



COMUNE DI MEDOLAGO

(Provincia di Bergamo)

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO aggiornamento 2020 in variante

(L.R. 11 marzo 2005, n. 12 e successive modifiche ed integrazioni)

adottato dal Consiglio Comunale nella seduta del *** con delibera
n. approvato dal Consiglio Comunale nella seduta del *** con
delibera n.

**AGGIORNAMENTO - ADEGUAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO
AI SENSI DELLA L.R. 12 - 11/03/05 - D.G.R. N° IX/2616/2011 e
D.G.R. X/2129 dell'11 luglio 2014**

RELAZIONE TECNICA ILLUSTRATIVA

Il Sindaco
Luisa FONTANA

Il Segretario Comunale
dott. Fabrizio BRAMBILLA

Il Responsabile del Procedimento
dott. arch. Cristian BONO

Il Progettista
dott. arch. EDOARDO GERBELLI

aprile 2020

GRUPPO DI LAVORO

dott. arch. Edoardo GERBELLI e dott. ing. Emilia RIVA: Progettazione – Redazione e Coordinamento

dott. arch. Claudia GHISLENI: rilievi ed elaborazione CAD

dott.sa geol. Maria Cristina LOCATELLI – Studio di Geologia: componente geologica

dott. Ing. Michele GIORGIO – Studio GMIngegneria: studio invarianza idraulica

dott. Vittorio TARANTINI – Pianificatore territoriale: Piano Urbano Generale dei Servizi del Sottosuolo dott.

Luca RIPOLDI – Pianificatore territoriale – US Urban Studio – conformizzazione PGT

INDICE

Premessa	3
Riferimenti normativi	4
Inquadramento geografico	4
Inquadramento climatico	6
Caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio	9
Caratteri geopedologici del territorio	18
Idrografia	28
Idrogeologia	30
Caratteristiche litotecniche del territorio	37
Caratterizzazione sismica del territorio	43
Vincoli geologici nel territorio comunale	75
Carta di sintesi	77
Carta di fattibilità geologica	78
Bibliografia	81

PREMESSA

Il Comune di Medolago ha affidato agli scriventi l'incarico per l'aggiornamento – adeguamento della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio ai sensi dell'art.57 della L.R. n.12/2005 e della DGR 30 novembre 2011 n.9/2616. Ciò si rende necessario ai documenti pregressi vigenti, ormai datati, alla luce di nuove informazioni geologiche-tecniche emerse nel corso degli anni, di nuovi studi alla scala di bacino (PGRA, Piano di Gestione Rischio Alluvione ad esempio) e di nuovi adempimenti normativi. In particolare la DGR X/2129 dell'11 luglio 2014 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia” riclassifica tutti i comuni della bergamasca attribuendoli univocamente in zona sismica 3. Tra questi ricade anche il territorio di Medolago, passato nell'aprile 2016 ufficialmente dalla zona sismica 4 alla zona sismica 3. La Delibera Regionale dispone che i Comuni riclassificati aggiornino la componente sismica degli studi geologici di supporto agli strumenti urbanistici, secondo le disposizioni di cui ai vigenti criteri attuativi dell'art. 57 della l.r. 12/2005, in occasione della revisione periodica del Documento di Piano. Lo studio è finalizzato all'adeguamento della componente sismica del PGT, secondo le modifiche procedurali indotte dalla nuova classificazione che consistono, nello specifico, nell'esecuzione di approfondimenti sismici di 2° livello nelle zone suscettibili di amplificazioni sismiche litologiche (Z4) o morfologiche (Z3), se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili, così come indicato nella carta di Pericolosità Sismica Locale (PSL, approfondimento di 1° livello), redatta originariamente dal Dott. Geol. Ermanno Dolci (Arethusa), in attuazione dell'art. 57 della L.R. n.12/2005, ed ora aggiornata. Questo tipo di approfondimento era tra l'altro già contemplato anche per le zone sismiche 4 limitatamente agli edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n.19904/03 e s.m.i.).

La documentazione predisposta va quindi ad aggiornare integralmente quella pregressa di Arethuesia; oltre alla relazione tecnica illustrativa vengono allegate le seguenti tavole cartografiche:

- tavola a) carta geologica – geomorfologica (1:5.000)
- tavola b) carta geopedologica (1:5.000)
- tavola c) carta del sistema idrografico (1:5.000)
- tavola d) carta idrogeologica (1:5.000)
- tavola e) sezioni stratigrafiche e sezioni idrogeologiche
- tavola f) carta litotecnica (1:5.000)
- tavola g) carta di pericolosità sismica locale (1:5.000)
- tavola h) carta del dissesto con legenda uniformata PAI (1:10.000)
- tavola i) carta dei vincoli (1:5.000)
- tavola l) carta di sintesi (1:5.000)
- tavola m) carta di fattibilità geologica per le azioni di piano (1:5.000).

Infine si conferma quale Appendice 1: Analisi idrologica Torrente Grandone secondo il tempo di ritorno $T = 100$ anni ai sensi della nell'allegato 4 "Criteri per la valutazione di compatibilità idraulica delle previsioni urbanistiche e delle proposte di uso del suolo nelle aree a rischio idraulico" alla D.g.r. n. 8/7374 del 28 maggio 2008, definita da Arethusa, a cui si rimanda.

RIFERIMENTI NORMATIVI

- OPCM 3274/2003 – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”
- Art. 57 della L.R. n.12/2005 (Regione Lombardia) – “Legge per il Governo del Territorio”
- DM 17 gennaio 2018 - NTC2018 – "Norme tecniche per le costruzioni"
- DGR IX/2616 del 30 novembre 2011 (Regione Lombardia) – “Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12”, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374”
- DGR X/2129 dell’11 luglio 2014 (Regione Lombardia) – “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia”
- DGR X/2489 del 10 ottobre 2014 (Regione Lombardia) – “Differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 21 luglio 2014, n. 2129 «Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)»”
- DGR X/4144 dell’8 ottobre 2015 (Regione Lombardia) – “Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014, n. 2129 «Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)»”
- DGR X/5001 del 30 marzo 2016 (Regione Lombardia) – “Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della L.R. 33/2015)”.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il territorio comunale di Medolago in Provincia di Bergamo si estende per quasi 4 Km² (3,8) in quella porzione di territorio di forma triangolare denominata “Isola Bergamasca” (90 Km² circa in prevalenza pianeggianti), delimitata dai fiumi Adda (ad ovest) e Brembo (ad est) fino alla confluenza meridionale e dalla dorsale dei colli verso monte, limite tra la pianura padana e l’area montuosa prealpina.

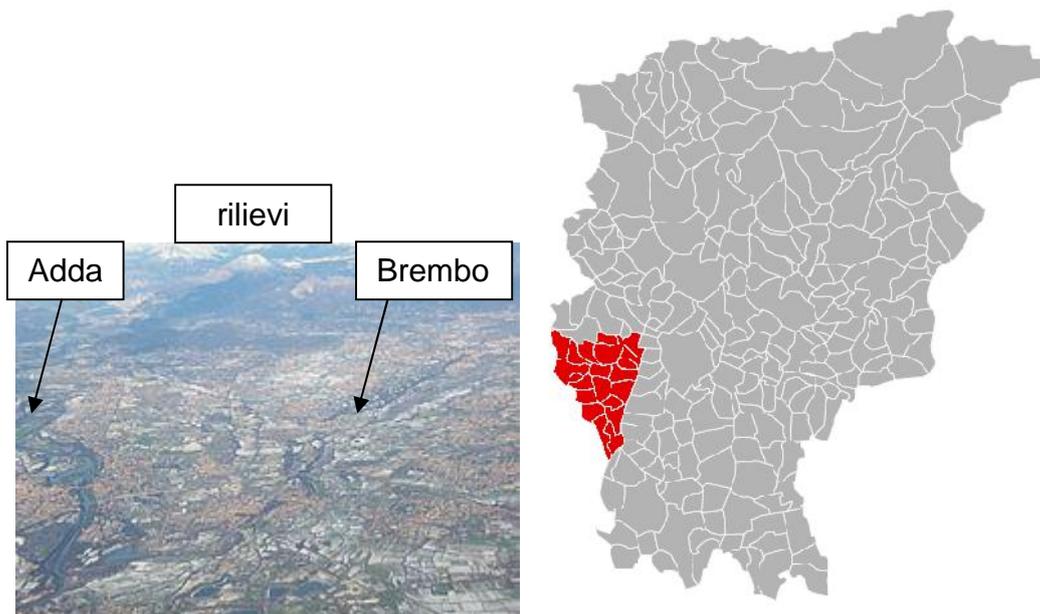


Fig. 1 - A sinistra: foto area dell'Isola Bergamasca, a destra: ubicazione dell'Isola in relazione alla provincia di Bergamo

Più precisamente, il territorio comunale in esame è delimitato a Nord e ad Ovest dal comune di Calusco d'Adda, a NW dal comune di Solza, a NE da quello di Terno d'Isola, ad E dal comune di Chignolo d'Isola, a S da Suisio e a Sud-Ovest da Cornate d'Adda, in provincia di Milano.

Esso è ricompreso nella seguente cartografia ufficiale:

- _ Foglio n° 46 - "Treviglio" – e foglio n° 33 – "Bergamo" - della carta dell'I.G.M. in scala 1:100.000;
- _ Foglio n° 97 - "Vimercate" - della carta dell'I.G. M. in scala 1:50.000;
- _ Foglio C5 - "Bergamo" – e foglio B5 –"Brianza"- della C.T.R. in scala 1:50.000;
- _ Tavoletta 46 IV N.O. - "Trezzo sull'Adda" - dell'I.G.M. in scala 1:25.000;
- _ Foglio B5e3 e C5a3 della C.T.R. in scala 1:10.000;
- _ rilievo aerofotogrammetrico, utilizzato come base topografica per la redazione delle carte di dettaglio.

L'area comunale è compresa fra le seguenti coppie di coordinate Gauss-Boaga:

- _ 5.056.750,5.059.000 N;
- _ 1.536.900,1.540.350 E;

Altimetricamente si colloca tra 150 m s.l.m. circa a Sud-Ovest lungo il fiume Adda, ed i 250 m s.l.m. circa a Nord al confine con il comune di Solza. Il settore occidentale del comune è inserito nel Parco Regionale Fluviale Adda Nord.

I collegamenti viari sono ben sviluppati a livello locale (SP n.170, SP n.163), interprovinciale SS n.142 e regionale (vicinanza al casello di Capriate San Gervasio dell'Autostrada A4).

Vi sono pure collegamenti ferroviari nei comuni limitrofi (stazioni di Calusco d'Adda e Terno d'Isola).

INQUADRAMENTO CLIMATICO

Lo studio del territorio non può prescindere dall'analisi degli aspetti climatici che hanno inevitabili ripercussioni sull'idrogeologia, alimentazione delle falde idriche sotterranee ed oscillazione della superficie piezometrica. L'Isola Bergamasca è contraddistinta da un clima pressochè continentale, tipico della Val Padana, con inverni piuttosto rigidi ed estati piuttosto calde. L'autunno e la primavera sono caratterizzate da tempo instabile per la presenza di aree a bassa pressione che determinano abbondanti precipitazioni. La presenza della catena prealpina esercita un'azione mitigatrice rispetto ai venti settentrionali e talvolta favorisce la formazione di nebbie in autunno.

L'Isola si pone come zona di raccordo tra le Alpi e la Pianura Padana. Come tale si colloca nella fascia di transizione tra clima montano e clima di pianura.

Il settore montano è contraddistinto da precipitazioni medie annue piuttosto abbondanti, con massimi estivi e minimi invernali. Il mesoclima padano, che comunque influenza maggiormente il territorio dell'Isola, è caratterizzato da elevate precipitazioni primaverili (aprile-maggio) ed autunnali (ottobre-novembre).

Temperature

L'analisi delle temperatura palesa un andamento sostanzialmente continentale.

Il valore medio annuo della temperatura dell'aria è di poco meno di 13° C (stazione meteorologica di Bergamo, 1876-2011) con trend crescente di qualche decimo di grado negli ultimi decenni; l'escursione termica media annua è di circa 20°C, mentre quella annua assoluta di oltre 50°C (-20,1°C la temperatura minima, +39°C la massima).

È bene sottolineare che con il general global warming le ultime estati hanno segnato picchi di temperature particolarmente elevati.

Pluviometria

Il regime mensile delle precipitazioni si contraddistingue da due massimi, uno primaverile (mese di maggio) più pronunciato, l'altro autunnale (ottobre-novembre). Vi è poi un minimo marcato invernale ed uno più labile estivo variabile in funzione dell'orografia e della stagionalità. L'estate è infatti il periodo in cui i fenomeni temporaleschi, negli ultimi anni, a causa del riscaldamento globale del pianeta, tendono a diventare sempre più isolati ed imprevedibili con apporti brevi ed intensi a volte eccezionali. Tale regime è definito sublitoraneo alpino.

Relativamente alla stazione meteorologica di Bergamo la precipitazione media annua relativa al periodo 1921-1950 riportata nella serie pluviometrica trentennale dell'Ufficio Idrografico del Po indica apporti medi annui compresi tra 1100 e 1300 mm, con valori minimi di 750 mm circa e massimi di 1550 mm circa.

La carta delle precipitazioni massime annue del territorio alpino lombardo, registrate nel periodo 1891-1990, redatta dai Dott. Ceriani e Carelli della Regione Lombardia, evidenzia valori progressivamente decrescenti da

monte (2000 mm/anno) verso valle (1500 mm/anno). Anche i valori medi seguono un trend regressivo da monte (1200 mm/anno) verso valle (1000 mm/anno).

L'andamento delle precipitazioni minime invece vede un incremento di valori da est (700 mm/anno) verso ovest (850 mm/anno).

È interessante notare l'estrema variabilità stagionale dei valori di evapotraspirazione che sono molto elevati (ben superiori ai valori delle precipitazioni) nei mesi estivi e molto ridotti nei mesi invernali (molto al di sotto dei valori delle precipitazioni).

Negli ultimi anni, complice il general global warming, si assiste ad una contrazione delle giornate di pioggia durante l'anno, con quantitativi comunque in linea con i trend annuali. Ciò è dovuto ad una maggior frequenza delle piogge brevi ed intense, specialmente nel periodo estivo (le cosiddette "bombe d'acqua").

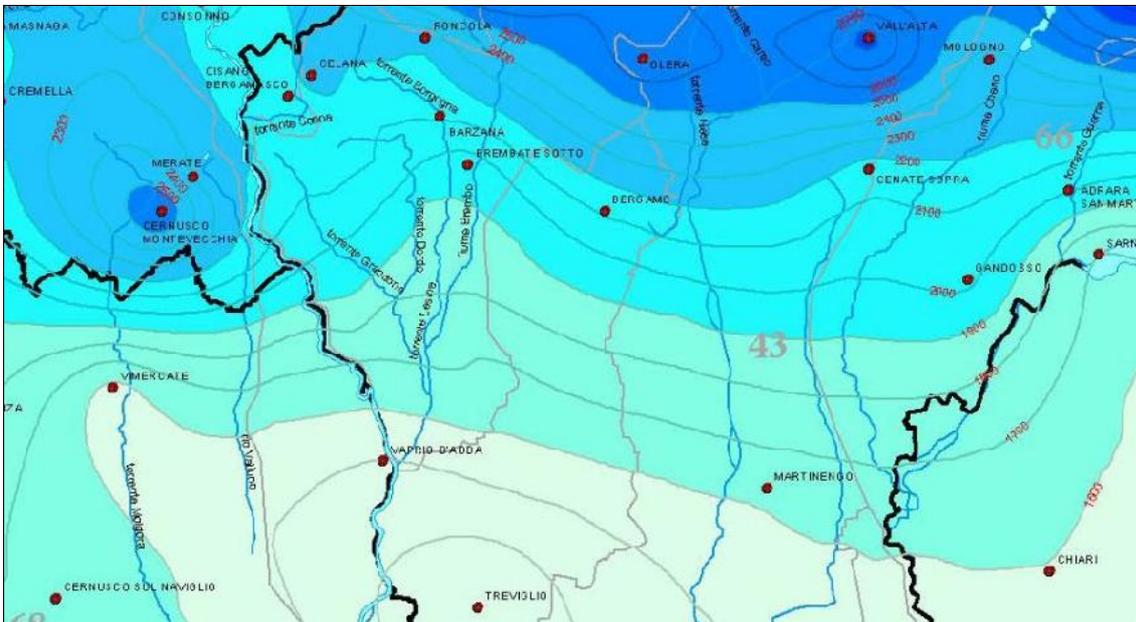


Fig. 2 - Carta delle precipitazioni massime annue del territorio alpino lombardo, 1891-1990, Dott. Ceriani-Carelli, Regione Lombardia

Venti

Dall'analisi della frequenza percentuale della direzione del vento pubblicati dall'Istituto Sperimentale per la Cerealicoltura (sezione di Bergamo, 1962-1981) si evince che i venti prevalenti nella stagione invernale sono quelli provenienti dai quadranti nordorientali. La loro incidenza cala in estate allorquando sono maggiormente frequenti i venti meridionali. Questa ventilazione è inevitabilmente influenzata al regime stagionale delle brezze che spirano prevalentemente da monte verso valle nei mesi freddi e da valle verso monte in quelli caldi. Inoltre le brezze di monte si verificano solitamente al mattino, mentre quelle di valle al pomeriggio.

La direzione prevalente dei venti durante le giornate instabili, perturbate, è invece occidentale, sospinti dalle perturbazioni atlantiche.

L'intensità è solitamente medio-bassa con velocità comprese tra 2 e 10 m/s.

CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DEL TERRITORIO

La provincia di Bergamo dal punto di vista fisiografico può essere suddivisa in due settori; la porzione settentrionale (zona montana) è caratterizzata dai rilievi della catena orobica che, verso sud, vengono progressivamente ricoperti da spessori sempre maggiori di depositi quaternari (settore meridionale, pianura). A partire da questa prima suddivisione, più nel dettaglio, possono essere riconosciuti altri comparti, in particolare le zone collinari che fungono da raccordo tra le montagne e la pianura, quest'ultima a sua volta distinguibile in alta e bassa. È bene sottolineare come in pianura superficialmente i rilievi scompaiano, poiché sepolti in profondità al di sotto del piano campagna, ricoperti dalle coltri superficiali di sedimenti.

Le Alpi Meridionali sono separate dal corpo principale della catena alpina dalla linea insubrica, una importantissima discontinuità di origine tettonica con decorso Est-Ovest. Le Alpi Meridionali si sono formate a seguito della collisione tra la placca europea e la placca Adria (microzolla del continente africano), che si è verificata a partire dal Cretaceo.

La storia geologica della pianura padana è correlabile allo sviluppo delle catene montuose alpina ed appenninica di cui costituisce l'avanfossa.

Il substrato di questa vasta depressione presenta un profilo asimmetrico con pendenza minore sul lato settentrionale (monoclinale pedealpina) e più accentuato al margine appenninico. Dal Pliocene ad oggi questa depressione è stata interessata da una progressiva deposizione di sedimenti dapprima marini ed in seguito continentali.

L'evoluzione plio-quadernaria della pianura padana si può riassumere nelle seguenti fasi.

- Fase del ritiro del mare e della sedimentazione di depositi continentali fluvio-lacustri, deltizi e di piana costiera; tale fase si è verificata tra il Pliocene superiore ed il Pleistocene inferiore.
- Fase glaciale e di deposizione dei sedimenti di origine glaciale (tilliti, diamictiti o mixtiti: depositi di origine glaciale non rielaborati dall'azione delle acque di fusione del ghiacciaio), fluvioglaciale, proglaciale (depositi di delta) e periglaciale (loess). Tale fase si è verificata nel Pleistocene all'epoca delle cosiddette grandi

glaciazioni quaternarie. Vi sono state diverse oscillazioni climatiche; fasi fredde in cui il limite dei ghiacciai e delle nevi perenni avanzava (in particolare si riconoscono tre glaciazioni significative, Mindel, Riss e Wurm) alternate a fasi interglaciali e calde di ritiro. Per “ultima glaciazione” si suole intendere la massima espansione glaciale datata 20.000 anni fa circa. La parte occidentale del territorio bergamasco, che ricomprende il settore occidentale dell’Isola Bergamasca (nello specifico la zona da Pontida a Calusco d’Adda), fu interessata dall’avanzata della lingua glaciale proveniente dalla Valtellina lungo la valle dell’Adda. Tutto il territorio di Monte Marengo, Cisano Bergamasco, Pontida e Villa d’Adda è segnato da numerose morene formate dal ghiacciaio durante le fasi di avanzata. Altre morene sono visibili ad est di Carvico e sono ascrivibili alle glaciazioni più antiche (Unità di Carvico). Anche la Val Brembana è stata glacializzata durante il Quaternario, ma in misura minore rispetto alla valle dell’Adda a causa della minore estensione delle aree di alimentazione dei ghiacciai. Conseguentemente le forme glaciali permangono solamente nei tratti medio-sommitali della valle.

- Fase post-glaciale di sedimentazione alluvionale e di erosione. Gran parte dell’Isola Bergamasca è caratterizzata da morfologia movimentata con alti gradienti topografici tipici delle aree marginali della pianura padana. I due fiumi principali, Adda e Brembo, hanno contribuito in larga misura alla formazione della pianura bergamasca stessa, con l’aggradazione dei conoidi di deiezione circa 18.000 anni fa. La superficie topografica è perciò caratterizzata da una serie di corpi che si aprono a ventaglio, digradanti da nord verso sud con pendenze comprese tra 10 e 3 per mille. La granulometria dei depositi tende progressivamente a decrescere; le alluvioni fluvioglaciali ghiaiose si collocano a nord, per poi passare verso sud a sedimenti dapprima sabbioso-ghiaiosi e poi sabbiosi.

Tracce di queste fasi si rinvengono diffusamente nel territorio dell’Isola Bergamasca che si contraddistingue per la presenza delle seguenti unità fisiografiche.

Unità fisiografica dei “terrazzi preolocenici”

Questa unità è caratterizzata da una superficie poco “fresca”, esposta alla prolungata azione degli agenti esogeni (pioggia, vento, ecc..) con forme molto addolcite. L’età dei depositi è sicuramente più antica (fluvioglaciale antico) degli attigui sedimenti del “livello fondamentale della pianura” (fluvioglaciale recente), testimoniata dalla spessa coltre di alterazione superficiale (ferretto).

Questi depositi, messi in posto prima della glaciazione wurmiana (Mindel-Riss), formano i resti di un antico livello della pianura eroso precedentemente al peggioramento climatico wurmiano. Questa unità fisiografica caratterizza il settore centro-occidentale dell’area di studio, il cosiddetto Pianalto.

Unità fisiografica del “livello fondamentale della pianura”

Questa unità è caratterizzata dalla presenza dei grandi conoidi pedalpini che si sono formati a seguito della glaciazione wurmiana. La morfologia della pianura consente di ricostruire con buona approssimazione i

singoli corpi di aggradazione e le loro relative interdigitazioni. Questa unità fisiografica caratterizza il settore centro-orientale dell'area di studio.

Unità fisiografica delle “valli attuali”

Questa unità è delimitata da scarpate continue che la distinguono chiaramente dall'unità del livello fondamentale della pianura. Si imposta lungo i corsi d'acqua principali del Fiume Brembo e dell'Adda, ma solo in corrispondenza di quest'ultima assume una rilevanza areale.

Le scarpate tendono ad essere meno pronunciate ed alte da nord verso sud.

Rispetto all'idrografia a braided che ha caratterizzato in passato il livello fondamentale della pianura, i corsi d'acqua attuali hanno uno sviluppo meandriforme; ciò testimonia le differenti condizioni climatiche ed idrologiche nel corso dei tempi.

In base a quanto descritto si può chiaramente intuire che la formazione della pianura è avvenuta con il succedersi di fasi di aggradazione durante i periodi freddi e di fasi di erosione durante i periodi a clima più mite.

Di ciò si rinviene anche oggi traccia nelle alte valli, ma anche in pianura dove si sono depositi ingenti quantitativi di terre prese in carico e trasportate dalle impetuose acque di deglaciazione (sedimenti fluvio-glaciali).

Attualmente lungo le principali aste fluviali dell'Adda e del Brembo prevalgono fenomeni erosivi che determinano l'approfondimento di veri e propri canyon (il più eclatante è quello del Fiume Adda nei pressi di Calusco d'Adda).

Paleosuoli

Ampi settori del territorio bergamasco non sono stati interessati dalle avanzate glaciali nel Quaternario, ma parte delle aree non glacializzate sono state interessate da processi di erosione (esempio: versanti soggetti a demolizione in ambiente periglaciale) o di aggradazione (buona parte della pianura), che hanno distrutto o sepolto i suoli pre-würmiani. Per questo motivo, su buona parte del territorio bergamasco il tempo zero per l'evoluzione del suolo risale all'innalzamento delle temperature ed al regresso dei ghiacciai nel tardoglaciale, che si verificò circa tra 15.000 e 10.000 anni fa.

Non devono tuttavia essere sottovalutate alcune unità fisiografiche sulle quali i paleosuoli pre-würmiani hanno potuto conservarsi, come nei terrazzi preolocenici delle alluvioni antiche dei sistemi dell'Adda e del Brembo.

Le coperture pedogenetiche prewürmiane sono costituite per lo più da successioni di suoli sepolti e/o vetusuoli fersiallitici (terre rosse). Superficialmente vi possono essere depositi loessici connessi a uno o più cicli, evoluti in condizioni climatiche caldo-umide.

Nel settore centro-occidentale dell'Isola, in cui ricade Medolago, vi sono depositi più antichi (fluvioglaciale antico), messi in posto prima della glaciazione wurmiana (Mindel-Riss), che formano i resti di un antico livello della pianura eroso precedentemente al peggioramento climatico wurmiano. Questa unità è caratterizzata da una superficie poco "fresca", esposta alla prolungata azione degli agenti esogeni (pioggia, vento, ecc..) che hanno determinato la formazione nel tempo di un orizzonte di alterazione superficiale coesivo ("ferretto"). Il fluvioglaciale antico (Mindel-Riss), pianalto, si trova in posizione sopraelevata rispetto alle unità più recenti .

Nel settore centro-orientale dell'Isola Bergamasca si nota la presenza dei depositi fluvioglaciali recenti (wurmiani); tali sedimenti si sono depositi a seguito della formazione dei grandi conoidi pedalpini successivi alla glaciazione wurmiana. In corrispondenza di tali depositi l'orizzonte di alterazione superficiale è meno sviluppato (minor potenza e minor continuità) rispetto al ferretto del fluvioglaciale antico. Il fluvioglaciale recente (Wurm) si trova in posizione ribassata al Pianalto ed è riconosciuto come Livello Fondamentale della Pianura.

Lungo le valli del Fiume Adda e del Fiume Brembo, in posizione depressa rispetto ai precedenti depositi, si notano coltri più recenti costituite da sedimenti fluvioglaciali tardivi (ambiti distali), conglomerati fluviali (ceppo dell'Adda o del Brembo) ed alluvioni da recenti ad attuali. Tali unità sono derivanti dall'azione di erosione e deposizione dei fiumi che in diversi punti hanno scavato dei veri e propri canyon (in particolare ci si riferisce a quello dell'Adda).

Verso nord i depositi quaternari si chiudono contro gli affioramenti rocciosi del Monte Canto.

Riassumendo nel territorio comunale di Medolago si individuano principalmente quattro settori geologico-geomorfologici che risultano altimetricamente ben distinti, costituiti da differenti unità litologiche e separati da terrazzi morfologici aventi decorso all'incirca NW-SE:

- Pianalto ferrettizzato costituito da depositi fluvioglaciali mindeliani, rappresentati dai litotipi dell'Unità di Medolago; tale pianalto rappresenta la fascia centrale e quella estrema Nord-orientale del territorio comunale e presenta mediamente una quota intorno ai 240 m s.l.m. ed una inclinazione verso SE;
- Livello Fondamentale della Pianura" (L.F.d.P.), costituito da depositi fluvioglaciali würmiani, rappresentati dall'Unità di Carvico, e posto nella parte meridionale del comune, in particolare ad occidente di "Casa la Fornace" a quote intorno ai 233 m s.l.m.. Esso risulta delimitato ad Est dalla scarpata che lo collega col sovrastante Pianalto ferrettizzato e ad Ovest da un'analoga scarpata che conduce al sottostante settore morfologico;
- vi è poi la Valle del Torrente Grandone che si incunea all'interno del Pianalto e si è formata per l'azione erosiva di uno scaricatore fluvioglaciale, originatosi dalla fusione del ghiacciaio della Valle dell'Adda.

- Ripiano posto a 157 m s.l.m. su cui scorre attualmente l'Adda.

A seguire si riporta la descrizione delle Unità litologiche rappresentate nella tavola a-Geologica e Geomorfologica.

Unità Post-glaciale (Pleistocene sup. – Olocene)

E' data da depositi alluvionali e fluvioglaciali costituiti da ghiaie, da fini a grossolane, a supporto clastico con matrice sabbiosa che si presentano in strati planari, da limi, da massivi a laminati, e da argille. Nell'area in esame tali depositi si riscontrano nelle incisioni fluviali scavate dai torrenti glaciali durante l'ultima espansione glaciale e sono separati dalle alluvioni fluvioglaciali da orli di terrazzo con dislivelli spesso superiori ai 10 m. Essi sono organizzati in una serie di terrazzi posti a differente quota e con caratteri pedologici differenti: quelli posti immediatamente al di sotto dei terrazzi delle unità del Pleistocene superiore sono caratterizzati da superfici limite superiori date da prevalenti Alfisuoli poco espressi; invece quelli caratterizzati da superfici limite superiori date da prevalenti Inceptisuoli si rinvengono a quote poco più elevate di quelle degli alvei attuali.

Ceppo del Brembo (Pleistocene sup.(?) – inf.)

E' costituito da depositi alluvionali dati da conglomerati a prevalente supporto clastico e da conglomerati arenacei al limite fra supporto clastico e di matrice, con ciottoli da arrotondati a sub-arrotondati. Si riscontrano frequentemente lenti e strati arenacei decimetrici, a prevalente stratificazione planare incrociata. Nelle parti basali della formazione sono frequenti le lenti siltose e siltoso-argillose di spessore e lunghezza metrica, contenenti gusci di molluschi continentali; esse sono intercalate ai livelli conglomeratici e presentano una struttura interna laminata o massiva, con colorazione giallo-bruno.

Unità di Cantù (Pleistocene superiore)

Nella zona di Medolago questa unità è data da depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie con ciottoli arrotondati a supporto sia clastico che di matrice, con matrice in genere sabbiosa e sabbie spesso a laminazione incrociata. Si tratta di depositi grossolanamente stratificati che formano corpi lenticolari o stratoidi, spesso con strutture interne quali gradazioni inverse o normali, embricature dei ciottoli, cluster e laminazione incrociata.

Unità di Carvico (Pleistocene sup.(?) - medio)

E' data da depositi fluvioglaciali a stratificazione rozza, costituiti da ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa, ciottoli da arrotondati a sub-spigolosi con un diametro medio di 4-15 centimetri. Sono presenti sequenze sommitali limose che inglobano le ghiaie sottostanti, senza termini granulometrici intermedi. La sua superficie limite superiore è caratterizzata da una morfologia ben conservata, da una copertura loessica presente con una certa discontinuità e da un profilo di alterazione evoluto con una profondità massima del fronte di decarbonatazione compresa fra 3 e 4 m.

Unità di Medolago (Pleistocene medio)

E' data da ghiaie a supporto di matrice limoso-argillosa, pedogenizzate per tutto lo spessore dell'unità; si tratta in prevalenza di depositi fluvioglaciali. Comprende depositi loessici limo-argillosi, sovrapposti a depositi fluvioglaciali e/o alluvionali, costituiti da ghiaie a supporto di matrice limoso-argillosa, alterate per tutto il loro spessore. Nonostante l'alterazione molto spinta la petrografia dei ciottoli, prevalentemente arrotondati e discoidali, permette di riconoscere una provenienza alpina testimoniata da un'elevata presenza di rocce endo-metamorfiche, fra cui intrusivi basici e ultrabasici.

L'Unità risulta fortemente pedogenizzata per l'intero spessore: i suoli si sviluppano su limi di origine eolica e sulle sottostanti ghiaie fino alla superficie erosionale che, ad una profondità massima di 3,5 m, la separa da un suolo sepolto, sviluppato, si ritiene, sul Ceppo del Brembo. L'Unità giace alla sommità di un terrazzo sensibilmente più elevato rispetto al livello topografico della pianura e delimitato su tutti i lati da scarpate nette con dislivelli fino a 20 metri.

FOGLIO GEOLOGICO N. 97 – VIMERCATE (PROGETTO CARG)

Inoltre l'area in esame è caratterizzabile, dal punto di vista litologico, grazie al foglio geologico n° 97-Vimercate del Progetto CARG di recente presentazione (Ispra, Regione Lombardia, CNR, Università degli Studi di Milano, 2012), che con la sua moderna impostazione consente un'analisi geologica di maggior dettaglio distinguendo, a livello di quaternario ed anche a livello delle singole unità fluvioglaciali tradizionali, numerose nuove unità legate alla litologia ed alla provenienza bacinale dei depositi.

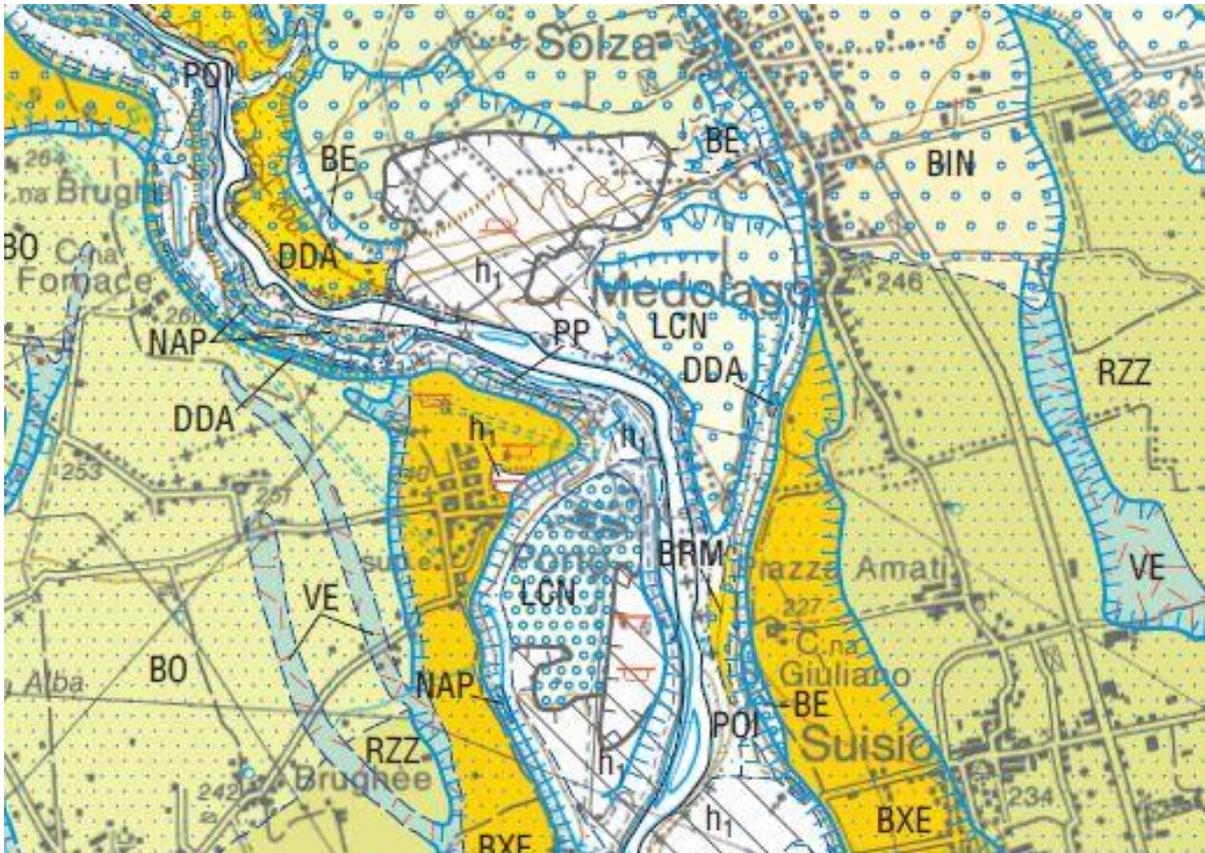
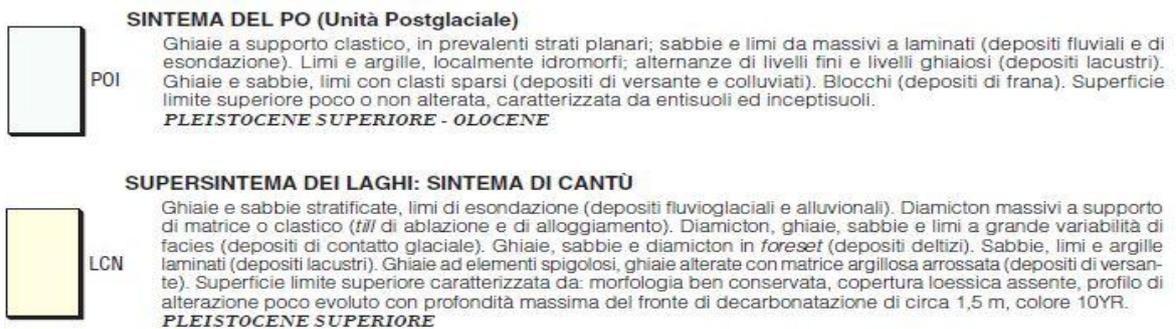


Fig. 5 - stralcio foglio geologico n. 97 – Vimercate, ISPRA, RL, Università degli Studi di Milano, 2012



SUPERSINTEMA DI BESNATE

Depositi fluvioglaciali e glaciali, caratterizzati da profili d'alterazione poco evoluti, che raggiungono spessori sino a 4 m. Copertura loessica sporadica. Forme ben conservate (cordoni morenici e piane fluvioglaciali terrazzate).

SUPERSINTEMA DI BESNATE INDISTINTO (BE)

Ghiaie a supporto di matrice, ghiaie organizzate in livelli a supporto di matrice e clastico, sabbie, limi (depositi fluvioglaciali). Alterazione moderata con profili poco evoluti che si spingono fino alla profondità di 4 m circa.

UNITÀ DI GUANZATE (BEZ)

Diamicton massivi a supporto di matrice (*till* di alloggiamento e di ablazione). Ghiaie e sabbie stratificate (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da: morfologia ben conservata, copertura loessica discontinua presente, profilo di alterazione evoluto con profondità massima del fronte di decarbonatazione compreso tra i 3 e i 4 m circa, colore 7.5YR.

UNITÀ DI CADORAGO (BEE)

Ghiaie massive o organizzate, a supporto di clasti o di matrice, ciottoli con dimensioni massime da centimetriche a 30 cm, poligenica; intercalazioni sabbiose (depositi fluvioglaciali). Diamicton a supporto di matrice (depositi glaciali). Alterazione limitata alla porzione superficiale. Limi (depositi di esondazione). Copertura loessica discontinua.

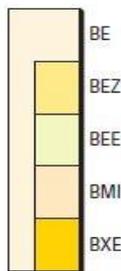
UNITÀ DI MINOPRIO (BMI)

Ghiaie a supporto di matrice e a supporto clastico con matrice sabbiosa; locali intercalazioni sabbiose (depositi fluvioglaciali). Alterazione moderata, più elevata nei livelli superiori.

UNITÀ DI BULGAROGRASSO (BXE)

Ghiaie a supporto clastico, poligeniche, poco alterate (depositi fluvioglaciali).

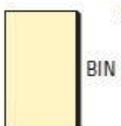
PLEISTOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE



SINTEMA DI BINAGO

Ghiaie a supporto di matrice, poligeniche o a dominanza di litologie locali (depositi fluvioglaciali). Diamicton massivi a supporto clastico (depositi glaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da un profilo di alterazione evoluto, di spessore non valutabile. Copertura loessica a *fragipan* sempre presente.

PLEISTOCENE MEDIO



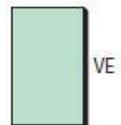
SUPERSINTEMA DI VENEGONO

Limi debolmente argillosi con clasti debolmente alterati sparsi; *loess* colluviati. Limi debolmente sabbiosi, ghiaie fini e sabbie grossolane, ghiaie poligeniche poco alterate, limi argillosi con clasti sparsi (depositi fluviali). Ghiaie massive a supporto di matrice costituita da limi sabbiosi; ghiaie massive a supporto di clasti (depositi di versante). Colore 10YR, 5YR e 7.5YR.

Costituisce gran parte delle coperture dei principali versanti, dei fondovalle appiattiti di molti corsi d'acqua temporanei o abbandonati. Ammanta praticamente tutto il territorio.

L'età del supersintema di Venegono non è definibile in relazione ad un singolo evento deposizionale. I depositi di questa unità, che sono rimaneggiati lungo versante o in ambiente fluviale, coprono tutte le unità a partire dal supersintema del Bozzente, quindi hanno come età massima quella dei corrispondenti eventi glaciali.

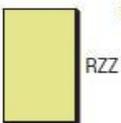
PLEISTOCENE INFERIORE terminale - PLEISTOCENE SUPERIORE



FORMAZIONE DI TREZZO SULL'ADDA

Ghiaie a prevalente supporto di matrice, massive o rozzamente organizzate; ciottoli poligenici arrotondati, fortemente alterati; colore 5YR-2.5YR; limite inferiore per fronte di alterazione (depositi fluviali). Età di deposizione Calabriano, età di alterazione Calabriano - Pleistocene medio.

CALABRIANO



CEPPO DELL'ADDA

Conglomerati costituiti da ghiaie a prevalente supporto clastico, con ciottoli arrotondati e matrice arenacea; cementazione in genere buona, localmente irregolare. Litologie provenienti dal bacino dell'Adda con sporadici intervalli a dominanza di litologie locali (depositi fluviali).

CALABRIANO



Di seguito sono illustrate le singole unità dalla più recente alla più antica.

UNITÀ NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI APPARTENENZA

Sintema del Po (Unità Postglaciale Olocenica)

Ghiaie a supporto clastico, in prevalenti strati planari; sabbie e limi da massivi a laminati (depositi fluviali e di esondazione). Limi e argille, localmente idromorfi; alternanze di livelli fini e livelli ghiaiosi (depositi lacustri). Ghiaie e sabbie, limi con clasti sparsi (depositi di versante e colluviati). Blocchi (depositi di frana). Superficie limite superiore poco o non alterata, caratterizzata da entisuoli ed inceptisuoli.

Pleistocene superiore - Olocene

UNITÀ DEL BACINO DELL'ADDA

Supersintema dei laghi: Sintema di Cantù

Ghiaie e sabbie stratificate, limi di esondazione (depositi fluvioglaciali e alluvionali). Diamicton massivi a supporto di matrice o clastico (till di ablazione e di alloggiamento). Diamicton, ghiaie, sabbie e limi a grande variabilità di facies (depositi di contatto glaciale). Ghiaie, sabbie e diamicton in foreset (depositi deltizi). Sabbie, limi e argille laminati (depositi lacustri). Ghiaie ad elementi spigolosi, ghiaie alterate con matrice argillosa arrossata (depositi di versante). Superficie limite superiore caratterizzata da: morfologia ben conservata, copertura loessica assente, profilo di alterazione poco evoluto con profondità massima del fronte di decarbonatazione di circa 1,5 m, colore 10YR.

Pleistocene superiore

Supersintema di Besnate

Depositi fluvioglaciali e glaciali, caratterizzati da profili d'alterazione poco evoluti, che raggiungono spessori sino a 4 m. Copertura loessica sporadica. Forme ben conservate (cordoni morenici e piane fluvioglaciali terrazzate).

Supersintema di Besnate Indistinto

Ghiaie a supporto di matrice, ghiaie organizzate in livelli a supporto di matrice e clastico, sabbie, limi (depositi fluvioglaciali). Alterazione moderata con profili poco evoluti che si spingono fino alla profondità di 4 m circa.

Unità di Bulgarograsso

Ghiaie a supporto clastico, poligeniche, poco alterate (depositi fluvioglaciali).

Pleistocene medio - Pleistocene superiore

Sintema di Binago

Ghiaie a supporto di matrice, poligeniche o a dominanza di litologie locali (depositi fluvioglaciali). Diamicton massivi a supporto clastico (depositi glaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da un profilo di alterazione evoluto, di spessore non valutabile. Copertura loessica a fragipan sempre presente.

Pleistocene medio

Supersintema di Venegono

Limi debolmente argillosi con clasti debolmente alterati sparsi; loess colluviati. Limi debolmente sabbiosi, ghiaie fini e sabbie grossolane, ghiaie poligeniche poco alterate, limi argillosi con clasti sparsi (depositi fluviali). Ghiaie massive a supporto di matrice costituita da limi sabbiosi; ghiaie massive a supporto di clasti (depositi di versante). Colore 10YR, 5YR e 7.5YR. Costituisce gran parte delle coperture dei principali

versanti, dei fondovalle appiattiti di molti corsi d'acqua temporanei o abbandonati. Ammanta praticamente tutto il territorio. L'età del supersintema di Venegono non è definibile in relazione ad un singolo evento deposizionale. I depositi di questa unità, che sono rimaneggiati lungo i versanti o in ambiente fluviale, coprono tutte le unità a partire dal supersintema del Bozzente, quindi hanno come età massima quella dei corrispondenti eventi glaciali.

Pleistocene inferiore terminale - Pleistocene superiore

Formazione di Trezzo sull'Adda

Ghiaie a prevalente supporto di matrice, massive o rozzamente organizzate; ciottoli poligenici arrotondati, fortemente alterati; colore 5YR÷2,5YR; limite inferiore per fronte di alterazione (depositi fluviali). Età di deposizione Calabriano, età di alterazione Calabriano - Pleistocene medio.

Calabriano

Ceppo dell'Adda

Conglomerati costituiti da ghiaie a prevalente supporto clastico, con ciottoli arrotondati e matrice arenacea; cementazione in genere buona, localmente irregolare. Litologie provenienti dal bacino dell'Adda con sporadici intervalli a dominanza di litologie locali (depositi fluviali).

Calabriano

CARATTERI GEOPEDOLOGICI DEL TERRITORIO

Medolago è un Comune posto in sponda idrografica sinistra del Fiume Adda. Può essere suddiviso morfologicamente in due comparti:

- quello prossimale al dominio fluviale è depresso o lungo il declivio, con prevalenza di depositi alluvionali grossolani
- quello sommitale è il livello del pianalto con coltri fluvioglaciali wurmiane, con presenza di matrice fine localmente abbondante e livelli eterogenei dovuti all'alterazione nel corso del tempo delle terre (pedogenesi). In questo si possono verificare cedimenti improvvisi connessi al fenomeno degli occhi pollini.

Sulla base de "I suoli dell'Isola Bergamasca" pubblicato dall'ERSAL (Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia), di seguito sono elencati i tipi di suoli presenti a Medolago.

Ambiente geomorfologico: terrazzo fluvio-glaciale antico (pianalto) delimitato da ripide scarpate boscate e solcato da numerose piccole valli.

Unità di paesaggio: superficie modale del pianalto, a morfologia da subpianeggiante a subondulata, costituita da un substrato di ghiaie e ciottoli alterati, ricoperti da limi argillosi di origine eolica;

Sottounità di paesaggio: porzione settentrionale del pianalto modale, a morfologia ondulata, frequentemente incisa da vallecole boscate, prevalentemente utilizzata a seminativi, fortemente urbanizzata ed industrializzata, sede di antiche cave di argilla. In vicinanza delle pendici montuose presenta una debole pendenza verso S-SW;

§ Unità cartografica: **CSR1/RIN1** – gruppo indifferenziato di:

(a) suoli generalmente sottili su fragipan, a tessitura media, reazione subacida, saturazione media, drenaggio mediocre, class. U.S.D.A.: Ochreptic Fragiudalfs – coarse silty, mixed, mesic, class. FAO: Haplic Luvisols, Haplic Alisols (fase a fragipan);

(b) suoli da moderatamente profondi a profondi, su fragipan, a tessitura media, reazione subacida (talora acida in profondità), saturazione molto bassa in superficie e media in profondità (talora bassa), drenaggio mediocre, class. U.S.D.A.: Typic Fragiudalfs – fine silty, mixed, mesic, class. FAO: Haplic Alisols, Haplic Luvisols (fase a fragipan);

Sottounità di paesaggio: porzione meridionale del pianalto modale, a superficie lievemente ondulata, talora incisa da vallecole boscate, utilizzata a seminativi ed urbanizzata lungo il bordo occidentale;

§ Unità cartografica: **RIN1** - consociazione di suoli da moderatamente profondi a profondi su fragipan, a tessitura media in superficie e da media a moderatamente fine in profondità, reazione subacida talora acida in superficie, saturazione da molto bassa a bassa in superficie e da molto bassa a media in profondità, drenaggio mediocre, class. U.S.D.A.: typic fragiudalfs fine silty, mixed, mesic, class. FAO: Haplic Alisols, Haplic Luvisols, Chromic Luvisols (fase a fragipan);

Unità di paesaggio: depressioni del pianalto raccordabili alle incisioni boscate, corrispondenti ad alvei fluviali fossili, intensamente coltivate a seminativo;

Sottounità di paesaggio: depressioni lievi (talora marcate), sedi di raro o occasionale deflusso idrico;

§ Unità cartografica: **GRN1/BRZ2/ZEN1** – gruppo indifferenziato di:

(a) suoli profondi su fragipan, tessitura media talora moderatamente fine in profondità, reazione acida in superficie e subacida in profondità, saturazione bassa in superficie e media in profondità, drenaggio da mediocre a buono, class. U.S.D.A.: Typic Fragiudalfs fine silty, mixed, mesic, class. FAO: Haplic Alisols, Haplic Luvisols (fase a fragipan);

(b) suoli simili privi di fragipan in profondità, a saturazione bassa in superficie e da media ad alta in profondità, class. U.S.D.A.: Typic Hapludalfs fine silty, mixed, mesic, class. FAO: Haplic Luvisols;

(c) suoli da profondi a molto profondi, tessitura media talora moderatamente fine in profondità, reazione acida in superficie e subacida in profondità, saturazione bassa in superficie e da bassa ad alta in profondità, drenaggio da mediocre a buono, class. U.S.D.A.: Dystric-Fluventic Eutrochrepts fine silty, mixed, mesic, class. FAO: Eutric Cambisols;

§ Unità cartografica: **GRN2** - consociazione di suoli profondi su fragipan, a tessitura media reazione acida in superficie e subacida in profondità, saturazione bassa in superficie e media in profondità, drenaggio mediocre, class. U.S.D.A.: Typic Fragiudalfs, class. FAO: Haplic Alisols, Haplic Luvisols (fase a fragipan);

Sottounità di paesaggio: depressioni marcate, localizzate presso i rilievi settentrionali e sede di deflusso idrico temporaneo;

§ Unità cartografica: **PNA1** – consociazione di suoli da moderatamente profondi a profondi su substrato ciottoloso alterato, tessitura media, reazione acida in superficie e subacida in profondità, saturazione alta in superficie e da bassa ad alta in profondità, drenaggio mediocre, class. U.S.D.A.: Dystric Eutrochrepts fine silty, mixed, mesic, class. FAO: Eutric Cambisols;

Unità di paesaggio: [incisioni del pianalto, delimitate da ripide scarpate boscate, sovente interessate da fenomeni di colluviamento, con fondovalle pianeggianti o a profilo acuto, sede di deflusso temporaneo, con vegetazione a bosco ceduo di latifoglie;](#)

§ Unità cartografica: **CRM2/CRI2** - gruppo indifferenziato di:

(a) suoli da moderatamente profondi a profondi, con scheletro da comune ad abbondante in profondità, tessitura media in superficie e da media a moderatamente fine in profondità, reazione molto acida, saturazione molto bassa, drenaggio da buono a rapido, class. U.S.D.A.: Typic Dystrichrepts, class. FAO: Dystric Cambisols;

(b) suoli da moderatamente profondi a profondi, con scheletro generalmente scarso in superficie e da scarso ad abbondante in profondità, tessitura generalmente media in superficie e da moderatamente grossolana a media in profondità, reazione acida, saturazione molto bassa in superficie e bassa in profondità, drenaggio da buono a rapido, class. U.S.D.A.: Fluventic Dystrichrepts, class. FAO: Dystric Cambisols.

Ambiente geomorfologico: terrazzo fluvioglaciale recente o Livello Fondamentale della Pianura delimitato da ripide scarpate boscate.

Unità di paesaggio: [superficie modale, a morfologia pianeggiante del L.F.d.P., costituita da ghiaie e ciottoli poco alterati di origine fluvioglaciale comunemente presenti in superficie, intensamente coltivata a seminativo, con rari cedui di latifoglie, fortemente urbanizzata ed industrializzata;](#)

Sottounità di paesaggio: porzioni di L.F.d.P. ubicate in sinistra Adda, ad W del terrazzo fluvioglaciale antico;

§ Unità cartografica: MED2 – consociazione di suoli moderatamente profondi, su substrato ciottoloso sciolto, con scheletro frequente in superficie e da frequente ad abbondante in profondità, tessitura media, reazione neutra, saturazione alta, drenaggio buono (localmente rapido), class. U.S.D.A. Mollic Hapludalfs, class. FAO: Chromic Luvisols, Haplic Luvisols;

§ Unità cartografica: SUI1 - consociazione di suoli profondi, talora moderatamente profondi, su substrato ciottoloso sciolto, con scheletro comune in superficie e da comune ad abbondante in profondità, tessitura da media a moderatamente fine in superficie e da media a moderatamente grossolana in profondità, reazione neutra, saturazione media, drenaggio buono, class. U.S.D.A.: Typic Hapludalfs coarse loamy, mixed, mesic, class. FAO: Haplic Luvisols;

Sottounità di paesaggio: ampia valle a fondo piatto, incisa nel pianalto antico, percorsa dal torrente Grandone;

§ Unità cartografica: GRA1 - consociazione di suoli da profondi a molto profondi, su substrato ciottoloso eterogeneo, con scheletro generalmente scarso in superficie e da assente ad abbondante in profondità, tessitura media, reazione acida in superficie e subacida in profondità, saturazione bassa in superficie e media in profondità, drenaggio buono, class. U.S.D.A.: Ultic Hapludalfs fine loamy, mixed, mesic, class. FAO: Haplic Alisols;

Unità di paesaggio: [aree ubicate presso il fiume Adda, a morfologia subpianeggiante, ribassate di pochi metri rispetto al L.F.d.P., costituite da alluvioni fluvio-glaciali tardive ciottolose, utilizzate a seminativo, a bosco e soggette ad attività di cavazione;](#)

§ Unità cartografica: SUI2 - consociazione di suoli moderatamente profondi su substrato ciottoloso eterogeneo, con scheletro da scarso a comune in superficie e da comune ad abbondante in profondità, tessitura media, reazione neutra, saturazione alta, drenaggio buono (talora rapido), class. U.S.D.A.: Typic Hapludalfs, class. FAO: Haplic Luvisols;

Unità di paesaggio: [depressioni del livello fondamentale, talora delimitate da orli di terrazzo, soggette ad occasionali inondazioni, utilizzate a ceduo di latifoglie o coltivo;](#)

Sottounità di paesaggio: depressioni legate ai torrenti Buliga e Grandone;

§ Unità cartografica: CRM3/TER2 - gruppo indifferenziato di:

(a) suoli moderatamente profondi, su substrato ciottoloso sciolto, con scheletro da assente a comune in superficie e da scarso ad abbondante in profondità, tessitura media, reazione molto acida in superficie ed acida in profondità, saturazione molto bassa, drenaggio buono, class. U.S.D.A.: Typic Dystrichrepts, class. FAO: Dystric Cambisols;

(b) suoli da moderatamente profondi a profondi su substrato ciottoloso sciolto con scheletro da assente a scarso in superficie e da assente ad abbondante in profondità, tessitura media in superficie e da media a

moderatamente fine in profondità, reazione acida, saturazione bassa, drenaggio buono, class. U.S.D.A.: Ultic Hapludalfs, class. FAO: Haplic Alisols.

Ambiente geomorfologico: sistema dei terrazzi fluviali in sinistra orografica del fiume Adda.

Unità di paesaggio: alluvioni antiche ciottolose terrazzate, ribassate rispetto al L.F.d.P., a morfologia subpianeggiante;

Sottounità di paesaggio: terrazzi fluviali soggetti ad intensissime opere di cavazione (Medolago, Suisio, Bottanuco) e rimaneggiamenti (Crespi d'Adda), utilizzati a seminativo con frequenti cedui di latifoglie, con locali fenomeni erosivi e colluviali;

§ Unità cartografica: **GHI1** - consociazione di suoli moderatamente profondi su substrato ciottoloso calcareo, con scheletro da comune a frequente, tessitura da media a moderatamente grossolana, reazione subacida in superficie e neutra in profondità, saturazione bassa in superficie e da alta a molto alta in profondità, moderatamente calcarei in profondità, drenaggio da buono a rapido, class. U.S.D.A.: Fluventic Eutrochrepts coarse loamy over sandy skeletal, mixed, mesic, class. FAO: Eutric Cambisols;

§ Unità cartografica: **AND3** - consociazione di suoli da moderatamente profondi a profondi su substrato ciottoloso eterogeneo, con scheletro da scarso a comune in superficie e da comune a frequente in profondità, tessitura media, reazione neutra, saturazione media in superficie ed alta in profondità, molto scarsamente calcarei, drenaggio buono, class. U.S.D.A.: Mollic Hapludalfs, class. FAO: Haplic Luvisols;

Sottounità di paesaggio: paleoalveo inciso nelle alluvioni antiche, parzialmente boscato, soggetto a riporti, ed utilizzato a seminativo;

§ Unità cartografica: **PAD1/CON2** - complesso di:

(a) suoli da profondi a molto profondi, con scheletro da assente a scarso, tessitura media, reazione subalcalina, saturazione molto alta, scarsamente calcarei, drenaggio buono, class. U.S.D.A.: Typic Hapludalfs fine loamy, mixed, mesic, class. FAO: Haplic Luvisols;

(b) suoli moderatamente profondi su substrato ciottoloso eterogeneo, con scheletro da assente a scarso in superficie e da frequente ad abbondante in profondità, tessitura media, reazione neutra, saturazione alta, drenaggio buono, class. U.S.D.A.: Dystric-Fluventic Eutrochrepts, class. FAO: Dystric Cambisols;

Unità di paesaggio: terrazzo di erosione recente completamente boscato, a morfologia ondulata con presenza di affioramenti rocciosi (Ceppo) e con evidenza di antichi alvei fluviali;

§ Unità cartografica: **GIU2/CON1** – gruppo indifferenziato di:

(a) suoli moderatamente profondi su roccia carbonatica, con scheletro frequente, tessitura media, reazione da subalcalina ad alcalina, saturazione molto alta, drenaggio buono, class. U.S.D.A.: Typic Eutrochrepts coarse loamy, mixed, mesic, class. FAO: Eutric Cambisols;

(b) suoli profondi su substrato roccioso calcareo, con scheletro da comune a frequente, tessitura da moderatamente grossolana a moderatamente fine, reazione neutra, saturazione alta, drenaggio buono, class. U.S.D.A.: Dystric-Fluventic Eutrochrepts fine loamy, mixed, mesic, class. FAO: Eutric Cambisols;

Unità di paesaggio: aree in forte pendenza, completamente boscate, con affioramenti rocciosi (Ceppo) e fenomeni di colluviamento, con saltuaria presenza di piccoli lembi di terrazzi fluviali antichi;

§ Unità cartografica: GIU1 – consociazione di suoli moderatamente profondi su substrato ciottoloso eterogeneo o su roccia (Ceppo), con scheletro da assente a comune in superficie e frequente in profondità, tessitura media, reazione neutra in superficie e subalcalina in profondità, saturazione alta in superficie e molto alta in profondità, drenaggio da buono a rapido, class. U.S.D.A.: Typic Eutrochrepts coarse loamy, mixed, mesic, class. FAO: Eutric Cambisols.

N.B.:

-Precedentemente è stata indicata anche la descrizione di 4 unità cartografiche, ovvero MED2, SUI2, PNA1 e GIU2/CON1, che non ricadono nei limiti comunali di Medolago, anche se appartengono a zone molto prossime.

-Ogni unità cartografica è stata classificata secondo 2 diverse metodologie: quella statunitense-U.S.D.A. del 1987, e la FAO-Unesco del 1988.

Al fine di una migliore comprensione di quanto poc'anzi esposto si tengano presente i seguenti rapporti fra dati numerici ed aggettivi:

_ PROFONDITÀ:

<25 cm.....molto sottili
25-50 cmsottili
50-100 cmmoderatamente profondi
100-150 cmprofondi
>150 cm.....molto profondi.

_ SCHELETRO:

<1%.....assente
1-5%.....scarso
5-15%.....comune

15-35%.....frequente
35-70%.....abbondante
>70%.....molto abbondante.

_ TESSITURA: si fa riferimento al triangolo U.S.D.A. le cui classi sono state raggruppate come segue:

S e SFgrossolana
FS gross. FS, FS fine....moderatamente grossolana
FS molto fine, F, FL, L...media
FSA, FA, FLA.....moderatamente fine
A, AS, ASLfine.

_ REAZIONE:

<4-5.....molto acidi
4,5-5,5acidi
5,6-6,5subacidi
6,6-7,3neutri
7,4-7,8subalcalini
7,9-8,4alcalini
8,5-9,0molto alcalini
>9,0.....estremamente alcalini.

_ SATURAZIONE:

<35%.....molto bassa
35-50%.....bassa
50-60%.....media
60-75%.....alta
>75%.....molto alta.

_ CARBONATI TOT:

<0,5.....non calcareo
0,5-1molto scarsamente calcareo
1-5scarsamente calcareo
5-10moderatamente calcareo
10-20calcareo
20-40molto calcareo
>40.....estremamente calcareo.

_ DRENAGGIO:

rapido

buono

mediocre

lento

molto lento

impedito.

Di seguito si illustrano le principali caratteristiche dei suoli (capacità d'uso dei suoli, attitudine dei suoli all'uso irriguo, dilavamento potenziale dei nitrati). Con il colore verde, per ciascuna caratteristica, si evidenziano i suoli migliori, in arancio quelli con qualità intermedie, in magenta i peggiori.

CAPACITÀ D'USO DEI SUOLI che, per quanto concerne il territorio comunale di Medolago, suddivide i suoli come segue:

Classe di capacità d'uso I, suoli utilizzabili per tutte le colture:

- SUI1, suoli con limitazioni trascurabili

Classe di capacità d'uso II, suoli con modeste limitazioni che richiedono un'opportuna scelta delle colture e/o moderate pratiche conservative:

- SUI1, suoli con spessore non sempre ottimale;
- GRA1, suoli aventi una bassa saturazione in basi e frazione limosa dell'orizzonte arato spesso superiore al 60%;
- AND3, PAD1/CON2, suoli con spessore non sempre ottimale soggetti a deboli fenomeni colluviali;
- GRN1/BRZ2/ZEN1, GRN2, suoli aventi una bassa saturazione in basi, con presenza di falda occasionale sotto il metro di profondità e frazione limosa dell'orizzonte arato spesso superiore al 60%;
- RIN1, suoli con spessore non sempre ottimale, bassa saturazione in basi, presenza di falda temporanea a profondità variabile, frazione limosa dell'orizzonte arato spesso superiore al 60%;

Classe di capacità d'uso III, suoli con severe limitazioni, tali da ridurre la scelta delle colture e da richiedere speciali pratiche conservative:

- RIN1, suoli aventi moderato spessore (50-100);
- CRM2/CRI2, suoli aventi una saturazione in basi bassa o molto bassa, un'areazione acida o molto acida e spessore non sempre ottimale;
- CSR1/RIN1, suoli aventi moderato spessore con presenza di una falda temporanea ad una profondità di 50 cm circa per alcuni mesi dell'anno;

Classe di capacità d'uso IV, suoli con limitazioni molto severe, tali da ridurre drasticamente la scelta delle colture e da richiedere accurate pratiche di coltivazione:

- CSR1/RIN1, suoli aventi scarso spessore (25-50 cm);
- GHI1, suoli con drenaggio interno rapido;

Classe di capacità d'uso VII, suoli che presentano limitazioni severissime, tali da mostrare difficoltà anche per l'uso agro-silvo-pastorale:

- GIU1, suoli aventi un'elevata acclività, soggetti ad un forte rischio erosivo;

Classe di capacità d'uso VIII, suoli non idonei all'uso agro-silvo-pastorale, da tutelare come habitat naturale;

- Cave, discariche, riporti non stabilizzati, alluvioni attuali sciolte.

ATTITUDINE DEI SUOLI ALL'USO IRRIGUO, a Medolago si individuano le seguenti classi:

Classe n°1 = Arabile : territori molto idonei all'irrigazione in grado di fornire produzioni elevate a costi bassi con possibilità di scelta tra un'ampia gamma di colture. Queste aree hanno un'alta capacità di remunerazione degli investimenti.

- SUI1, GRN1/BRZ2/ZEN1;

Classe n°2 = Arabile : territori moderatamente idonei all'irrigazione dotati di una capacità produttiva inferiore rispetto alla classe precedente. Sono adatti ad un minor numero di colture e richiedono maggiori costi per l'irrigazione. Queste aree hanno una capacità media di remunerazione degli investimenti.

- AND3, PADI/CON2, CSR1/RIN1, GRN2, GRN1/BRZ2/ZEN1, RIN1;

Classe n°3 = Arabile : territori aventi un'attitudine marginale all'irrigazione, presentando un'idoneità inferiore rispetto alla precedente classe, a causa di maggiori limitazioni nel suolo, nella topografia e nel drenaggio. Queste aree presentano rischi di gestione più elevati rispetto alle classi precedenti ma, con appropriati interventi, possono avere un'adeguata capacità di remunerazione degli investimenti.

- CSR1/RIN1, GHI1;

Classe n°5 = Non arabile : territori che richiedono indagini supplementari per valutare la loro idoneità all'irrigazione e che perciò sono classificati come temporaneamente non irrigabili.

- CRM3/TER2, CRM2/CRI2;

Classe n°6 = Non arabile : territori che non raggiungono i requisiti minimi per poter essere collocati nelle classi arabili e che non danno sufficienti garanzie di remunerazione degli investimenti in regime irriguo.

- GIU1.

DILAVAMENTO POTENZIALE DEI NITRATI nei suoli; a tal proposito, i suoli del territorio comunale possono essere così suddivisi:

- **CSR1/RIN1, RIN1, CRM2/CR12:** suoli in cui il rischio di dilavamento dei nitrati è nullo o molto scarso, legato, in quest'ultimo caso, al verificarsi di eventi piovosi eccezionali. La corretta esecuzione delle normali pratiche di fertilizzazione azotata consente un ampio margine di sicurezza nei confronti del dilavamento;
- **SUI1, GRN1/BRZ2/ZEN1, GRN2, GRA1, AND3, PAD1/CON2:** suoli che presentano basso rischio di dilavamento dei nitrati. La corretta esecuzione delle normali pratiche di fertilizzazione azotata permette di evitare il dilavamento con un ragionevole margine di sicurezza, purchè si tenga conto del rischio costituito da periodi piovosi con precipitazioni intense ed abbondanti ancorchè non eccezionali;
- **GHI1, CRM3/TER2:** suoli che presentano un rischio moderato di dilavamento dei nitrati. Nell'impiego dei fertilizzanti azotati è necessario attuare tutti gli accorgimenti finalizzati alla limitazione del dilavamento, soprattutto in previsione dei periodi di maggiore piovosità;
- **GIU1:** suoli in cui, per la pendenza elevata o per la presenza di vegetazione naturale, non viene attuata alcuna pratica agricola.



Fig. 6 - carta pedologica; con la linea tratteggiata color magenta sono delimitati i suoli da preservare

I suoli SUI1, GRN1/BRZ2/ZEN1, AND3, PAD1/CON2, GRN2, RIN1, GRA1 sono tendenzialmente da preservare perché favorevoli dal punto di vista della capacità di uso dei suoli, dell'attitudine ad uso irriguo e per il dilavamento potenziale dei nitrati (ambiti tratteggiati con linea discontinua magenta in fig. 6).

IDROGRAFIA

Il territorio dell'Isola è definito dal corso di due importanti fiumi, il Brembo e l'Adda, che lo fasciano ad est ed a ovest. L'Adda, che riveste importanza nazionale, riceve le acque del Brembo proprio nel punto più a sud dell'Isola Bergamasca, in territorio di Capriate San Gervasio. All'interno di questo territorio scorrono altri corsi d'acqua che, seppur minori, rivestono indubbia importanza idraulica, idrogeologica e naturalistica: il Torrente Dordo, il Torrente Buliga, il Torrente Grandone, il Torrente Lesina, il Torrente Borgogna ed il Rio Zender. Tutti i torrenti citati fanno parte del bacino idrografico del Brembo che perciò comprende la maggior parte del territorio dell'Isola. Vi è poi un reticolato di canali e fossi irrigui (ad esempio la Roggia Masnada), specialmente nel settore meridionale del territorio, che derivando acque dai corsi d'acqua principali o minori e che sono funzionali allo svolgimento delle attività agricole.

All'interno del territorio comunale di Medolago scorrono il Fiume Adda e il Torrente Grandone.

Fiume Adda

Il Fiume Adda oltre che delimitare il margine occidentale del territorio dell'Isola, per un buon tratto rappresenta il confine occidentale della provincia di Bergamo.

I deflussi dell'Adda in territorio bergamasco sono regolati dalla diga di Olginate e dai differenti prelievi dei canali. La diga di Olginate costruita tra l'omonimo lago e il lago di Garlate, in funzione dal 1945, permette di variare il volume d'acqua contenuto all'intero Lario. L'innalzamento di un solo centimetro delle paratoie consente infatti di immagazzinare nel lago di Como circa 1 milione e 450mila m³ di acqua, alla quale se ne aggiungono altri 44mila se si considera anche il lago di Garlate, al cui emissario è collocata la diga. L'acqua a valle serve per l'irrigazione e per alimentare le centrali idroelettriche sull'Adda: per la prima la maggiore richiesta è in estate, per le seconde in inverno. La regolazione tende quindi ad avere il lago ai massimi livelli a fine maggio, per soddisfare le richieste di irrigazione, e a fine novembre, per quelle di aumento di produzione di energia elettrica.

Lungo il territorio dell'isola l'alveo dell'Adda presenta una pendenza media dello 0,29%.

Secondo quanto riportato nella relazione "Idrografia" degli Studi Preliminari per il Piano Territoriale di Coordinamento del Parco Adda Nord, l'afflusso medio annuo al bacino dell'Adda è valutato in 1235 mm, mentre il deflusso è di 33 l/sxKmq pari a 260 mc/s. L'andamento annuale delle portate fa registrare un massimo nel mese di giugno e un minimo in febbraio. Il regime di tale Fiume è condizionato, oltre che dalla presenza del lago di Lecco-Garlate-Olginate, anche di numerose opere di derivazione idraulica lungo il suo corso.

Il fiume scorre fortemente incassato rispetto al L.F.d.P. con un'escursione altimetrica di 79 m a Paderno e di 42 m a Trezzo; il suo percorso globale nell'Isola è approssimativamente di 22 km, da quota 195.5 m presso il ponte stradale di Cisano Bergamasco a quota 131.8 m alla confluenza col Brembo, con un dislivello di 63.7 m.

Bacino	Corso d'acqua	Progr. (km)	Sezione		Superficie km ²	Q20 m ³ /s	Q200 m ³ /s	Q500 m ³ /s	Idrometro
			Cod.	Denomin.					Denominazione
Adda	Adda sottolac.	170.550	200_23	Lavello	4572	860	1180	1300	Adda a S.Maria di Lavello
Adda	Adda sottolac.	190.560	167_03	Trezzo sull'Adda (monte confl. Brembo)	4640	860	1170	1300	

Tab. 1 - portate di piena Adda – profili di piena, PGRA, Autorità di Bacino del Fiume Po, marzo 2016

Torrente Grandone

Nasce dal Monte Canto e percorre la valle di origine fluvioglaciale, che suddivide in due porzioni il ripiano fluvioglaciale antico (Pianalto), tra i comuni di Carvico e Chignolo d'Isola, per poi immettersi nel Torrente Buliga. Il suo percorso, della lunghezza di circa 5 Km, è impostato su depositi fluvioglaciali completamente alterati (ferretto) e risulta essere soggetto a prolungati periodi di secca in concomitanza con il periodo estivo.

Il bacino imbrifero del Torrente Grandone, con sezione di chiusura sul confine con Calusco d'Adda, si sviluppa a 700 m s.l.m., in corrispondenza della cresta del Monte Canto, fino a quota 263 m s.l.m. in località casa Budriago. Il perimetro settentrionale del bacino coincide con la cresta sommitale del Monte Canto, naturale spartiacque con il territorio comunale di Pontida in Valle S. Martino. La parte orientale del bacino rientra nel territorio comunale di Sotto il Monte Giovanni XXIII ed in gran parte coincide con la valletta della Madonna delle Caneve; la parte occidentale ricade invece nel territorio di Villa d'Adda. Il bacino ha un'estensione completa di circa 6 Km² ed è solcato dai due alvei principali (quello verso Villa d'Adda ad ovest e quello verso Sotto il Monte Giovanni XXIII ad est) e, nella parte collinare a nord, da numerose vallecole laterali che si presentano fortemente incise e profonde. Verso sud la densità di drenaggio si riduce e si genera l'asta del Torrente Grandone.

La superficie del bacino è in gran parte ricoperta da vegetazione ad alto fusto; in particolare prevale la presenza di castagneti.

Strutture antropiche

Oltre ai caratteri naturali nella carta idrografica sono state riportate le principali opere antropiche presenti sul territorio di Medolago legate all'acqua. Si tratta di un paio di pozzi idropotabili di emungimento e per questo protetti e dotati di fasce di rispetto ai sensi di legge. Vi sono poi altre opere quali l'acquedotto, il collettore consortile, i bacini di accumulo, il reticolo fognario nel comparto urbanizzato, gli impianti di depurazione e di scarico sul suolo.

Si fa presente che vista la diffusa vulnerabilità del territorio comunale (assestamenti per il fenomeno degli occhi pollini) è opportuno prevedere tubazioni in grado di adattarsi ai cedimenti ed alle trazioni (ad es. corrugate) rispetto a quelle rigide che potrebbero lesionarsi più facilmente. Eventuali perdite possono esse stesse amplificare e/o alimentare i processi di cedimento in atto. È quindi opportuno effettuare attenti monitoraggi delle reti e, nel caso, prevedere adeguati interventi manutentivi.

Dal punto di vista idraulico si segnala che è stata effettuata da Arethusa un'analisi idrologica del Torrente Grandone secondo il tempo di ritorno $T = 100$ anni ai sensi della nell'allegato 4 "Criteri per la valutazione di compatibilità idraulica delle previsioni urbanistiche e delle proposte di uso del suolo nelle aree a rischio idraulico" alla D.g.r. n. 8/7374 del 28 maggio 2008.

IDROGEOLOGIA

Caratteri generali

L'assetto idrogeologico dell'Isola Bergamasca è direttamente influenzato dalla conformazione stratigrafica del sottosuolo.

In profondità vi è il substrato roccioso, cioè l'insieme delle rocce che sono state coinvolte nella formazione della catena alpina, che presenta una vergenza meridionale; si tratta generalmente di calcareniti ed arenarie, alternate a peliti, attribuibili alla prosecuzione sotterranea delle formazioni flischoidi cretache che affiorano sui colli di Bergamo. Al di sopra si sovrappongono argille marine fossilifere. In contatto erosionale con le argille, sono presenti grossi banchi di conglomerati poligenici che gradualmente passano, verso sud a ghiaie e sabbie più o meno limose. Verso la superficie, al di sopra dei conglomerati, si estendono spessori variabili di ghiaie grossolane, con matrice sabbiosa.

I processi di erosione, trasporto e deposito operati dai corsi d'acqua, che portarono alla messa in posto dei sedimenti nella successione sopra descritta, furono condizionati dalle situazioni paleoclimatiche che, per quanto riguarda l'inquadramento evolutivo della pianura bergamasca, si possono descrivere a partire dal "Messiniano" (5 milioni di anni fa circa). Infatti, terminati i grandi processi deformativi legati all'acme orogenetico alpino, le vallate alpine e prealpine si presentavano con profonde e strette incisioni, paragonabili a canyon, a causa del disseccamento del Mar Mediterraneo. Tale fenomeno comportò, per tutto il bacino Mediterraneo, l'abbassamento della superficie marina cioè della quota zero (regressione). Questa situazione provocò l'aumento repentino dei dislivelli topografici dei corsi d'acqua nelle vallate bergamasche già impostate, innescando un'intensa attività erosiva degli alvei, che originò forre molto profonde e incise nel substrato.

Successivamente, nel Pliocene (tra 4 e 2 milioni di anni fa), aumentò il livello del Mediterraneo e il mare risalì le valli Padane, dunque anche quelle bergamasche, profondamente scavate in precedenza. Si sviluppò una morfologia a rias, ovvero a fiordi, delimitati da coste alte nei quali sfociavano i corsi d'acqua che

discendevano le valli alpine. Si configurarono, così, ambienti in cui i sedimenti erano costituiti in prevalenza da argille, limi e depositi sabbiosi. La sedimentazione, in ambiente marino, inglobò nei sedimenti gusci di conchiglie, ancor oggi ben riconoscibili nei carotaggi ricavati dalla perforazione di pozzi. Nell'area bergamasca la linea di costa relativa alla massima ingressione marina è stata collocata tra le attuali quote 350 m e 400 m.

Tra la fine del Pliocene e l'inizio del Pleistocene si assiste ad una progressiva riduzione della profondità del mare Pliocenico, causata dalla concomitanza di più fattori come la tettonica, che comporta il sollevamento del sottosuolo, l'eustatismo e la forte sedimentazione. Fenomeni che comportano il progressivo ritiro del mare e che si concluderà stabilizzandosi con l'attuale linea di costa.

La regressione marina lascia, sulle superfici dalle aree pedemontane a quelle di pianura, bacini e specchi d'acqua di modesta profondità: laghi, stagni e lagune, i cui depositi sono ora rappresentati dalle argille cineree con presenza di molluschi d'acqua dolce e resti di vertebrati. A questo paleoambiente sono riferibili anche i livelli torbosi. Infine, i materiali erosi dalle vallate, dai blocchi rocciosi, ai ciottoli, alle ghiaie di varie dimensioni, sono stati trasportati e depositati raggiungendo notevoli spessori (centinaia di metri nella zona della media e bassa pianura). Costituiscono i depositi conglomeratici e quelli sovrapposti ghiaioso-sabbiosi, corrispondenti ai sedimenti fluvio-glaciali accumulatisi in varie fasi, succedutesi nell'ultimo milione e mezzo di anni, e che hanno portato al completo colmamento della depressione padana.

Le unità postglaciali posteriori sono testimonianza delle fasi glaciali deposizionali ed erosive che si sono succedute in tempi più recenti. Il Fiume Adda, in particolare, ha profondamente inciso la sua conoide mettendo a giorno i sedimenti più antichi (depositi villafranchiani) in conseguenza di un'elevata capacità erosiva connessa all'alta portata dello scaricatore glaciale ad esso afferente. Il Brembo risulta invece aver deposto le sue alluvioni al di sopra dell'unità conglomeratica a causa della sua limitata capacità erosiva, legata alla minor glacializzazione del suo bacino ed alla conseguente inferiore portata.

Per comprendere l'organizzazione delle falde in pianura ed i rapporti di alimentazione e scambio tra acque superficiali e acque più profonde, è importante osservare che i corpi ghiaiosi e conglomeratici costituiscono il "condotto" naturale d'infiltrazione di distribuzione delle acque di falda, dalla superficie nel sottosuolo. Queste sono raggiunte dai pozzi per l'alimentazione di reti acquedottistiche o per utilizzi produttivi. Tali "condotti", si dipartono, dunque, dallo sbocco delle attuali valli, ovvero dagli apici dei conoidi dei corsi d'acqua, aprendosi a ventaglio verso la pianura.

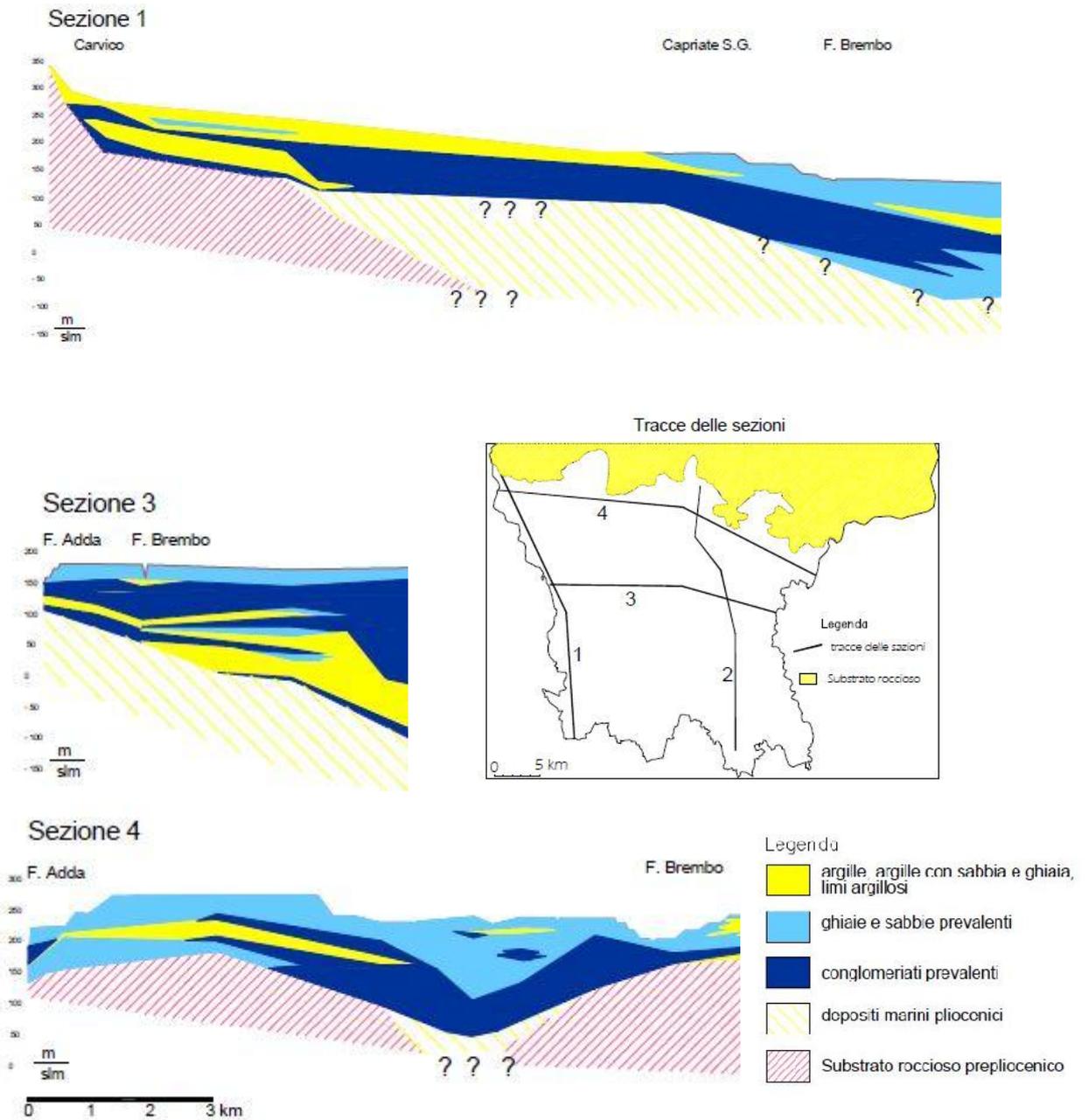


Fig. 7 - sezione stratigrafica tratta dalla pubblicazione “Monitoraggio delle acque sotterranee della provincia di Bergamo”, ARPA Lombardia, Provincia di Bergamo, CNR

Sulla base delle analisi idrogeologiche e stratigrafiche sono state distinte, per la zona in esame, alcune “unità idrogeologiche” che vengono di seguito illustrate.

Unità Villafranchiana: detta anche “unità delle argille sotto ceppo” è costituita da limi argillosi/sabbiosi e da argille di origine continentale grigio-azzurri con livelli di torbe nerastre ed intercalazioni lenticolari sabbiose che fungono da acquiferi; infatti in essa vi possono essere falde confinate di scarsa potenzialità (sul breve periodo anche produttive, che vanno però esaurendosi rapidamente) con portate specifiche quasi sempre inferiori a 1 l/sxm, eccezionalmente di 10 l/sxm. La permeabilità è generalmente bassa. Nella zona prossima ai rilievi, tali litotipi sono assenti o presenti in maniera discontinua e sovrastano direttamente il substrato roccioso; man mano ci si sposta verso la pianura si approfondiscono sino ad oltre 100-200 m di profondità e per questo nel settore vallivo dell’Isola sono difficilmente intercettati dai pozzi.

Unità Ghiaiosa - Argillosa: dall’unità precedente si passa verso l’alto gradualmente ad argille limose o argille con ghiaia, alternate a livelli grossolani (ghiaie e sabbie). Si tratta di un’unità di transizione tra l’ambiente lacustre-palustre e quello alluvionale. Questa alternanza di litotipi più permeabili con terreni meno permeabili favorisce la creazione di acquiferi separati (acquiferi semiconfinati o confinati) in corrispondenza dei quali possono essere presenti falde in pressione.

Lo spessore dell’unità è variabile, solitamente tra i 20 e i 40 m.

Unità Ghiaiosa - Conglomeratica: a tetto dei depositi Villafranchiani si riscontra la presenza di conglomerati riferibili al Ceppo dell’Adda, del Brembo e Poligenico, affioranti lungo le scarpate che fiancheggiano le forre in cui scorrono i principali corsi d’acqua (Adda e Brembo). Nell’area in esame lo spessore dell’Unità può superare anche i 200 m (zona di Filago-Mapello), mentre il suo tetto si rinviene generalmente a circa 20 – 40 m dal p.c..

Solitamente presenta continuità laterale e spessore consistente, con frequenti intercalazioni ghiaiose-sabbiose, anche di potenza rilevante, e subordinatamente argilloso-limose. Il tetto dell’unità ha una morfologia solitamente irregolare a causa dell’intensa azione erosiva dei fenomeni glaciali e fluvioglaciali, successivi alla sua deposizione.

I valori di permeabilità e di porosità variano molto in funzione della litologia, del grado di cementazione, e per la presenza o meno di fratture e cavità; nei litotipi più permeabili sono generalmente compresi tra 1 e 10^{-3} cm/s. La trasmissività media è nell’ordine di 400 cmq/s che consente portate specifiche nell’ordine di 10-30 l/sxm fino a massimi di 40-50 l/sxm.

Questa unità generalmente è sede della falda freatica e rappresenta il principale acquifero dell’Isola Bergamasca.

La circolazione idrica nei conglomerati avviene lungo direzioni preferenziali, corrispondenti ai livelli meno cementati; anche la variabilità laterale del grado di cementazione appare elevata, con passaggio rapido da conglomerati a ghiaie sciolte. In questa unità sono stati notati i più vistosi fenomeni di alterazione e di dissoluzione carbonatica. Oltre alla disomogenea distribuzione della cementazione sono presenti superfici di discontinuità che ne determinano un comportamento idrogeologico estremamente variabile, con lo sviluppo

di una circolazione idrica sotterranea lungo vie preferenziali, del tutto simile a quella carsica. Gli scambi idrici tra i livelli permeabili sono comunque frequenti anche in relazione alla limitata estensione laterale dei livelli più fini limoso-argillosi, intercalati ai conglomerati.

Unità eterogenea Ghiaiosa - Sabbiosa - Limosa: è nota anche come unità fluvioglaciale antica che si sviluppa al tetto dei conglomerati; è riferibile ai sedimenti fluvioglaciali che costituiscono la zona di altopiano (pianalti ferrettizzati, ad esempio Unità di Medolago). Essa è costituita da limi e limi-argillosi con ghiaia e ciottoli; significativa è la profonda alterazione superficiale di colore rossastro dei depositi (“ferretto”). La caratteristica principale di tale unità è la bassa permeabilità per la presenza di frazioni fini (argilla e limo); ciò determina un discreto grado di protezione superficiale degli acquiferi nei confronti dei fenomeni di inquinamento.

In questa unità la falda risulta assente o limitata a falde sospese, contenute in piccoli acquiferi a ridotta trasmissività, corrispondenti alle intercalazioni più grossolane, di natura prevalentemente ghiaiose-sabbiose.

La potenza complessiva dell'unità si aggira sui 40 m di spessore nella zona di raccordo con la collina, mentre si riduce verso sud e sud-est (15-25 m nella zona di Bonate).

Unità Ghiaiosa – Sabbiosa: in tale unità sono raggruppate sia le ghiaie, sia le sabbie dei sedimenti alluvionali recenti (Unità Postglaciale Olocenica) e fluvioglaciali wurmiani (Unità di Carvico, Unità di Cantù) e tardivo (Unità di Treviglio). L'unità rappresenta, nell'area in esame, la porzione di sedimenti non saturi al di sopra del livello piezometrico. La funzione principale di questi depositi è quella di consentire una rapida infiltrazione delle acque superficiali destinate alla ricarica delle falde. I valori di permeabilità sono da medi ad elevati ($>10^{-4}$ cm/s) consentendo sia una facile ricarica della falda ad opera delle acque di infiltrazione, che un'elevata capacità d'infiltrazione delle sostanze inquinanti.

La trasmissività può raggiungere i 1000 cmq/s.

L'unità ghiaioso-sabbiosa non raggiunge mai comunque spessori considerevoli nonostante si arealmente piuttosto estesa.

In base a queste evidenze si possono delineare i caratteri che contraddistinguono l'assetto idrogeologico del territorio dell'Isola, di seguito elencati.

- La struttura idrogeologica della zona in esame è determinata essenzialmente dagli eventi glaciali e fluviali che hanno contraddistinto i bacini dei fiumi principali Adda e Brembo. Gli acquiferi sono riferibili ai conoidi sia antichi che recenti di tali corsi d'acqua. Questi ultimi si sono formati sulle depressioni del substrato roccioso pre-quaternario e dei sovrastanti depositi Villafranchiani fino a colmarli.

- L'acquifero in gran parte del territorio dell'Isola è indifferenziato, praticamente monofalda, a causa della scarsa persistenza dei livelli impermeabili (acquicludi). Solo localmente, nel settore medio - vallivo, si rilevano acquiferi differenziati.
- Le litozone più frequentemente distinguibili sovrastanti il substrato roccioso sono quella ghiaiosa-sabbiosa e quella conglomeratica.
- Nella parte medio-valliva dell'Isola, da 100 m ad oltre 200 m di profondità da p.c. si nota distintamente la litozona più profonda, ovvero la villafranchiana nella quale possono esserci delle falde profonde, solitamente confinate o semiconfinate di scarsa produttività.
- La falda libera risiede principalmente nell'unità ghiaioso-conglomeratica, interessando localmente anche le altre (ghiaiosa-sabbiosa-limosa e ghiaiosa-sabbiosa). I conglomerati rappresentano degli acquicludi in caso di livelli ben cementati e non fratturati; mentre in presenza di depositi sciolti o di livelli fratturati o vacuolari costituiscono un valido acquifero per la permeabilità primaria o secondaria. Verso la base dell'unità ghiaioso-conglomeratica, in caso di differenziazione degli acquiferi, può essere distinta localmente una falda profonda, solitamente dalle migliori caratteristiche qualitative, ma meno produttiva, talvolta da semiconfinata a confinata.
- Vista la blanda differenziazione degli acquiferi a causa della discontinuità degli acquicludi, gli scambi tra le varie falde non sono infrequenti, talvolta agevolati dagli stessi pozzi di approvvigionamento che rappresentano punti critici di miscelamento qualitativo delle acque.

Soggiacenza della falda e flussi idrici sotterranei

La profondità del livello piezometrico della falda è un dato importante sia per finalità idrogeologiche che per stabilire il grado di vulnerabilità a cui la stessa è esposta ad eventuali contaminanti.

È bene da subito precisare che per poter valutare compiutamente il comportamento della falda in condizioni meteorologiche differenti sarebbe necessario disporre di un monitoraggio piezometrico esteso. Dalla ricerca bibliografica sono stati reperiti i dati piezometrici riportati nelle stratigrafie di pozzo che, inevitabilmente, sono puntuali e rilevati in periodi differenti. Tali dati quindi hanno valenza indicativa in quanto sono suscettibili di variazioni annuali e stagionali dovute agli apporti meteorici ed al regime dei prelievi antropici. Ciò è ben evidente analizzando il monitoraggio delle acque sotterranee della provincia di Bergamo, effettuato da ARPA negli anni 1999, 2000, 2001, 2008 e 2011.

Le oscillazioni annuali della falda sono generalmente comprese tra 1 e 5 m, ma possono arrivare anche a 10 m come osservato nel pozzo di Suisio (monitoraggio ARPA 1999-2000).

Tendenzialmente le risalite della superficie piezometrica della falda si verificano a seguito di periodi piovosi o di scioglimento delle nevi; mentre gli abbassamenti sono conseguenti agli scarsi apporti meteorici o al prelievo antropico intensivo.

Questi dati, unitamente alle specifiche carte idrogeologiche del comune, hanno consentito di ricostruire il livello piezometrico a grande scala della superficie piezometrica che si dispone in prima analisi da nord verso

sud, anche se è bene notare alcune leggere divergenze locali, dovute alla specifica conformazione stratigrafica del sottosuolo e dell'acquifero. È evidente, rispetto a questa direttrice prevalente, l'azione drenante esercitata in primis dal Fiume Adda a Medolago; in questo settore infatti le linee di flusso subiscono il richiamo del corso d'acqua disponendosi da NE verso SW.

La soggiacenza è variabile, da profonda nel settore NE del territorio comunale (intorno a -80 m da p.c.), divenendo superficiale in fregio al Fiume Adda.

Non si esclude che vi possano essere falde di ridotta estensione negli strati più superficiali di sottosuolo, o al di sotto di corsi d'acqua minori.

Il gradiente della falda nel settore settentrionale è generalmente nell'ordine del 2%.

Permeabilità

Nella valutazione della permeabilità si è cercato di tenere in considerazione sia la permeabilità dei suoli che quella dei depositi immediatamente sottostanti. Il territorio comunale di Medolago risulta perciò suddiviso in tre differenti classi di permeabilità:

- aree a bassa permeabilità, coincidenti con il Pianalto ferrettizzato caratterizzato dalle litologie dell'Unità di Medolago e con valori di permeabilità compresi tra 10^{-6} e 10^{-4} cm/s;
- aree a permeabilità media, coincidenti essenzialmente con le unità di Carvico e Cantù, a permeabilità comprese tra i 10^{-4} ed i 10^{-2} cm/s;
- aree ad alta permeabilità, corrispondenti alle alluvioni attuali/antiche, lungo il corso del fiume Adda, dove si registrano valori superiori a 10^{-2} cm/s.

Per vulnerabilità di un acquifero è da intendersi la facilità o meno con cui esso viene raggiunto dagli eventuali inquinanti liquidi o idroveicolati, a partire dalla superficie, e con cui gli stessi possono propagarsi e persistervi.

Nella valutazione del grado di vulnerabilità di un acquifero gli elementi che entrano in gioco sono i seguenti:

- caratteristiche idrogeologiche (porosità efficace, permeabilità verticale ed orizzontale, velocità del deflusso idrico sotterraneo), che determinano sia la velocità e l'efficacia della percolazione dell'inquinante, sia l'azione autoepurante (capacità di depurazione, filtrazione, adsorbimento, degradazione chimica e biologica, ecc.), insita nei diversi terreni;
- la soggiacenza piezometrica (spessore della zona insatura), a cui si rifà in modo direttamente proporzionale l'azione epurante dei terreni;
- le caratteristiche tessiturali e di spessore di un'eventuale copertura a bassa permeabilità che costituisce un elemento di protezione per l'acquifero sottostante.

Alla luce di quanto sin qui esposto, il territorio comunale di Medolago risulta interessato da tre classi di vulnerabilità, grosso modo coincidenti con le classi di permeabilità sopra descritte:

- aree a vulnerabilità bassa, coincidente con il Pianalto ferrettizzato, in cui si riscontra una bassa permeabilità ed una soggiacenza della falda freatica di circa 40 m o superiore;
- aree a vulnerabilità media, coincidenti con le Unità di Cantù e Carvico, unità caratterizzate da permeabilità media e da una soggiacenza della falda freatica nell'ordine dei 30 m;
- aree a vulnerabilità alta, coincidenti con le alluvioni ed una soggiacenza della falda freatica nell'ordine di 20 m o superficiale.

CARATTERISTICHE LITOTECNICHE DEL TERRITORIO

Di seguito vengono stimati i principali parametri geotecnici in funzione delle caratteristiche litologiche e stratigrafiche delle differenti unità presenti nel territorio. Si precisa che tali indicazioni hanno valenza orientativa pianificatoria e non sostitutiva delle indagini sito-specifiche, da eseguirsi ai sensi di legge nell'ambito dei singoli progetti a cui devono essere commisurate.

Unità delle alluvioni attuali/antiche (Unità Postglaciale Olocenica)

Risulta costituita da depositi alluvionali e fluvioglaciali, formati da ghiaie da fini a grossolane a supporto clastico con matrice sabbiosa che si presentano in strati planari, da limi, sia massivi che laminati, e da argille. Nelle aree di pianura questi depositi vengono ulteriormente distinti in funzione delle aree di influenza dei principali corsi d'acqua, al fine di cogliere al meglio le caratteristiche distintive, e in funzione di particolari situazioni deposizionali, che possono essere ricondotte alla sedimentazione fluviale olocenica. Nell'area in esame tali depositi risultano essere sempre incassati all'interno delle incisioni fluviali scavate dai torrenti glaciali durante l'ultima espansione glaciale e sono separati dalle alluvioni fluvioglaciali da orli di terrazzo con dislivelli spesso superiori ai 10 m. Essi sono organizzati in una serie di terrazzi posti a differente quota e la cui distinzione viene fatta su base pedologico-morfologica.

LITO-ZONA GEOTECNICA OMOGENEA	FORMAZIONI GEOLOGICHE INTERESSATE	COLTRE DI ALTERAZIONE SUPERFICIALE			
		SPESSORE (m)	PESO DI VOLUME (t/mc)	ANGOLO ATTR. EFF. (°)	COESIONE (kg/cm ²)
A	Unità' Post-glaciale	0 - 0,5	1,7 - 1,9	22 - 29	0
		DEPOSITI SOTTOSTANTI - GHIAIE IN MATRICE SABBIOSA			
		PESO DI VOLUME (t /mc)	ANGOLO ATTRITO EFF. (°)	COESIONE (kg/cm ²)	
		1,8-2,0	30 - 35	0	

N.B. valori puramente indicativi da verificare tramite indagini geotecniche sito-specifiche

Unità di Cantù e Unità di Carvico

Nell'area in esame l'unità di Cantù è rappresentata da depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie con ciottoli arrotondati a supporto clastico e di matrice, con matrice in genere sabbiosa e sabbie spesso a laminazione

incrociata. Tali depositi risultano grossolanamente stratificati e costituiscono corpi lenticolari o stratoidi, spesso con strutture interne quali gradazioni inverse o normali, embricature dei ciottoli, cluster e laminazione incrociata.

L'unità di Carvico presenta una superficie limite superiore caratterizzata da una morfologia ben conservata, da una copertura loessica presente con una certa discontinuità e da un profilo di alterazione evoluto con una profondità massima del fronte di decarbonatazione compresa fra 3 e 4 m. L'area in esame è caratterizzata dalla presenza della parte di unità, legata a depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie a supporto elastico con matrice sabbiosa, ciottoli da arrotondati a subspigolosi con un diametro medio di 4-5 cm ed aventi una stratificazione rozza. Carattere costante di tale unità, soprattutto lungo la sponda destra del Brembo, è la presenza di sequenze sommitali limose che annegano rapidamente, e senza termini granulometrici intermedi, le ghiaie sottostanti.

LITO-ZONA GEOTECNICA OMOGENEA	FORMAZIONI GEOLOGICHE INTERESSATE	COLTRE DI ALTERAZIONE SUPERFICIALE			
		SPESSORE (m)	PESO DI VOLUME (t/mc)	ANGOLO ATTR. EFF. (°)	COESIONE (kg/cm ²)
	Unità' di Cantu' (B)	0,5 - 2,0	1,7 - 1,9	22 - 29	0,1-0,3
		DEPOSITI SOTTOSTANTI - GHIAIE E CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSA			
	Unità' di Carvico (C)	PESO DI VOLUME (t/mc)	ANGOLO ATTRITO EFF. (°)	COESIONE (kg/cm ²)	
		1,8 - 2,0	30 - 35	0	

N.B. valori puramente indicativi da verificare tramite indagini geotecniche sito-specifiche

Unità di Medolago

È costituita da depositi loessici limoso-argillosi, fluitati in varia misura a seconda della posizione topografica, sovrapposti a depositi fluvioglaciali e/o alluvionali costituiti da ghiaie a supporto di matrice limoso-argillosa, alterate per tutto il loro spessore. Nonostante l'alterazione molto spinta, la petrografia dei ciottoli, prevalentemente arrotondati e discoidali, permette di riconoscere una provenienza alpina testimoniata da un'elevata presenza di rocce endo-metamorfiche, fra cui intrusivi basici e ultrabasici.

L'Unità risulta fortemente pedogenizzata: i suoli si sviluppano su limi di origine eolica e sulle sottostanti ghiaie.

L'Unità giace alla sommità di un terrazzo sensibilmente più elevato rispetto al livello topografico della pianura e delimitato su tutti i lati da scarpate nette, con dislivelli fino a 20 m. La superficie è incisa da un paleo-reticolo idrico, dato da forme depresse a fondo prevalentemente piatto o concavo e spesso discordante rispetto alle direzioni di deflusso del reticolo attuale. In corrispondenza dei margini del pianalto i corsi d'acqua attuali hanno generato incisioni profonde ed acute, indice di morfogenesi ancora attive. La composizione petrografica dei depositi, che testimonia un'area di alimentazione estesa all'attuale bacino dell'Adda, indica che l'Unità è costituita da depositi fluvioglaciali associati a fronti moreniche, da ricercarsi al di fuori dell'area in esame.

LITO-ZONA GEOTECNICA OMOGENEA	FORMAZIONI GEOLOGICHE INTERESSATE	COLTRE DI ALTERAZIONE SUPERFICIALE				
		SPESSORE (m)	PESO DI VOLUME (t/mc)	ANGOLO ATTR. EFF. (°)	COESIONE Cu (kg/cmq)	MODULO ELASTICO (kg/cmq)
D	Unita' di Medolago	0 - 3,0	1,7 - 1,9	20 - 26	0,1-0,3	20-100
		LIMI ARGILLOSI DA 4 A 20 m max DI PROFONDITA' CON OCCHI POLLINI				
		PESO DI VOLUME (t/mc)	ANGOLO D'ATTRITO EFF. (°)	COESIONE (kg/cmq)	MODULO ELASTICO (kg/cmq)	
		1,6 - 1,8	15 - 25	0	0-50	
		LIMI ARGILLOSI DA 4 A 20 m max DI PROFONDITA' SENZA OCCHI POLLINI				
		PESO DI VOLUME (t/mc)	ANGOLO D'ATTRITO EFF. (°)	COESIONE (kPa)	MODULO ELASTICO (kg/cmq)	
		1,8 - 2,1	25 - 30	0,2-1,0	50 - 100	
		TERRENI GHIAIOSO-SABBIOSI DA 15 - 20 m DI PROFONDITA'				
PESO DI VOLUME (t/mc)	ANGOLO D'ATTRITO EFF. (°)	COESIONE (kg/cmq)	MODULO ELASTICO (kg/cmq)			
1,8 - 2,0	32 - 35	0	200 - 400			

N.B. valori puramente indicativi da verificare tramite indagini geotecniche sito-specifiche

Il fenomeno degli occhi pollini (si veda in particolar modo indagini n. 6 e 8), frequente in depositi di questa origine (anche se presenti prevalentemente sul “versante milanese” del fiume Adda), è associato alla possibilità di rilevare, anche a debole profondità dal piano campagna, delle cavità, talora parzialmente riempite da terreni di scarsissima consistenza, denominati per l’appunto “occhi pollini”. Di forma a volte cilindrica, o talvolta ad imbuto, lentiformi o sub-sferici, hanno dimensioni variabili: il diametro varia da 0,5 a 1,5 m e la profondità può raggiungere anche i 12-13 m. Il limite inferiore è molto spesso in corrispondenza di lenti o livelli di ghiaie cementate (conglomerati). Se superficiali, tali cavità possono dar luogo a franamenti e alla creazione di “pozzi e/o doline”, mentre se presenti a profondità inferiori, sono riempite da materiale limoso.

La genesi di queste cavità è riconducibile ad una circolazione assimilabile a quella “carsica”, in grado di asportare meccanicamente il materiale fine inconsistente e chimicamente insolubile. Il più delle volte, queste situazioni restano in un equilibrio labile, fino a che una causa esterna porta al collasso: tale causa è quasi sempre riconducibile all’infiltrazione massiccia e concentrata di acqua che, percolando nel terreno e asportando le frazioni granulometriche più fini, agevola e accelera la formazione di vuoti e il collasso della porzione di terreno interessato dagli “occhi pollini”. Risulta pertanto evidente come tale fenomeno sia notevolmente pericoloso per le fondazioni delle strutture, in quanto una struttura appoggiata in corrispondenza di un occhio pollino è fortemente a rischio per la sua stabilità.

Si sono avuti storicamente fenomeni anche macroscopici dell’evidenza di “occhi pollini”, con manifestazione di tali cavità e formazioni di crolli superficiali: a Concorezzo (1957) si formò una cavità di 20-30 m di diametro, mentre a Bernareggio (1998) si formò un analogo sprofondamento di dimensioni più contenute, ma sufficiente a coinvolgere un autobus di linea con le ruote e la parte anteriore della carrozzeria.

Nel caso dei cedimenti di via Europa a Medolago, si sono osservati situazioni simili per un’estensione di almeno 20-25 m, comprese tra le profondità di 2,5-3 m e circa 14 m di profondità, oltre ad altri due altri

potenziali “occhi pollini”, associabili a due prove penetrometriche eseguite a nord e a sud dell’attiguo edificio scolastico. Sulla base delle testimonianze fornite dal comune, è stato inoltre appurato come in passato si fossero già registrati dissesti simili nei seguenti punti di Medolago (si veda i bolli rossi indicati nella carta litotecnica):

- all’interno del parcheggio in corrispondenza dell’incrocio tra la via Europa e la via Alessandro Manzoni (2009);
- in via IV Novembre in corrispondenza di circa metà dell’attuale campo sportivo (2009)
- in via IV Novembre di fronte a municipio e nei pressi del cimitero (2019).



Fig. 8 - cedimento superficiale conseguente al fenomeno degli occhi pollini nei pressi del cimitero di Medolago (2019)

Ceppo del Brembo

E' costituito da depositi alluvionali dati da conglomerati a prevalente supporto clastico e da conglomerati arenacei al limite fra supporto clastico e di matrice, con ciottoli da arrotondati a subarrotondati. Entrambi presentano caratteri estremamente grossolani nella parte più settentrionale, con dimensione media di 25-30 cm e massima superiore al metro, mentre verso sud le dimensioni decrescono fino ad una media di circa 10 cm ed ancora più a sud fino a 2-3 cm. Anche le strutture sedimentarie variano con la latitudine: verso nord i conglomerati paiono preferenzialmente organizzati in grossolani strati suborizzontali, mentre nelle aree più meridionali prevale una stratificazione incrociata planare più definita. Compaiono inoltre con una certa frequenza lenti e strati arenacei a prevalente stratificazione incrociata planare. Nelle parti basali si hanno lenti siltose e siltoso-argillose di spessore e lunghezza metrica con gusci di molluschi continentali, in genere intercalate a livelli conglomeratici e con struttura interna laminata o massiva.

LITO-ZONA GEOTECNICA OMOGENEA	FORMAZIONI GEOLOGICHE INTERESSATE	CONGLOMERATI E CONGLOMERATI ARENACEI - MATERIALE ROCCIA			
		PESO DI VOLUME (t /mc)	ANGOLO DI ATTRITO (°)	COESIONE (kg/cmq)	RESISTENZA A COMPRESSIONE (MPa)
E	Ceppo del Brembo	2,0 - 2,5	35 - 45	0,1 - 2,0	50 - 100

N.B. valori puramente indicativi da verificare tramite indagini geotecniche sito-specifiche

Di seguito si elencano gli studi consultati.

Numero di riferimento in tavola 06: 1

- ❖ Riferimento: analisi geotecnica eseguita per conto della ditta Wuber S.p.a. (febbraio 2000)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Medolago
- ❖ Indagini eseguite: numero 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti a profondità variabili tra -6 e -25 metri dal piano campagna e di prove penetrometriche S.P.T. in foro

Numero di riferimento in tavola 06: 2

- ❖ Riferimento: relazione geologico-geotecnico con indicazioni idrogeologiche sui terreni siti in via Bergamo di supporto al progetto di realizzazione di nuovi edifici residenziali nell'ambito del "PL - Via Bergamo". (Dr. geologo Norberto Invernici – aprile 2007)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Medolago (coltre superficiale)
- ❖ Indagini eseguite: n. 15 prove penetrometriche dinamiche continue DPH

Numero di riferimento in tavola 06: 3

- ❖ Riferimento: studio geologico e idrogeologico a supporto della pratica "sportello unico attività produttive" per gli interventi previsti presso Cascina Abati, in via Torre n. 11 (Dr. geologo Alessandro Ratazzi - Luglio 2008)
- ❖ Unità litologiche caratterizzate: Unità di Medolago e Unità di Cantù
- ❖ Indagini eseguite: raccolta di dati bibliografici provenienti da indagini geognostiche e relazioni geotecniche eseguite nel medesimo ambito geologico geomorfologico

Numero di riferimento in tavola 06: 4

- ❖ Riferimento: costruzione palazzina residenziale plurifamiliare – P.L. 9/B – Lotto 1-2 in via Ugo Foscolo (Dr. Michela Pecchio - Ottobre 2008)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Medolago
- ❖ Indagini eseguite: n. 3 prove penetrometriche dinamiche SCPT

Numero di riferimento in tavola 06: 5

- ❖ Riferimento: indagine geognostica con sondaggi stratigrafici, prove di permeabilità e prove penetrometriche per il piano di lottizzazione residenziale "Casa La Fornace" in Via per le Cave (SoGeTec - Luglio 2006)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Medolago
- ❖ Indagini eseguite: n. 1 sondaggio a carotaggio continuo fino a 17 m, n. 3 prove di permeabilità in foro, tipo Lefranc, n. 5 prove penetrometriche dinamiche SCPT

Numero di riferimento in tavola 06: 6

- ❖ Riferimento: indagine geotecnica con prove penetrometriche per il progetto di realizzazione di alcuni edifici residenziali in via Ugo Foscolo (SoGeTec - Agosto 2009)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Medolago
- ❖ Indagini eseguite: n. 5 prove penetrometriche dinamiche SCPT

Numero di riferimento in tavola 06: 7

- ❖ Riferimento: indagine geotecnica con prove penetrometriche per il progetto di realizzazione di una villetta unifamiliare in via Mons. Clemente Riva (SoGeTec - Agosto 2009)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Medolago
- ❖ Indagini eseguite: n. 2 prove penetrometriche dinamiche SCPT

Numero di riferimento in tavola 06: 8

- ❖ Riferimento: indagine geognostica con sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo, prove penetrometriche SCPT e monitoraggio con basi estensimetriche per lo studio delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni interessati dal cedimento di un tratto di strada in via Europa (SoGeTec - Settembre 2009)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Medolago
- ❖ Indagini eseguite: n. 53 prove penetrometriche dinamiche SCPT; n. 3 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo

Numero di riferimento in tavola 06: 9

- ❖ Riferimento: studio geotecnico per rilocalizzazione di Cascina Molino di Sopra, in via Adda (Dr geologo Alberto Manella - Settembre 2008)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Cantù
- ❖ Indagini eseguite: n. 6 prove penetrometriche dinamiche SCPT

Numero di riferimento in tavola 06: 10

- ❖ Riferimento: studio geologico-geotecnico di supporto al progetto di ristrutturazione di Cascina San Giuliano (Dr geologo Andrea Gritti - Giugno 2011)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Cantù
- ❖ Indagini eseguite: n. 8 prove penetrometriche dinamiche SCPT, indagine sismica MASW

Numero di riferimento in tavola 06: 11

- ❖ Riferimento: indagine geotecnica per la realizzazione di due palazzine ad uso residenziale in Vicolo Roma (Dr geologo Fabio Baio - Marzo 2012)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Medolago
- ❖ Indagini eseguite: n. 6 prove penetrometriche dinamiche SCPT

Numero di riferimento in tavola 06: 12

- ❖ Riferimento: indagine geologico-geotecnica e sismica per la realizzazione di edifici rurali in Via Adda (Dr geologo Norberto Invernici - Luglio 2016)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Post-glaciale
- ❖ Indagini eseguite: n. 2 prove penetrometriche dinamiche SCPT, indagine sismica HVRS

Numero di riferimento in tavola 06: 13

- ❖ Riferimento: indagine geologica e geotecnica per ristrutturazione di capannoni industriali in via Roma - Strada Provinciale 170 “Rivierasca” (Dr geologo Fabio Baio - Ottobre 2017)
- ❖ Unità litologica caratterizzata: Unità di Medolago
- ❖ Indagini eseguite: n. 6 prove penetrometriche dinamiche SCPT, indagine sismica MASW

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO

Come riportato nella note illustrative dello studio geologico previgente (Dott. Geol. Ermanno Dolci, 2004) il territorio comunale di Medolago non risulta essere compreso nell’elenco originariamente allegato alla L. 25 novembre 1962 n°1684 e successivamente sottoposto a modifiche ed integrazioni e riportante le località sismiche di prima e seconda categoria.

Ciononostante, indipendentemente dall’appartenenza o meno del comune al suddetto elenco, sulla base di quanto previsto al punto 4.1 della D.G.R. 6 agosto 1998 - n. 6/37918 è necessario individuare sul territorio comunale “le aree a maggior amplificazione sismica ed i relativi elementi che producono tale amplificazione”.

L’amplificazione sismica locale è legata a modificazioni del tragitto e delle caratteristiche delle onde sismiche durante il loro percorso dalla sorgente alla superficie terrestre.

Tali modificazioni risultano legate alle proprietà del sito, definite “fattori locali”, costituiti dalla geologia superficiale e dalla morfologia superficiale, le cui complesse interazioni e combinazioni comportano una serie di fenomeni, quali amplificazioni dello spostamento, riflessioni multiple, generazione di onde superficiali, focalizzazioni delle onde sismiche ed interferenze di vario genere. Questi fenomeni si traducono poi nei cosiddetti “effetti locali” o “effetti di sito” che possono essere amplificazione (o deamplificazione) dell’ampiezza dello scuotimento superficiale, rispetto alle aree circostanti, aumento della durata dello scuotimento, esaltazione (o abbattimento) di determinate frequenze di oscillazione e polarizzazione del moto del suolo. L’insieme degli “effetti di sito”, riscontrabili in una data area, ne caratterizza la “risposta sismica locale”.

Come riportato nelle note illustrative dell’aggiornamento allo studio geologico previgente (Dott. Geol. Ermanno Dolci, 2009), con l’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, pubblicata sulla G.U. n. 105 dell’8 Maggio 2003 Supplemento ordinario n. 72, e successive integrazioni, vengono individuate in prima applicazione le zone sismiche sul territorio nazionale e fornite le normative tecniche da adottare per le costruzioni nelle zone

sismiche stesse. Tale Ordinanza è entrata in vigore, per gli aspetti inerenti la classificazione sismica, il 23 Ottobre 2005, data coincidente con l'entrata in vigore del d.m. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G.U. n. 222 del 23 Settembre 2005, Supplemento ordinario n. 159. La Regione Lombardia, con d.g.r. n. 14964 del 7 Novembre 2003, che ha preso atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata Ordinanza 3274/03. Ai fini della definizione della pericolosità sismica di progetto, il D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni", fornisce i parametri per definire la pericolosità sismica di base (in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale), su reticolo di riferimento nazionale, per un dato intervallo di riferimento.

La classificazione sismica ante 2014 prevedeva, per la Provincia di Bergamo, la presenza di quattro comuni in Zona 2, di 85 comuni in Zona 3 e di 155 comuni in Zona 4. Il Comune di Medolago ricadeva in Zona Sismica 4.

Il presente studio di approfondimento sismico si rende necessario in applicazione della DGR X/2129 dell'11 luglio 2014 "aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia", che riclassifica di fatto molti comuni lombardi. Tra questi ricade anche il territorio di Medolago, passato nell'aprile 2016 ufficialmente dalla zona sismica 4 alla zona sismica 3. La Delibera Regionale dispone che i Comuni riclassificati aggiornino la componente sismica degli studi geologici di supporto agli strumenti urbanistici, secondo le disposizioni di cui ai vigenti criteri attuativi dell'art. 57 della l.r. 12/2005, in occasione della revisione periodica del Documento di Piano. Lo studio è finalizzato all'adeguamento della componente sismica del PGT, secondo le modifiche procedurali indotte dalla nuova classificazione che consistono, nello specifico, nell'esecuzione di approfondimenti sismici di 1° livello (Carta della Pericolosità Sismica Locale PSL) e di 2° livello, nelle zone suscettibili di amplificazioni sismiche litologiche (Z4) o morfologiche (Z3), se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili. Questo tipo di approfondimento era tra l'altro già contemplato anche per le zone sismiche 4 limitatamente agli edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n.19904/03).

L'approfondimento sismico di secondo livello consiste in una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione litologica o morfologica. La procedura prevede la definizione del fattore di amplificazione (Fa) in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale: l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili. La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati; mentre per gli effetti morfologici solo per l'intervallo 0.1-0.5 s; questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale ad elementi di contorno, che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo 0.5-1.5 s.

L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare gli effetti di amplificazione sismica locale.

Pertanto, due sono le tipologie di amplificazioni sismiche analizzate nel presente studio, quelle topografiche (morfologiche) e quelle litologiche.

Amplificazioni sismiche

- **Primo livello di approfondimento sismico**: definizione della Carta di Pericolosità Sismica Locale (PSL)

In seguito all'analisi sismica di primo livello, nel territorio di Medolago sono stati individuati alcuni ambiti potenzialmente suscettibili ad amplificazione sismica a vari livelli. In particolare:

- Z2a: zone soggette ad assestamenti (effetto sismico di cedimento): sono state individuate in zone soggette al fenomeno naturale degli occhi pollini, riportate nella carta di sintesi e di fattibilità. A questa zona di amplificazione è attribuita la classe di pericolosità H2.
- Z3a: zone di ciglio $H > 10$ m scarpata, orlo di terrazzo fluviale (effetto sismico di amplificazione topografica). A questa zona di amplificazione è attribuita la classe di pericolosità H2.
- Z4a: zone di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi (effetto sismico di amplificazione litologica). A questa zona di amplificazione è attribuita la classe di pericolosità H2.

La cartografia sismica pregressa (dicembre 2009), redatta da Arethusa, identificava gli scenari di pericolosità sismica locale. Tale suddivisione, condivisibile e tuttora valida, è stata integrata includendo gli ambiti di scarpata costituiti da depositi fluvioglaciali grossolani cementati (conglomerati) tra gli ambiti suscettibili di amplificazione stratigrafica Z4a.

SIGLA	SCENARIO PERICOLOSITA' 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
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geomometriche
Z4d	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico d/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

In base a questo screening generale alla scala di piano non sono emersi problematiche legate alla liquefazione. In ogni caso si rammenta ai professionisti di verificare a scala locale l'eventuale sussistenza di tale rischio secondo quanto previsto dalle NTC2018. Si rammenta che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{ciN} > 180$, dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e q_{ciN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4) distribuzione granulometrica esterna alle fascia delle sabbie nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $UC < 3,5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $UC > 3,5$.

- Secondo livello di approfondimento sismico

Per verificare gli effetti sismici la procedura semplificata prevede di stimare il valore del fattore di amplificazione (F_a) tramite schede di valutazione e di confrontarlo poi con il corrispondente valore di soglia normativo. Si possono presentare, quindi, due situazioni:

- se il valore di F_a è inferiore al valore di soglia corrispondente, la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- se il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente, la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia.

Effetti di amplificazione topografica (morfologica)

Gli scenari proposti riguardanti gli effetti di amplificazione topografica riguardano le zone di scarpata (Z3a).

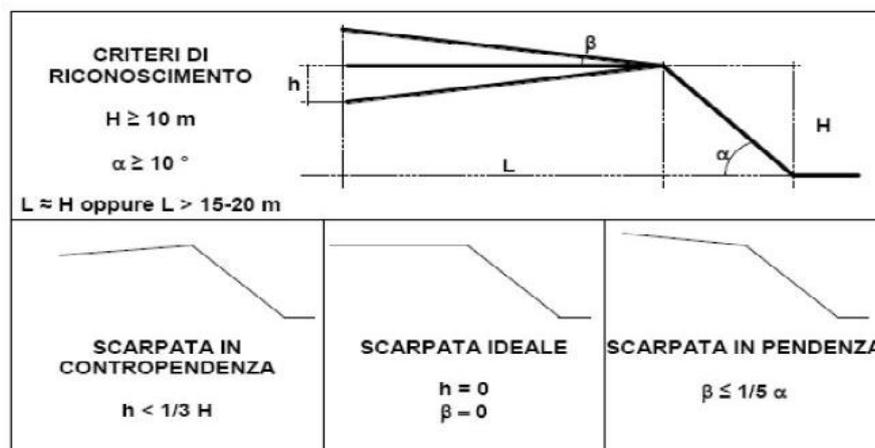
- Zone di scarpata (Z3a)

Lo scenario di zona di scarpata rocciosa (Z3a) è caratterizzato da irregolarità con fronti di altezza (H) uguale o superiore a 10 m ed inclinazione () del fronte principale uguale o superiore ai 10° (Scheda di valutazione). Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere una V_s maggiore o uguale ad 800 m/s, requisito difficilmente verificabile nel territorio in esame, viste le V_s riscontrate nei siti analizzati, ma non escludibile a priori. Pertanto si è ritenuto di prospettare anche questo scenario, lasciando al professionista la verifica puntuale sito-specifica. In funzione della tipologia del fronte superiore si distinguono:

- scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
- scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso senso del fronte principale;
- scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato nel senso opposto a quello del fronte principale.

La misura dell'altezza H è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale; mentre il fronte superiore è da definire come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

EFFETTI MORFOLOGICI – SCARPATA - SCENARIO Z3a



Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

- un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 15-20 m;
- l'inclinazione () del fronte superiore inferiore o uguale ad un quinto dell'inclinazione () del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per $> 1/5$ la situazione è da considerarsi pendio);
- il dislivello altimetrico minimo (h) minore ad un terzo del dislivello altimetrico massimo (H), nel caso di scarpate in contropendenza.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione dell'inclinazione, il valore di Fa nell'intervallo 0.1-0.5 s (tratto da DGR IX/2616 del 30 novembre 2011).

Il valore di Fa determinato dovrà essere assegnato nell'area d'influenza calcolata a partire dal ciglio del fronte principale lungo il fronte superiore; oltre l'area d'influenza calcolata il valore è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario lungo il fronte superiore, ed è analogamente scalato in modo lineare fino al valore unitario dal ciglio della scarpata alla base del fronte principale. I valori di Fa così ottenuti dovranno essere utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $F_{a_{0.1-0.5}}$	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di Fa ottenuti dalle schede di valutazione con il valore di St delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

La procedura termina quindi con il confronto tra i valori di Fa calcolati ed i valori di St (coefficienti topografici) delle Norme Tecniche delle Costruzioni.

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale di 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tab. 2 – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST

St rappresenta il valore soglia oltre al quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere conto della reale amplificazione del sito.

Nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale, indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, in presenza di scenari Z3a, è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia.

Effetti di amplificazione stratigrafica (litologica)

Per quanto riguarda gli effetti di amplificazione litologica la procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s; la conoscenza degli spessori e delle Vs può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile, in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale, per una corretta individuazione dello strato superficiale; in mancanza del raggiungimento del bedrock ($V_s < 800$ m/s), con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di Vs con la profondità, sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascuno strato;

- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento.

Attualmente sono disponibili:

- una scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- una scheda per le litologie prevalentemente sabbiose.

Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di V_s con la profondità; in particolare si dovrà verificare l'andamento delle V_s con la profondità partendo dalla scheda di tipo 1; nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di V_s inferiori ai 600 m/s, si passerà all'utilizzo della scheda tipo 2.

In presenza di una litologia non contemplata dalle schede di valutazione allegata alla DGR, si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle V_s con la profondità, più simile a quella riscontrata nell'indagine.

Nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata, ma l'andamento delle V_s con la profondità non ricade nel campo di validità della scheda, potrà essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle V_s con la profondità, più simile a quella riscontrata nell'indagine.

Nel caso di presenza di alternanze litologiche, che non presentano inversioni di velocità con la profondità, si potranno utilizzare le schede a disposizione solo se l'andamento dei valori di V_s con la profondità, nel caso da esaminare, risulti compatibile con le schede proposte.

In presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità, si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle V_s con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine e si accetteranno anche i casi in cui i valori di V_s escano dal campo di validità solo a causa dell'inversione.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, utilizzando la matrice della scheda di valutazione, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento), per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo 0.1-0.5 s e nell'intervallo 0.5-1.5 s, in base al valore del periodo proprio del sito T .

Il valore di V_s dello strato superficiale riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo (es: per un valore di V_s dello strato superficiale ottenuto dall'indagine pari a 220 m/s si sceglierà il valore 250 m/s nella matrice della scheda di valutazione). Qualora lo strato superficiale abbia una profondità inferiore ai 4 m si utilizzerà, per la scelta della curva, lo strato superficiale equivalente, a cui si assegna una velocità V_s calcolata come media pesata del valore di V_s degli strati superficiali, la cui somma supera i 4 m

di spessore. Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia, fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

ove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.

Il valore di F_a determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato, calcolato per ciascun comune e per le diverse categorie di suolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s. Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati in formato .xls (soglie_lomb.xls) e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito. In caso di aggiornamenti dei valori soglia di riferimento i Comuni dovranno procedere, se necessario, all'aggiornamento delle norme geologiche di piano. La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di +0.1 che tiene conto della variabilità del valore di F_a ottenuto. Nel caso il valore di V_s dello strato superficiale risulta pari o superiore ad 800 m/s non si applica la procedura semplificata per la valutazione di F_a , in quanto l'amplificazione litologica attesa è nulla (tratto da DGR IX/2616 del 30 novembre 2011).

Amplificazioni sismiche composite per concorso di effetti litologici e morfologici

Qualora in uno stesso sito ricadessero più scenari di pericolosità sismica (ad es. Z3 e Z4) dovranno essere tutti considerati, con i relativi approfondimenti richiesti ai sensi di legge, tenendo poi conto cautelativamente degli effetti maggiormente sfavorevoli.

Valutazione di conformità dei valori della normativa (NTC 2018)

Dai risultati dell'analisi di secondo livello si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di F_a è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1).

- il valore di Fa è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, effettuare analisi più approfondite (3° livello, classe di pericolosità H2) oppure utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore con il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Approfondimento di secondo livello su scenari Z3 (Topografia)

Le verifiche sugli effetti di amplificazione topografica si basano puramente su criteri di tipo morfometrico/morfologico; per le sezioni e le misurazioni si è fatto riferimento alla cartografia disponibile (aerofotogrammetrico comunale e CTR).

Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere una Vs maggiore o uguale ad 800 m/s, requisito difficilmente verificabile nel territorio in esame (viste le Vs riscontrate nei siti analizzati), ma non escludibile a priori. Pertanto si è ritenuto di prospettare anche questo scenario, lasciando al professionista la verifica puntuale sito-specifica.

Z3a: zona di scarpata

Seppur vi siano zone del Comune di Medolago che potrebbero essere suscettibili di amplificazioni morfologiche (come indicato in carta) non si è dato seguito alle verifiche avendo riscontrato l'assenza della categoria di suolo A (condizione vincolante per il verificarsi del fenomeno). In ogni caso è opportuno che nell'ambito dei singoli progetti si accerti l'esclusione di tale eventualità.

Approfondimento di secondo livello su scenari Z4 (Stratigrafia)

Nel territorio del Comune di Medolago sono stati individuati, con lo studio di primo livello, gli scenari di possibile amplificazione sismica. A partire dalle indicazioni della Carta di Pericolosità Sismica Locale e da studi pregressi, sotto elencati, depositati presso gli Uffici Comunali per interventi edilizi (grazie alla preziosa collaborazione dell'UT del Comune di Medolago), sono state eseguite delle indagini geofisiche sito-specifiche ad alta attendibilità, come indicato nella tabella sottostante stralciata (DGR IX/2616 del 30 novembre 2011 riguardante i criteri metodologici per la definizione degli studi geologici e sismici).

Pertanto, gli studi sismici pregressi consultati sono:

- indagine sismica Dott. Geol. Ratazzi presso scuola primaria in via Manzoni 26 (anno 2019)
- indagine sismica Dott. Geol. Fabio Baio in via Roma (anno 2017)

- indagine sismica Dott. Geol. Invernici in via Adda (anno 2016)
- indagine sismica Dott. Geol. Invernici in via S. Protasio (anno 2015)
- indagine sismica Dott. Geol. Invernici in via S. Protasio (anno 2015)
- indagine sismica Hattusas srl Cascina San Giuliano (anno 2011),

Mentre le nuove quattro indagini sito-specifiche, eseguite in siti ritenuti rappresentativi per il territorio di Medolago, sono:

Sito 1 – campo calcio (Parrocchia), via Monsignor Clemente Riva (indagine Masw-Remi e H/V ex novo)
 Sito 2 – campo aperto, via Torre (indagine Masw-Remi e H/V ex novo)
 Sito 3 – Complesso Sportivo via Delle Cave (indagine Masw-Remi e H/V ex novo)
 Sito 4 – campo aperto, via Marconi (indagine Masw-Remi e H/V ex novo).

<i>Dati</i>	<i>Attendibilità</i>	<i>Tipologia</i>
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

L'insieme di tutte le indagini elencate (eseguite e consultate) ha permesso di ricavare, per i siti in esame, le seguenti informazioni: il modello geofisico di sottosuolo, la frequenza di risonanza del terreno e la categoria di sottosuolo derivante dalla Vs,eq (NTC18). Nella figura di seguito allegata viene indicata l'ubicazione dei cinque siti prescelti per l'esecuzione delle indagini geofisiche di approfondimento, assieme ad alcune pregresse, maggiormente rappresentative.

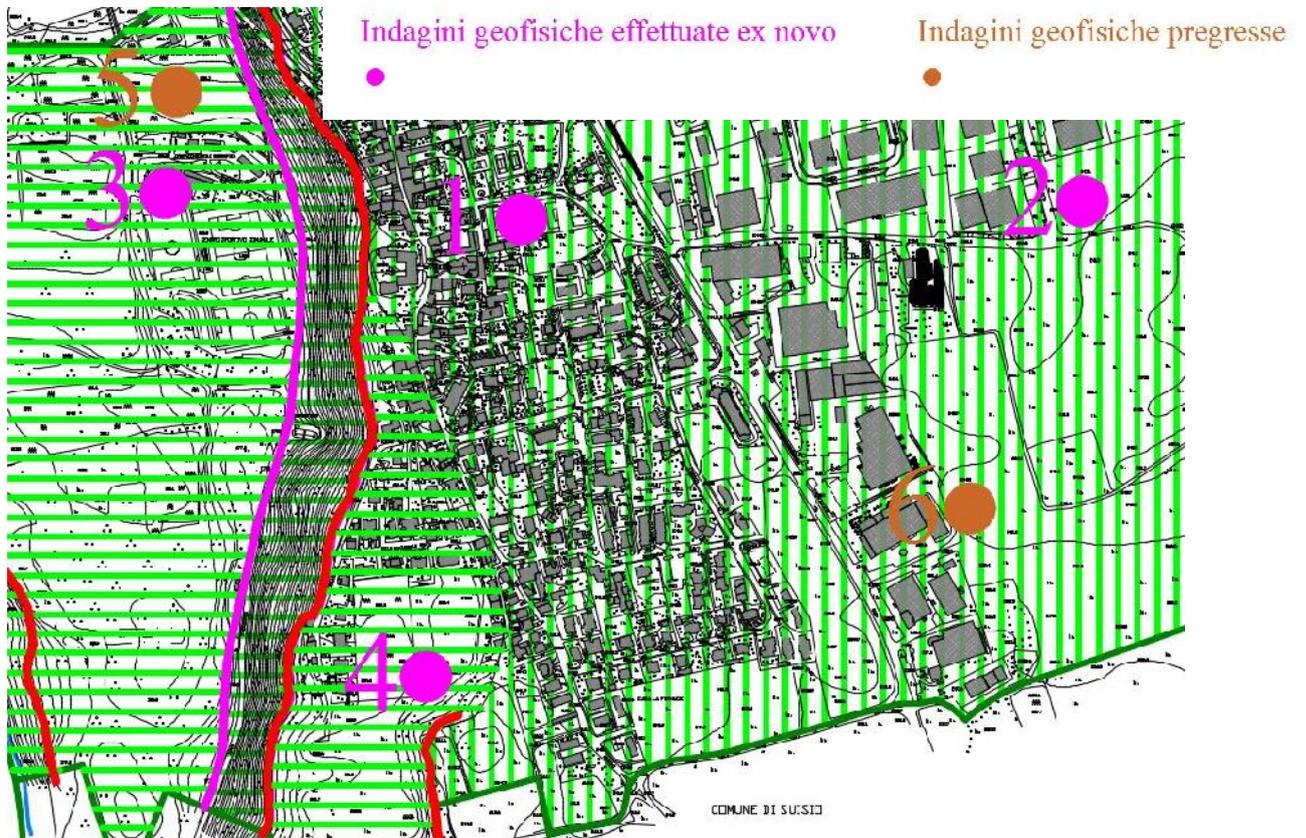


Fig. 9 - ubicazione dei siti oggetto di indagine

Di seguito si riportano alcune fotografie delle indagini geofisiche effettuate.



Fig. 10 - Foto dell'indagine Masw-Remi eseguita nel sito 1



Fig. 11 - Foto dell'indagine H/V eseguita nel sito 1



Fig. 12 - Foto dell'indagine Masw-Remi eseguita nel sito 2



Fig. 13 - Foto dell'indagine H/V eseguita nel sito 2



Fig. 11 - Foto dell'indagine Masw-Remi eseguita nel sito 3



Fig. 12 - Foto dell'indagine H/V eseguita nel sito 3



Fig. 16 - Foto dell'indagine Masw-Remi eseguita nel sito 4



Fig. 17 - Foto dell'indagine H/V eseguita nel sito 4

I risultati di tali indagini sono stati utilizzati per la valutazione dell'amplificazione sismica litologica, nell'ambito dell'approfondimento sismico di 2° livello.

Cenni sulla metodologia d'indagine con tecniche multicanale ad onde superficiali (MASW e Remi)

La propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda che interessano il terreno a diverse profondità e che risultano condizionate dalle caratteristiche elastiche e di rigidità del sottosuolo. Lunghezza d'onda "λ", frequenza "f" e velocità di propagazione "V" sono legate dalla relazione:

$$V = \lambda * f$$

In generale, lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario lunghezze d'onda minori, poiché associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. Questa proprietà, chiamata dispersione, è valida solo per le onde di superficie, Rayleigh e Love in mezzi stratificati.

Le tecniche per ricavare le curve di dispersione da sorgenti attive o passive con due o più ricevitori hanno una varietà di nomi che dipendono da dettagli quali la geometria dei ricevitori, sorgente attiva o passiva etc. I più diffusi tra i metodi attivi sono: SASW (spectral analysis of surface waves; Heisey et al., 1982) e MASW (multichannel analysis of surface waves; Park et al., 1999); mentre tra i metodi passivi sono ESAC (extended spatial auto correlation; Ohoiri et al., 2002) e ReMi (refraction microtremor; Louie, 2001).

La base di tutte queste tecniche è lo slant - stack o correlazione del segnale registrato da una serie di ricevitori (geofoni), che permette la determinazione della velocità di propagazione di onde a frequenze diverse che attraversano lo stendimento.

Per l'esecuzione delle indagini sismiche in oggetto si è utilizzata la seguente strumentazione:

- sismografo digitale multicanale;
- n. 24 geofoni verticali;
- mazza battente;
- piattello metallico di battuta;
- pc portatile.

Sullo stesso stendimento è possibile realizzare due tipologie di indagini: MASW e ReMi.

Nel caso di una indagine con tecnica MASW, per il posizionamento del piattello di battuta (shot point) è stata preparata una piazzola asportando i primi centimetri di suolo vegetale e infiggendo la piastra metallica di alcuni centimetri nel terreno; in questo modo si è ottenuta una migliore energizzazione sismica in termini di ampiezza e di spettro dell'impulso immesso, con un incremento del rapporto segnale/rumore. In seguito sono state acquisite le energizzazioni, generate battendo la mazza da 8 kg sulla piastra metallica.

Nel caso di una indagine con tecnica ReMi, invece, si esegue una registrazione simultanea in più geofoni del rumore sismico ambientale. La registrazione ha una durata di alcuni minuti.

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato apposito software, col quale il segnale sismico registrato viene processato attraverso procedure di slant - stack (traslazione e somma) e FFT ottenendo gli spettri di velocità di fase. Questi indicano, per ogni frequenza, la più probabile velocità delle onde di superficie investigate.

Da tali spettri è possibile ricostruire un profilo di V_s , sapendo che:

- per ogni frequenza è possibile calcolare la lunghezza d'onda corrispondente secondo la relazione $\lambda = V/f$;
- la profondità corrispondente z è compresa tra $\lambda/3$ e $\lambda/2$.

La V_s , inoltre, è collegata alle velocità delle onde di Love e di Rayleigh attraverso il coefficiente di Poisson e normalmente risulta maggiore di queste ultime del 10 - 15 %.

Le onde di superficie possiedono diversi modi di propagazione; questo implica che negli spettri di velocità, alla stessa frequenza, sono possibili diversi massimi relativi di energia.

Nel caso di sorgente impulsiva ideale (con spettro bianco), geometria dei ricevitori ideale (perfettamente sintonizzata su tutte le frequenze) e suolo ideale (isotropo, lateralmente omogeneo, con graduale aumento della velocità in profondità) il modo fondamentale è quello dominante in termini di energia.

Individuare la curva di dispersione del modo fondamentale o classificare correttamente i modi superiori implica un certo grado di soggettività. Utilizzando gli spettri di velocità di fase si ha il vantaggio di avere un dato più oggettivo e più completo, che conserva le informazioni sulla natura multi modale delle curve di dispersione.

Cenni sulle indagini geofisiche di sismica passiva, tecnica H/V

La tecnica H/V, appartenente alla sismica passiva, nasce da studi condotti in Giappone attorno al 1950 ed è basata sullo studio dei rapporti di ampiezza che, nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali), esistono fra il rumore sismico misurato sul piano orizzontale (H) e quello misurato lungo la componente verticale (V). L'idea che sta alla base della procedura è quella secondo cui il rapporto H/V consente di eliminare il ruolo della sorgente isolando gli effetti delle modalità di propagazione delle onde sismiche. In particolare, si osserva che l'andamento dei rapporti spettrali in funzione della frequenza di vibrazione (funzione H/V) mostra dei massimi in corrispondenza delle frequenze di risonanza per le onde S generate da forti variazioni di velocità.

Il significato teorico del rapporto spettrale H/V è abbastanza immediato nel caso in cui si consideri un mezzo semplice formato da due soli strati: il bedrock ed uno strato superficiale più soffice. Si precisa che per bedrock si intende qualunque strato con velocità nettamente maggiore di quello sovrastante, in grado di determinare un picco di risonanza; tale strato non deve necessariamente essere una roccia ma, soprattutto in ambiti di pianura, può essere una sabbia o una ghiaia. Le frequenze di risonanza, in questo sistema, sono pertanto date da:

$$f_r = \frac{V_s}{4H}$$

dove V_s indica la velocità delle onde di taglio nel mezzo e H lo spessore dello strato che risuona alla frequenza f_r . Tali frequenze, associabili ai picchi del rapporto H/V , possono essere quindi eccitate dal rumore di fondo e diventare visibili nello spettro del rumore sismico misurato in superficie.

Un sisma è composto da onde di frequenza differente, che subiscono amplificazioni differenti. La frequenza a cui corrisponde la massima amplificazione viene detta frequenza naturale di vibrazione del terreno. I danni maggiori si hanno in quelle strutture la cui frequenza naturale di vibrazione è prossima alla frequenza naturale di vibrazione del terreno. In questi casi si verifica il fenomeno della doppia risonanza. Le ampiezze di oscillazione del terreno e dell'edificio si combinano, amplificando in maniera disastrosa le sollecitazioni sulla struttura.

Il fenomeno della doppia risonanza consente di spiegare il danneggiamento selettivo che si osserva quasi sempre nelle aree colpite da un sisma. Variando le condizioni geologiche locali, varia la frequenza naturale del terreno. Edifici con simile frequenza naturale possono subire livelli di danno molto differenti fra loro, perché posti in siti dove cambia la situazione geologica.

Grazie all'impiego della tecnica H/V è possibile determinare la frequenza naturale del terreno, fornendo una informazione fondamentale per la progettazione di nuovi edifici o per la verifica di quelli esistenti.

La frequenza naturale degli edifici si determina attraverso formule empiriche, come quelle proposte nelle NTC18, oppure eseguendo misure dirette con strumentazione sensibile posta all'interno dell'edificio.

Per l'esecuzione dell'indagine sismica secondo la tecnica H/V in oggetto si è utilizzato il tromometro digitale prodotto dalla Solgeo s.r.l., dotato di tre canali velocimetrici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale, due livelli di amplificazione (saturazione ± 1.2 mm/s in banda) e frequenze di campionamento 128, 256, 512, 1024 Hz su tutti i canali.

Le misure vengono eseguite posizionando lo strumento al suolo, avendo cura della sua messa in bolla, e successivamente registrando per alcuni minuti.

Per quanto riguarda, infine, l'elaborazione delle misure è stato impiegato il software Nakasolgeo prodotto da Solgeo s.r.l., eseguendo su ciascuna tromografia le seguenti operazioni.

- **Analisi della traccia.** La pulizia della traccia è preliminare a qualsiasi tipo di modellazione. La rimozione dei disturbi è di fondamentale importanza anche per l'analisi delle curve H/V . Tali curve devono essere statisticamente significative, ossia essere caratterizzate da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato.
- **Modellazione.** L'osservazione simultanea delle curve H/V e degli spettri delle singole componenti permette di distinguere i picchi di origine stratigrafica da quelli di natura antropica. Un picco di origine naturale individuato sulla curva H/V coincide, sugli spettri delle singole componenti, ad un

minimo locale della componente spettrale verticale.

Indagini geofisiche sito-specifiche

SITO 1 – campo di calcio (Parrocchia), via Monsignor Clemente Riva (indagine Masw-Remi e H/V ex novo)



Fig. 18a – Ubicazione stesa sito 1

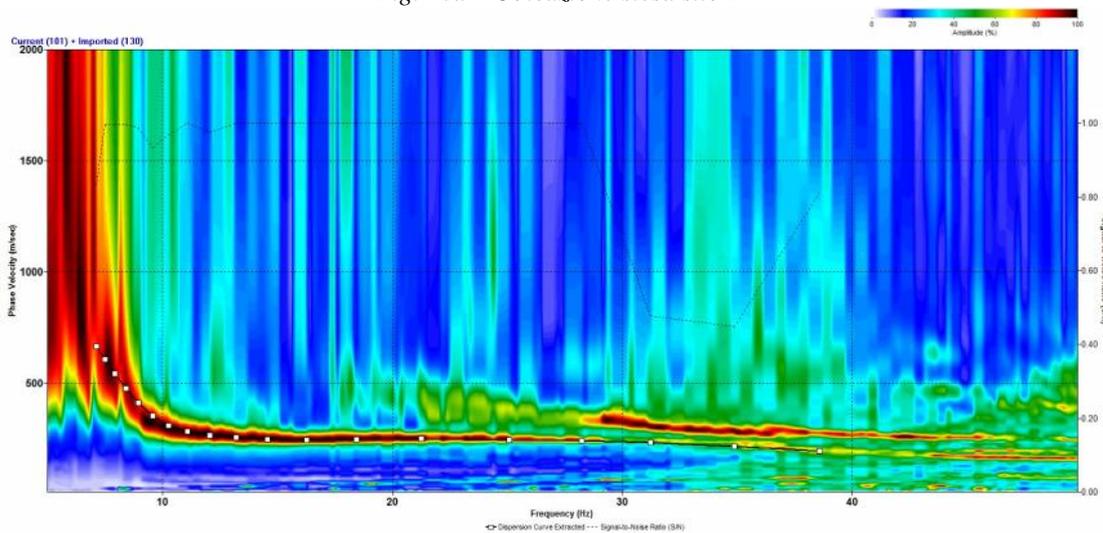


Fig. 18b – Spettro f-k e curva di dispersione sperimentale apparente

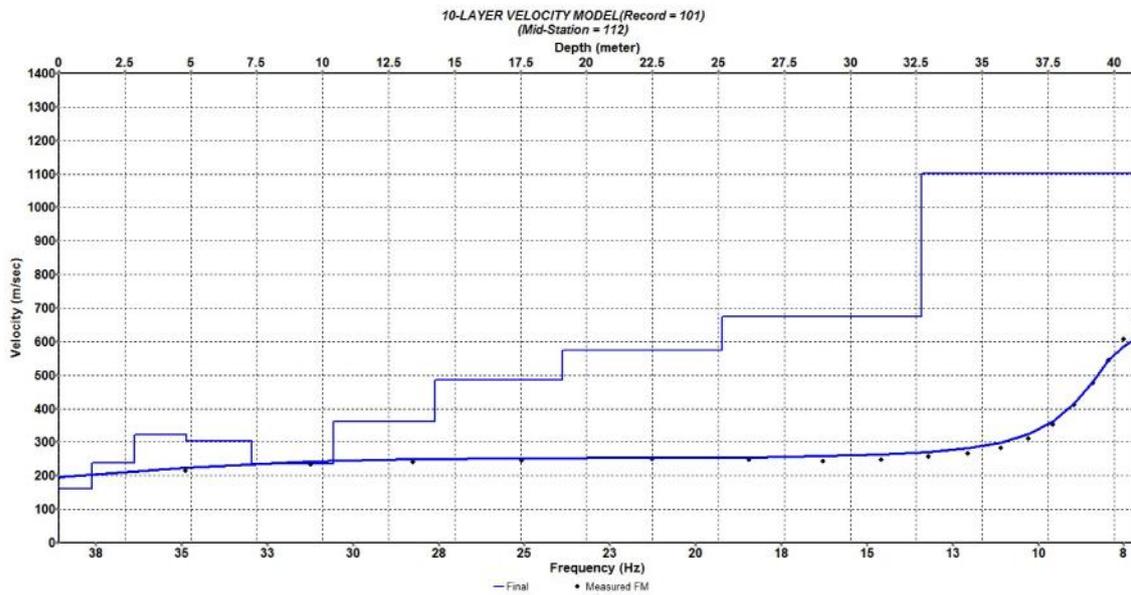


Fig. 18c – Diagramma frequenze e velocità Vs a varie profondità

Sito 1 - Risultati Masw-Remi	
Intervallo di profondità [m]	Velocità Vs [m/s]
0,0	1,3 162
1,3	2,9 239
2,9	4,8 322
4,8	7,3 304
7,3	10,4 235
10,4	14,3 361
14,3	19,1 486
19,1	25,1 574
25,1	32,7 673
32,7	40,9 1101
Vseq,30= 374	Suolo tipo B

Fig. 18d – Tabella velocità

SITO 2 – campo aperto, via Torre (indagine Masw-Remi e H/V ex novo)



Fig. 19a – Ubicazione stesa sito 2

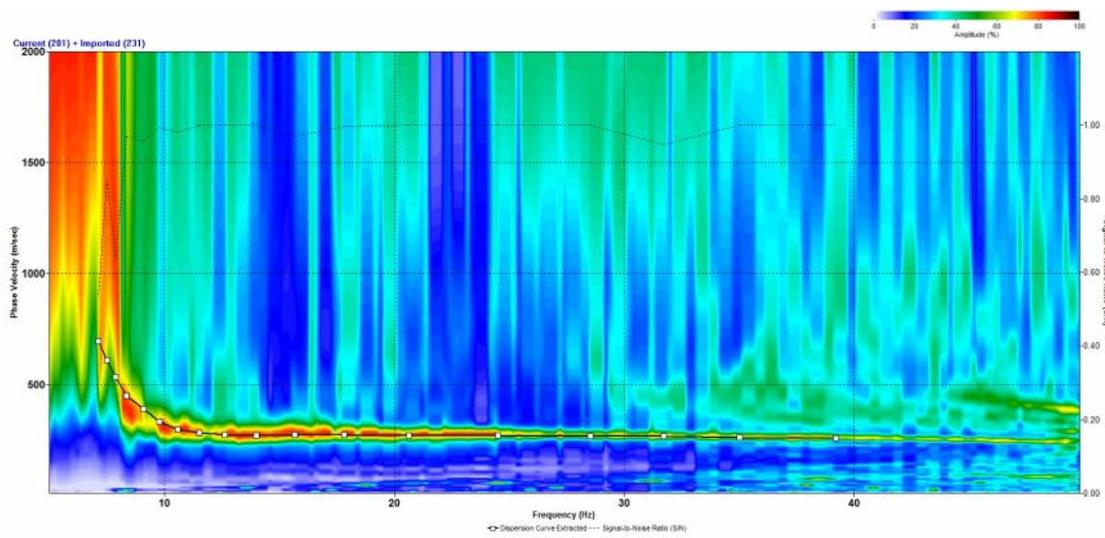


Fig. 19b – Spettro $f-k$ e curva di dispersione sperimentale apparente

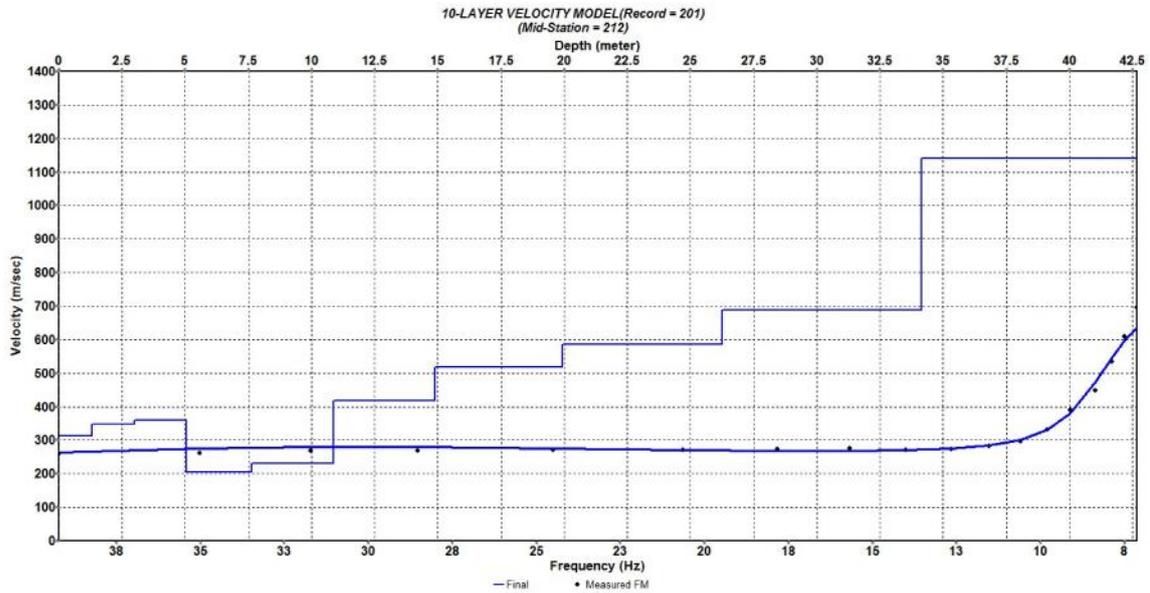


Fig. 19c – Diagramma frequenze e velocità Vs a varie profondità

Sito 2 - Risultati Masw-Remi		
Intervallo di profondità [m]	Velocità Vs [m/s]	
0,0	1,3	313
1,3	3,0	347
3,0	5,0	359
5,0	7,6	205
7,6	10,9	231
10,9	14,9	418
14,9	19,9	519
19,9	26,3	586
26,3	34,1	689
34,1	42,7	1141
Vseq,30= 390		Suolo tipo B

Fig. 19d – Tabella velocità

SITO 3 – Complesso Sportivo via Delle Cave (indagine Masw-Remi e H/V ex novo)

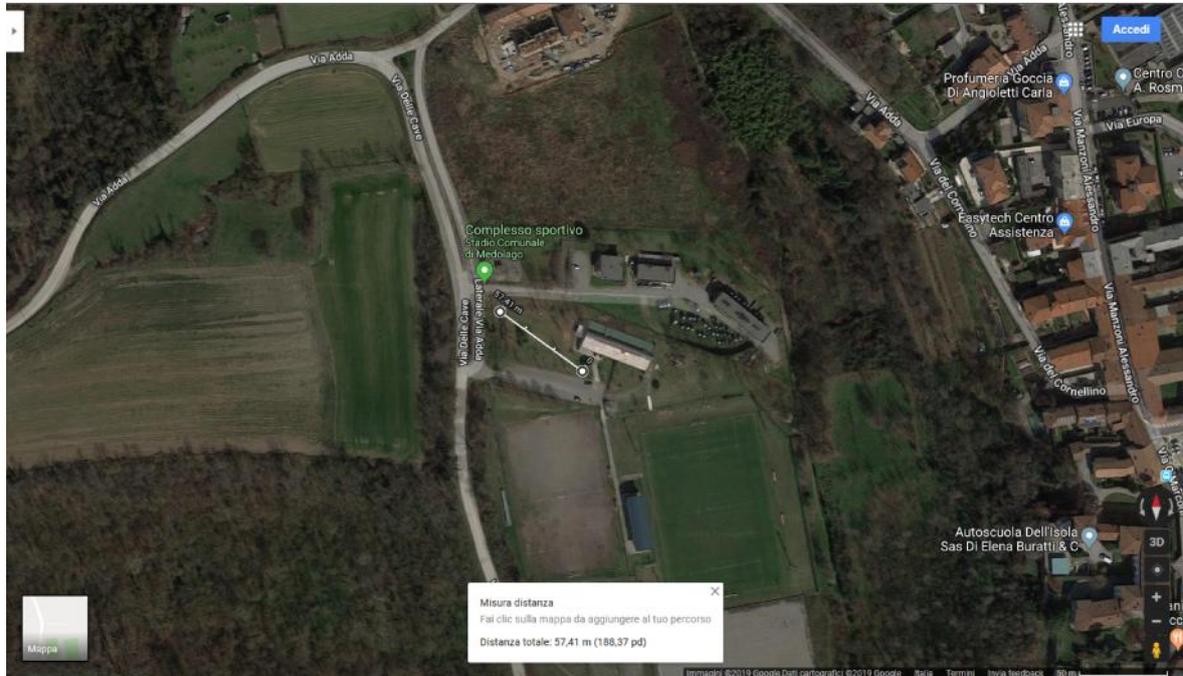


Fig. 20a – Ubicazione stesa sito 3

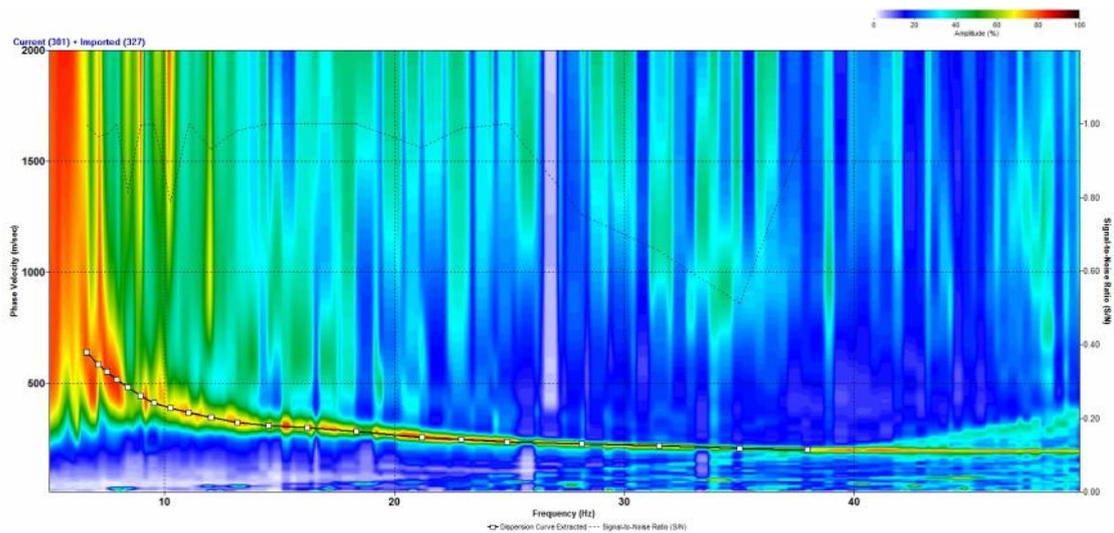


Fig. 20b – Spettro f-k e curva di dispersione sperimentale apparente

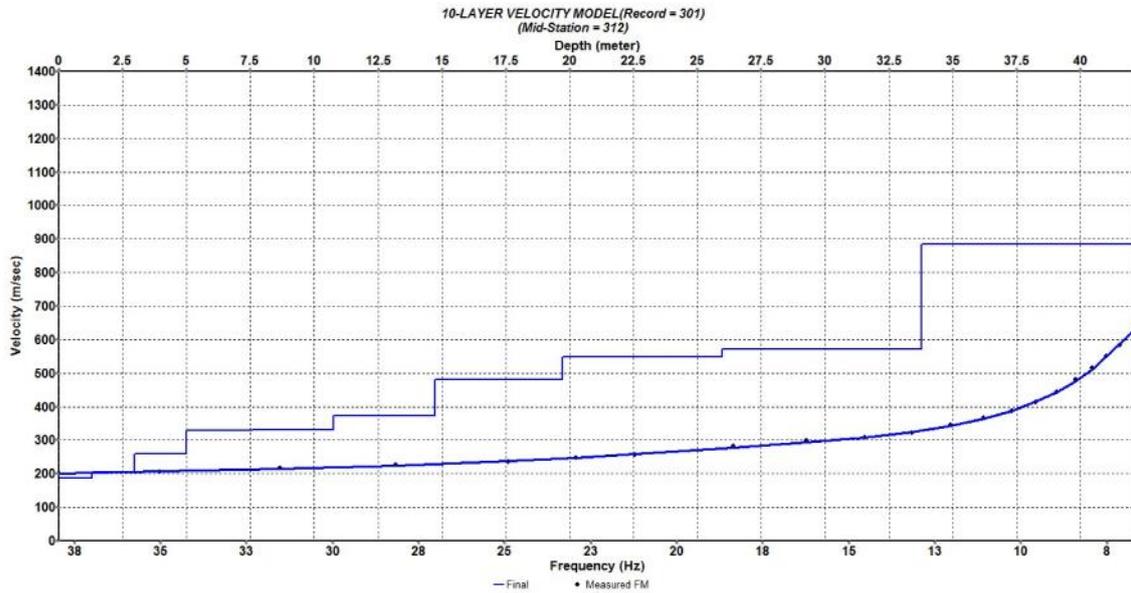


Fig. 20c – Diagramma frequenze e velocità Vs a varie profondità

Sito 3 - Risultati Masw-Remi		
Intervallo di profondità [m]	Velocità Vs [m/s]	
0,0	1,3	186
1,3	2,9	206
2,9	5,0	259
5,0	7,5	329
7,5	10,7	331
10,7	14,7	374
14,7	19,7	480
19,7	26,0	547
26,0	33,8	572
33,8	42,2	885
Vseq,30= 376		Suolo tipo B

Fig. 20d – Tabella velocità

SITO 4 – campo aperto, via Marconi (indagine Masw-Remi e H/V ex novo)



Fig. 21a – Ubicazione stesa sito 4

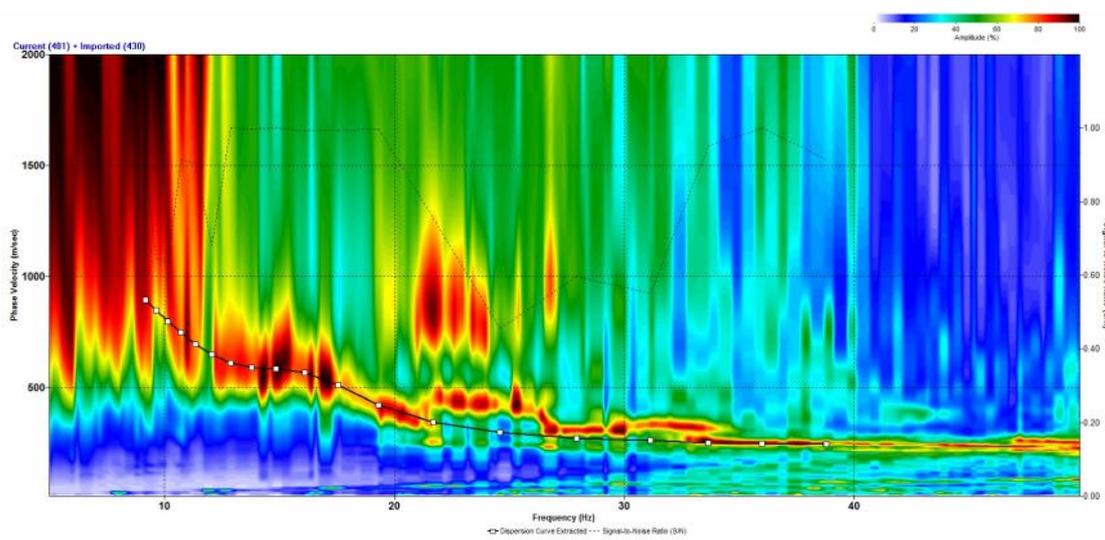


Fig. 21b – Spettro f-k e curva di dispersione sperimentale apparente

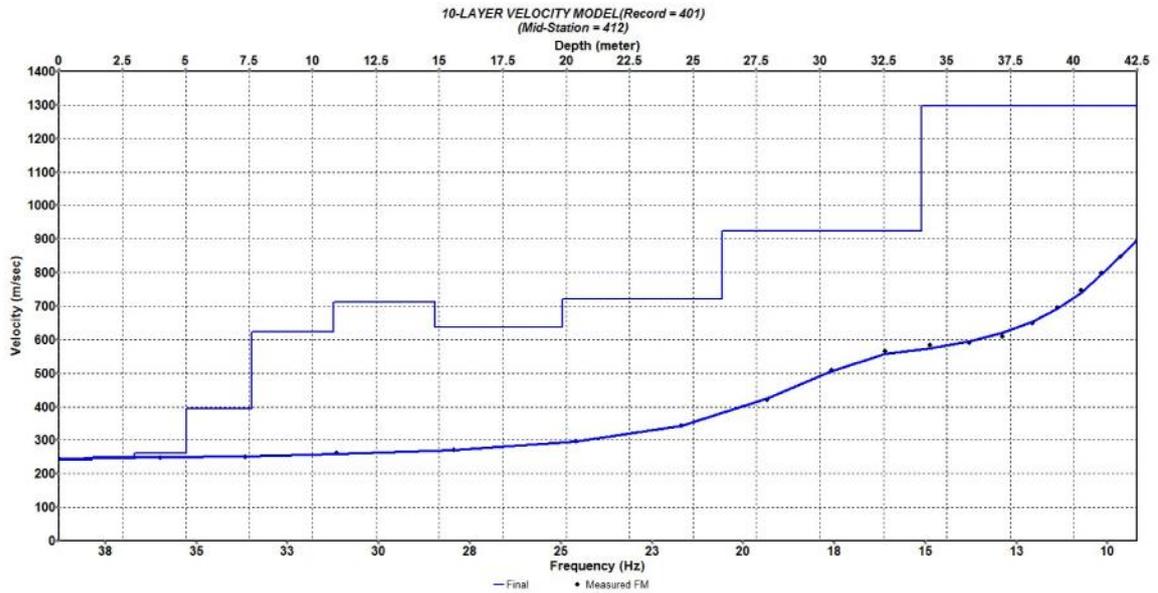


Fig. 21c – Diagramma frequenze e velocità Vs a varie profondità

Sito 3 - Risultati Masw-Remi		
Intervallo di profondità [m]	Velocità Vs [m/s]	
0,0	1,3	239
1,3	3,0	251
3,0	5,0	261
5,0	7,6	394
7,6	10,8	624
10,8	14,8	711
14,8	19,9	636
19,9	26,1	720
26,1	34,0	923
34,0	42,5	1297
Vseq,26.15 [m/s]= 485		Suolo tipo B

Fig. 21d – Tabella velocità

Sintesi dei risultati dell'approfondimento di secondo livello sui possibili effetti di amplificazione litologica
Gli approfondimenti sismici di secondo livello effettuati hanno consentito la determinazione delle categorie sismiche di suolo all'interno del territorio comunale.

EFFETTI ASSOCIATI ALL'AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

Postazione	Località	Tipologia di indagine	Tipologia di suolo	Scheda litologia	Fa Valore soglia strutture basse (T=0,1-0,5 s)	Fa Valore soglia strutture alte (T=0,5-1,5 s)	Fa Calcolato		Validità della normativa NTC 2018	
							(0,1-0,5 s)	(0,5-1,5 s)	(0,1-0,5 s)	(0,5-1,5 s)
1	via Mons. Riva	masw-remi	B Vseq 374 m/s	sabbiosa	1,4	1,7	1,7+0,1=1,8	1,4+0,1=1,5	NO per periodo sito T=0,29 s	SI per periodo sito T=0,29 s
2	via Torre	masw-remi	B Vseq 390 m/s	sabbiosa	1,4	1,7	1,7+0,1=1,8	1,4+0,1=1,5	NO per periodo sito T=0,28 s	SI per periodo sito T=0,28 s
3	via delle cave	masw-remi	B Vseq 378 m/s	sabbiosa	1,4	1,7	1,7+0,1=1,8	1,4+0,1=1,5	NO per periodo sito T=0,31 s	SI per periodo sito T=0,31 s
4	via Marconi	masw-remi	B Vseq 405 m/s	sabbiosa	1,4	1,7	1,6+0,1=1,7	1,2+0,1=1,3	NO per periodo sito T=0,18 s	SI per periodo sito T=0,18 s

L'analisi ha permesso di evidenziare la presenza della categoria di suolo B diffusamente all'interno del territorio comunale.

Il fattore di amplificazione calcolato (Fac), per i rispettivi periodi dei siti analizzati (T compresi tra 0,18 e 0,31 s circa), è risultato:

- superiore al valore soglia comunale per le strutture basse (periodo proprio compreso tra 0,1 e 0,5 s)
- inferiore al valore soglia comunale per le strutture alte (periodo proprio compreso tra 0,5 e 1,5 s).

Riferendosi alla scheda sabbiosa ed alla curva 2, che risulta congruente in relazione alla caratterizzazione sismo-stratigrafica del territorio comunale, si evince che il fattore di amplificazione calcolato (Fac) oltrepassi il valore di soglia (1.4) nel caso di strutture basse ($0.1 < T_{str} < 0.5$), mentre è inferiore al valore soglia (1.7) per le strutture alte ($0.5 < T_{str} < 1.5$).

Pertanto, in tutto il territorio comunale:

- per le strutture basse è necessario riferirsi allo spettro della categoria di suolo superiore C (oppure eseguire approfondimento di terzo livello – RSL)
- per le strutture alte è possibile riferirsi alla categoria di suolo B

Le schede utilizzate di valutazione degli effetti sismici di amplificazione stratigrafica sono allegate alla DGR n.9/2616 del 2011.

EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

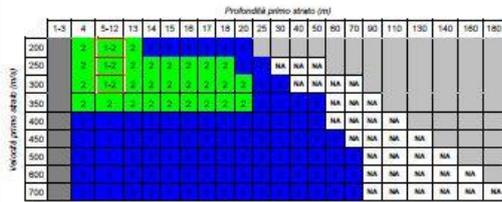
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:

Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

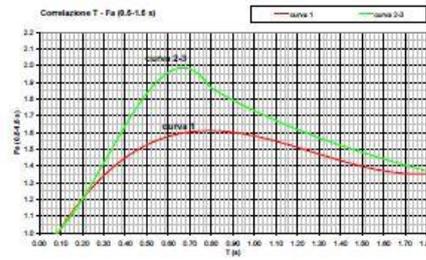
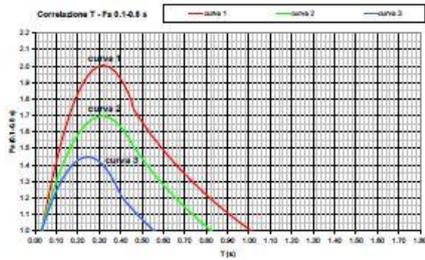
NOTE:

- Comportamento granulare
- Struttura granulo-sostenuta
- Clasti con $D_{max} > 20$ cm inferiori al 15%
- Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
- Frazione limosa fino ad un massimo del 70%



ove
la sigla NA indica $Fa = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s

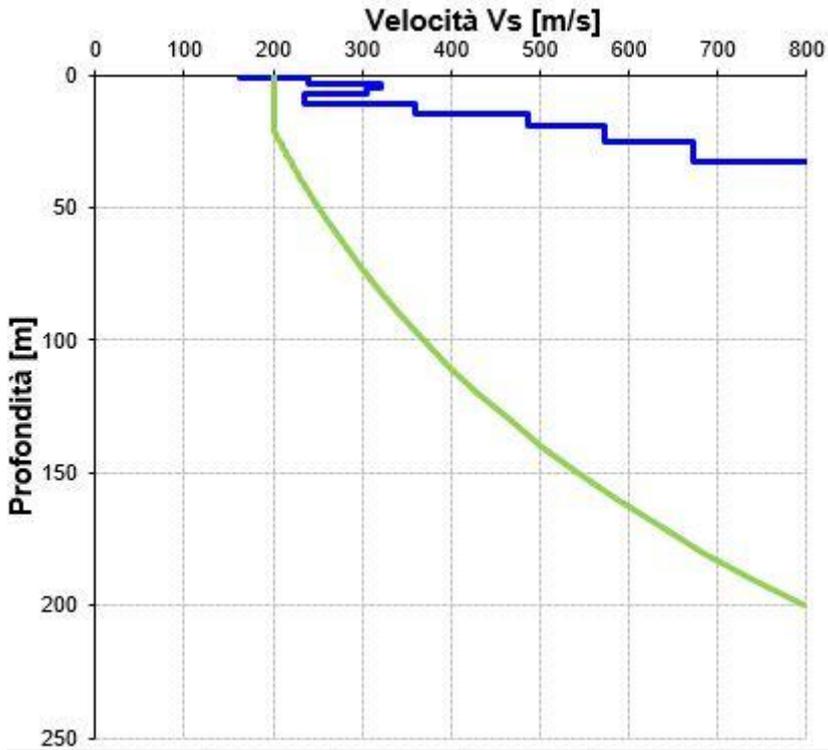


Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$	$0.50 < T \leq 1.00$	$T > 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$	$0.45 < T \leq 0.80$	$T > 0.80$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$	$0.50 < T \leq 0.55$	$T > 0.55$

Curva	Equazione
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$
2	$Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^2 - 2.18 T + 0.81$
3	$0.08 \leq T < 0.80$ and $0.80 \leq T \leq 1.80$

Fig. 22 – Scheda litologia Sabbiosa

Sito 1

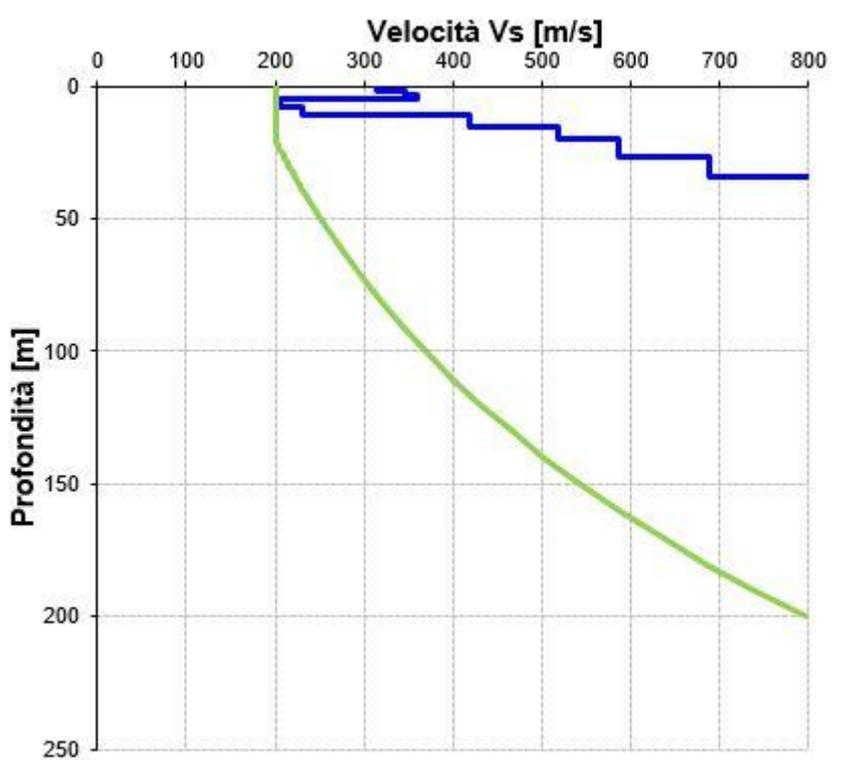


Valori di soglia per il periodo compreso tra 0,1-0,5s			
Comune	Suolo B	Suolo C	Suolo D
Medolago	1,4	1,2	2,2

Valori di soglia per il periodo compreso tra 0,5-1,5s			
Comune	Suolo B	Suolo C	Suolo D
Medolago	1,7	2,4	4,2

Lati normativa di riferimento (da L.M. 14/01/2008)										
Periodo e frequenza sismica				Valori di F _a sismali				Valori F _a soglia		Esito F _a sismali F _a soglia
Uscita (m/s)	F _a (g)	T ₀ (s)	C _u (m/s)	0,1 < T < 0,5	0,5 < T < 1,5	0,1 < T < 0,5	0,5 < T < 1,5	0,1 < T < 0,5	0,5 < T < 1,5	SI/NO
1,5	1,7	2	8,5572+5,447-2,84	1,38	1,38	1,78	1,78	1,4	1,7	SI
0,11	0,7	2+0,44	+0,99							

Sito 2

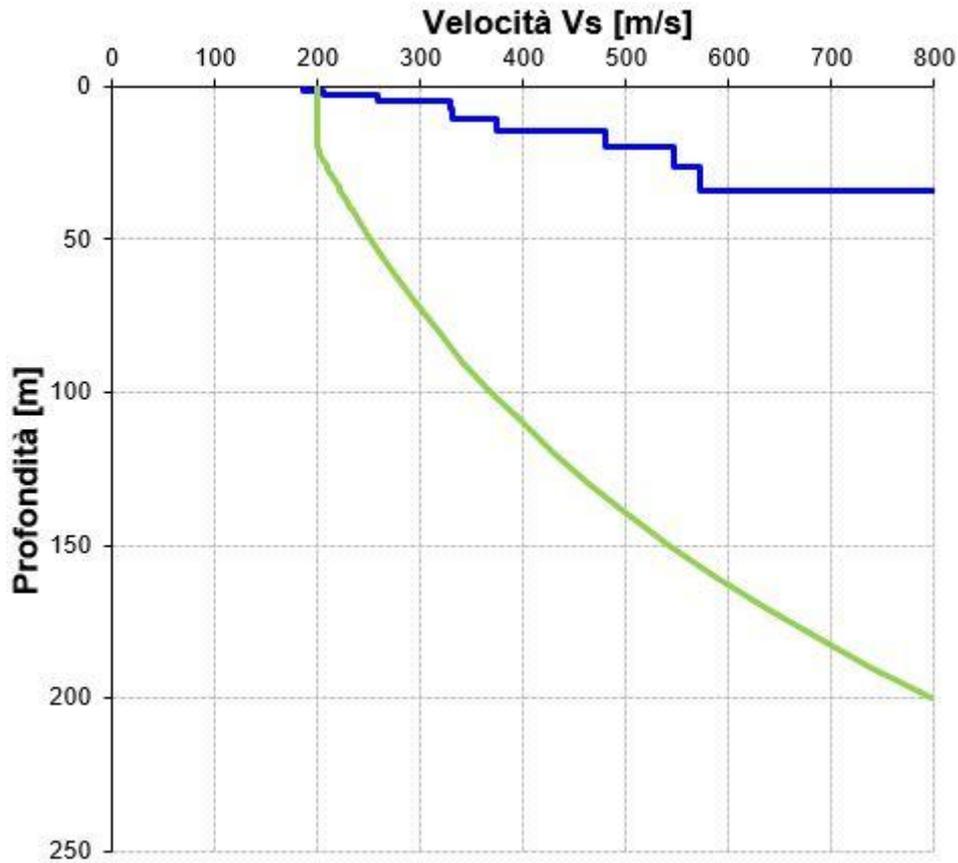


Valori di soglia per il periodo compreso tra 0.1-0.5s				
Comune	Suolo E	Suolo C	Suolo D	Suolo E
Medolago	1,4	1,9	2,2	2

Valori di soglia per il periodo compreso tra 0.5-1.5s				
Comune	Suolo F	Suolo I	Suolo J	Suolo F
Medolago	7	2,4	4,7	3

Dati numerici di riferimento (da D.M. 14/01/2008)												
Periodo e frequenza sito	Valori di Γ_e stimati				Γ_e (con variabilità +0.1)		Valori Γ_e soglia		Esito Γ_e stimati < Γ_e soglia			
	Γ_{1s}	$\Gamma_{0.5s}$	$\Gamma_{0.2s}$	$\Gamma_{0.1s}$	0.1 < T_{str} < 0.5	0.5 < T_{str} < 1.5	0.1 < T_{str} < 0.5	0.5 < T_{str} < 1.5	0.1 < T_{str} < 0.2	0.2 < T_{str} < 1.5		
Ubi_sedivis Sito2	3,53	0,28	2	-0.05T ² +5.44T+0.04 -0.11T ³ +5.79T ² +0.44T+0.93	1,89	1,38	1,79	1,48	E	1,4	1,7	SI

Sito 3

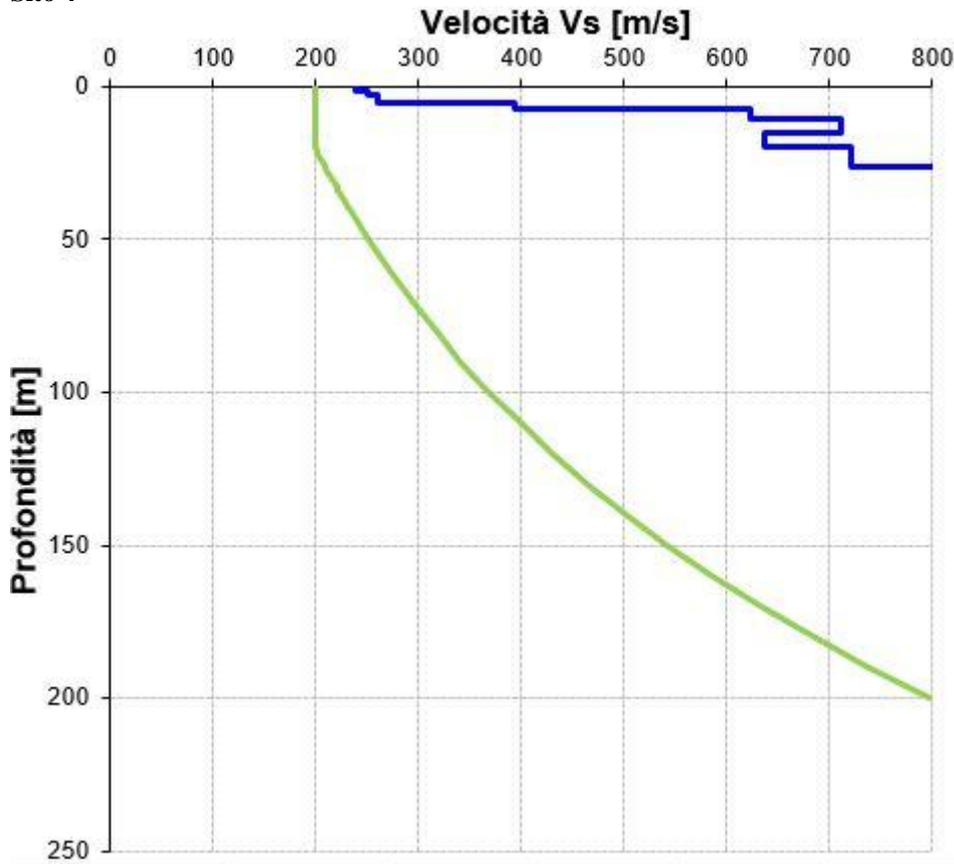


Valori di scelta per il periodo compreso fra 0,1-0,5s			
Comune	Suolo I	Suolo II	Suolo III
Medolago	1,4	1,9	2,2

Valori di scelta per il periodo compreso fra 0,5-1,5s			
Comune	Suolo B	Suolo C	Suolo D
Medolago	1,7	2,4	4,2

Valori di scelta per il periodo compreso fra 0,5-1,5s													
Collocazione sito	Periodo e frequenza sito	FHd	Tslc [s]	CINQA	Tratto polinomiale -8,65T+2+5,14T-0,84 -0,11T^3+5,79T^2+1,44T+0,93	Valori di Faccimili		F0 (con variabilità -0,1)		Valori Faccimili			
						0,1+Tslc<0,5	0,5+Tslc<1,5	0,1+Tslc<0,5	0,5+Tslc<1,5	Calcolata	0,1+Tslc<0,5	0,5+Tslc<1,5	0,1+Tslc<0,5
		1,24	0,11	2		1,70	1,44	1,01	1,54	1,4	1,7	1,4	1,7

Sito 4



Valori di scelta per il periodo compreso tra 0,1 e 0,5 s			
Comune	Suolo B	Suolo C	Suolo D
Medolago	1,4	1,5	2,2

Valori di scelta per il periodo compreso tra 0,5 e 1 s			
Comune	Suolo I	Suolo II	Suolo III
Medolago	1,7	2,4	4,2

Dati normativa di riferimento (da D.M. 14/01/2008)											
Periodo o frequenza sito		Curve		Valori di Fastimat		Fa (con variabilità +0,1)		Valori Fa soglia		Esito Fastimat < Fa soglia	
Dimensione sito	1,117	Tallo polinomiale	2	0,1 < T < 0,5	1,52	0,1 < T < 0,5	1,65	3	1,4	0,1 < T < 0,5	0,5 < T < 1,5
Site4	5,44	$-1,65T^2 + 15,44T - 0,74$	2	0,5 < T < 1,5	1,17	0,5 < T < 1,5	1,27	1,7	SI	SI	SI

Si fa inoltre presente che i periodi propri dei siti analizzati ricadono in un range compreso tra 0,18 e 0,31 s. In tali periodi sono probabili quindi eventuali fenomeni di doppia risonanza, qualora coincidenti con il periodo di strutture; ciò dovrà comunque essere esplicitato dal professionista durante le analisi sismiche sito-specifiche.

VINCOLI GEOLOGICI NEL TERRITORIO COMUNALE

La carta dei vincoli è redatta per tutto il territorio comunale; in essa sono rappresentate le limitazioni d'uso del territorio, derivanti da normative e piani sovraordinati vigenti, aventi contenuto prettamente geologico, con particolare riferimento a:

- Vincoli di polizia idraulica (ai sensi della d.g.r. 25 gennaio 2002 n. 7/7868 e successive modificazioni). Nel caso del Comune di Medolago, sono riportate le fasce di rispetto del reticolo principale Fiume Adda e Torrente Grandone; non sono presenti corsi d'acqua riferibili al reticolo idrico minore;
- Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile. Sono riportate le aree di tutela assoluta (raggio 10 m) e di rispetto (raggio 200 m) circoscritte ai 2 pozzi pubblici a scopo idropotabile presenti nel territorio comunale, sensi del d.lgs 152/2006 e dgr n.7/12693 del 10 aprile 2003;
- Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L.183/89 (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po in campo urbanistico – PAI);
- Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della Direttiva Alluvioni PGRA (Piano di Gestione Rischio Alluvioni), marzo 2016 e s.m.i. individuati nella carta PAI -PGRA;
- Quadro del dissesto: sono riportate le aree di esondazione del Torrente Grandone secondo la procedura descritta in appendice 1, e riportate nella “Carta PAI-PGRA”.

Per cui risulta la seguente zonizzazione:

1. Delimitazione delle fasce fluviali dell'Adda: è riportato il limite tra la Fascia A e la Fascia B di esondazione del Fiume Adda così come indicato nel Foglio 097 Sez. III – Vimercate Adda 12 alla scala 1.25.000 delle Tavole di delimitazione delle fasce fluviali del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI), ora ricomprese nelle fasce di pericolosità rispettivamente P3 e P2 del PGRA.
2. Ambiti di esondazione del Grandone: esondazione molto elevata (Ee) corrispondente ad una classe di rischio idraulico R4, esondazione elevata (Eb) corrispondente ad una classe di rischio idraulico R3, esondazione media (Em) corrispondente ad una classe di rischio idraulico R2.

La Giunta Regionale, con Delibera 239 del 18 giugno 2018, ha approvato le “Disposizioni concernenti le verifiche del rischio idraulico degli impianti esistenti di trattamento delle acque reflue, di gestione dei rifiuti e di approvvigionamento idropotabile ricadenti in aree interessate da alluvioni, in attuazione degli articoli 19 bis, 38 bis e 62 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po”.

Le disposizioni in oggetto rientrano tra le azioni previste dal PAI e dal PGRA, per la riduzione delle conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali.

Tali disposizioni, approvate con D.G.R. n. 239 del 18 giugno 2018, definiscono la procedura da seguire per l'attuazione delle norme del PAI relative a tali verifiche di dettaglio del rischio idraulico, definendo l'ambito di applicazione, i soggetti, le metodologie da seguire e le procedure, in un'ottica di semplificazione

normativa.

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), predisposto in attuazione del D.lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva 2007/60/CE (cosiddetta “Direttiva Alluvioni”), è stato adottato con deliberazione 17 dicembre 2015 n. 4, approvato con Deliberazione n. 2 del 3 marzo 2016, dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di bacino del fiume Po e successivamente con D.P.C.M. 27 ottobre 2016 (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 30 del 6 febbraio 2017) e attuato in Regione Lombardia con la D.G.R. X/6738 del 19 giugno 2017.

Il Piano ha come finalità quella di ridurre le conseguenze negative derivanti dalle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l’ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali. A tal fine nel Piano vengono individuate le aree potenzialmente esposte a pericolosità per alluvioni, stimato il grado di rischio al quale sono esposti gli elementi che ricadono entro tali aree “allagabili”, individuate le “Aree a Rischio Significativo (ARS)” e impostate misure per ridurre il rischio medesimo, suddivise in misure di prevenzione, protezione, preparazione, ritorno alla normalità ed analisi, da attuarsi in maniera integrata.

La delimitazione e la classificazione delle aree allagabili sono contenute nelle mappe di pericolosità; la classificazione del grado di rischio al quale sono soggetti gli elementi esposti è rappresentata nelle mappe di rischio.

Le mappe contengono la delimitazione delle aree allagabili per diversi scenari di pericolosità:

- Aree P3 (H nella cartografia), o aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti;
- Aree P2 (M nella cartografia), o aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti;
- Aree P1(L nella cartografia), o aree potenzialmente interessate da alluvioni rare.

Le aree allagabili individuate, per quanto concerne la Regione Lombardia, riguardano i seguenti “ambiti territoriali”:

- Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP);
- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM);
- Reticolo secondario di pianura naturale e artificiale (RSP);
- Aree costiere lacuali (ACL).

Le mappe di rischio classificano secondo 4 gradi di rischio crescente, gli elementi che ricadono entro le aree allagabili:

- R1 - rischio moderato o nullo;
- R2 - rischio medio;
- R3 - rischio elevato;
- R4 - rischio molto elevato.

Le categorie di elementi esposti sono:

- ❖ zone urbanizzate (residenziale, produttivo, commerciale);
- ❖ strutture strategiche e sedi di attività collettive (ospedali, scuole, attività turistiche);

- ❖ infrastrutture strategiche principali (vie di comunicazione stradali e ferroviarie, dighe, porti e aeroporti);
- ❖ insediamenti produttivi o impianti tecnologici potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale (impianti Allegato I D.L. 59/2005, aziende a rischio di incidente rilevante, depuratori, inceneritori, discariche);
- ❖ beni culturali vincolati;
- ❖ aree per l'estrazione delle risorse idropotabili.

Le mappe di pericolosità e rischio contenute nel PGRA, consultabili online nel Geoportale della Regione Lombardia (con in vari aggiornamenti), rappresentano un aggiornamento e integrazione del quadro conoscitivo, rappresentato negli Elaborati del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico).

CARTA DI SINTESI

La carta di sintesi è redatta alla scala 1:5.000 su tutto il territorio comunale e rappresenta le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità/vulnerabilità, riferita allo specifico fenomeno che la genera. Pertanto tale carta deve essere costituita da una serie di poligoni che definiscono porzioni di territorio caratterizzate da pericolosità geologico – geotecnica e vulnerabilità idraulica e idrogeologica omogenee, secondo quanto definito dalla D.G.R. n.9/2616 del 2011.

La sovrapposizione di più ambiti determina dei poligoni misti per pericolosità, determinata da più fattori limitanti. La delimitazione dei poligoni viene fatta con valutazioni sulla pericolosità e sulle aree di influenza dei fenomeni, desunte dalle fase di analisi precedenti (somma degli elementi di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, idraulico, geotecnico).

Sono state evidenziate le aree con possibili criticità idrauliche:

- zone di esondazione del Fiume Adda
- zone di esondazione del Torrente Grandone

che sono state differenziate in funzione dell'importanza e della caratterizzazione definita dall'Autorità di Bacino del Fiume Po (fasce fluviali e PGRA).

Lungo il Fiume Adda sono state evidenziate

- le aree a pericolosità P3; ricadono in questa classe le aree a scenario di esondazione frequente, aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabili (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20-50 anni con significativi valori di velocità e/o altezze d'acqua o con consistenti fenomeni di trasporto solido), corrispondenti alla fascia fluviale A.
- le aree a pericolosità P2; ricadono in questa classe le aree a scenario di esondazione poco frequente, aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 100 anni e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua tali da non pregiudicare l'incolumità delle persone, la funzionalità di edifici e infrastrutture e lo svolgimento di attività economiche), corrispondenti alla fascia fluviale B.

- Il limite esterno della fascia C delle fasce fluviali del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI), corrispondente alle piene catastrofiche con $Tr > 200$ anni.

In corrispondenza del Torrente Grandone sono state identificate differenti zone (determinate secondo la procedura descritta in appendice 1 e ai sensi dell'allegato 4 della d.g.r. n. 8/7374 del 28 maggio 2008):

- Aree di esondazione molto elevata (Ee) corrispondenti ad un rischio idraulico R4
- Aree di esondazione elevata (Eb) corrispondenti ad un rischio idraulico R3
- Aree di esondazione media (Em) corrispondenti ad un rischio idraulico medio R2.

Inoltre, sia per il fiume Adda che per il torrente Grandone, sono state indicate le aree di pertinenza, adiacenti ai corsi d'acqua, da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e per la realizzazione di interventi di difesa (fasce fluviali di 10 metri).

La presenza di depositi alluvionali prevalentemente granulari nella valle dell'Adda, oltre alla vicinanza al piano campagna della falda di subalveo, determina anche vulnerabilità idrogeologica della zona. Tali unità sono caratterizzate da un'elevata permeabilità superficiale (coefficiente di permeabilità $K > 10^{-2}$ cm/sec).

Dal punto di vista litotecnico invece il territorio risulta contraddistinto dall'ampia diffusione dell'Unità di Medolago, con le problematiche geotecniche dovute a scadenti caratteristiche geotecniche del sottosuolo e possibilità di presenza di occhi pollini.

Infine vi sono le aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti:

- aree contraddistinte da elevata acclività: sono aree nelle quali le acclività del terreno sono generalmente superiori a $40-45^\circ$ e corrispondono ad alcuni tratti della vallata incisa dal Fiume Adda oltre dalla zona di raccordo di fondovalle e l'area subpianeggiante sulla quale insiste la maggior parte del centro abitato di Medolago;
- aree estrattive attive: sono le aree di pertinenza dell'ATEg31, così come definite dal Piano Cave della Provincia di Bergamo.

CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA

La carta di fattibilità geologica è stata redatta alla scala di Piano 1:5.000 . L'elaborato è stato desunto dalla cartografia di sintesi, attribuendo un valore di classe a ciascun poligono.

Al mosaico della fattibilità sono state sovrapposte le aree soggette ad amplificazione sismica locale desunte dalla carta di pericolosità sismica locale. La carta di fattibilità è dunque una carta di pericolosità che fornisce indicazione, in ordine alle limitazioni e destinazioni d'uso del territorio.

La carta deve essere utilizzata congiuntamente alle "norme geologiche di attuazione", parte integrante del presente studio, che costituiscono la normativa d'uso (prescrizioni per gli interventi urbanistici, studi ed indagini da effettuare per gli approfondimenti richiesti, opere di mitigazione del rischio, necessità di controllo

dei fenomeni in atto o potenziali, necessità di predisposizione di sistemi di monitoraggio e piani di protezione civile).

Il territorio risulta quindi suddiviso fra le seguenti classi di fattibilità:

- classe 2 (fattibilità con modeste limitazioni)

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Per gli ambiti assegnati a questa classe devono essere indicati, nelle norme geologiche di piano, gli approfondimenti da effettuare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori.

- classe 3 (fattibilità con consistenti limitazioni)

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Il professionista, nelle norme geologiche di piano, deve, in alternativa:

- se dispone fin da subito di elementi sufficienti, per le eventuali previsioni urbanistiche, definire puntualmente le opere di mitigazione del rischio da realizzare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione della tipologia del fenomeno che ha generato la pericolosità/vulnerabilità del comparto;*

- se non dispone di elementi sufficienti, definire puntualmente i supplementi di indagine relativi alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito territoriale di riferimento (che può essere puntuale, per fenomeni come la caduta massi per es., oppure più esteso, per ambiti coinvolti dal medesimo fenomeno, quali ad es. le conoidi, interi corsi d'acqua ecc.) e definire la finalità degli stessi, al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale, individuando di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per poter procedere o meno all'edificazione.*

- classe 4 (fattibilità con gravi limitazioni)

L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, ivi comprese quelle interrato, se non tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della l.r. 12/05, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica. Il professionista deve fornire indicazioni in merito alle opere di sistemazione idrogeologica; mentre, per i nuclei abitati esistenti,

quando non è strettamente necessario provvedere al loro trasferimento, dovranno essere predisposti idonei piani di emergenza. Deve inoltre essere valutata la necessità di predisporre sistemi di monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto. Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente ed attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di pericolosità/rischio che determinano. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

Non si è invece previsto di inserire alcuna zona in classe 1 (aree con fattibilità senza particolari limitazioni).

Come risulta anche dalla carta di sintesi vi sono porzioni di territorio sulle quali sono presenti più problematiche contemporaneamente. In questi casi, nella carta di fattibilità è stato attribuito il valore di fattibilità maggiore. Nella normativa associata, le prescrizioni riguardano la sussistenza di tutti i fenomeni evidenziati.

- Classe 2: la classe comprende le zone con terreni con caratteristiche geotecniche da discrete a buone (classe 2a), rocce con caratteristiche geomeccaniche da discrete a buone (classe 2b), aree a rischio idraulico moderato Em del torrente Grandone (classe 2c) .
- Classe 3: la classe comprende le zone con elevata vulnerabilità dell'acquifero (3A), i terreni con caratteristiche geotecniche mediocri (3B), le aree di pertinenza dell'ATEg31, essendo aree estrattive attive (3C), le zone di esondazione del Torrente Grandone aventi rischio idraulico elevato Eb (3D).
- Classe 4: sono stati inserite in questa classe le zone ad elevata acclività, le aree di pertinenza ed adiacenti ai corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e per la realizzazione di interventi di difesa, le aree ricadenti all'interno delle fasce di esondazione A e B (P3 e P2) PAI-PGRA, le aree ad esondazione molto elevata (Ee) del Torrente Grandone.

Dott. Geol. Maria Cristina Locatelli

Dott. Geol. Enrico Mosconi

BIBLIOGRAFIA

- Arethuesa, 2004. *Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici e loro varianti.*
- Arethuesa, 2008. *Analisi idrologica torrente Grandone secondo il tempo di ritorno $T = 100$ anni ai sensi della nell'allegato 4 "Criteri per la valutazione di compatibilità idraulica delle previsioni urbanistiche e delle proposte di uso del suolo nelle aree a rischio idraulico" alla D.g.r. n. 8/7374 del 28 maggio 2008.*
- Arethuesa, 2009. *Adeguamento Studio Geologico redatto ai sensi della L.R..41/97 ai criteri attuativi della L.R..12/05.*
- Autorità di Bacino del Fiume Po, 2019. *PGRA (Piano di Gestione Rischio Alluvioni).*
- Castellaro S., 2016. *The complementarity of H/V and dispersion curves. 16 pp. Geophysics, Vol. 81, No. 6 (November-December 2016).*
- Castellaro S., 2012. *Introduzione alla modellazione delle curve H/V a fini stratigrafici in Grilla. 21 pp. Micromed s.p.a..*
- Castellaro S., 2012. *Tecnica sismica passiva a stazione singola. 137 pp. Micromed s.p.a..*
- Ceriani e Carelli, Servizio Geologico, Uffici Rischi geologici, Regione Lombardia. *Carta delle precipitazioni medie, massime e minime annue del territorio alpino della Regione Lombardia.*
- CNR, Regione Lombardia, Università degli Studi di Milano, 2006. *Centri abitati instabili della Provincia di Bergamo.*
- Corrao M., Coco G., 2009. *Geofisica applicata. 258 pp. Dario Flaccovio Editore.*
- Denti, Francani, Fumagalli, Pezzerà, Sala, Milano, 1988. *Studi idrogeologici sulla Pianura Padana.*
- Gaudioso C., 2014. *Manuale di geofisica di campagna. 140 pp. Stampacontacto.*
- Geoportale Regione Lombardia
- ISPRA, CNR, Regione Lombardia, Università degli Studi di Milano, 2012. *Foglio geologico 097 Vimercate 1:50.000.*
- Moho s.r.l., 2016. *Introduzione al modulo di analisi delle onde di superficie in Grilla. 28 pp. Moho s.r.l..*
- Mosconi E., 2012. *Studio idrogeologico preliminare per la valutazione della potenzialità idrica degli acquiferi presenti nel sottosuolo dell'Isola Bergamasca, Hidrogest s.p.a..*
- Mucciarelli M., 2010. *Tecniche svedite per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici - Studi teorici ed applicazioni professionali. 445 pp. Ministero dell'università e della ricerca programmi di ricerca scientifica di rilevante interesse nazionale - Progetto di ricerca 2007ptrc4c.*
- Provincia di Bergamo e Università degli Studi di Milano, 2000. *Carta geologica della Provincia di*

Bergamo 1:50.000.

- *Regione Lombardia, DGR n.9/2616 del 2011. Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art.57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12”.*
- *Repertorio cartografico del Geoportale della Regione Lombardia, liberamente consultabile su www.cartografia.regione.lombardia.it.*
- *Repertorio cartografico di Google Maps, liberamente consultabile su www.maps.google.it.*
- *Società Geologica Italiana, 1991. Guide Geologiche Regionali, Alpi e Prealpi.*