropriata scala cromatica dell'ampiezza.

Utilizzando la curva di dispersione si procede ad individuare la curva della velocità di fase apparente del modo fondamentale e, ove possibile, dei modi superiori.

La fase di inversione prevede una modellizzazione monodimensionale che consente di determinare un profilo di velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità. L'elaborazione avviene tramite l'applicazione di procedimenti calcolo e algoritmi genetici di inversione (global-search methods), che gestiscono all'intero di un "spazio di ricerca", modelli caratterizzati da parametri velocità di taglio (V_s) e spessori degli strati. Altri parametri previsti dal modello sono il coefficiente di Poisson e la velocità delle onde di volume (V_p) che, assieme a spessore degli sismostrati e relative V_s , possono venire modificati anche manualmente.

Tramite interazioni successive si ottiene un modello di inversione in grado di far coincidere con la migliore approssimazione possibile la curva di dispersione elaborata nella fase precedente e quella modellizzata. Viene inoltre restituita una stima dell'attendibilità (deviazione standard) del modello proposto ottenuta con tecniche statistiche.

Avendo a disposizione informazioni addizionali, quali ad esempio stratigrafie di sondaggio, analisi granulometriche, di densità, prove CPT ecc, è possibile impostare un modello geologico\geofisico con il quale definire parametri quali lo spessore degli strati, la velocità delle onde P stimata e coefficiente di Poisson. Tale modello consente una più accurata inversione dei dati di campagna e di conseguenza una migliore definizione della sismostratigrafia del sito.

In conclusione viene restituito un diagramma (1D) delle velocità delle onde di taglio (V_s) in funzione della profondità, con relativa tabella, calcolo delle V_{s30} e correlazione al tipo di terreno, come da normativa.

16 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE**Stratigrafia del terreno di fondazione**

Il comune di Castel Goffredo, dal punto di vista geotecnico, si caratterizza generalmente per la presenza di 3 litotipi principali (tav.1):

- depositi morenici corrispondenti alle sabbie-ghiaiose;
- depositi fluvioglaciali; limi con intercalazioni argillose;
- depositi prevalentemente sabbiosi.

Tale suddivisione, apparentemente grossolana in relazione alla vasta gamma di classi granulometriche e di situazioni stratigrafiche presenti, esprime in linea generale il tipo di ambiente deposizionale.

Dall'assetto stratigrafico e dalla parametrizzazione geotecnica dei terreni indagati si evidenziano dei depositi che si caratterizzano per una granulometria eterogenea, con clasti formati da, ciottoli, ghiaie e sabbie immerse in matrice limoso-argillosa. I depositi, in relazione all'età di formazione ed ai carichi litostatici, presentano un elevato grado di addensamento e sovraconsolidazione.

Per i depositi appena citati vengono riportati i parametri geotecnici, verificati grazie alle prove penetrometriche pregresse, sono:

LITAZONA SABBIOSO-GHIAIOSO

- γ_n (peso di volume naturale) = $1.6 \div 1.95 \text{ t/m}^3$;
- ϕ = angolo di attrito interno efficace = $31^\circ \div 35^\circ$.
- E_u (modulo di deformazione non drenato) = $150 \div 300 \text{ Kg/cm}^2$;
- R_p (resistenza penetrometrica di punta) = $100 \div 250 \text{ Kg/cm}^2$.

LITAZONA SABBIOSO-LIMOSO

- γ_n (peso di volume naturale) = $0.90 \div 1.85 \text{ t/m}^3$;
- M_0 (modulo di deformazione edometrico) = $80 \div 150 \text{ Kg/cm}^2$;
- ϕ = angolo di attrito interno efficace = $28^\circ \div 32^\circ$;
- R_p (resistenza penetrometrica di punta) = $50 \div 100 \text{ Kg/cm}^2$.

LITAZONA LIMO-ARGILLOSO

- y' = peso dell'unità di volume (efficace) del terreno = $0,8 \div 1,85 \text{ t/m}^3$;
- D_r = densità relativa = $50\% \div 60\%$;
- M_0 = modulo di deformazione edometrico = $40 \div 90 \text{ Kg/cm}^2$;
- c_u (coesione non drenata) = $0.4 - 0.75 \text{ Kg/cm}^2$.

17 SISMICITA' STORICA

L'Istituto di Geofisica e Vulcanologia ha prodotto una zonizzazione sismogenetica del territorio nazionale che tiene conto dell'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche.

Attraverso la distribuzione spaziale e temporale dei terremoti del passato è stato possibile attribuire valori di intensità e di magnitudo ai singoli eventi sismici, e individuare le strutture sismogenetiche da cui prendono origine.

Le aree epicentrali nelle quali si sono verificati i massimi effetti che hanno provocato risentimenti nel mantovano sono:

- Appennino parmense, reggiano e bolognese;
- Giudicarie;
- Bassa bresciana;
- Franciacorta;
- Garda occidentale;
- Veronese;
- Dorsale ferrarese.

Le intensità massime storiche (VII° MCS) sono state riscontrate ai confini tra le province di Brescia e Verona. A questo riguardo, al comune di Castel Goffredo è stata attribuita una Intensità Massima Macrosismica $I_{\max} = \leq 7$ MCS.

18 PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Il panorama legislativo in materia sismica è stato profondamente trasformato dalle recenti normative nazionali (Ordinanza P.C.M. n° 3274/2003, D.M. 159/2005, Ordinanza P.C.M. n° 3519/2006 e D.M. 14 gennaio 2008). Alla legislazione si aggiunge il lavoro dell'Associazione Geotecnica Italiana "aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica: linee guida".

L'Ordinanza P.C.M. n° 3274/2003 (Allegato1), ha disposto nuovi criteri per la valutazione preliminare della risposta sismica del sottosuolo stabilendo in questo senso:

- una nuova classificazione dei comuni nazionale, secondo quattro diversi gradi di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima orizzontale al suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni;

- una nuova classificazione del sottosuolo, in categorie di suolo di fondazione basata sulla stima di alcuni parametri fondamentali (V_{s30} , N_{spt} , c_u , profondità del bedrock). Ad ogni categoria sono stati attribuiti i valori dei parametri dello spettro di risposta per la stima delle azioni sismiche di progetto.

La tabella sottostante riassume la classificazione del sottosuolo, secondo le citate categorie:

Categoria di suolo di fondazione	PROFILO STRATIGRAFICO	V_{s30} (m/s)	N_{spt}	C_u (Kpa)
A	Formazione litoide o suoli omogenei molto rigidi	>800		
B	Depositi di sabbia o ghiaia molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	<800 >360	>50	>250
C	Depositi di sabbia e ghiaia mediamente addensate, o di argille di media consistenza	<360 >180	<50 >15	<250 >70
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti	<180	<15	<70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s			
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato di plasticità ($PI > 40$) e contenuto di acqua	<100		<20 >10
S2	Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti			

La nuova classificazione sismica è stata successivamente integrata dall'Ordinanza P.C.M. n° 3519 del 2006, con la pubblicazione della mappa della pericolosità sismica di riferimento per tutto il territorio nazionale e della seguente tabella che attribuisce i valori di a_g orizzontale massima da utilizzarsi per la costruzione degli spettri di risposta.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g)
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008) impongono nuovi e precisi criteri prestazionali di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale.

19 RISCHIO SISMICO E ZONAZIONE SISMICA

Con rischio si intende la probabilità che un fenomeno potenzialmente dannoso possa avvenire in un determinato luogo e in un assegnato tempo provocando un atteso valore di danno.

Per pericolosità sismica si intende la combinazione tra il moto sismico al bedrock e gli effetti locali che danno luogo alla cosiddetta risposta sismica locale dipendente dai caratteri locali del sito (caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche oltre alle caratteristiche morfologiche del sito). Pertanto, la pericolosità sismica locale la si definisce partendo dagli studi di pericolosità sismica di base ed analizzando i caratteri geomorfologici, geofisici e geotecnici.

La zonazione sismica permette di conoscere gli elementi che concorrono a definire il rischio sismico, la microzonazione sismica consiste nella rappresentazione spaziale della pericolosità sismica e della sua vulnerabilità sismica. Il presente studio valuterà la risposta sismica locale così come viene avvertita in superficie a causa delle caratteristiche locali del sito (morfologia superficiale e sepolta, regime delle acque sotterranee, costituzione del sottosuolo, proprietà fisico-meccaniche dei terreni).

Esiste ormai un generale accordo su quali depositi e forme del paesaggio possono, durante o a seguito di un terremoto, determinare amplificazioni del moto sismico in superficie o concorrere a modificare in maniera permanente l'assetto del territorio causando cedimenti, franamenti e rotture del terreno. La conoscenza territoriale oggi disponibile soprattutto grazie alle carte geologiche, alle banche dati geognostiche, alle carte topografiche e ai modelli digitali del terreno, permette la rapida individuazione degli elementi geologici e morfologici che possono favorire gli effetti locali.

Vengono di seguito elencati i principali elementi che concorrono alla pericolosità sismica locale.

Depositi che possono determinare amplificazione (spessore ≥ 5 m):

- detriti di versante;
- detriti di conoide alluvionale;
- depositi alluvionali terrazzati e di fondovalle;
- accumuli detritici in zona pedemontana (falda di detrito e coni di deiezione);
- depositi fluvio-lacustri;
- riporti antropici poco addensati;
- substrato affiorante alterato e intensamente fratturato (per uno spessore ≥ 5 m);
- litotipi del substrato con $V_s < 800$ m/s;

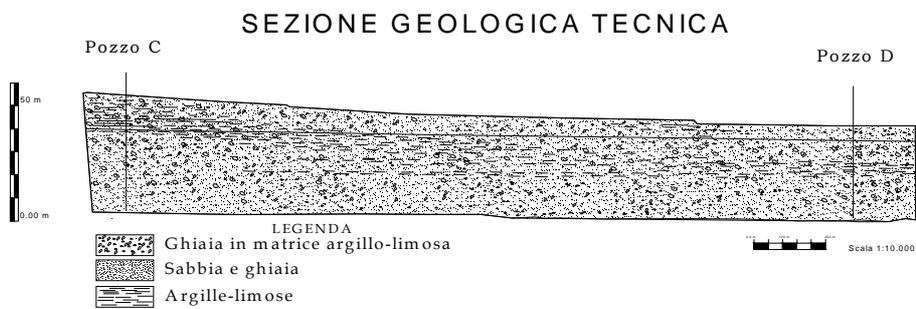
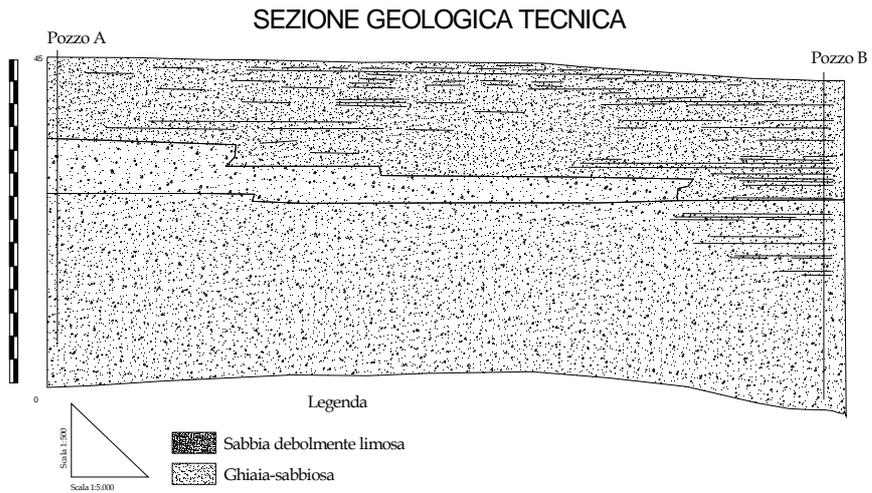
- elementi morfologici che possono determinare amplificazione: creste, cocuzzoli, dorsali allungate, versanti con acclività $> 15^\circ$ e altezze ≥ 30 m;
- depositi suscettibili di amplificazione, liquefazione e cedimenti: depositi granulari fini (sabbie) con livello superiore della falda acquifera nei primi 15 m dal piano campagna;
- depositi di terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti, caratterizzati da valori di NSPT < 15 o $C_u < 70$ Kpa;
- aree soggette ad instabilità di versante: aree instabili, aree direttamente interessate da fenomeni franosi attivi;
- aree potenzialmente instabili;
- elementi che possono determinare effetti differenziali, sia amplificazione che cedimenti: contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse.

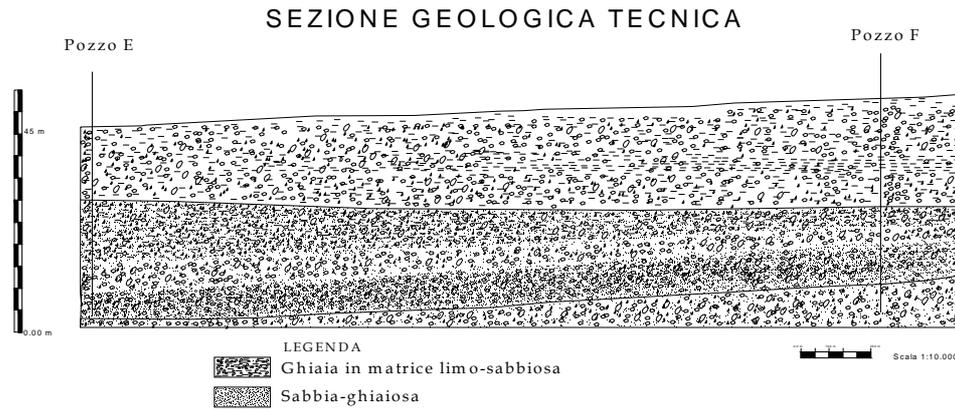
20 MODELLO GEOLOGICO

Prioritariamente sono state acquisite le informazioni pregresse sull'intero territorio comunale, i dati acquisiti sono di carattere stratigrafico derivante da sondaggi geotecnici, da pozzi idropotabili e da informazioni desunte da prove penetrometriche esistenti.

Considerando il quadro conoscitivo, è stato necessario, a seguito del rilievo geologico eseguito effettuare una programmazione di indagini geognostiche in relazione alle caratteristiche geologiche riscontrate sull'intero territorio comunale. A seguito della realizzazione dei rilievi geologici di superficie, delle indagini multidisciplinari di esplorazione del sottosuolo, si è proceduto ad una fase di omogeneizzazione, confronto ed integrazione di tutti i dati a disposizione al fine di poter definire il modello geologico di sottosuolo. Nella realizzazione delle sezioni per la modellazione sono stati utilizzati tutti i dati a disposizione partendo dai rilievi geologici di superficie che hanno guidato la definizione del modello geologico ed integrando tali informazioni con i dati diretti forniti dai sondaggi geognostici e con i dati indiretti forniti dalle prospezioni geofisiche di superficie (Masw).

Di seguito vengono riportati alcune sezioni geologiche ricostruite grazie ai dati di pozzo e ai sondaggi geognostici (ubicazione tracce sezioni e sondaggi geognostici).





21 RISULTATI DELLE PROVE MAW

Sono state effettuate, vista l'omogeneità litologica riscontrata, dieci prove masw, distribuite su tutte le Unità litostratigrafiche ricadenti sul territorio comunale (fig.1 e 2). Il comune di Castel Goffredo è stato suddiviso in tre macroaree e i sondaggi hanno permesso di caratterizzare ciascuna macroarea; vengono di seguito riportati i diagrammi e le tabelle relative ai risultati di ciascuna prova.

MASW n. 1 "Palazzo Riva"



Fig.1: Estratto di C.T.R. con ubicazione delle prove masw scala 1:20.000

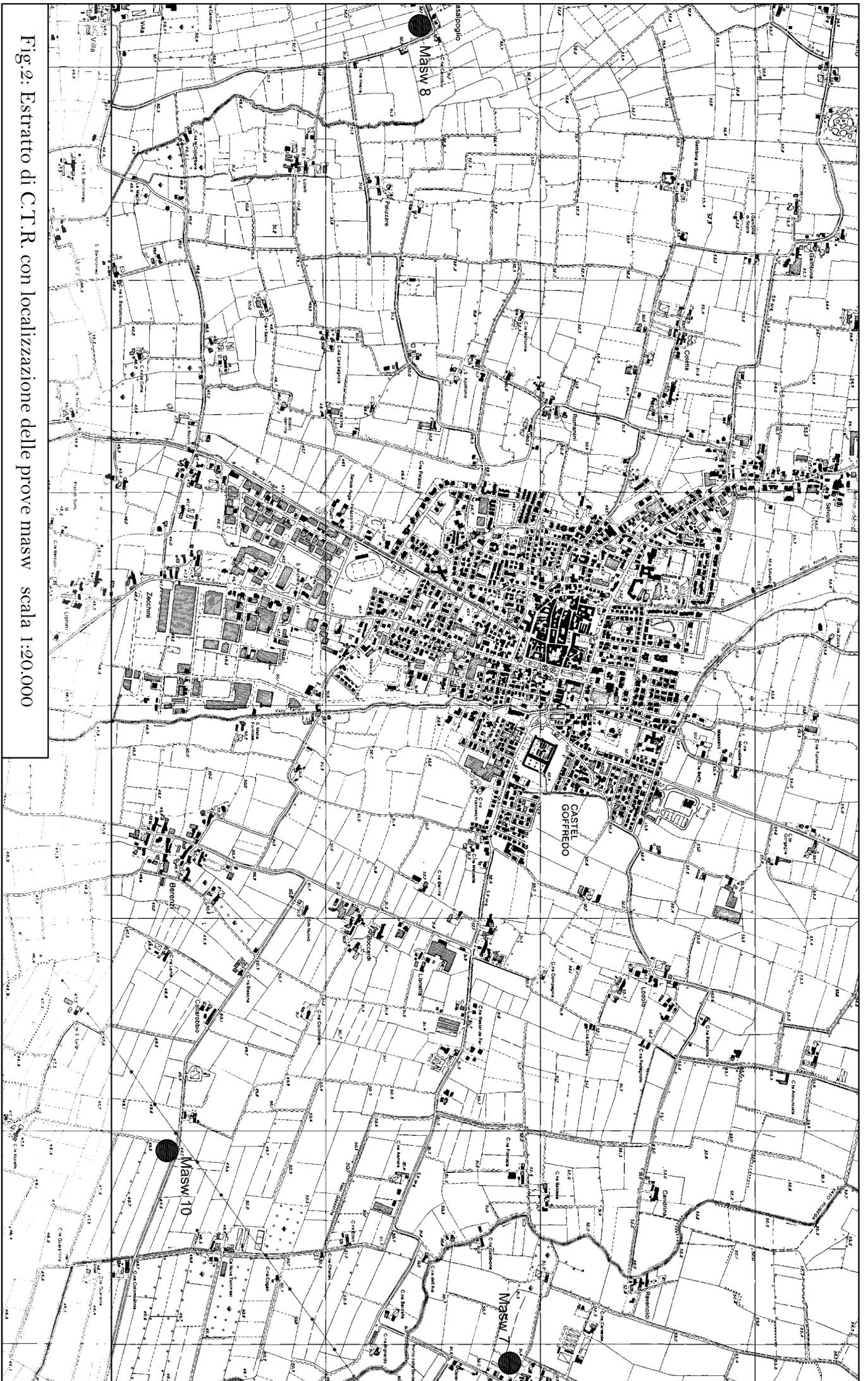
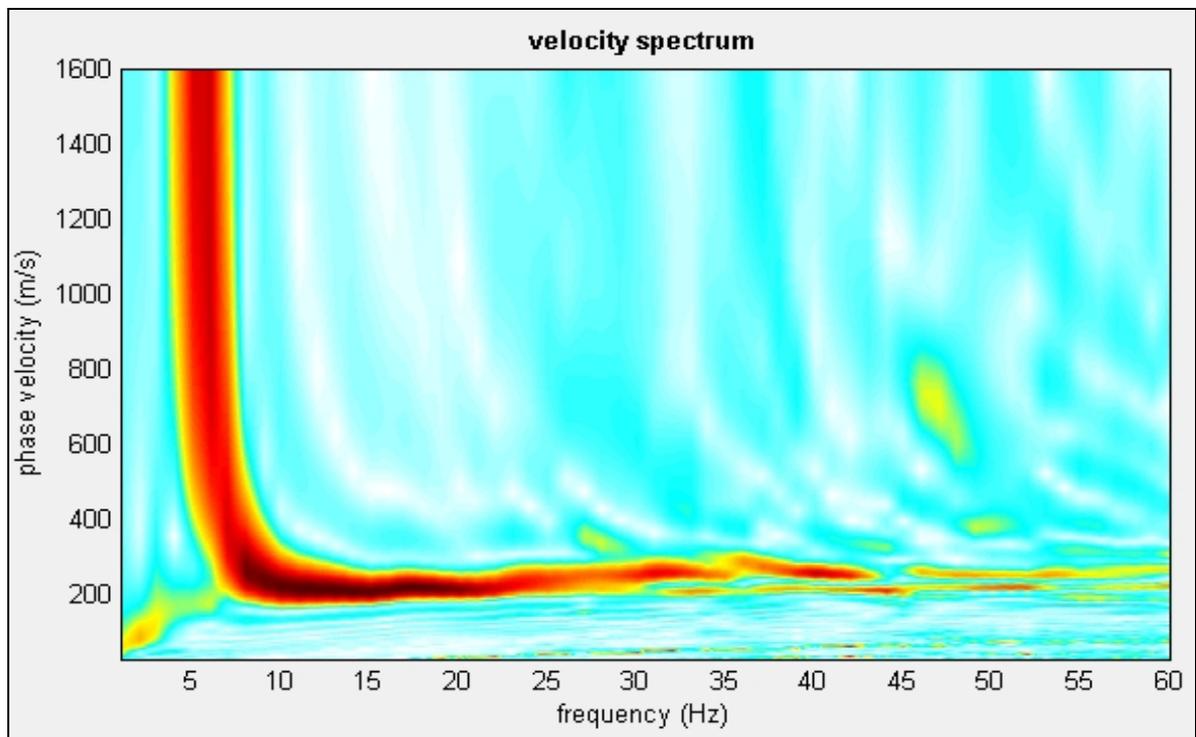
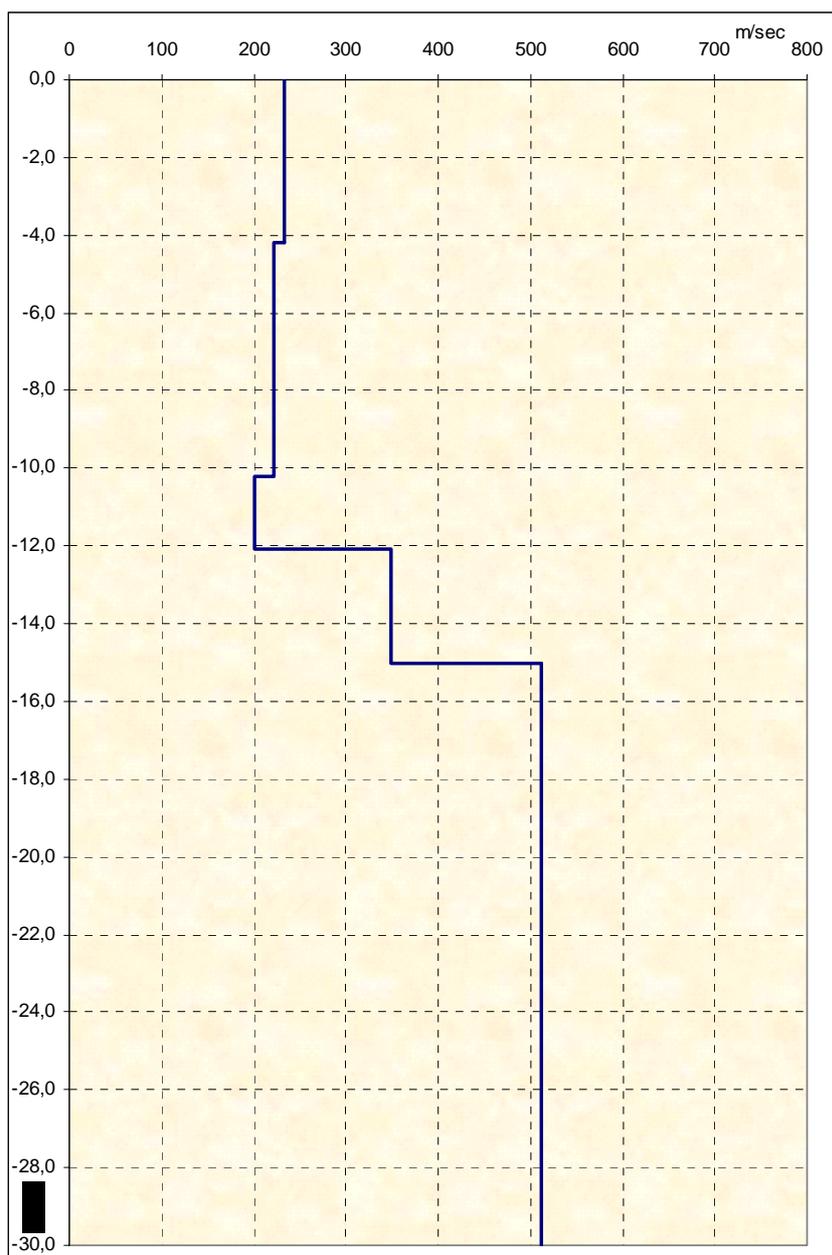


Fig. 2: Estratto di C.T.R. con localizzazione delle prove masw scala 1:20.000

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-4,2	4,2	234
-10,2	6,0	221
-12,1	1,9	200
-15,0	2,9	349
-30,0	15,0	512



-diagramma della curva di dispersione-



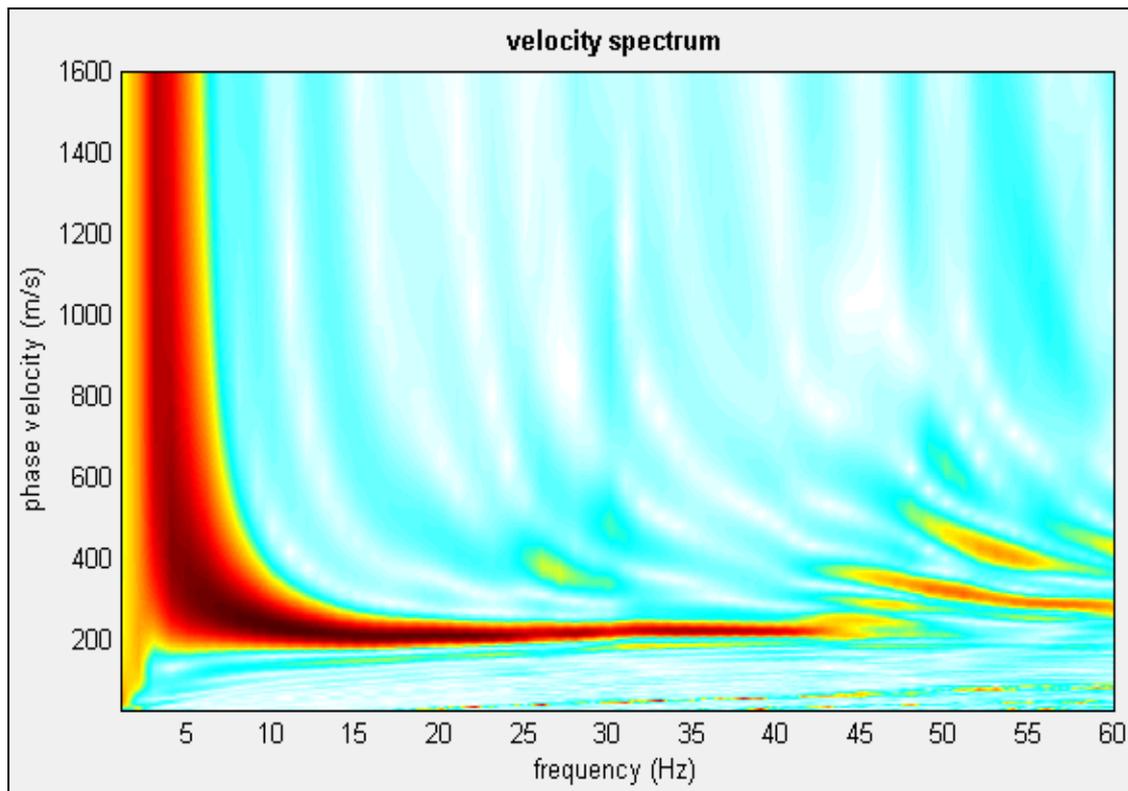
Il valore V_{s30} è **325 m/sec**.

Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:**

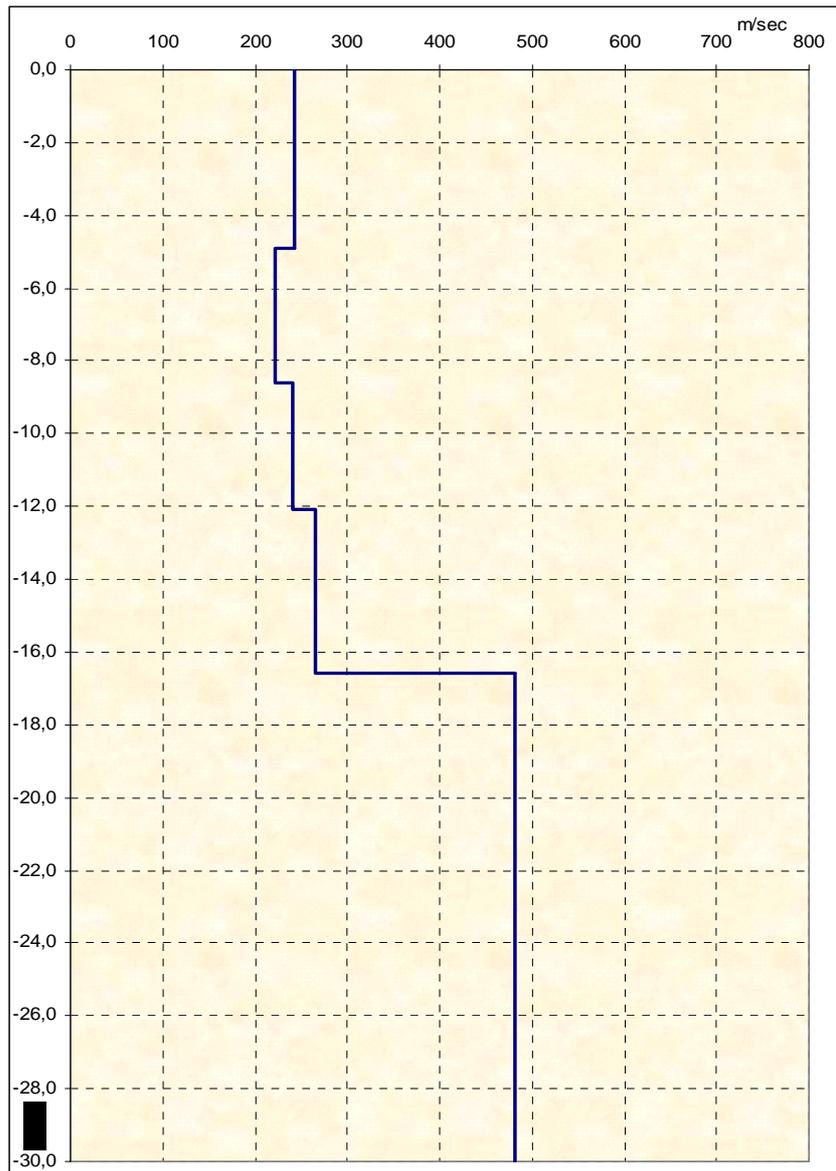
Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fina moderatamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW n. 2 “P. L. Romanini”

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-4,9	4,9	242
-8,6	3,7	221
-12,1	3,5	240
-16,6	4,5	265
-30,0	13,4	481



-diagramma della curva di dispersione-



- diagramma velocità Vs/profondità -

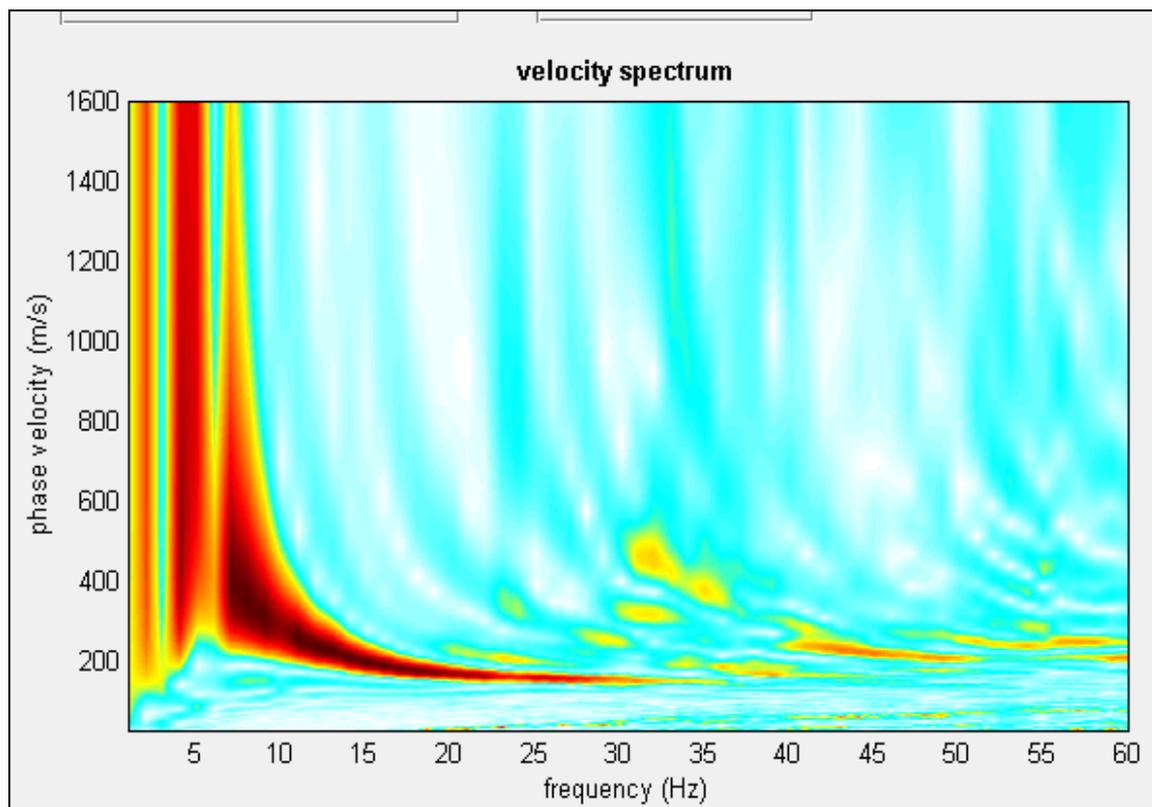
Il valore V_{s30} è **311 m/sec**.

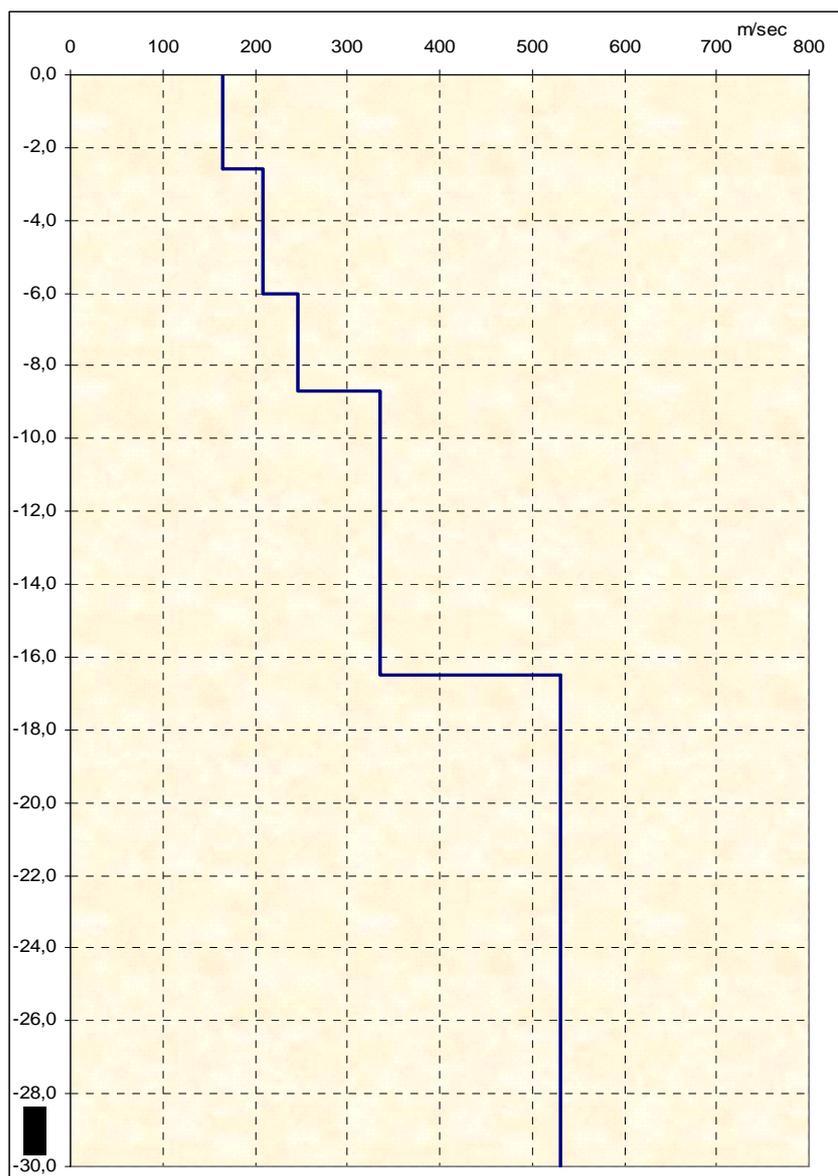
Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:**

Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fina moderatamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW n. 3 “P. L. Sajonara”

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-2,6	2,6	164
-6,0	3,4	209
-8,7	2,7	246
-16,5	7,8	336
-30,0	13,5	530





- diagramma velocità Vs/profondità -

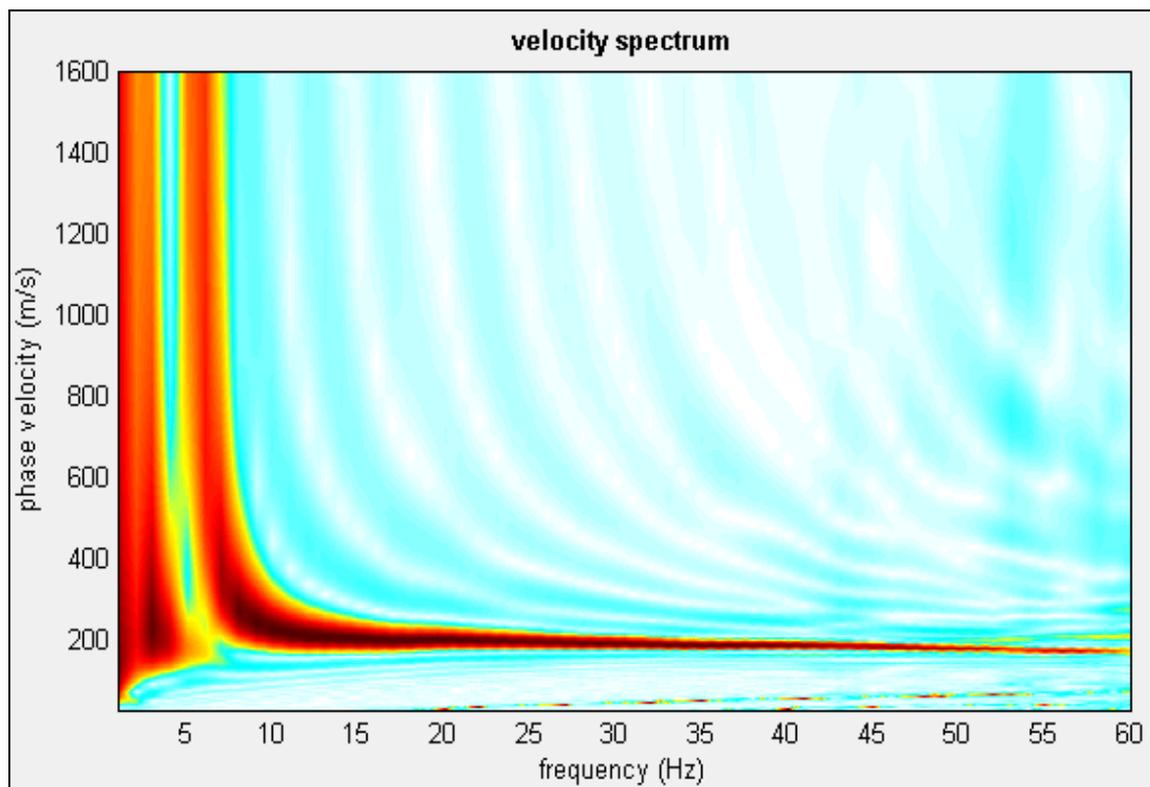
Il valore V_{s30} è **327 m/sec**.

Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:**

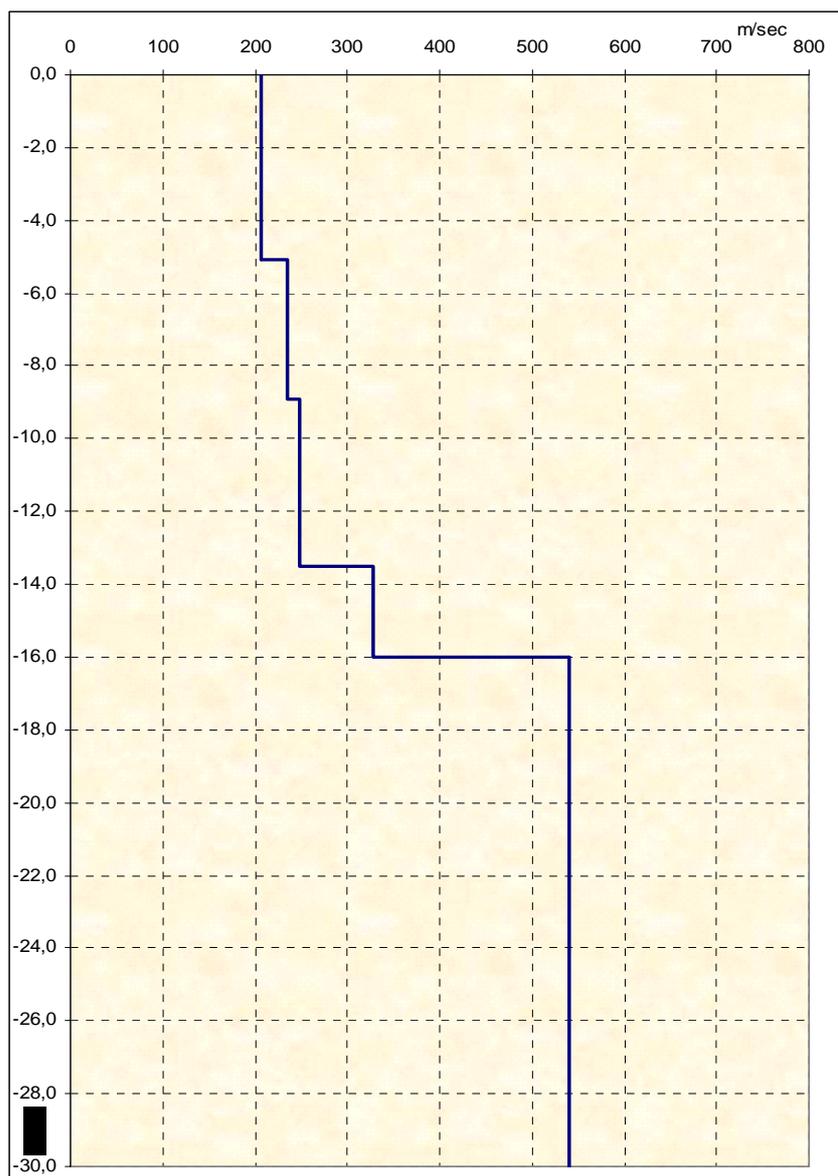
Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fina moderatamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW n. 4 “P. L. Clem 2”

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-5,1	5,1	206
-8,9	3,8	235
-13,5	4,6	248
-16,0	2,5	328
-30,0	14,0	540



-diagramma della curva di dispersione-



- diagramma velocità Vs/profondità -

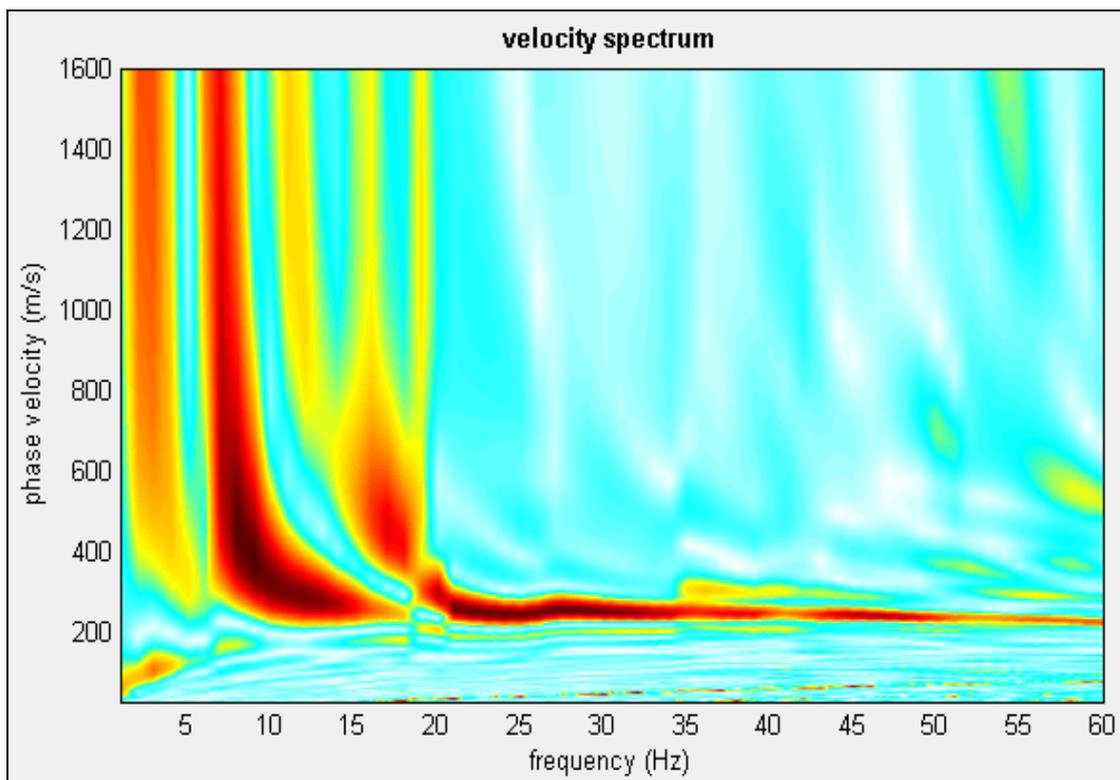
Il valore V_{s30} è **322 m/sec**.

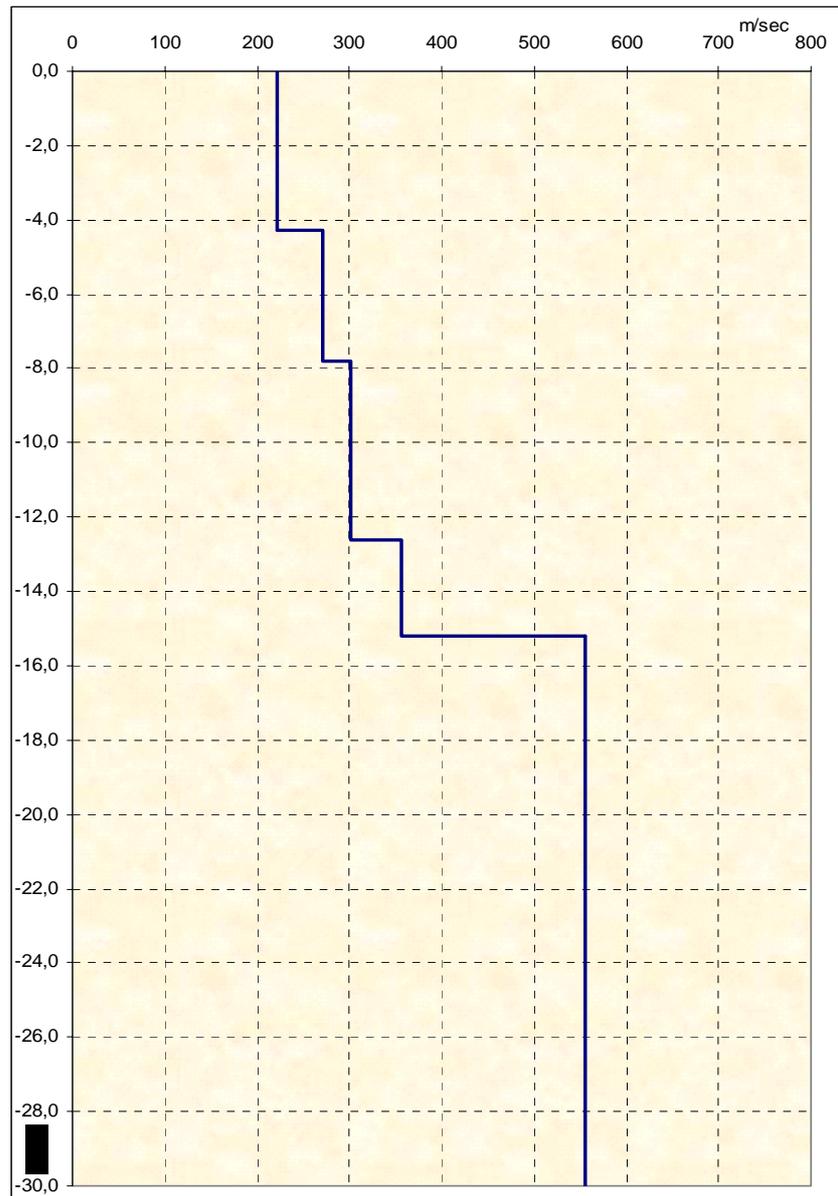
Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:**

Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fina moderatamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW n. 5 “Via Monteverdi”

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-4,3	4,3	222
-7,8	3,5	271
-12,6	4,8	301
-15,2	2,6	356
-30,0	14,8	555



- diagramma velocità V_s /profondità -

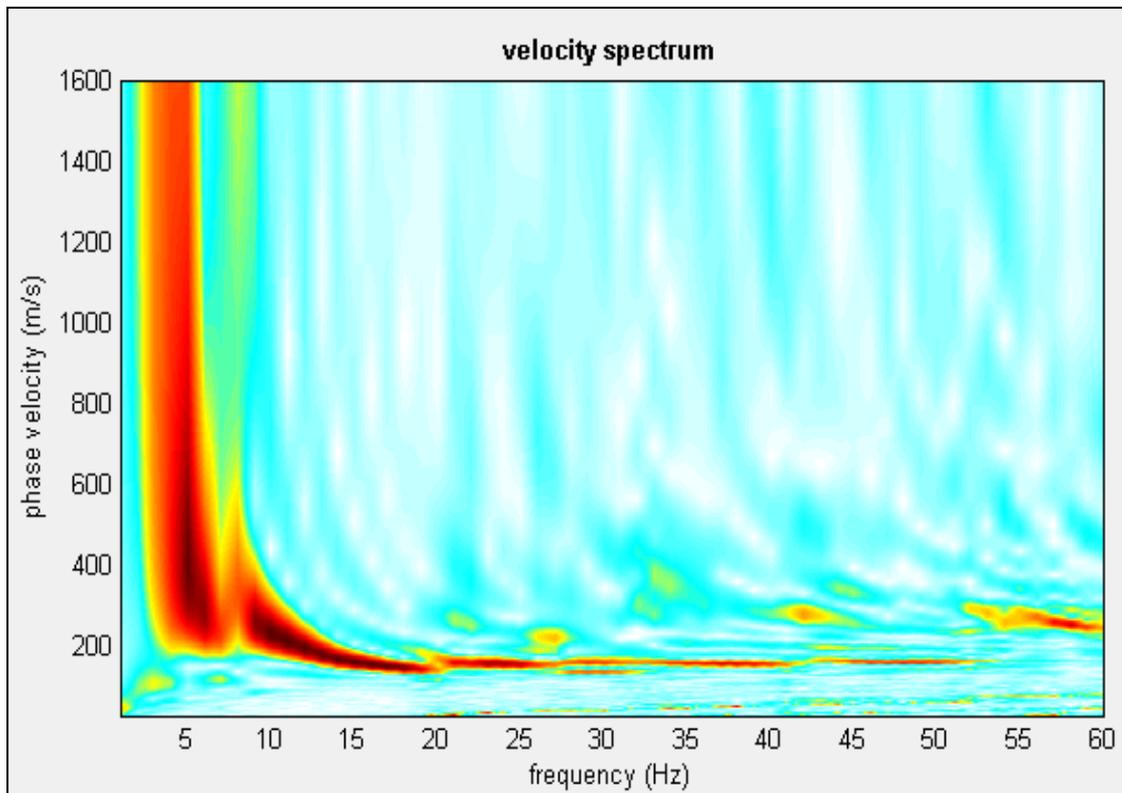
Il valore V_{s30} è **365 m/sec.**

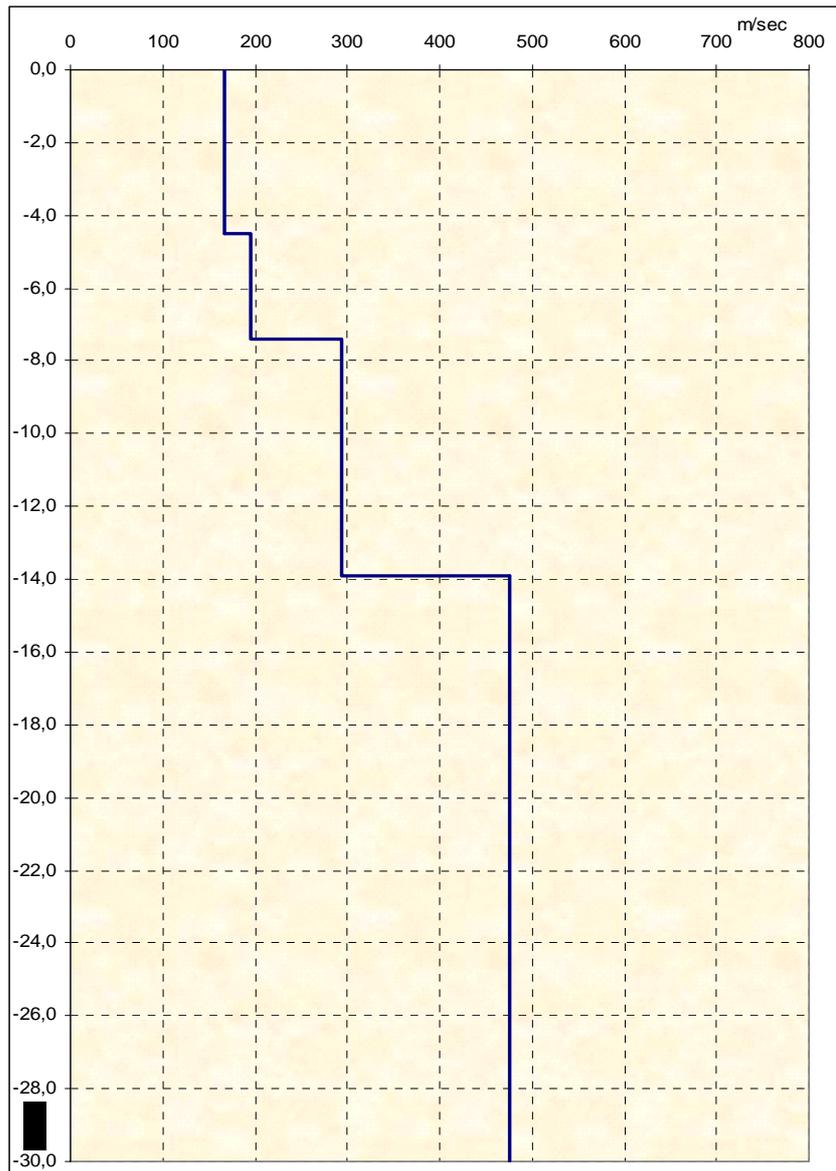
Secondo normativa la **categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la B:**

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

MASW n. 6 “Ponte delle Assi”

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-4,5	4,5	167
-7,4	2,9	195
-13,9	6,5	293
-30,0	16,1	475





- diagramma velocità Vs/profondità -

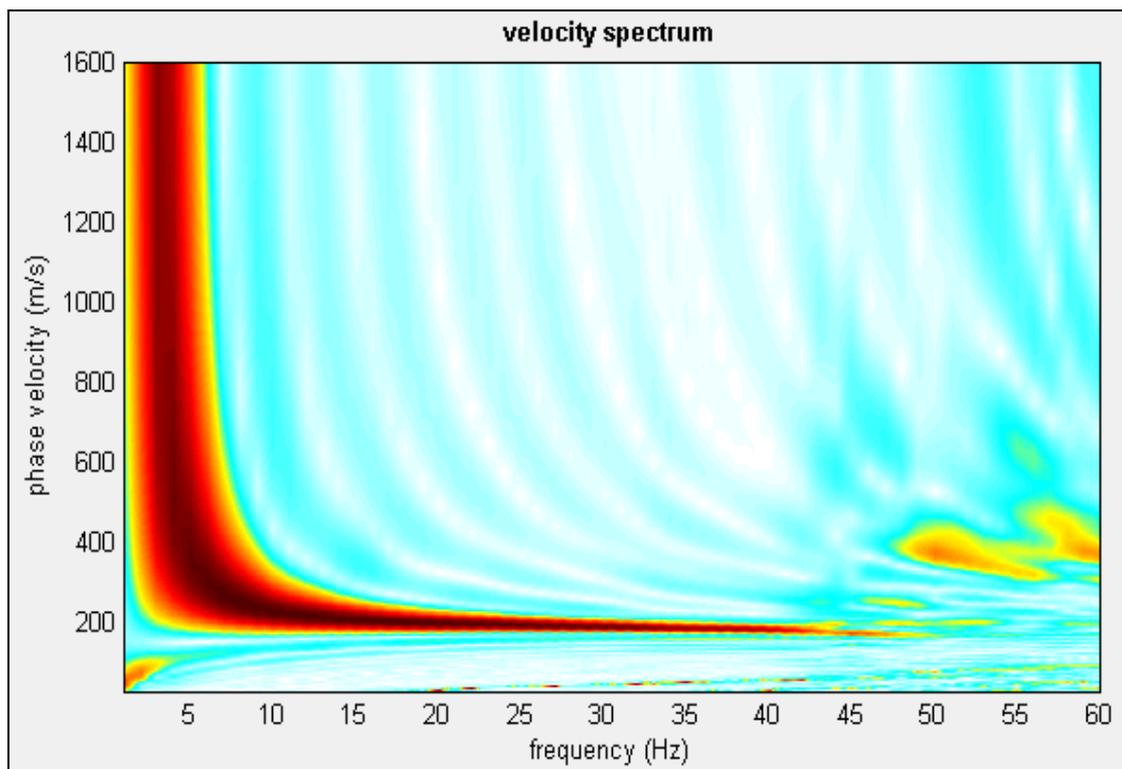
Il valore V_{s30} è **306 m/sec**.

Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:**

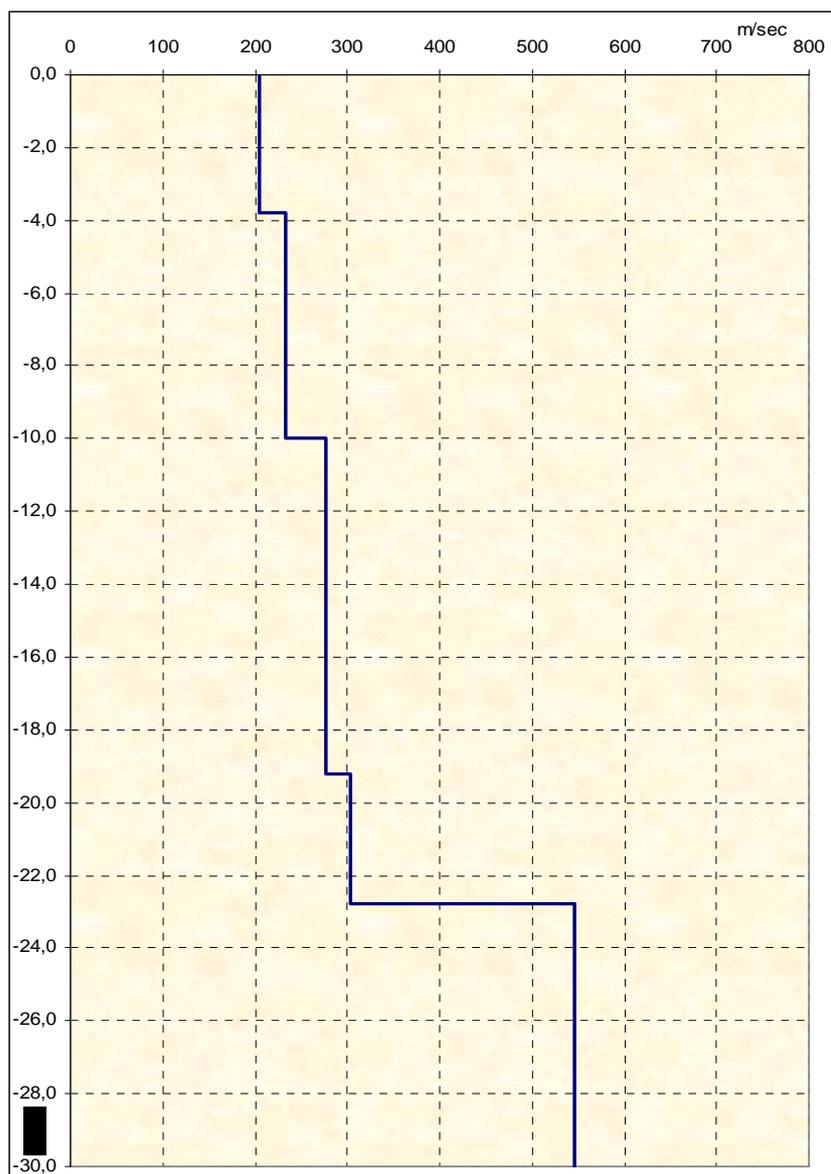
Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fina moderatamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW n. 7 “Campo sportivo Sant’Anna”

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-3,8	3,8	204
-10,0	6,2	233
-19,2	9,2	276
-22,8	3,6	304
-30,0	7,2	546



-diagramma della curva di dispersione-



- diagramma velocità Vs/profondità -

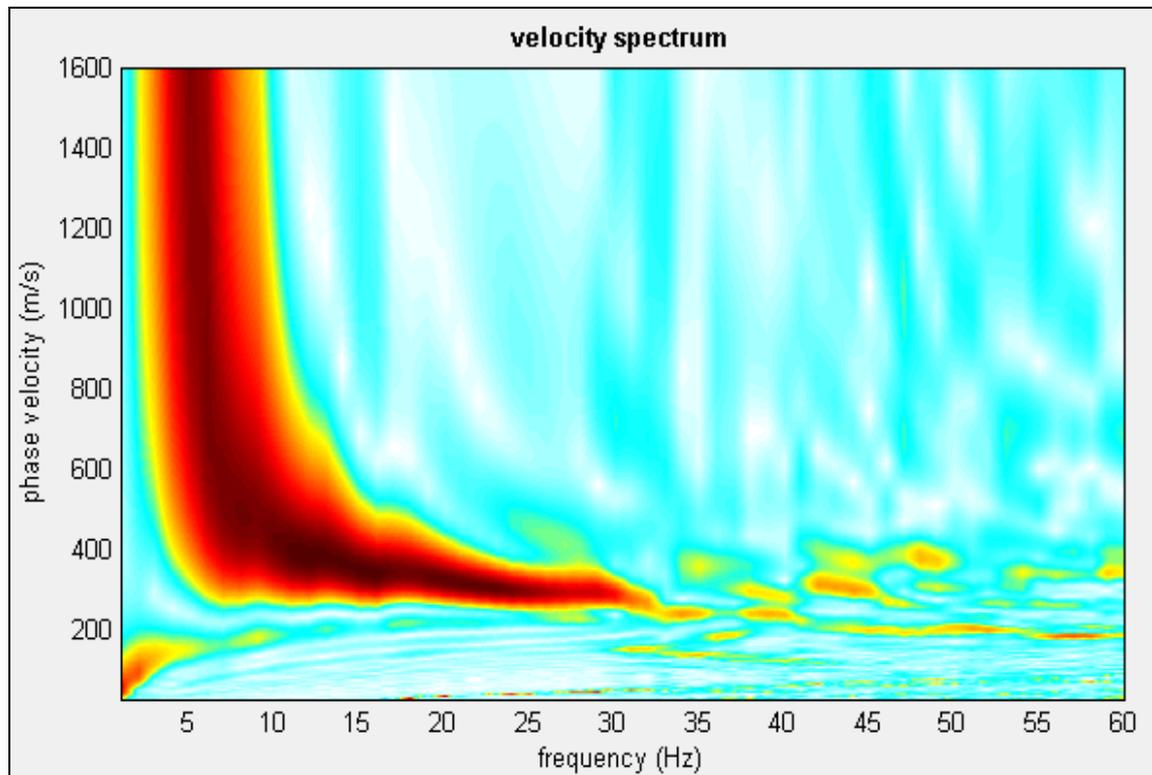
Il valore V_{s30} è **290 m/sec**.

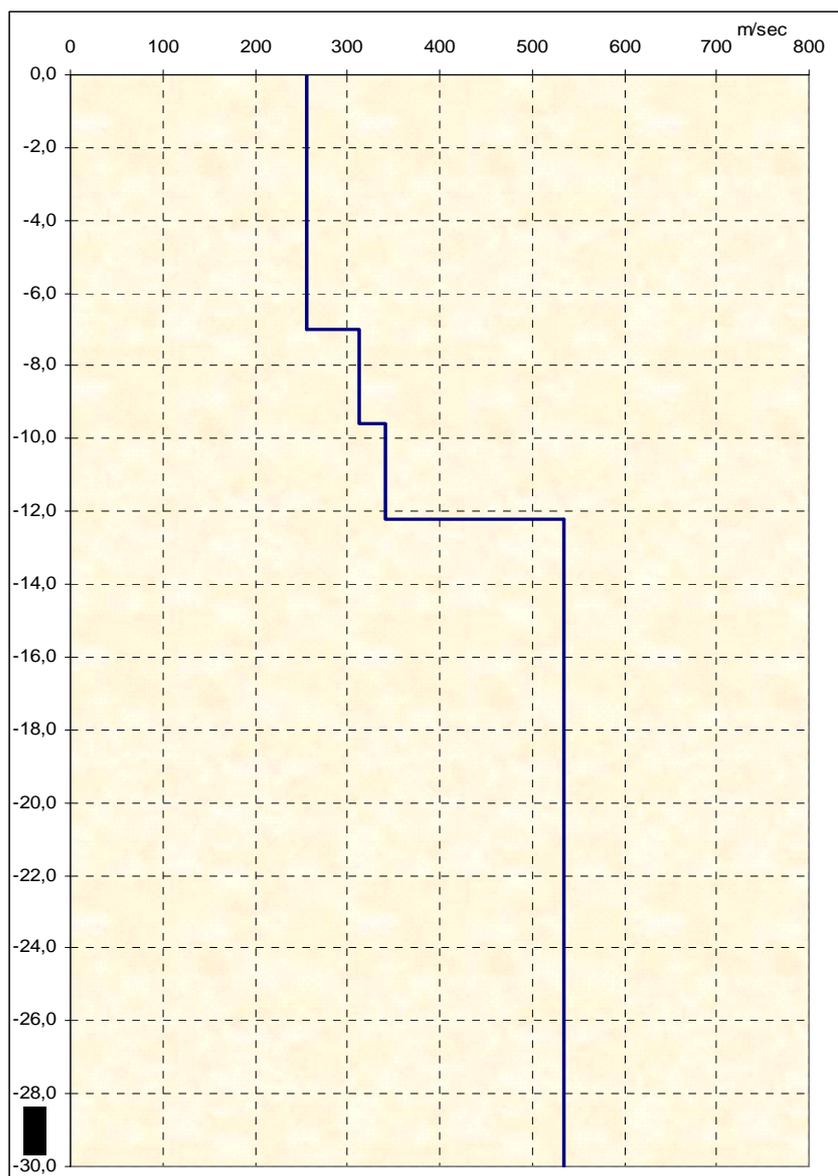
Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:**

Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fina moderatamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW n. 8 “Località Casalpoglio”

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-7,0	7,0	255
-9,6	2,6	312
-12,2	2,6	341
-30,0	17,8	534





- diagramma velocità Vs/profondità -

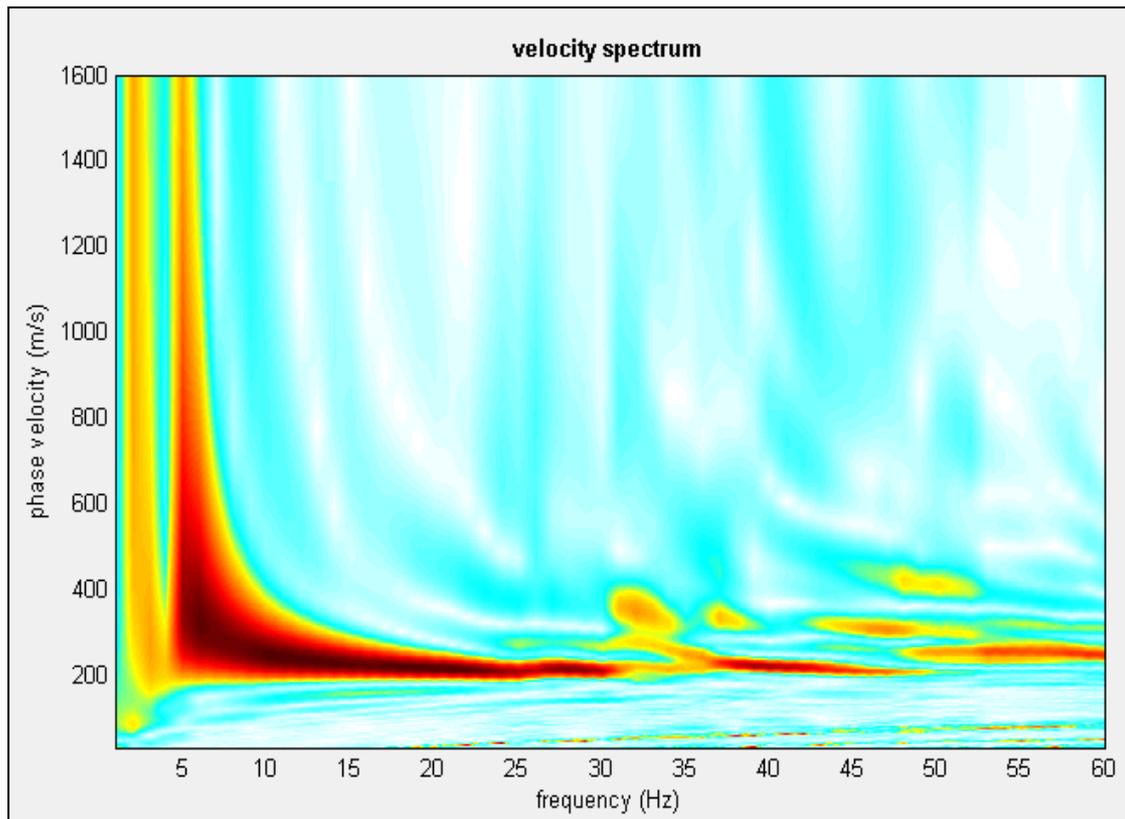
Il valore V_{s30} è **391 m/sec**.

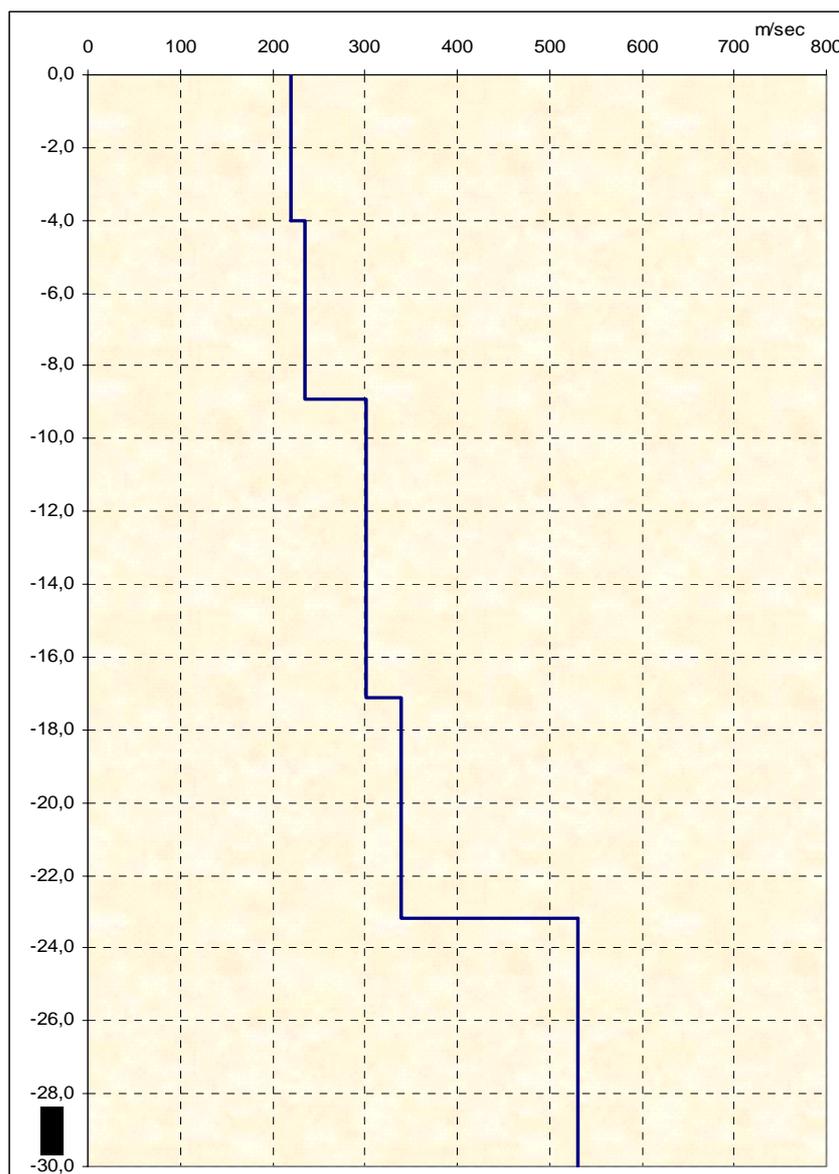
Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la B:**

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

MASW n. 9 “Località Perosso”

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-4,0	4,0	220
-8,9	4,9	235
-17,1	8,2	301
-23,2	6,1	339
-30,0	6,8	530





- diagramma velocità Vs/profondità -

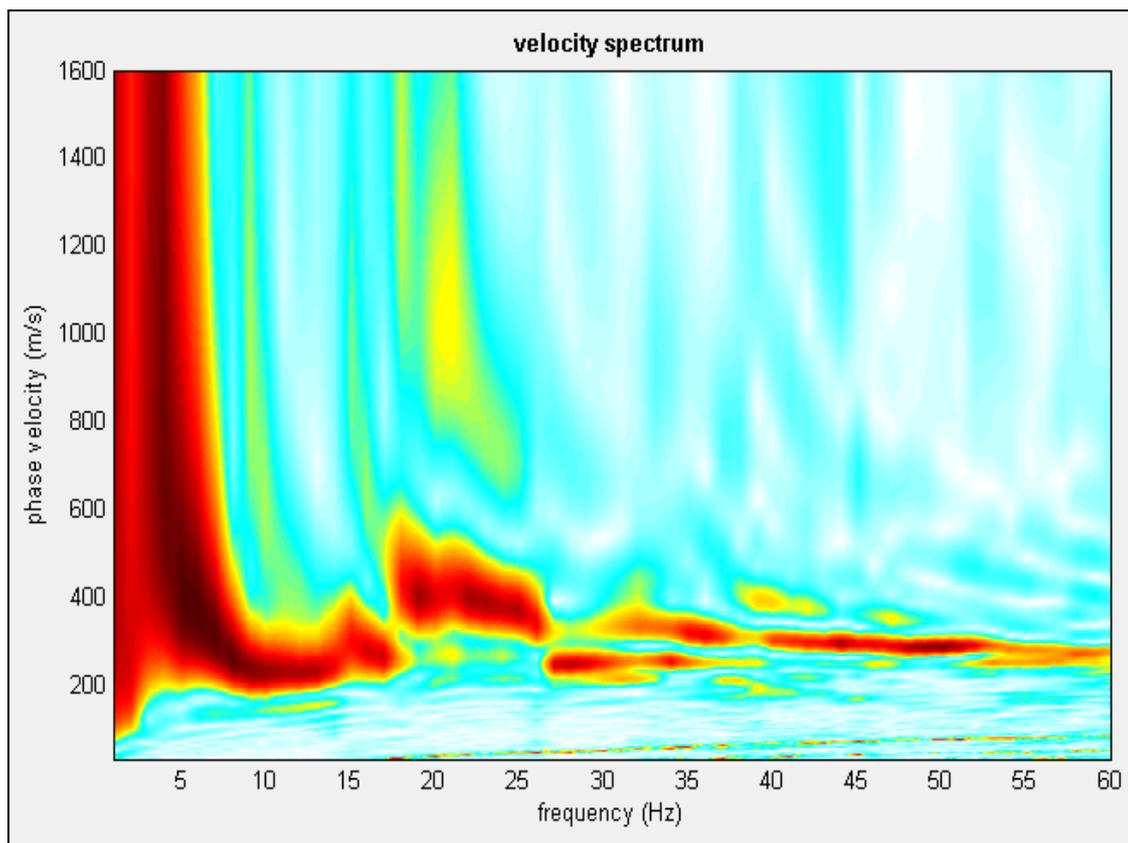
Il valore V_{s30} è **309 m/sec**.

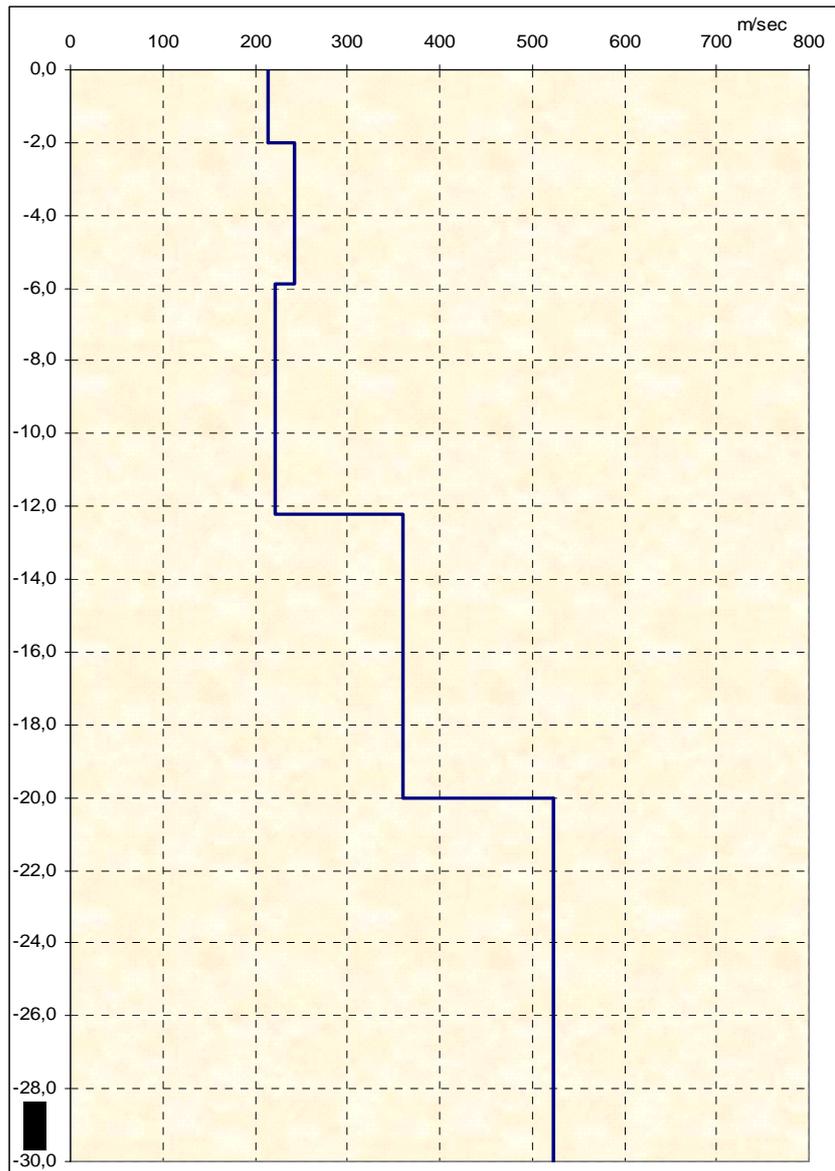
Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:**

Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fina moderatamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW n. 10 “Az. Agricola Spagnoli”

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
-2,0	2,0	215
-5,9	3,9	243
-12,2	6,3	221
-20,0	7,8	360
-30,0	10,0	524





- diagramma velocità Vs/profondità -

Il valore V_{s30} è **317 m/sec**.

Secondo normativa **la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C:**

Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fina moderatamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

22 ANALISI DEL RISCHIO SISMICO

Con d.g.r. 8/1566 del 22.12.2005 la Regione Lombardia ha imposto l'obbligo a tutti i comuni di verificare la pericolosità sismica del proprio territorio.

La pericolosità sismica è dunque, come visto, lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese su base probabilistica mentre la valutazione della pericolosità è propedeutica a qualsiasi azione di valutazione e mitigazione del rischio sismico.

I criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche, la formazione e l'aggiornamento degli elenchi e delle medesime zone classificano il territorio comunale di Castel Goffredo in zona sismica 3 secondo quanto espresso dall'accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni compresa tra 0.05 g e 0.15 g.

La normativa sismica (O.P.C.M. n° 3274 del 20.03.03 e successive modifiche) consente di valutare l'azione sismica, da assumere a base della progettazione, tenendo conto dell'accelerazione massima stimata per il territorio in esame (scuotimento al basamento) e delle caratteristiche geologiche locali (amplificazione dovuta alla stratigrafia) l'azione sismica viene stimata sulla base di due parametri principali:

- accelerazione orizzontale di ancoraggio (a_g/g);
- fattore di stratificazione del suolo di fondazione (S).

23 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI

Come richiesto nell'allegato 5 dei citati attuativi della L.R. 12/2005, sono state analizzate le condizioni del territorio comunale per valutarne gli scenari di pericolosità sismica locale.

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale prevede tre livelli di approfondimento in funzione della zona sismica di appartenenza e degli scenari di pericolosità sismica individuati sul territorio. **Il 1 livello** di approfondimento consiste nel riconoscimento delle aree responsabili di amplificazione sismica sulla base delle osservazioni di tipo geologico. Nella tabella sottostante vengono riportati gli scenari in grado di determinare gli effetti sismici locali.

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

Il 2 livello è obbligatorio per i comuni individuati nelle zone sismiche II – III e IV nei quali siano state individuate, con l'applicazione del 1 livello, zone suscettibili di amplificazioni sismiche, morfologiche Z3 e litologiche Z4, interferenti con le aree urbanizzate.

Il 3 livello si applica in fase progettuale agli scenari di pericolosità sismica suscettibili di instabilità (Z2 – Z1b – Z1c) e di amplificazioni sismiche sia morfologiche Z3 sia litologiche Z4 qualora il valore di Fa sia superiore al valore soglia ricavato dal 2 livello. Nelle aree Z1 e Z2, per le zone sismiche 2 – 3 si applica il 3 livello a tutte le costruzioni, nella zona

sismica 4 è obbligatorio per gli edifici strategici e rilevanti di cui al d.d.u.o. n° 19904/2003.

Da una approfondita indagine comunale è stata individuata, in relazione alle caratteristiche litologiche, idrogeologiche e geomorfologiche, lo scenario di pericolosità sismica locale, cioè:

Z3a	Zona di ciglio H > 10 m orlo di terrazzo fluviale	Amplificazione topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	Amplificazione topografiche
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e coesivi	Amplificazione litologiche e geometriche
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari	Amplificazione litologiche e geometriche

Per tutte le zone individuate si rende indispensabile effettuare l'approfondimento di secondo livello, che consente una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi, in quanto fornisce una stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione.

Di seguito viene riportata la tabella relativa agli approfondimenti in funzione della pericolosità sismica locale.

Livelli di approfondimento e fasi di applicazione			
1° livello		2° livello	3° livello
Fase pianificatoria		Fase pianificatoria	Fase progettuale
Zona sismica 2 - 3	obbligatorio	Nelle zone PLS Z3 e Z4 se interferenti con l'urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > maggiore valore soglia comunale. - Nelle zone PSL Z1 e Z2
Zona sismica 4	obbligatorio	Nelle zone PLS Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.on° 19904/03	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > maggiore valore soglia comunale. - Nelle zone PSL Z1 e Z2 per gli edifici strategici rilevanti

24 CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PSL)

Al fine di realizzare la carta della pericolosità sismica locale sono state prese in considerazione sia dati bibliografici che le indagini geognostiche (geofisiche e geotecniche) effettuate.

ANALISI DI PRIMO LIVELLO

La carta della pericolosità sismica locale (PLS – tav.5) è realizzata secondo procedure indicate negli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Lombardia per la pianificazione territoriale e urbanistica (L.R. 12/2005). I dati di base disponibili utilizzati sono:

- ✓ carta geologica;
- ✓ carta geomorfologica;

- ✓ geofisica (individuazione mediante prospezioni dei profili di velocità delle onde sismiche nei terreni);
- ✓ geologia e geomorfologia (caratterizzazione dell'assetto stratigrafico e strutturale, delle litologie e della geomorfologia dei siti).

L'analisi dettagliata delle cartografie e dei dati ha portato alla realizzazione della carta della pericolosità sismica locale (scala 1:10.000), nella quale è riportata l'individuazione delle diverse situazioni tipo, sulla base di quanto indicato nell'Allegato 5 della D.G.R. n° 8/7374 del 28.05.2008.

Partendo dalle caratteristiche sismo-tettoniche complessive della pianura mantovana e delle principali manifestazioni sismiche, sia epicentrali, sia di risentimento dalle altre zone sismogenetiche presenti nel bacino padano, la pericolosità sismica del territorio comunale è stata approfondita in relazione alle condizioni geologiche locali.

Le caratteristiche sismiche di un'area sono definite dalle sorgenti sismogenetiche, dall'energia, dal tipo e dalle frequenze dei terremoti. Il moto sismico può essere modificato dalle condizioni geologiche e morfologiche locali, queste modifiche dovute alle caratteristiche locali sono definite effetti locali.

La procedura prevede quindi la valutazione di diversi gruppi di effetti locali:

- Effetti di instabilità;
- Effetti di cedimenti e/liquefazioni;
- Effetti di sito o di amplificazione sismica locale.

✓ Effetti di instabilità

Vengono di seguito riportati gli effetti di instabilità citati nella tab.1 dell'All. 5 della D.G.R. 8/7374 del 28.05.2008:

sigla	Scenari di pericolosità sismica locale	Effetti
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	

Per quanto riguarda gli effetti di instabilità non sono state individuate aree riconducibili agli scenari sopra riportati.

✓ Effetti di cedimento e/o di liquefazione

Anche per il seguente scenario viene riportata la tabella presente nella D.G.R. 8/7374 del 28.05.2008:

sigla	Scenario di pericolosità sismica locale	Effetti
Z2	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni

LIQUEFAZIONE

La liquefazione è la perdita quasi totale di resistenza al taglio, con l'assunzione di un comportamento meccanico simile a quello di un liquido, in seguito all'incremento di sovrappressioni interstiziali, dovuto all'applicazione di carichi statici o dinamici in un terreno incoerente saturo.

Con le indicazioni dell'Eurocodice 8, il D.M. 14 gennaio 2008 e la Circolare 02.02.2009 vengono stabiliti alcuni criteri per l'esclusione della verifica alla liquefazione e si fornisce un'indicazione sulle metodologie di analisi da impiegare nel caso il sito venga riconosciuto a rischio. Vengono

elencati cinque criteri come riferimento al fine di individuare la potenziale liquefacibilità dei terreni:

- magnitudo del sisma;
- accelerazione sismica orizzontale;
- profondità falda;
- resistenza mobilitabile del terreno;
- composizione granulometrica.

E' sufficiente che uno solo di questi criteri sia soddisfatto per poter omettere ogni tipo di verifica. L'indagine non ha condotto a riscontri del fenomeno; benché a volte si rintraccino strati superficiali sabbiosi e/o sabbiosi debolmente limosi, essi presentano almeno una delle seguenti caratteristiche:

- ✓ *si trovano sopra il livello della falda;*
- ✓ *presentano strati di copertura maggiori di 3 m;*
- ✓ *presentano un grado di addensamento elevato $D_r = 70 - 95\%$;*
- ✓ *hanno un contenuto di fino (limo) maggiore del 25%.*

L'insieme delle prove e delle analisi effettuate mostra un quadro omogeneo e coerente di risultati, che accerta la non liquefacibilità dei depositi intercettati in tutto il territorio comunale, inoltre preme precisare che anche la distanza dall'epicentro del terremoto costituisce parametro di stima della liquefacibilità, e per eventi di magnitudo inferiori a 6 la distanza dalla zona epicentrale per produrre liquefazione deve essere molto modesta, dell'ordine della decina di chilometri. I sismi attesi nell'area di Castel Goffredo hanno epicentro che superano i 10 chilometri in quanto sono localizzati a sud nell'Appennino e nel ferrarese e a nord nel bresciano e nell'area gardesana.

✓ Effetti di amplificazione sismica locale o di sito

Vengono suddivisi in effetti di amplificazione topografica e quelli di amplificazione litologica. Per quanto riguarda l'amplificazione topografica la situazione locale è rappresentata da morfologia piatta; gli scenari di pericolosità sismica locale correlabili all'amplificazione topografiche vengono di seguito illustrati.

sigla	Scenario di pericolosità sismica locale	Effetti
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o di cocuzzolo	

Per il territorio comunale non sono state verificate gli scenari Z3.

Gli scenari legati all'amplificazione litologica e geometrica vengono riportati nella tabella che segue.

sigla	Scenario di pericolosità sismica locale	Effetti
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	

Il territorio comunale ricade in zona di fondovalle e pertanto, lo scenario tipo è Z4a.

ANALISI DI SECONDO LIVELLO

Per l'area perimetrata in zona Z4a, nella carta della pericolosità sismica locale, è stata applicata la procedura di secondo livello per la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione di sito.

L'applicazione del secondo livello consente di determinare la risposta sismica dei terreni relativamente al fattore di amplificazione (F_a) e inoltre, permette di individuare le aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione locale.

FATTORE AMPLIFICATIVO DOVUTO ALLA LITOLOGIA (Z4a)

Al fine di valutare l'amplificazione litologica è necessario la conoscenza dei parametri sotto riportati:

- andamento della V_{s30} con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- analisi litologica dei siti;
- sezioni geologiche con modello geofisico-geotecnico;
- spessore e velocità di ciascun orizzonte stratigrafico.

Come ricordato in premessa, per la determinazione delle onde V_{s30} sono state realizzate dieci prove masw, ubicate in tutte le Unità litologiche riscontrate sul territorio comunale, inoltre sono state considerate numerose prove penetrometriche. La ricostruzione litostratigrafia è stata possibile grazie alle numerose prove pregresse realizzate sia dallo scrivente, in occasione di progetti privati, che da studi pregressi.

Tutte le prove masw realizzate hanno classificato i terreni in categoria di suolo B e C, pertanto la successione stratigrafica di riferimento, lo spessore e la velocità di ciascun strato sono stati riportati nelle schede di stima degli effetti litologici. Successivamente è individuata la scheda di valutazione idonea alla litologia di riferimento compatibile con i campi di

validità riportati nei diagrammi $Z - V_s$. La profondità del primo strato (spessore > 4 m) e la relativa velocità V_s determinano la curva caratteristica da utilizzare ai fini dei calcoli.

Viene valutato il periodo del sito T con la seguente formula:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\frac{\sum_{i=1}^n v_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}}$$

dove:

h_i = spessore dello strato i -esimo;

V_s = velocità dello strato i -esimo.

Nella tabella sottostante vengono riportati i valori dei periodi di sito (T) su tutte le masw con i relativi fattori di amplificazione di sito (F_a).

		Periodo 0.1s – 0.5 s	Periodo 0.5s – 1.5 s
	T di sito	Fa di sito	Fa di sito
Masw 1	0.20	1.4	1.0
Masw 2	0.20	1.4	1.0
Masw 3	0.21	1.41	1.11
Masw 4	0.21	1.41	1.11
Masw 5	0.26	1.48	1.14
Masw 6	0.20	1.6	1.10
Masw 7	0.19	1.59	1.09
Masw 8	0.24	1.5	1.14
Masw 9	0.21	1.61	1.11
Masw 10	0.21	1.61	1.11

I valori sopra riportati vengono confrontati con i valori F_a di soglia comunale, definiti dalla D.G.R. 8/7374 del 28.05.2008.

Così come previsto dalla normativa il valore di F_a viene riferito agli intervalli di periodo tra 0.1 – 0.5s e 0.5 – 1.5s: i due intervalli di periodo nei quali è stato calcolato il valore di F_a vengono scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie; in particolare l'intervallo tra 0.1 – 0.5s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5 – 1.5s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

Considerando l'allegato 5, della D.G.R. 8/1566 del 22 Dicembre 2005, effetti litologici, per la velocità riscontrata, come quella più appropriata per la correlazione T – F_a per l'intervallo (0.1s – 0.5s e 0.5s – 1.5s), e infine correlando i valori sopra riportati con i valori F_a di soglia comunale, si ottiene:

		Periodo 0.1s – 0.5 s	Periodo 0.1s – 0.5 s	Periodo 0.5s – 1.5s	Periodo 0.5s – 1.5s
	Categoria di suolo	F_a di sito	F_a di soglia comunale	F_a di sito	F_a di soglia comunale
Masw 1	C	1.4	1.9	1.0	2.4
Masw 2	C	1.4	1.9	1.0	2.4
Masw 3	C	1.41	1.9	1.11	2.4
Masw 4	C	1.41	1.9	1.11	2.4
Masw 5	B	1.48	1.4	1.14	1.7
Masw 6	C	1.6	1.9	1.10	2.4
Masw 7	C	1.59	1.9	1.09	2.4
Masw 8	B	1.5	1.4	1.14	1.7
Masw 9	C	1.61	1.9	1.11	2.4
Masw 10	C	1.61	1.9	1.11	2.4

Tutti i valori riscontrati sono ampiamente sotto soglia, pertanto la normativa sismica, per tutti i casi considerati sia per il periodo tra 0.1s – 0.5s e tra 0.5s – 1.5s, è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica.

25 VINCOLI GEOLOGICI-IDROGEOLOGICI

L'analisi e la relativa carta dei vincoli geologici-idrogeologici esistenti evidenzia le principali limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative in vigore di contenuto prettamente geologico con particolare riferimento a quelli derivanti:

- dalla polizia idraulica sul reticolo consorziale (R.D. n°523 del 1904 – R.D. 368 del 1904);
- zona di tutela assoluta del pozzo pubblico;
- zona di rispetto del pozzo pubblico.

26 FASE DI SINTESI

La carta di sintesi circoscrive le aree interessate da fattori generanti fenomeni di rischio geologico per l'intero territorio comunale, vengono evidenziati i seguenti ambiti di pericolosità:

- *aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico.*

Di seguito vengono riportati gli elementi di pericolo per le falde idriche.

Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile (D.P.R. n° 236/88 e D.lgs. 152/06):

- zone di tutela assoluta del pozzo idropotabile: raggio di 10 m dal punto di captazione;
 - zona di rispetto del pozzo idropotabile: 200 m di raggio dal punto di captazione;
 - aree ad alta vulnerabilità degli acquiferi;
 - aree ad alta vulnerabilità idrogeologica per la presenza di fontanili;
 - aree a bassa soggiacenza della falda.
- *Aree vulnerabili dal punto di vista geotecnico.*
- Aree con presenza di materiale, con caratteristiche geotecniche medio-scadenti (terreni coesivi).

La tavola mostra le aree che presentano la stessa pericolosità geologica; pertanto, vengono circoscritte zone che sono caratterizzate anche dalla sovrapposizione di più fattori penalizzanti.

Nella valutazione, che ha portato alla stesura finale della carta di sintesi, ha inciso pure, la soggiacenza della falda freatica in quanto viene intercettata alla profondità media di 1.5 m dal p.c.

A seguito delle valutazioni di tutti gli elementi che hanno portato alla stesura della carta di sintesi e delle considerazioni di carattere ambientale e territoriale, si è proceduto alla suddivisione del territorio in classi di fattibilità.

27 CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA

Nella tavola della fattibilità geologica, in relazione ai colori, vengono rappresentate le reali condizioni di pericolosità del territorio comunale e per ogni ambito di rischio vengono fornite le prescrizioni, per gli interventi urbanistici, le indagini da effettuare per la mitigazione della pericolosità e la necessità di controllo di fenomeni in atto o potenziali.

In prima analisi sono stati individuati diversi elementi che caratterizzano il territorio comunale, che sono:

- fasce di rispetto e tutela fluviale, che si sovrappongono con fattori del territorio;
- fattori areali determinati dalla presenza di vincoli di natura geologica o idrogeologica (area di rispetto dei pozzi – area di salvaguardia delle falde);
- elementi puntuali (fontanili) e siti caratterizzati dalla presenza antropica che possono interferire con la situazione geologica e idrogeologica (discariche, bonifiche e cave).

Sulla base delle considerazioni relative alla delimitazione dei poligoni, per la determinazione della pericolosità dei siti, è stato possibile attribuire all'intero territorio comunale tre diverse classi di fattibilità (II^a – III^a IV^a).

Bigarello, Maggio 2012

Il Tecnico

Dott. Geol. Rosario Spagnolo

BIBLIOGRAFIA

- 📖 Gozzi G. (1973): *Il territorio mantovano: studio di geologia, Civiltà Mantovana, a. VII, quad. 38, Mantova.*
- 📖 ENEL (1981). *Elementi di neotettonica del territorio italiano. Milano.*
- 📖 I.R.S.A. (1981): *Indagine sulle falde acquifere profonde della Pianura Padana. Contributi tematici per la conoscenza della idrogeologia padana, CNR, IRSA, vol. 3 (Roma).*
- 📖 Sacco F.(1980):*L'anfiteatro morenico del lago di Garda. Studio geologico, Tip. Bertolero, Torino.*
- 📖 Castaldini D. (1989). *Evoluzione della rete idrografica centropadana in epoca preistorica e storica. Acc. Sc. Di Ferrara.*
- 📖 Regione Lombardia (1983). *Cartografia Tecnica Regionale a scala 1:50.000: Morfologia. Regione Lombardia. Milano.*
- 📖 Regione Lombardia – *basi informative dei dati – Sistema S.I.T..*
- 📖 Regione Lombardia – *Direzione Generale Opere Pubbliche e Protezione Civile Servizio Protezione Civile. 1° Programma Regionale di Previsione e Prevenzione di Protezione Civile.*
- 📖 Castiglioni G.B. e altri (1986):*Criteri informativi del progetto di una Carta geomorfologia della Pianura Padana, CLEUP, Padova.*

- 📖 *Crevaschi M. (1987): Depositi pleistocenici continentali, suoli policiclici e paleosuoli al margine meridionale del lago di Garda e nelle zone limitrofe, ENEL.*
- 📖 *Ente regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia (1999). "Repertorio Basi Informative Ambientali".*
- 📖 *Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi – Volume n° 5 – Provincia di Mantova. Pubblicazione GNDICI – CNR n° 889. AA.VV. 1994*
- 📖 *Periodico Trimestrale dell'Ordine dei Geologi della Regione Lombardia – Anno XI, n° 29 – Giugno 2006 – Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio – i criteri attuativi ai sensi dell'art. 57 della L.R. 12/2005.*
- 📖 *Il Giardino dei Ghiacciai – Mantova 1994 – Carlo Azzi.*
- 📖 *Rilevamento Geologico dell'Anfiteatro Morenico del Garda – Parte II: Tratto Orientale Garda-Adige e anfiteatro atesino di Rivoli Veronese- Milano 1961 – Sergio Venzo.*
- 📖 *Indagini Geologico Tecniche di supporto alla redazione del Piano regolatore generale – Studio Idrogeotecnico Dott. A. Grezzi. Milano 1995.*
- 📖 *Cartografia tematica CTR Regione Lombardia in scala 1:10.000 e tavolette IGM in Scala 1: 25.000.*
- 📖 *Le carte di vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Teoria e pratica. Civita. M. Bologna 1994.*

- 📖 *Cozzaglio. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. Foglio n° 48 "Peschiera del Garda" e n° 62 "Mantova". Uff. Idr. R. Magistrato alle Acque. Venezia 1933.*
- 📖 *M. Civita. C. De Maio (2000): Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico sintacs. Quaderni di tecniche di protezione ambientale, Pitagora Editore Bologna.*
- 📖 *Civita M. (1990):Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei. Quaderni di tecniche di protezione Ambientale. Sezione protezione Acque sotterranee, 11. Pitagora Editrice (BO).*
- 📖 *L. Mariani (2001) Meteorologia e climi lombardi: orientamento della produzione agraria, utilità urbane, protezione civile nelle attività del servizio agrometeorologico dell'Ersal. Climi e suoli Lombardi.*
- 📖 *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 (1996). In Geologia Tecnica e Ambientale anno VI, gennaio/marzo 1998.*

ALLEGATO 8
SCHEDA CENSIMENTO POZZI

**SCHEDA PER IL CENSIMENTO
DEI POZZI****1- DATI IDENTIFICATIVI**

n° di riferimento e denominazione (1)	P 1-	
Località		
Comune	Castel Goffredo	
Provincia	Mantova	
Sezione CTR	D7e1	
Coordinate chilometriche Gauss Boaga (da CTR)	Latitudine 1616700 Longitudine 5018500	
Quota (m s.l.m.)	54 m	
Profondità (m da p.c.)	173 m	

UBICAZIONE POZZO (STRALCIO CTR)



7 – PERIMETRAZIONE DELLE AREE DI SALVAGUARDIA (8)

CRITERI DI PERIMETRAZIONE (AREA DI RISPETTO)					
Geometrico		Temporale		idrogeologico	X

NOTE ESPLICATIVE PER LA COMPILAZIONE DELLA SCHEDA

1. Nel caso all'opera sia già stato attribuito un codice, si chiede di riportarlo senza modificarlo altrimenti si può procedere ad nuova numerazione
2. Disuso: si intende che il pozzo non è utilizzato, ma non è stato regolarmente sigillato
3. Potabile, Industriale, Agricolo, misto, altro
4. Indicare il numero delle tubazioni installate ed i rispettivi diametri
5. Indicare il tipo e la profondità dei setti impermeabili installati
6. Allegare tutti i dati disponibili relativi a prove di pompaggio e relativa interpretazione (con indicazione della portata critica), misurazioni dei livelli statici e dinamici (chiaramente datati), qualsiasi dato che aiuti a quantificare le caratteristiche degli acquiferi filtrati
7. Indicare (citandone le fonti) le caratteristiche idrochimiche degli acquiferi filtrati ed allegare i referti di analisi chimiche disponibili
8. Indicare accanto al tipo di metodo utilizzato per la delimitazione gli estremi dell'autorizzazione regionale (se presente)