



Dott. Alberto Manella
Studio di Geologia

Geologia Applicata | Geotecnica | Geologia Ambientale
Idrogeologia | Idrologia | Idraulica

Aggiornamento dello studio geologico del territorio comunale relativamente alla componente sismica

RELAZIONE GEOLOGICA E GENERALE

Committente
Comune di Gandosso

Località
Comune di Gandosso (BG)

Data
Giugno 2008

Relatore
Dott. Geol. Alberto Manella



via degli Alpini 12, 24064 Grumello del Monte (BG) | tel/fax 035 831209
C.F. MNLLRT69C23E219M | P.IVA 02383900160
alberto@studiomanella.it | www.studiomanella.it

INDICE

1 – PREMESSA	Pag.	2
2 – METODOLOGIA APPLICATA	»	3
2.1 – Fase di analisi	»	3
2.2 – Fase di sintesi / valutazione	»	6
2.3 – Fase di proposta	»	6
3 – ELEMENTI GEOGNOSTICI E MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO	»	6
3.1 – Elementi geognostici	»	7
3.2 – Modello geologico del sottosuolo	»	7
4 – PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	»	9
4.1 – Primo livello di approfondimento	»	9
4.2 – Secondo livello di approfondimento	»	10
5 – VINCOLI AMBIENTALI	»	12
5.1 – Vincolo di polizia idraulica	»	12
5.2 – Vincolo idrogeologico	»	13
5.3 – Vincolo cimiteriale	»	13
5.4 – Vincolo paesaggistico	»	13
5.5 – Vincolo Piano Paesistico Regionale	»	14
6 – FATTIBILITA' GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO	»	14
7 – NORME GEOLOGICHE DI PIANO	»	15
Art. 1 – Classe di fattibilità 1	»	15
Art. 2 – Classe di fattibilità 2	»	15
Art. 3 – Classe di fattibilità 3	»	16
Art. 4 – Classe di fattibilità 4	»	17
Art. 5 – Regolamento di polizia idraulica	»	18
Art. 6 – Studi di approfondimento dello strumento geologico comunale ..	»	22
Art. 7 – Norme per le aree soggette ad instabilità e cedimento indotti da un sisma	»	22
8 – ALLEGATI	»	23
8.1 – Allegati alla relazione geologica e generale	»	23
8.2 – Cartografia tematica	»	24

1 - PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Gandosso è stato eseguito l'approfondimento dello studio geologico del territorio comunale relativamente alla componente sismica, così da adeguare lo strumento geologico alla normativa vigente ed al Piano di Governo del Territorio programmato nell'imminente futuro.

Il Comune di Gandosso è dotato di studio geologico approvato ai sensi della Legge 24-11-1997 n. 41 e redatto secondo i criteri stabiliti dalla D.G.R. 29-10-2001, n. 7/6645. Nel 2003 sono state apportate le modifiche proposte dalla Regione Lombardia, riguardanti la revisione della Carta di Fattibilità. Nel corso degli anni 2003 e 2004 è stato approvato lo studio per l'individuazione del reticolo idrico superficiale e delle relative norme di polizia idraulica, redatti ai sensi della D.G.R. 25-01-2002 n. 7/7868 modificata dalla D.G.R. 01-08-2003 n. 7/13950.

Tutti i percorsi amministrativi ed autorizzativi sono stati ultimati con esito positivo e quindi allo stato attuale il Comune di Gandosso possiede uno studio geologico a supporto dello strumento urbanistico ritenuto esaustivo anche per le verifiche di compatibilità di cui all'art. 18 delle Norme di Attuazione del PAI.

La Legge Regionale 11-03-2005 n. 12 ha introdotto un nuovo strumento di gestione del territorio comunale, caratterizzato da un innovativo approccio culturale alla materia urbanistica e denominato Piano di Governo del Territorio. La componente geologica assume una forte centralità, soprattutto nella definizione dei rischi esistenti sulla base dei quali devono essere operate le scelte di modificazione d'uso dei terreni. In adempimento alla suddetta legge la Regione Lombardia ha emanato la D.G.R. 22-12-2005 n. 8/1566, aggiornata con la D.G.R. 28-05-2008 n. 8/7374, contenente:

- le linee guida per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del territorio
- le indicazioni per l'aggiornamento degli studi geologici approvati
- le modalità di confronto fra gli strumenti di pianificazione comunale con gli atti di pianificazione sovraordinata (PTCP e PAI).

La direttiva regionale rappresenta un documento normativo molto aggiornato, in quanto recepisce le "Norme Tecniche per le Costruzioni" in materia di rischio sismico, traducendole nell'ambito della procedura di microzonazione da realizzare sulla base della classificazione sismica dei comuni lombardi.

Dal momento che l'Amministrazione Comunale di Gandosso intende procedere in futuro alla redazione del PGT si è reso necessario eseguire l'aggiornamento dello studio geologico per quanto concerne la componente sismica, applicando i criteri e le metodologie contenuti nella D.G.R. 22-12-2005 n. 8/1566 e successivo aggiornamento.

2 - METODOLOGIA APPLICATA

La redazione della componente geologica prevede la suddivisione in tre fasi di lavoro, in ordine temporale di analisi, sintesi e proposta, con l'attuazione di operazioni differenti mirate all'obiettivo finale della zonazione del territorio.

2.1 – Fase di analisi

La **fase di analisi** è stata limitata al solo rischio sismico, in quanto lo studio precedente ha esaurito il quadro delle conoscenze di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico che identificano il territorio di Gandosso.

La valutazione del rischio sismico è stata eseguita interpretando le condizioni geologiche e morfologiche del sito per identificare la possibilità, in occasione di eventi sismici, di effetti di amplificazione che possano alterare la situazione di pericolosità sismica dell'area stabilita dalla normativa. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti e quindi in rapporto alle caratteristiche dei terreni si distinguono i seguenti gruppi di effetti locali.

1) **Effetti di sito o di amplificazione sismica locale:** interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche di ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico può subire durante l'attraversamento degli strati di terreno a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. Questi effetti sono a loro volta distinti nei seguenti due gruppi:

- ✓ effetti di amplificazione topografica, che si verificano quando le morfologie e le irregolarità della topografia favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto;
- ✓ effetti di amplificazione litologica, che si verificano quando l'esistenza di orizzonti litologici di particolari proprietà meccaniche possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno.

2) **Effetti di instabilità:** riguardano i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese, associato a collassi e movimenti di grandi masse di terreno. Nel caso di versanti in equilibrio precario di possono avere fenomeni di riattivazione o neoformazione di processi gravitativi; nel caso di aree interessate da particolari strutture geologiche sepolte e/o affioranti in superficie tipo contatti stratigrafici o tettonici si possono verificare movimenti differenziali fra i vari settori; nel caso di terreni particolarmente scadenti dal punto di vista geotecnico si possono avere cedimenti, fluimenti, scivolamenti e colamenti; nel caso di siti interessati da carsismo sotterraneo si possono verificare fenomeni di subsidenza legati al crollo parziale o totale di cavità sotterranee.

Nell'ambito del territorio comunale di Gandosso, trattandosi di un'area collinare e pianeggiante, gli effetti di possibile amplificazione sismica sono connessi con la presenza nel sottosuolo di livelli stratigrafici di scarsa qualità geotecnica e con l'esistenza di zone di cresta, in grado di accentuare la risposta sismica locale e produrre azioni sui manufatti esistenti maggiori rispetto a quelle attese.

La metodologia impiegata per la valutazione dell'amplificazione sismica locale, in adempimento a quanto previsto dal Decreto Ministeriale 14-09-2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (modificato con D.M. 14-01-2008) e dall'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20-03-2003, si fonda sull'analisi di indagini dirette e prove sperimentali effettuate su alcune aree campione della Regione Lombardia. Tale metodologia prevede i seguenti tre livelli di approfondimento:

- **1° livello:** consiste nel riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base di osservazioni geologiche e di dati esistenti in letteratura;
- **2° livello:** è articolato nell'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente, sulla base di determinazioni di tipo semi-quantitativo, a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale;
- **3° livello:** comporta la definizione degli effetti di amplificazione tramite indagini ed analisi più approfondite.

Il primo livello è obbligatorio per tutti i comuni e contempla la redazione della Carta della Pericolosità Sismica Locale riportando gli scenari di pericolosità contenuti nella seguente tabella:

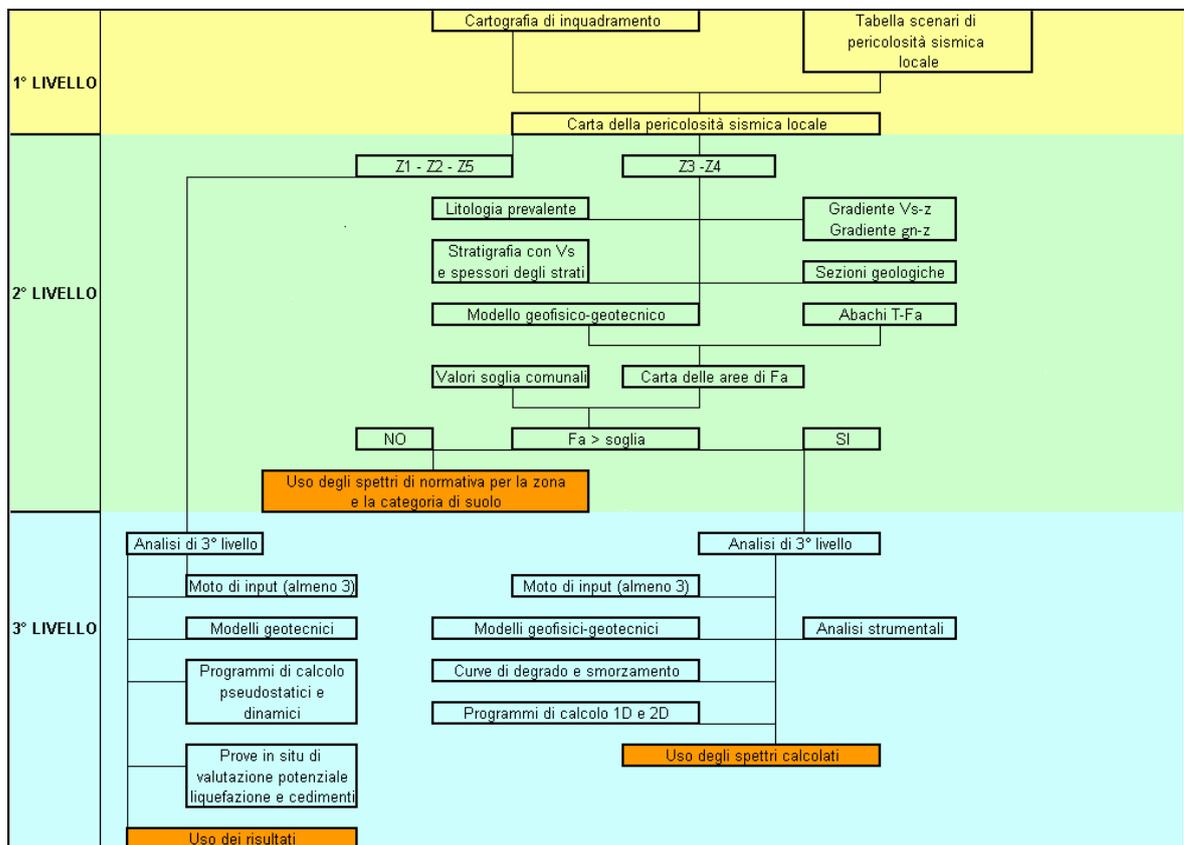
Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti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

Il secondo livello è obbligatorio per i comuni che ricadono nelle zone sismiche 2 e 3 nelle aree suscettibili di amplificazione sismica morfologica e litologica ed interferenti con l'urbanizzato e/o le aree di espansione.

Il terzo livello si applica successivamente al secondo quando la normativa nazionale è inadeguata all'interno degli scenari caratterizzati da effetti di amplificazione morfologica e litologica, quando vi sono aree soggette ad effetti di instabilità, cedimenti e liquefazioni e quando si è in presenza di zone di contatto fra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse.

Gli approfondimenti di 2° e 3° livello non vanno applicati sulle aree che per situazioni geologiche e ambientali o per vincoli normativi siano considerate inedificabili.

Per sintetizzare quanto descritto si riporta di seguito il diagramma di flusso dei dati necessari e dei percorsi da seguire nei tre livelli d'indagine, così come stabilito nell'allegato 5 della D.G.R. 28-05-2008 n. 8/7374.



Il Comune di Gandosso è inserito in zona sismica 3 e quindi si è reso necessario, in funzione degli scenari di pericolosità sismica riscontrati, effettuare i primi due livelli di analisi.

2.2 – Fase di sintesi / valutazione

In questa fase si definiscono le limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle normative in vigore di carattere geologico e si propone una zonazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità geologico-geotecnica e della vulnerabilità idraulica ed idrogeologica.

In occasione dello studio geologico redatto per la variante generale del Piano Regolatore tale fase è stata completamente esaurita, in quanto è stata prodotta la Carta di Sintesi nella quale sono riportati i vincoli esistenti e gli elementi di pericolosità geologica, da cui è stata dedotta la Carta della Fattibilità. In tale sede è stata tuttavia riprodotta in forma unitaria la Carta dei Vincoli Ambientali, nella quale sono state inserite tutte le specifiche limitazioni aggiornate e connesse con le normative ambientali esistenti sul territorio alla data attuale.

2.3 – Fase di proposta

La fase di proposta si articola nella compilazione della Carta della Fattibilità delle Azioni di Piano e delle norme geologiche di attuazione. In relazione alla tipologia della pericolosità geologica, geotecnica, idraulica ed idrogeologica e dell'entità dei fenomeni rilevati sono state assegnate classi di fattibilità diversa, riferite ad ambiti omogenei.

Per le varie classi di fattibilità e per gli ambiti soggetti a pericolosità sismica è prevista una specifica normativa, che si concretizzerà nelle fasi attuative delle previsioni del PGT.

La cartografia di base, sulla quale sono stati rappresentati i vari tematismi, è costituita dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 e dal rilievo aerofotogrammetrico dell'intero territorio comunale disponibile in scala 1:2.000.

Le carte prodotte sono le seguenti:

- Carta della Pericolosità Sismica Locale in scala 1:10.000 sulla CTR
- Carta dei Vincoli Ambientali in scala 1:2.000 sul rilievo aerofotogrammetrico
- Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano in scala 1:2.000 sul rilievo aerofotogrammetrico.
- Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano in scala 1:10.000 sulla CTR

3 - ELEMENTI GEOGNOSTICI E MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Il processo di microzonazione sismica così come la ricostruzione della pericolosità sismica di un territorio prevedono la conoscenza di tutti gli elementi geologici e geomorfologici

dell'area in esame e dei caratteri litostratigrafici e geotecnici del sottosuolo. Come accennato in precedenza il comune di Gandosso è caratterizzato da una fisiografia molto variabile, derivante dalla coesistenza di aree pianeggianti e subpianeggianti, poste a quote altimetriche comprese fra 250 e 280 m s.l.m., con zone collinari sviluppate sino al oltre 600 m s.l.m..

Pertanto vi sono innumerevoli scenari di pericolosità, connessi con le proprietà meccaniche dei terreni quaternari di copertura superficiale e con le morfologie di cresta rocciosa.

3.1 – Elementi geognostici

L'analisi degli effetti sismici di sito ha quindi richiesto la raccolta di dati litostratigrafici, geotecnici e geofisici tali da consentire la costruzione di un modello geologico del sottosuolo, sulla base del quale applicare le varie fasi di approfondimento previste dalle direttive regionali.

Nella **Carta della Pericolosità Sismica Locale**, allegata in scala 1:10.000 sulla base della Carta Tecnica Regionale, sono riportate tutte le indagini ed i dati impiegati per caratterizzare il sottosuolo, i cui dettagli sono contenuti nelle relative schede allegate. In particolare si dispone di:

- o stratigrafie di un **sondaggio meccanico a carotaggio continuo** (profondità pari a 8,0 m)
- o diagramma di una **prova penetrometrica dinamica continua** (profondità pari a 9,9 m)
- o dati geofisici derivanti da un'indagine sismica con il metodo **Refraction Microtremor** e con il **metodo della rifrazione**.

I dati dai sondaggi meccanici sono stati utilizzati per la ricostruzione delle caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo, mentre i risultati delle prove penetrometriche hanno permesso la parametrizzazione del terreno con la definizione delle proprietà di resistenza e deformabilità del sottosuolo. L'indagine geofisica, eseguita con il metodo ReMi presso la zona del campo sportivo, è stata appositamente programmata per stimare attraverso dati diretti la velocità delle onde trasversali, indispensabile per quantificare gli effetti di amplificazione litologica. Per i dettagli tecnici si rimanda alla relazione illustrativa allegata, redatta dalla società Progea Consulting S.r.l. e contenente i dettagli delle procedure utilizzate oltre che le modalità di interpretazione dei dati.

3.2 – Modello geologico del sottosuolo

I dati geognostici a disposizione sono stati interpretati ed intersecati criticamente per formulare il modello geologico da assumere quale riferimento per le situazioni esistenti sul territorio comunale. Il comune di Gandosso si trova in un contesto prevalentemente collinare, con circa il 20% della sua superficie occupata da aree subpianeggianti; la fascia di pianura è caratterizzata da depositi quaternari alluvionali e fluvio-glaciali identificati da sedimenti a prevalente granulometria limo-argillosa. Pertanto le caratteristiche distintive del modello geologico che rappresenta il territorio di Gandosso sono le seguenti:

Strato	Profondità (m)	Litologia	Angolo di attrito interno	Velocità delle onde sismiche trasversali (m/s)
1	0,0-4,0	Limo argilloso sabbioso debolmente ghiaioso	24°-28°	134
2	4,0-7,0	Limo argilloso sabbioso debolmente ghiaioso	28°-32°	231
3	7,0-11,0	Limo argilloso sabbioso con ghiaia	32°-35°	280
4	11,0-21,0	Ghiaia e sabbia limose	35°-38°	313
5	21,0-30,0	Roccia arenacea, conglomeratica e calcarenitica	-	1094

Va sottolineato che il modello geologico rappresentativo dei depositi quaternari di copertura superficiale è stato ricostruito sintetizzando i vari parametri a disposizione e scegliendo valori numerici indicativi, fra quelli talora contrastanti ottenuti con metodologie differenti. I valori dell'angolo di attrito indicati per gli strati superficiali sono stati ottenuti per correlazione diretta dalla resistenza penetrometrica, utilizzando la formula di Shioi-Fukuni; quelli riferiti agli strati più profondi sono stati invece ipotizzati ragionevolmente in rapporto alla granulometria del deposito ed alle rare prove penetrometriche discontinue effettuate nei fori di sondaggio.

I dati raccolti per la ricostruzione del modello geologico provengono in parte da indagini effettuate direttamente dallo scrivente ed in parte da dati disponibili in letteratura presso gli enti pubblici. Evidentemente il grado di affidabilità può variare in relazione alle modalità di acquisizione dei parametri ed al personale che ha provveduto a compilare le schede tecniche riassuntive delle indagini svolte.

Pertanto, così come proposto dalla D.G.R. 22-12-2005 n. 8/1566, si rappresenta sinteticamente nella tabella seguente il livello di attendibilità dei vari dati forniti.

Dati	Attendibilità	Tipologia
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)

4 - PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

La fase preliminare della definizione della pericolosità sismica locale è stata svolta secondo i criteri previsti nel primo livello di analisi, individuando le zone dove gli effetti prodotti dall'azione sismica sono prevedibili con buona approssimazione sulla base degli elementi geologici e geognostici a disposizione. Successivamente è stato attuato il percorso appartenente al secondo livello, con lo scopo di quantificare gli effetti di possibile amplificazione sismica legati alle caratteristiche litologiche e geotecniche del terreno costituente il sottosuolo ed alla morfologia di alcuni settori collinari.

L'analisi comparata dei dati raccolti ha permesso di ricostruire lo scenario di pericolosità sismica locale e di identificare le aree per le quali la normativa non è adeguata a rappresentare gli effetti di un potenziale sisma.

4.1 – Primo livello di approfondimento

L'insieme dei dati geologici, geotecnici e geofisici contenuti nella cartografia d'inquadramento ed il quadro dei possibili scenari di pericolosità sismica sul territorio di Gandosso hanno permesso la redazione della Carta della Pericolosità Sismica Locale, allegata in scala 1:10.000 sulla base della Carta Tecnica Regionale.

Gli scenari individuati sono i seguenti:

- **Z1c** – Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana; è identificata dai settori di versante interessati da manifestazioni di tipo gravitativo generalizzate e/o da fenomeni avvenuti in passato.
- **Z3b** – Zona di cresta rocciosa; si tratta di settori collinari dotati di crinali appuntiti la cui morfologia predispone a fenomeni di amplificazione sismiche di origine topografica; sul territorio di Gandosso vi sono due creste importanti: quella sviluppata ad arco lungo il confine con Grumello e Castelli Calepio che comprende il monte del Castello e quella che dalla località Romagnoli si sviluppa verso Celatica Tolari in direzione W-E.
- **Z4a** – Zone di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e fluvio-glaciali granulari e coesivi; rappresentano la maggior parte del territorio comunale subpianeggiante. Dal punto di vista granulometrico non vi sono significative differenziazioni, in quanto la frazione limosa risulta nettamente prevalente. In relazione alle proprietà geotecniche e geofisiche dei materiali geologici è possibile l'insorgenza di fenomeni di amplificazione sismica.
- **Z5** – Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse; costituisce la linea di perimetrazione dei sedimenti quaternari rispetto al substrato roccioso.

L'individuazione dei singoli scenari pericolosità e dei relativi effetti ha condotto anche all'attribuzione della classe di pericolosità sismica, che nel caso del territorio di Gandosso corrisponde alla sigla H2.

4.2 – Secondo livello di approfondimento

A partire dai contenuti della Carta della Pericolosità Sismica Locale si è proceduto all'applicazione del secondo livello di approfondimento, per accertare attraverso determinazioni di tipo semiquantitativo se la normativa nazionale è sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici. Tale livello si applica, come previsto dalla D.G.R. 22-12-2005 n. 8/1566 agli scenari suscettibili di amplificazioni sismiche.

L'approfondimento ha riguardato le aree di pianura, contraddistinte da sedimenti in grado di produrre potenzialmente amplificazione sismica e le aree collinari in cui le zone di cresta interessano l'edificato e/o l'edificabile. Per quanto attiene le aree appartenenti allo scenario Z5 non è stato necessario effettuare una valutazione a livelli di approfondimento maggiore, in quanto il contatto fra litotipi di caratteristiche molto diverse esclude la possibilità di realizzare costruzioni a cavallo.

Il ricorso al secondo livello è stato quindi indispensabile per verificare la possibile amplificazione sismica connessa con gli effetti litologici e morfologici delle aree identificate nei rispettivi scenari.

4.2.1 – Effetti litologici

In relazione ai parametri geologici e geotecnici sono state individuate le litologie prevalenti per il sottosuolo di Gandosso, impiegando per le analisi quantitative la **scheda litologia limoso-sabbiosa tipo 2**. Il campo di validità delle schede non è sempre rispettato sull'intero intervallo di profondità, ma la procedura utilizzata può essere ritenuta attendibile in quanto vi è validità per gli strati più superficiali, che maggiormente influenzano la risposta del terreno alle sollecitazioni sismiche.

All'interno delle due schede è stata scelta in funzione della profondità e della velocità delle onde sismiche trasversali V_s la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione sismica F_a negli intervalli 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s in base al valore del periodo proprio del sito T. Quest'ultimo è stato calcolato mediante la seguente formula:

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

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

Gli intervalli di periodo prescelti sono stati definiti in rapporto al periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più diffuse sul territorio regionale; in particolare 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.

Applicando la procedura descritta, rappresentata nella scheda allegata, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Zona territoriale	Periodo proprio del sito T	Periodo proprio degli edifici t	Fattore di amplificazione sismica Fa
Pianura alluvionale e fluvioglaciale	0,23 s	0,1-0,5 s	2,1
Pianura alluvionale e fluvioglaciale	0,23 s	0,5-1,5 s	1,2

La valutazione del grado di protezione è stata effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto dalle schede litologiche con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica, per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s. Il parametro in questione, riportato nella banca dati della Regione Lombardia, 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.

Considerato che ai sensi dell'Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20-03-2003, il sottosuolo di Gandosso appartiene alla categoria E, desunta impiegando le velocità V_s e la resistenza penetrometrica, sono stati confrontati i valori di Fa ottenuti con il parametro proposto dalla Regione, accertando che la normativa nazionale risulta inadeguata per le aree pianeggianti assumendo un periodo di oscillazione nell'intervallo 0.1-0.5 s. Pertanto in questo caso sarà indispensabile effettuare in fase di progettazione il terzo livello di approfondimento, per tenere conto dei reali effetti di amplificazione sismica.

4.2.2 – Effetti morfologici

L'individuazione delle creste è avvenuta sulla Carta Tecnica Regionale, verificando la rispondenza delle geometrie esistenti ai criteri stabiliti per l'applicabilità delle schede di approfondimento. Le sezioni topografiche impiegate per le valutazioni di secondo livello sono riportate nella Carta della Pericolosità Sismica Locale; si segnala che la cresta situata lungo il

confine comunale con Grumello e Castelli Calepio non è stata oggetto di specifici studi di approfondimento in quanto la zona non interferisce con l'urbanizzato e l'urbanizzabile.

La situazione morfologica connessa con la **zona di cresta** che si estende da Romagnoli a Celatica Tolari, è stata ricostruita attraverso una sezione trasversale significativa e rappresentativa.

La geometria del pendio e le caratteristiche altimetriche della collina hanno permesso di stabilire che la cresta in questione è classificabile come appuntita. La scheda allegata contiene i dettagli delle valutazioni tecniche eseguite, utilizzando sempre il diagramma riferito alle creste appuntite con larghezza alla base inferiore a 250 m.

Il fattore di amplificazione sismica ottenuto è pari a 1,1. Il valore soglia stabilito dalla Regione Lombardia è superiore a quello determinato; pertanto si deve ritenere che la presenza della cresta non produca effetti di amplificazione sismica tali da comportare una differenza rispetto allo spettro proposto dalla normativa nazionale.

5 – VINCOLI AMBIENTALI

I vincoli ambientali rappresentano nella gestione delle trasformazioni territoriali dei punti di riferimento con i quali i cittadini si devono confrontare per garantire la compatibilità fra l'intervento previsto ed il rispetto delle peculiarità paesaggistiche dell'area. La tipologia e la localizzazione dei vincoli è stata definita attraverso l'esame degli elementi fisico-naturali e delle strutture antropiche esistenti sul territorio di Gandosso, ricercando negli archivi della Regione Lombardia e dell'Ufficio Tecnico Comunale le informazioni necessarie per la corretta delimitazione delle aree tutelate.

I vincoli inseriti nella Carta dei Vincoli Geologico-Ambientali sono i seguenti.

5.1 - Vincolo di polizia idraulica

Il testo unico in materia di polizia idraulica è rappresentato dal R.D. 523/1904, che con tutte le successive integrazioni e circolari contiene l'insieme delle norme riguardanti le attività proibite e quelle consentite previa autorizzazione o nulla osta idraulico all'interno di ben definite fasce di rispetto.

Con la D.G.R. 25-01-2002 n. 7/7868 e la successiva D.G.R. 01-08-2003 n. 7/13950, emesse a seguito dei criteri definiti nella D.G.R. 22-12-1999 n. 47310 e successivi aggiornamenti, la Regione ha identificato i corsi d'acqua principali, su cui continuerà a svolgere le funzioni di polizia idraulica (eccezion fatta per i tratti di competenza dell'Aipo), rilasciando attraverso le sedi territoriali provinciali le varie autorizzazioni ed introitando i

proventi derivanti dai canoni concessori. Le medesime mansioni sul reticolo minore sono state pertanto trasferite ai comuni ed ai consorzi di bonifica.

Nell'ambito del confine comunale di Gandosso la gestione della polizia idraulica e le limitazioni d'uso del territorio derivanti dall'esistenza della rete idrica superficiale sono così strutturate:

Corso d'acqua	Categoria	Fascia di rispetto	Vincolo ambientale	Ente gestore
Torrente Udriotto	Minore	10 m	Sì	Comune di Gandosso
Torrenti vari	Minore	10 m	No	Comune di Gandosso

5.2 – Vincolo idrogeologico

E' stato istituito mediante R.D. n. 3267 del 30-12-1923 nell'intento di prevenire ed arrestare il dissesto del suolo, conseguente ad interventi di disboscamento irrazionale. Il territorio collinare di Gandosso è significativamente interessato da tale vincolo nella parte meridionale, mentre in quella settentrionale risulta vincolata solo la zona sommatiale delle pendici collinari.

La perimetrazione del vincolo è stata estrapolata dalla cartografia fornita dall'Ufficio Tecnico Comunale.

5.3 – Vincolo cimiteriale

Il vincolo cimiteriale è stato istituito attraverso il regolamento di polizia mortuaria contenuto nel D.P.R. 10/09/1990, n. 285. All'art. 57 viene stabilita una fascia di rispetto che per i comuni con un numero di abitanti inferiore a 10.000 è pari a 50 m. Nell'ambito del territorio di Gandosso è presente un'unica area cimiteriale, la cui superficie complessiva vincolata è pari a circa 22.000 m².

5.4 – Vincolo paesaggistico

Il vincolo paesaggistico è riferito al D.Lgs. 22-01-2004 n. 42, che ha raccolto tutte le normative di tutela ambientale precedenti in un testo unico, istituendo in particolare l'ampiezza della fascia di rispetto da applicare ad alcuni ambiti territoriali fra i quali i corsi d'acqua, i laghi ed i boschi. La D.G.R. 25/07/1986, n. 4/12028, che individua i corsi d'acqua pubblici per i quali si applica il vincolo paesaggistico, stabilisce che in territorio di Gandosso vi è il solo torrente Udriotto, vincolato dallo sbocco sino alla biforcazione sotto Salatina. Pertanto l'area

soggetta al vincolo ai sensi dell'art. 142 comma 1 lettera c riguarda la zona compresa entro la distanza di 150 m dal corso d'acqua, per la quale gli interventi edilizi dovranno essere esaminati da apposite commissioni ambientali per il rilascio dell'autorizzazione paesistica.

In aggiunta è stata inserita anche la perimetrazione delle aree boscate, soggette al vincolo paesaggistico ai sensi dell'art. 142 comma 1 lettera g ed interessate dalle medesime limitazioni.

5.5 – Vincolo Piano Paesistico Regionale

Il vincolo ambientale previsto dall'art. 17 del Piano Paesistico Regionale ha ripreso il concetto delle cosiddette "aree di primo appoggio", situate al di sopra di una certa quota altimetrica e per le quali vi sono specifiche limitazioni alla modifica di destinazione d'uso dei terreni. Per il Comune di Gandosso la quota di riferimento corrisponde ai 400 m s.l.m..

6 – FATTIBILITA' GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO

La Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano, redatta in scala 1:10.000 sulla base della CTR ed in scala 1:2.000 sulla base del rilievo aerofotogrammetrico, è stata ricostruita inserendo la zonazione geologica già approvata ai sensi della Legge 41/1997 in occasione dello studio geologico di supporto al Piano Regolatore Generale ed aggiungendo le fasce di rispetto fluviale dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo principale e minore ai sensi della D.R.G. 01-08-2006 n. 7/13950.

La Carta di Fattibilità rappresenta dunque un documento contenente informazioni in merito alla pericolosità geologica dei fenomeni e delle situazioni rilevati sul territorio, fornendo indicazioni in ordine alle limitazioni e destinazioni d'uso dei terreni.

Il territorio è stato suddiviso in quattro classi di fattibilità, identificate da uno specifico significato geologico e da norme tecniche che vengono descritte in dettaglio nel capitolo successivo. In aggiunta sono state identificate con retino differenziato le aree soggette ad amplificazione sismica con normativa nazionale inadeguata a rappresentare gli effetti di sito.

7 – NORME GEOLOGICHE DI PIANO

Le norme geologiche di piano costituiscono la normativa d'uso della Carta di Fattibilità e riportano per ciascuna classe le indicazioni in merito alle indagini di approfondimento ed alla loro estensione, da effettuarsi prima degli interventi urbanistici, con riferimento alla tipologia ed all'intensità del fenomeno che ha determinato l'assegnazione della classe di fattibilità.

Va comunque ricordato che tali norme tecniche si sommano a quelle di tutela ambientale previste dai vari vincoli, che di volta in volta possono imporre soluzioni e studi aggiuntivi rispetto a quanto esposto in tale sede, secondo le intenzioni degli enti gestori dei vincoli.

Di seguito si riportano le norme geologiche inerenti gli studi di approfondimento e le opere di mitigazione del rischio, eventualmente da realizzare, organizzate in articoli da inserire integralmente in futuro nel Piano delle Regole e nel Documento di Piano del P.G.T..

Art. 1 – Classe di fattibilità 1 (Fattibilità senza particolari limitazioni)

La classe comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dal D.M. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni". Il territorio di Gandosso, per la sua conformazione geologica e per l'assetto idrogeologico che lo caratterizza, è sprovvisto di zone in classe 1.

Art. 2 – Classe di fattibilità 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.

Le zone posizionate in classe 2 appartengono principalmente ai settori territoriali urbanizzati, dove la dinamica geomorfologica e gli effetti negativi del dilavamento e dell'infiltrazione dell'acqua in profondità, sono stati mitigati fortemente in seguito alla costruzione di opere di sostegno in muratura o in pietrame ed alla impermeabilizzazione superficiale. La fascia di demarcazione della classe 2 è stata inoltre estesa alle aree dotate di acclività limitata e prive di rilevanti manifestazioni morfogenetiche in atto.

Qualora si preveda di realizzare opere di completamento e/o nuove costruzioni aventi elevato impatto sul terreno, è necessario predisporre degli studi di approfondimento geologico,

finalizzati alla valutazione delle tecniche costruttive più idonee a garantire la stabilità strutturale dei manufatti.

Le verifiche tecniche da effettuare potranno prescindere, salvo situazioni particolari, da indagini geognostiche di dettaglio, ma dovranno essere supportate da rilevamenti geologico-tecnici in scala 1:2.000 riguardanti i fenomeni geomorfologici in atto, le proprietà litologiche e meccaniche dei terreni e delle rocce e lo stato di dissesto della rete idrica eventualmente adiacente l'area in oggetto. La tipologia e l'estensione delle indagini geognostiche e dei rilevamenti dovranno essere definite caso per caso, in funzione dell'intervento edilizio e delle valutazioni critiche, operate da tecnici abilitati incaricati dai rispettivi committenti di redarre una relazione geotecnica, geologico-tecnica o idrogeologica da allegare ai documenti di progetto.

Art. 2.1 – Norme tecniche per gli studi di approfondimento

Le procedure di calcolo e le tecniche esecutive inerenti l'ambito edilizio sono stati regolati dallo Stato Italiano mediante l'emanazione delle "Norme tecniche per le costruzioni", pubblicate con Decreto Ministeriale del 14-09-2005 e modificate con Decreto Ministeriale del 14-01-2008. Per quanto attiene gli aspetti riguardanti le costruzioni in zone sismiche si fa riferimento alla OPCM 3274 del 20-03-2003, successivamente modificata in varie occasioni sino alla versione definitiva dell'Ordinanza 3431 del 03-05-2005.

Allo stato attuale l'Ordinanza è in vigore dal 23 ottobre 2005, mentre l'applicazione del decreto ministeriale è prorogata sino al 30-06-2009, periodo transitorio durante il quale è possibile in alternativa continuare ad applicare nelle aree sismiche i contenuti tecnici del Decreto Ministeriale del 16-01-1996 e delle norme connesse. Fanno eccezione le nuove progettazioni degli interventi relativi agli edifici ed alle opere infrastrutturali di cui al decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile 21-10-2003, per le quali si applicano da subito le disposizioni del D.M. 14-01-2008.

La relazione geologica e/o geotecnica e/o idrogeologica dovrà essere comunque firmata da tecnico abilitato.

Gli studi di approfondimento dovranno essere realizzati prima della progettazione degli interventi edilizi e la relazione geologica di supporto dovrà essere consegnata in sede di presentazione dei Piani Attuativi o in sede di richiesta del permesso di costruire.

Art. 3 – Classe di fattibilità 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.

Le aree inserite nella classe 3 si sviluppano in prossimità dei versanti ad acclività medio-alta con condizioni di stabilità precaria del terreno di copertura superficiale o addirittura del

substrato roccioso; in alcuni casi l'attribuzione della classe 3 è stata definita in relazione alla presenza di fenomeni morfogenetici attivi dotati di elevata pericolosità ed alla scarsa qualità geotecnica del sottosuolo anche in zone pianeggianti.

La tipologia e l'estensione delle indagini geognostiche dovranno essere definite caso per caso, in funzione dell'intervento edilizio e delle valutazioni critiche, operate da tecnici abilitati incaricati dai rispettivi committenti di redarre una relazione geotecnica, geologico-tecnica o idrogeologica da allegare ai documenti di progetto.

Considerata l'elevata pericolosità dei fenomeni individuati nella classe 3 gli studi geologici di approfondimento avranno la finalità di stabilire le eventuali opere di bonifica e/o sistemazione dei dissesti, prevedendo anche la possibilità di installare un sistema di monitoraggio che consenta il controllo dell'evoluzione dei fenomeni in atto.

Art. 3.3 – Norme tecniche per gli studi di approfondimento

Per gli studi di approfondimento previsti per le aree in classe 3 valgono le medesime considerazioni contenute nell'art. 2.1. Va comunque precisato che tutti gli studi di carattere geotecnico ed idrogeologico previsti per le nuove edificazioni e per le opere di dispersione nel sottosuolo dovranno essere realizzati, qualora venga superato il limite imposto dalla problematica geologica che ha condotto all'attribuzione della classe di appartenenza, nelle stesse modalità previste per le aree in classe 2.

Qualora vi fossero in progetto opere idrauliche per la sistemazione dei corsi d'acqua o interventi che interferiscono con il sistema idrografico esistente, si dovrà produrre sia per le aree in classe 2 che per quelle in classe 3 una **relazione idraulica** che garantisca la conformità delle soluzioni previste e fornisca i dati indispensabili per il corretto dimensionamento delle opere.

Per ciò che riguarda le problematiche di dispersione idrica nel sottosuolo si dovrà produrre una relazione idrogeologica che indichi la natura granulometrica del sottosuolo e ne caratterizzi le proprietà di permeabilità nell'ottica del dimensionamento delle opere di scarico.

Art. 4 – Classe di fattibilità 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, se non opere 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), e) 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.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. 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.

Le aree del territorio di Gandosso appartenenti alla classe 4 sono situate in prevalenza lungo le sponde in erosione fluviale e sulle scarpate dei torrenti che incidono i versanti collinari.

Per quanto riguarda le aree parzialmente interessate dalla classe 4, si segnala che pur non potendo eseguire trasformazioni della zona in oggetto, la volumetria degli edifici potrà essere determinata comunque sulla base dell'area complessiva di proprietà.

Art. 5 – Regolamento di polizia idraulica

Le fasce di rispetto dei corsi d'acqua minori ed il relativo regolamento di polizia idraulica sono stati determinati nello studio approvato dal comune.

Di seguito si riportano in forma sintetica gli articoli che compongono il regolamento, per i cui dettagli si rimanda al suddetto lavoro.

Art. 5.1 – Fascia di rispetto dei corsi d'acqua e regolamento di polizia idraulica

Le fasce di rispetto dei corsi d'acqua principali e minori sono state determinate, nello studio approvato dal comune, sulla base quanto stabilito dal R.D. 523/1904 ed in riferimento all'evoluzione storica dei corsi d'acqua oltre che alle risultanze dello studio geologico approvato. Tutti i corsi d'acqua sono gestiti dal Comune di Gandosso.

Art. 5.1.1 – Attività soggette ad autorizzazione idraulica

Il territorio comunale di Gandosso non è interessato da aree perimetrare nel Piano Stralcio per L'assetto Idrogeologico, pertanto il riferimento normativo per la gestione delle attività all'interno delle fasce di rispetto è rappresentato dal R.D. 523/1904 e dalle successive integrazioni.

Le norme segnalate nel presente documento costituiscono una sintesi di quanto contenuto nel suddetto decreto e sono finalizzate a facilitare la consultazione rapida da parte dei tecnici preposti all'istruzione delle pratiche idrauliche; tuttavia per maggiori dettagli si rimanda al testo completo ed alle circolari successivamente emanate, dai quali né l'ente pubblico né il privato cittadino può prescindere.

Gli interventi per i quali è necessario il "nulla osta" idraulico sono i seguenti:

- opere di difesa radenti (ossia senza restringimento della sezione dell'alveo e a quota non superiore al piano campagna), realizzate in modo tale da non deviare la corrente verso la sponda opposta né provocare restringimenti dell'alveo; tali opere dovranno essere caratterizzate da pendenze e modalità costruttive tali da permettere l'accesso al corso d'acqua (la realizzazione di muri spondali verticali o ad elevata pendenza sarà consentita unicamente all'interno di centri abitati e comunque dove non siano possibili alternative d'intervento a causa della limitatezza delle aree disponibili;

- interventi che non siano suscettibili di influire direttamente o indirettamente sul regime del corso d'acqua.

Gli **interventi ammessi con autorizzazione idraulica** (art. 97-98) sono i seguenti:

- formazione di argini ed opere idrauliche che occupano l'area del demanio idrico
- costruzione di opere di derivazione d'acqua ed opere di attraversamento (ponti, gasdotti, fognature, tubature ed infrastrutture a rete in genere).

Gli attraversamenti con luce superiore a 6 m dovranno essere realizzati secondo la direttiva dell'Autorità di Bacino del Po "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B".

Ad ogni buon conto i **manufatti di attraversamento** non dovranno:

- a) restringere la sezione mediante spalle e rilevati di accesso
- b) avere l'intradosso a quota inferiore ad 1 m dal livello di massima piena calcolato con periodo di ritorno pari a 100 anni
- c) comportare una riduzione della pendenza del corso d'acqua mediante l'utilizzo di soglie di fondo
- d) possedere infrastrutture posizionate longitudinalmente nell'alveo che riducano la sezione (in caso di necessità e di diversa localizzazione le stesse potranno essere interrato)
- e) essere realizzati al di sotto dell'alveo a quote superiori a quelle raggiungibili in base all'evoluzione morfologica del corso d'acqua e adeguatamente protette dall'eventuale azione erosiva della corrente idrica.

Tutti gli interventi sui corsi d'acqua dovranno essere accompagnati da **studio idraulico**, composto da indagini idrologiche, dalla valutazione della portata di massima piena con periodo di ritorno pari a 100 anni e dalle verifiche idrauliche sulle geometrie in progetto, atte a dimostrare che le opere previste non comportano un aggravamento delle condizioni di rischio idraulico sulle aree circostanti.

5.1.2 – Attività vietate

All'interno delle fasce di rispetto identificate il R.D. 523/1904 ha riconosciuto nell'art. 96 una serie di attività vietate, integrate poi dalle varie leggi, regolamenti e circolari, riassunte nel seguente elenco:

- occupazione e/o riduzione delle aree di espansione e divagazione dei corsi d'acqua al fine della moderazione delle piene
- nuove edificazioni e movimenti di terra (questi ultimi sino a 4 m dall'argine)
- tombinatura dei corsi d'acqua ai sensi del D.Lgs 152/1999
- sradicamento degli alberi per una distanza di 10 m dalla quota di piena ordinaria e delle piantagioni sugli argini.

5.1.3 – Scarichi in corsi d’acqua

Una corretta gestione delle acque superficiali non può prescindere dall’esercitare una particolare attenzione nei confronti degli scarichi nelle acque superficiali, accertando in relazione alle quantità smaltite la capacità del corpo idrico a recapitarle senza alterazione alcuna.

Il Piano di Risanamento Regionale delle acque ha indicato i criteri di pianificazione in rapporto alla gestione delle risorse idriche, definendo i parametri di ammissibilità delle portate adottate ai corsi d’acqua che presentano problemi di insufficienza idraulica. In assenza di indicazioni più dettagliate sull’ammissibilità delle portate scaricabili vengono indicati i seguenti limiti di accettabilità:

1. 20 l/s per ogni ettaro di superficie scolante impermeabile, relativamente alle aree di ampliamento e di espansione residenziale ed industriale
2. 40 l/s per ogni ettaro di superficie scolante impermeabile, relativamente alle aree già dotate di pubblica fognatura.

I suddetti limiti sono da adottare per tutti gli scarichi non ricadenti in aree montane e diretti nei laghi o nei fiumi Ticino, Adda, Brembo, Serio, Cherio, Oglio, Mella, Chiese e Mincio.

Il manufatto di recapito dovrà essere realizzato in modo che lo scarico avvenga nella medesima direzione del flusso e senza indurre azioni erosive concentrate in grado di produrre alterazioni della curva di fondo del corso d’acqua.

Tutti gli interventi che comportino lo scarico in acque superficiali dovranno essere accompagnati da una **relazione idraulica**, che accerti le portate di smaltimento e la conformità delle operazioni di immissione nel corso d’acqua.

5.1.4 – Autorizzazione paesistica, opere abusive e sdemanializzazione

La Legge Regionale 18/1997 ha subdelegato ai comuni le **autorizzazioni paesistiche** rilasciate ai sensi dell’art. 151 del D.Lgs 490/1999; tuttavia per quanto riguarda le opere idrauliche e specificatamente quelle inerenti gli interventi sulle sponde e sull’alveo dei corsi d’acqua la competenza in materia ambientale è rimasta alla Regione Lombardia, Direzione Territorio ed Urbanistica – U.O. Sviluppo Sostenibile del Territorio.

Pertanto, salvo gli interventi edilizi o di trasformazione del territorio subdelegati, tutte le opere idrauliche sui corsi d’acqua principali e minori, soggetti al vincolo della Legge 431/1985, dovranno essere sottoposte alla richiesta di autorizzazione paesistica alla Regione.

Nel caso di **opere abusive o difforme** da quanto autorizzato, la diffida a provvedere alla riduzione in pristino potrà essere disposta con apposita Ordinanza Sindacale ai sensi dell’art. 14 della legge 47/1985.

E’ data facoltà al Comune di modificare o ripermetrare le aree demaniali, previa proposta agli uffici competenti dell’amministrazione statale (Agenzia del Demanio).

Le richieste di **sdemanializzazione** sul reticolo minore dovranno essere inviate alle Agenzie del Demanio, allegando il nulla osta prodotto dal Comune.

In ogni caso ai sensi del comma 4 del D.Lgs 11-05-1999 n. 152 le aree del demanio fluviale di nuova edificazione non possono essere oggetto di sdemanializzazione.

5.1.5 – Estrazione di materiale litoide

L'asportazione di materiale litoide dagli alvei, gestita dall'ente pubblico regionale, è talora necessaria per la sistemazione e la rimessa in equilibrio del corpo idrico. La programmazione, la progettazione e le modalità di conduzione degli interventi costituiscono esclusiva materia di competenza della regione, che opera secondo criteri in grado di garantire il rispetto dell'equilibrio del corso d'acqua dal punto di vista idrologico ed idraulico.

5.1.6 – Concessioni e canoni

Il Comune ed i consorzi per la rete idrica di propria competenza agiscono applicando le norme di polizia idraulica, rilasciando solamente autorizzazioni idrauliche. Le attività del Comune e dei Consorzi per la rete idrica riguardano:

- ✓ espressione di pareri di compatibilità idraulica
- ✓ rilascio di autorizzazioni per interventi inerenti i corsi d'acqua e le attività all'interno delle fasce di rispetto
- ✓ emissione di canoni per il rilascio delle concessioni
- ✓ riscossione dei canoni relativi e attività di manutenzione sui corsi d'acqua di loro competenza.

Nella 01-08-2003 n. 7/13950 sono allegare le tabelle con i canoni regionali da applicare sia al reticolo principale che a quello minore.

5.1.7 – Criteri ed indirizzi per l'esercizio della polizia idraulica

Le indicazioni tecniche ed i riferimenti normativi riportati consentiranno al Comune di svolgere le nuove funzioni attribuitegli, nel rispetto dei criteri tecnico-scientifici d'intervento sulla rete idrografica e della legislazione vigente.

In aggiunta alle norme descritte in precedenza si elencano una serie di ulteriori indirizzi, dedotti dai criteri di buona costruzione idraulica, da acquisire per il corretto esame dei progetti e delle richieste di polizia idraulica.

1) Al fine di evitare la riduzione dei tempi di corrivazione e per consentire la massima laminazione delle piene è necessario evitare l'occupazione o la riduzione delle aree di espansione dei corsi d'acqua, in particolare mantenendo alle aree demaniali le funzioni di invaso delle acque.

2) Le difese non devono deviare la corrente verso la sponda opposta e non devono provocare restringimenti d'alveo.

3) Le autorizzazioni agli attraversamenti, oltre a far riferimento alle direttive dell'Autorità di Bacino citate per i ponti, dovranno, per gli attraversamenti di minor dimensione, essere realizzati preferibilmente evitando la realizzazione di sacche di deposito del materiale solido trasportato a monte del manufatto o dimensionando le sacche sulla base del volume di trasporto solido previsto, ed evitando riduzione di pendenza in corrispondenza dell'attraversamento.

4) Le distanze da mantenere dalla sponda dei corsi d'acqua, dotati di fascia di rispetto pari a 10 m, per la realizzazione di recinzioni saranno di 10 m qualora trattasi di opere in muratura che si elevano oltre il piano di campagna, di 4 m in presenza di recinzioni asportabili formate

da pali e reti metalliche.

5) La realizzazione di scavi di fabbricati o di opere anche totalmente interrato dovrà essere mantenuta al di fuori della fascia di rispetto stabilita.

6) Il dimensionamento idraulico delle opere di attraversamento, il calcolo delle portate di massima piena e le rispettive verifiche idrauliche saranno realizzati con riferimento alle piene con tempo di ritorno pari a 100 anni.

7) Le opere in subalveo dovranno essere realizzate a quote compatibili con l'evoluzione prevista del fondo alveo, non tenendo conto di specifiche opere trasversali volte a ristabilire la quota di fondo in corrispondenza degli attraversamenti.

8) La distanza delle opere dal corso d'acqua dovrà essere misurata con riferimento al piede arginale esterno, o in assenza di argini in rilevato, in generale dalla sommità della sponda incisa. Nel caso di sponde stabili, consolidate e protette, le distanze possono essere misurate con riferimento alla linea individuata dalla piena ordinaria.

9) In sede di richiesta di autorizzazione idraulica dovrà essere presentata una tavola di sovrapposizione fra il rilievo aerofotogrammetrico e la mappa catastale, in modo da appurare l'eventuale occupazione di suolo demaniale; inoltre dovrà essere dimostrata, mediante misurazione diretta, la distanza effettiva dal corso d'acqua per la verifica della fascia di rispetto.

Art. 6 – Studi di approfondimento dello strumento geologico comunale

La D.G.R. 22-12-2005 n. 8/1566 contiene le direttive inerenti gli studi di approfondimento indispensabili per analizzare con maggior dettaglio le condizioni di pericolosità del territorio. Tali procedure dovranno essere applicate allorché si desideri ripermire ambiti soggetti a vincolo o declassare aree precedentemente inserite in classe 4 di fattibilità geologica.

In ogni caso la scelta e la facoltà di ripermire o declassare un sito spetta all'Amministrazione Comunale.

Art. 7 – Norme per le aree soggette a fenomeni di instabilità e cedimento indotti da un sisma

L'individuazione delle zone sismiche del territorio italiano è riferita alla nuova classificazione, contenuta nella suddetta Ordinanza e recepita dalla Regione Lombardia con D.G.R. 07-11-2003 n. 14964.

Fino al termine del periodo di monitoraggio ai sensi della D.G.R. 07-11-2003 n. 14964 in zona 4 la progettazione antisismica è obbligatoria esclusivamente per gli edifici strategici e rilevanti, così come individuati dal Decreto n. 19904 del 21-11-2003, non rientranti nelle tipologie di cui al decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile 21-10-2003. Qualora si optasse per l'utilizzo della normativa precedente in materia, per il Comune di Gandosso, inserito in zona 3 nella classificazione nazionale, si dovrà considerare un valore del grado di sismicità basso $S = 6$.

Nella Carta di Fattibilità sono rappresentate le aree con fattore di amplificazione litologica superiore al valore soglia comunale, definito secondo i criteri descritti nel capitolo 4. In queste aree la normativa nazionale risulta inadeguata a rappresentare gli effetti locali per gli edifici caratterizzati da un periodo di oscillazione compreso nell'intervallo 0.1-0.5 s. Pertanto è indispensabile effettuare in fase di progettazione il terzo livello di approfondimento, secondo le direttive della D.G.R. 28-05-2008 n. 8/7374, per tenere conto dei reali effetti di amplificazione sismica.

I risultati delle analisi di terzo livello, corredate di opportune indagini geotecniche e geofisiche, saranno utilizzati in fase di progettazione al fine di ottimizzare l'opera e gli eventuali interventi di mitigazione della pericolosità.

In alternativa si potrà utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, secondo 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 D si utilizzerà quello della categoria di suolo E.

Lo scenario corrispondente alle zone Z1 individuate sul territorio dovrà essere oggetto di specifici studi di 3° livello, onde accertare con opportune indagini geotecniche e geofisiche l'esistenza di rischi reali sulle opere in progetto.

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto dovrà essere effettuata direttamente per il sito in esame, sulla base delle informazioni disponibili nel reticolo di riferimento riportato nella tabella 1 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008.

Gli studi geologici e geotecnici sul territorio dovranno essere corredate da opportune indagini geognostiche mirate all'esame delle problematiche sismiche ed alla specifica valutazione degli effetti di sito relativi alla costruzione in oggetto.

8 - ALLEGATI

8.1 – Allegati alla relazione geologica generale

- ◆ Indagini geognostiche (sondaggio meccanico e diagramma penetrometrico)
- ◆ Scheda degli effetti litologici

- ◆ Scheda degli effetti morfologici
- ◆ Certificato indagine geofisica con il metodo ReMi

8.2 – Cartografia tematica

- ◆ Tav. 1 – Carta della Pericolosità Sismica Locale in scala 1:10.000
- ◆ Tav. 2a, 2b – Carta dei Vincoli Geologico-Ambientali in scala 1:2.000
- ◆ Tav. 3a, 3b – Carta di fattibilità delle azioni di piano in scala 1:2.000
- ◆ Tav. 4 – Carta di fattibilità delle azioni di piano in scala 1:10.000

INDAGINI GEOGNOSTICHE

COMUNE DI GANDOSSO
Aggiornamento dello studio geologico del territorio comunale
relativamente alla componente sismica

COMUNE DI GANDOSSO

*Aggiornamento dello studio geologico del territorio comunale
relativamente alla componente sismica*

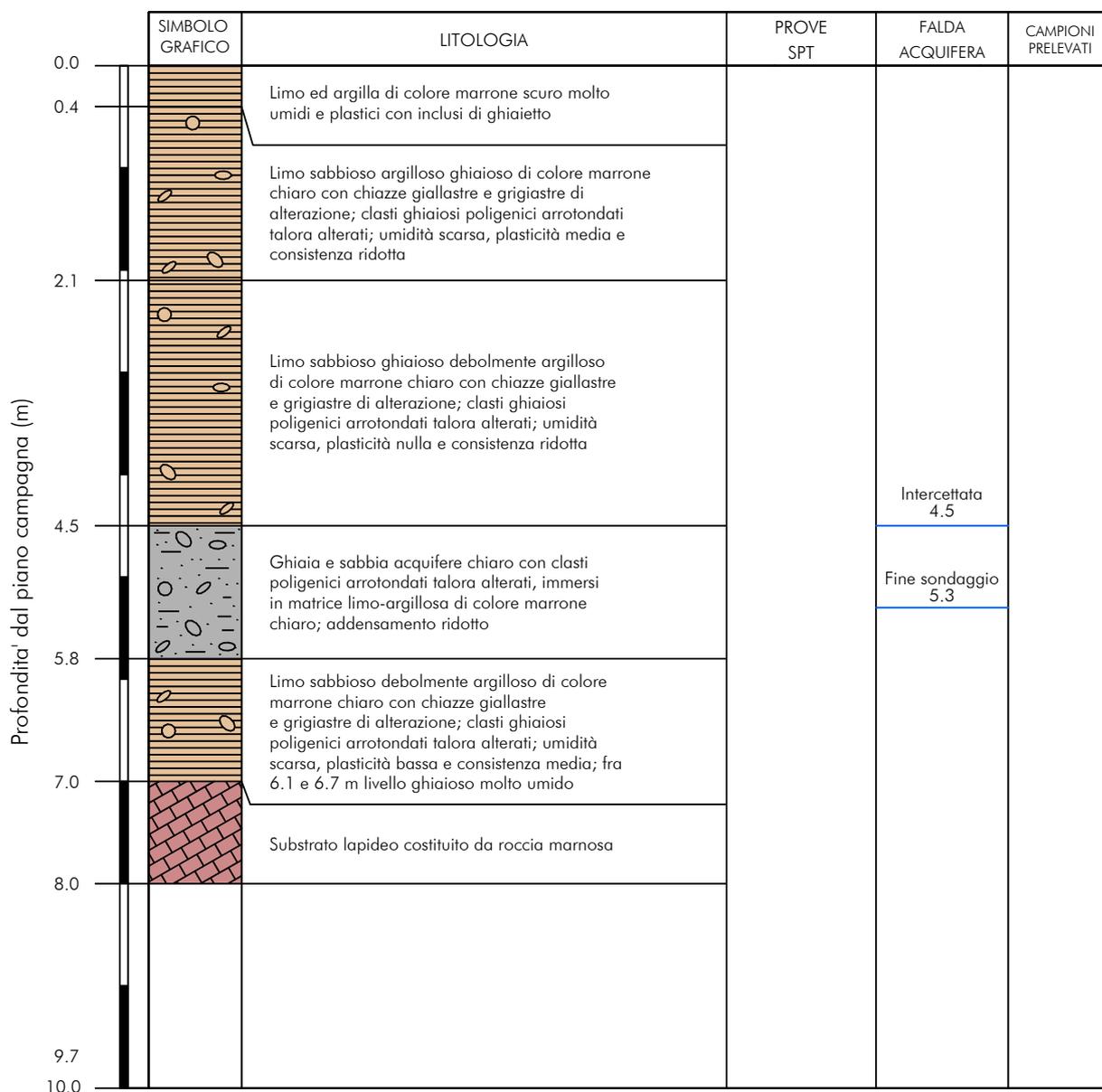
STRATIGRAFIA DEL SONDAGGIO MECCANICO

Tipo di perforazione = rotazione
Diametro del foro (mm) = 101
Diametro del rivestimento (mm) = 127

Profondità del rivestimento (m) = 2.0
Campioni prelevati =
Fluido di perforazione = acqua

Quota piano campagna (m s.l.m.) = 288
Lunghezza sondaggio (m) = 8.0
Profondità falda (m) =

Ditta esecutrice = Geoprove
Responsabile della perforazione = Sig. Kisic Andrea



COMUNE DI GANDOSSO

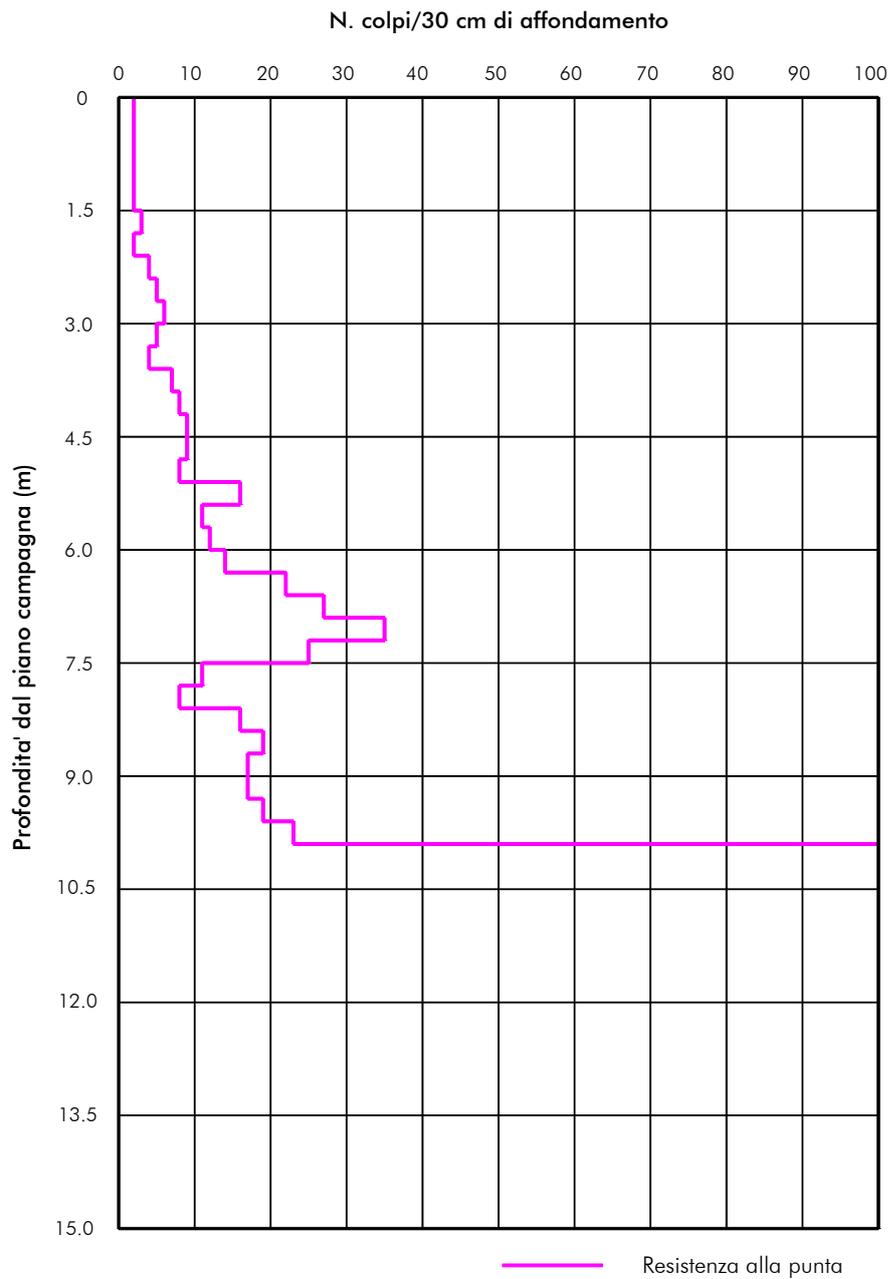
Aggiornamento dello studio geologico del territorio comunale
relativamente alla componente sismica

DIAGRAMMA PENETROMETRICO

Tipo di prova = DPSH
Diametro della punta (mm) = 50.8
Conicità della punta = 60°

Peso del maglio (kg) = 73
Altezza di caduta del maglio (cm) = 75
Avanzamento (cm) = 30

Impresa esecutrice = Dott. Zanchi
Quota piano campagna (m s.l.m.) = 280
Profondità falda (m) =



SCHEDA EFFETTI LITOLGICI

COMUNE DI GANDOSSO

Aggiornamento dello studio geologico del territorio comunale relativamente alla componente sismica

EFFETTI LITOLGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO-SABBIOSA TIPO 2

PARAMETRI INDICATIVI

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

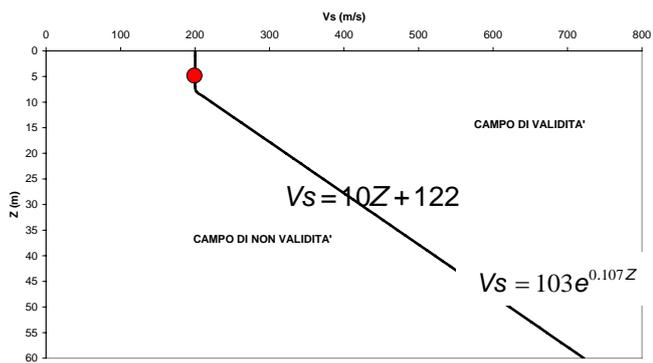
NOTE:
Comportamento coesivo
Frazione limosa ad un massimo del 95%
Presenza di clasti immersi con $D_{max} < 2-3$ cm
Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%
Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%

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

FUSO GRANULOMETRICO INDICATIVO

PARAMETRO	INTERVALLO
Peso di volume naturale	γ [kN/m ³] 18.5-19.5
Peso specifico particelle solide	γ_s [kN/m ³] 26.0-27.9
Contenuto d'acqua naturale	w [%] 25-30
Limite di liquidità	W _L [%] 25-35
Limite di plasticità	W _P [%] 15-20
Indice di plasticità	I _p [%] 5-15
Indice dei vuoti	e 0.6-0.9
Grado di saturazione	S _r [%] 90-100
Coefficiente di spinta a riposo	K ₀ 0.4-0.5
Indice di compressione	C _c 0.10-0.30
Indice di rigonfiamento	C _s 0.03-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria	C _a 0.002-0.006
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m)	N _{spt} 0-20

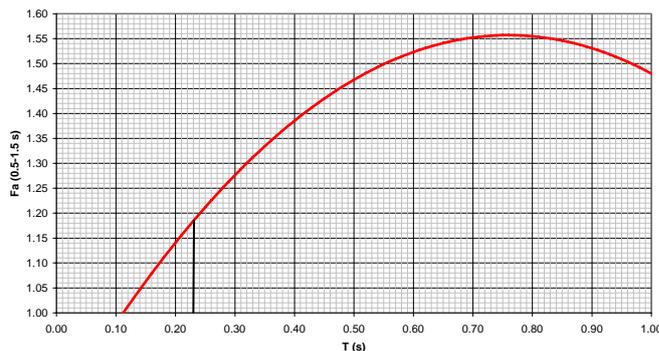
ANDAMENTO DEI VALORI DI Vs CON LA PROFONDITA'



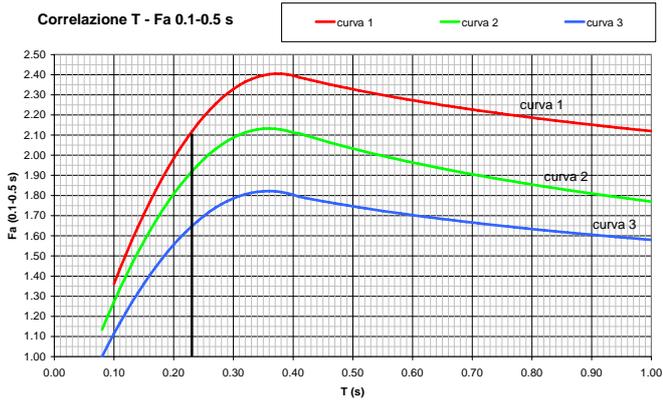
Profondità primo strato (m)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40	50	60	
200				1	1	1	1	1	1	1													
250				2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1								
300				3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2								
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3							
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3						
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		

Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$



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

SCHEDA EFFETTI MORFOLOGICI

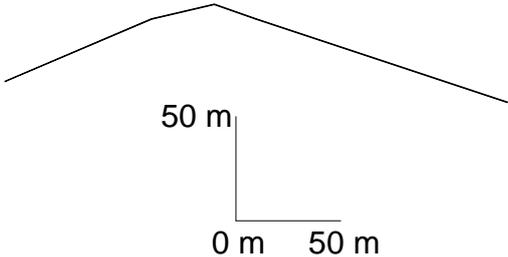
COMUNE DI GANDOSSO

Aggiornamento dello studio geologico del territorio comunale relativamente alla componente sismica

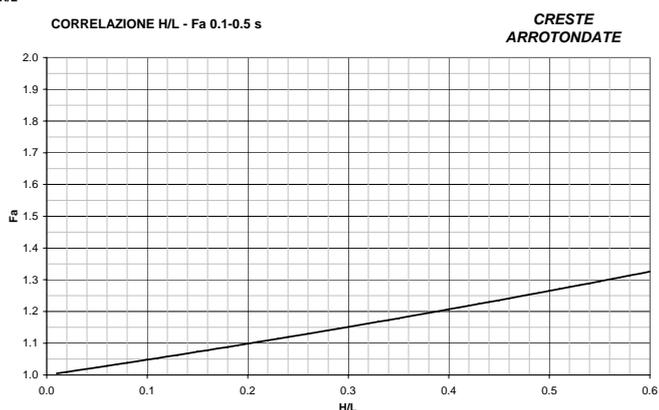
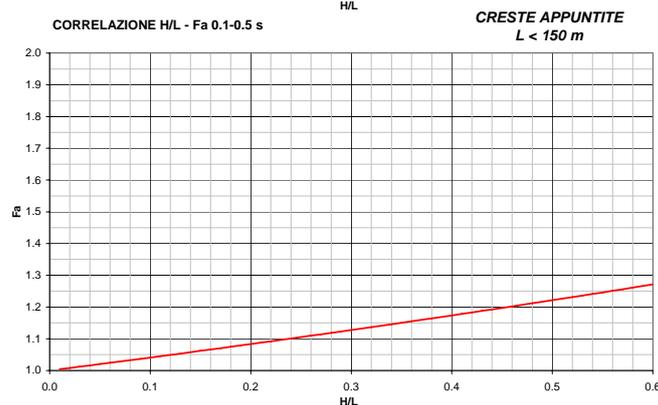
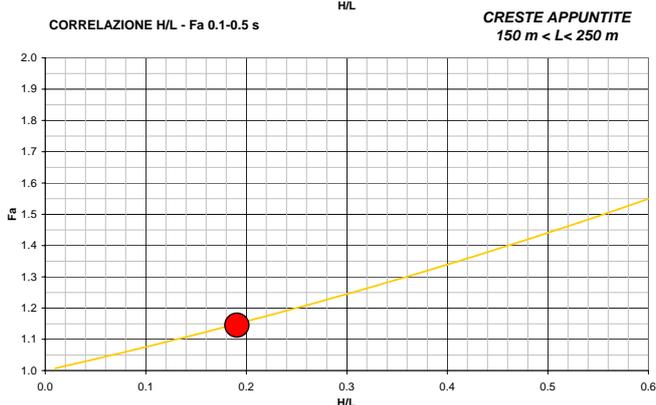
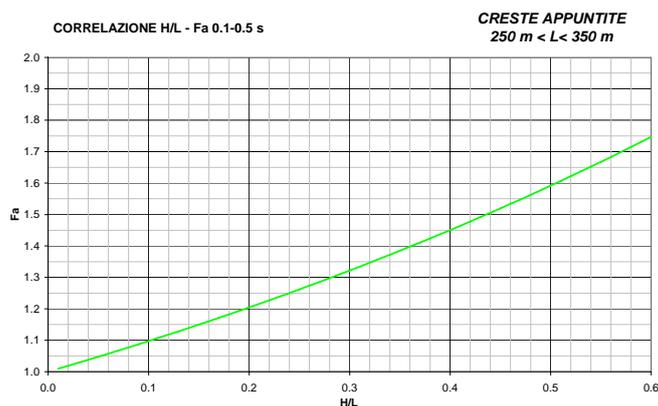
EFFETTI MORFOLOGICI – CRESTE - SCENARIO Z3b

PARAMETRI MORFOLOGICI

H = 47 m
 h = 37 m
 L = 240 m
 l = 23 m
 H/L = 0,19
 Tipologia cresta = appuntita



	L > 350	250 < L < 350	150 < L < 250	L < 150
Creste Appuntite	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.93H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.40H/L}$
Creste Arrotondate	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.47H/L}$			



CERTIFICATO DELL'INDAGINE GEOFISICA

COMUNE DI GANDOSSO
Aggiornamento dello studio geologico del territorio comunale
relativamente alla componente sismica



Regione Lombardia

PROGEA Consulting s.r.l.

Sede Legale : via G.Garibaldi, 40 - 24036 Ponte San Pietro (BG)

Sede Operativa : via Donizetti, 109 int. D1a - 24030 Brembate Sopra (BG)

Tel. 0353322281 - 3489045300 - e-mail : PROGEA09@progeaconsulting.191.it



Comune di Gandosso Provincia di Bergamo

Indagini geofisiche avanzate per la caratterizzazione geotecnica dei siti con tecniche passive utilizzando il metodo dei microtremori (Refraction Microtremor) e della sismica di superficie con metodo a rifrazione

Maggio 2008



PROGEA Consulting S.r.l.

Sede legale : via G. Garibaldi, 40 - 24036 Ponte San Pietro (BG)
Sede operativa : via G. Donizetti, 109 - 24030 Brembate Sopra (BG)
complesso immobiliare Geller - edificio D1a



1. PREMESSA

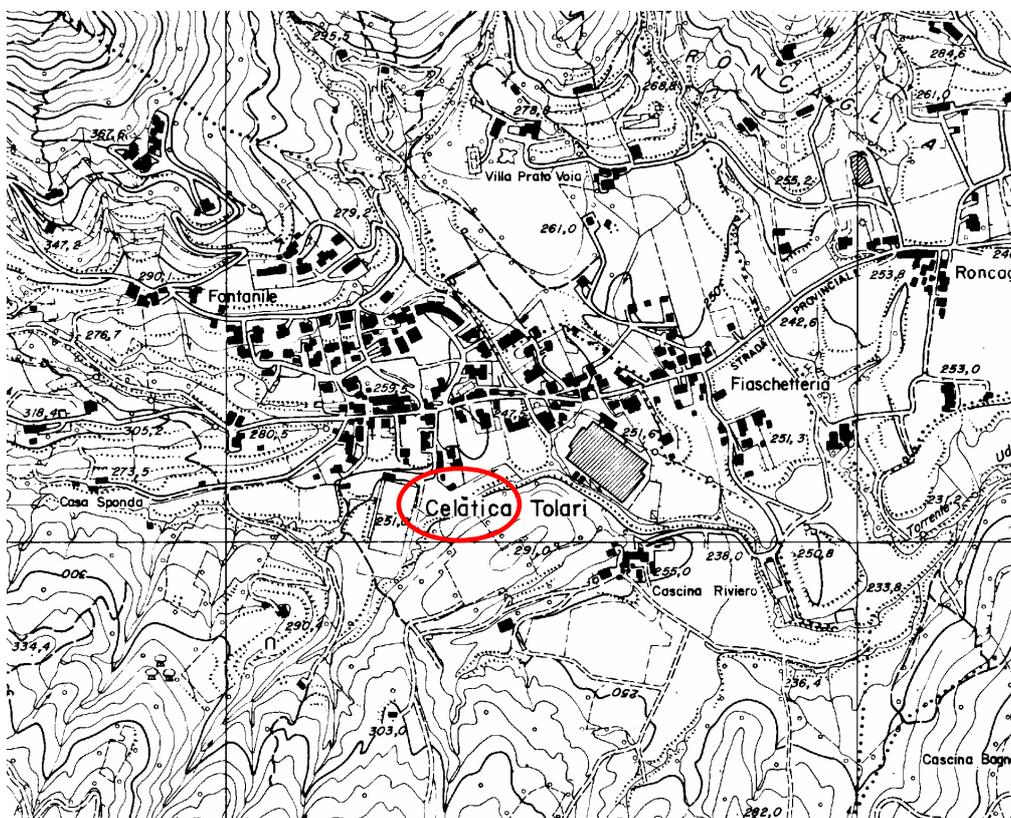
Su incarico del dr. geol. Manella Alberto, abbiamo eseguito una prospezione geofisica di tipo sismico necessaria per la determinazione delle Vs 30 in ottemperanza all'Ordinanza 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri che ha introdotto la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica adeguando così il nostro Paese allo standard europeo.

Il piano delle indagini ha previsto l'esecuzione di n. 1 ReMi (Refraction Microtremor - tecnica di indagine indiretta passiva) e di una base sismica a rifrazione di taratura (tecnica di indagine indiretta attiva) sovrapposta alla precedente.

A tale scopo è stato utilizzato un lotto adibito a prato a sfalcio ubicato in fregio al campo sportivo ed al torrente Udrutto.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di indagine è compresa nel foglio C5d3 della Cartografia Tecnica Regionale alla scala 1 : 10.000 ed è situata in località Celatica Tolari in Comune di Gandosso.



3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le informazioni riguardanti l'assetto geologico generale dell'area in cui si trova il sito d'indagine sono state ottenute dalla Carta Geologica della Provincia di Bergamo alla scala 1 : 50.000.

L'area in oggetto è inserita in un territorio dove sono presenti depositi lacustri ascrivibili al "Complesso di Villongo" Pleistocene medio.

4. TECNICA REMI

Premessa

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso di microtremori (Refraction Microtremor) prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University e fornisce una caratterizzazione semplificata di volumi relativamente ampi del sottosuolo in profili verticali 1D sino alla profondità di 100 metri. ReMi può caratterizzare un orizzonte meno veloce che è sottostante ad uno più veloce (velocity reversal) che rappresenta una condizione non distinguibile con il metodo tradizionale della sismica a rifrazione. In situazioni dove un terreno più "competente" è sovrapposto a una zona più debole legata a subsidenza o al collasso di materiali più deboli sottostanti o a spazi vuoti, ReMi ha la capacità di individuare la velocità delle onde S dell'orizzonte debole sottostante. E' inoltre efficace come metodo nella caratterizzazione rapida e generale del sottosuolo, specialmente se abbinata alla sismica a rifrazione, con lo scopo di definire il contatto roccia / terreno o il contrasto tra materiali più deboli / più compatti. I dati di campagna (analisi dei microtremori) possono essere acquisiti con un equipaggiamento standard di sismica a rifrazione, usando geofoni ad alta frequenza per stendimenti corti, con profondità di investigazione limitata e geofoni a bassa frequenza per applicazioni geotecniche tipiche con profondità di indagine elevata. La fonte di energia delle onde di superficie per il ReMi può essere il rumore ambientale o i semplici passi per stendimenti che indagano profondità limitate o rumore di veicoli per lunghezze maggiori. I profili ReMi si eseguono con successo in aree urbane con attività considerevole, usando il rumore ambientale come fonte di energia. Per indagini presso autostrade, il passaggio dei veicoli può servire da sorgente di energia. Le velocità delle onde S (onde di taglio), il tipico parametro misurato dei materiali geologici, sono una funzione dei moduli dei vari materiali nel profilo del sottosuolo. Le basi della teoria sono le stesse dell'analisi spettrale delle onde di superficie (SASW) e della multi analisi delle onde di superficie (MASW).

4.1 GENERALITA' SUL METODO

L'analisi e l'interpretazione ReMi viene eseguita utilizzando un software appropriato prodotto dalla Optim LLC (Reno, Nevada, USA) che tra l'altro fornisce direttamente il valore di V_{s30} e la categoria della classificazione del suolo secondo la normativa americana. L'elaborazione del segnale consiste nell'elaborare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" ($p-f$) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico $p-f$ (fig.1/b). In questa immagine risaltano gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa, ed è possibile un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh, che hanno carattere dispersivo, da quelle riconducibili ad altri modi e tipi di onde (

onde di pressione, suono, rumore incoerente). A questo punto l'operatore, in modo arbitrario ed in base all'esperienza, esegue un picking attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (ρ o $1/\text{velocità di fase}$) per talune frequenze. Questi valori vengono in seguito plottati su un diagramma *periodo-velocità di fase* per l'analisi della curva di dispersione (fig.1/a) e l'ottimizzazione di un modello diretto (fig. 2).

4.2 EQUIPAGGIAMENTO E PROCEDURE

Le indagini sono state eseguite in accordo con quanto descritto da Louie per sviluppare profili verticali 1D delle onde di taglio. E' stato impiegato lo stesso equipaggiamento che generalmente viene usato per la sismica a rifrazione. Quando opportuno, come nel caso specifico, vengono acquisiti entrambi i dati, onde P e onde S con la stessa stesa sismica ; in questo modo i risultati delle indagini sono complementari e servono come controllo di qualità, tarandosi a vicenda.

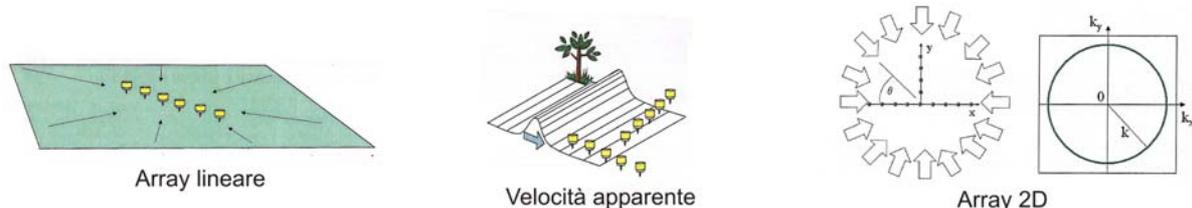
Equipaggiamento

E' stato usato un sismografo multicanale OYO McSeis XP 48 ch. capace di acquisire fino a 36000 campioni per canale con intervallo di campionamento da 1 a 4 ms in formato SEG2 o SEG Y. I cavi dei geofoni hanno spaziatura delle uscite di 10 metri con la possibilità di tutte le misure intermedie. I geofoni verticali con frequenza di risonanza di 4.5 Hz sono stati usati per l'analisi dei profili verticali delle onde S. Come sorgente di energia delle onde superficiali si è sfruttato il "noise" ambientale a banda larga.

Procedure ReMi

E' stata eseguita una linea sismica della lunghezza di 115 metri utilizzando due cavi sismici e 24 geofoni mentre la distanza tra i geofoni è risultata essere di 5 metri. La spaziatura geofonica rappresenta una sorta di filtro di frequenza per il segnale che può arrivare da tutte le direzioni. Pertanto è implicito che maggiore è la spaziatura minore è la frequenza del segnale utile campionabile e conseguentemente maggiore è la profondità di investigazione.

L'acquisizione dati è consistita nel campionamento dell'ambiente e/o delle onde di superficie generate (un evento di campionamento) in corrispondenza della stesa sismica per diversi secondi. I parametri di acquisizione adottati sono i seguenti : sample rate 2 m/s ; record lenght 32 s ; numero di misure acquisite = 10. Poiché non si era in presenza di una sorgente fissa di "noise" non si è provveduto a ruotare di 90° lo stendimento sismico (accompagnato dalla ripetizione di alcune acquisizioni). L'analisi complessiva del segnale mitiga l'effetto della unidirezionalità della sorgente ed evita di incorrere nella sottostima della velocità di fase durante la successiva e delicata operazione di picking. Con sorgenti in tutte le direzioni (energia omogeneamente proveniente dalle diverse direzioni) lo stendimento lineare agisce come media sui diversi azimuth.

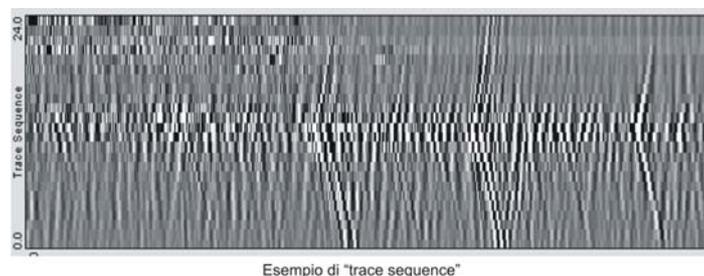


4.3 INTERPRETAZIONE

Sebbene un controllo iniziale e preliminare di qualità dell'interpretazione dei dati ReMi può essere eseguito sul terreno, l'interpretazione completa va fatta in ufficio. I dati acquisiti in campagna sono stati trasferiti dal sismografo al personal computer, utilizzando per l'interpretazione il software SeisOpt ReMi della Optim, che è composto da due moduli.

Analisi del segnale

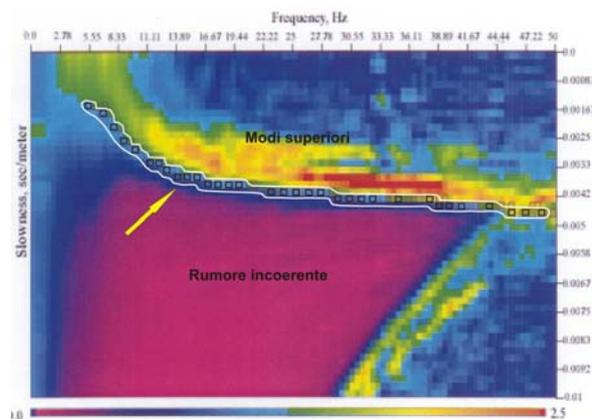
Nella prima fase elaborativi dei record l'interprete si è limitato ad eseguire alcuni passi obbligati quali la conversione dei file ed il preprocess semiautomatizzato che filtra ed equalizza le tracce. Inoltre sono stati introdotti alcuni parametri : la geometria utilizzata, la frequenza massima da indagare, la velocità di fase minima di partenza ed il numero di vettori "slowness" ($np=2*n$ geofoni).



Gli ultimi tre parametri, opportunamente scelti, concorrono ad aumentare il dettaglio dello spettro di potenza $p-f$ ed a renderlo più adatto ad una campionatura meno ambigua della curva di dispersione. Sostanzialmente il corretto dimensionamento dei parametri suesposti e che sono suggeriti dall'esperienza dell'interprete, ha lo scopo di diminuire il grado di incertezza e di arbitrarietà che distingue le operazioni di campionature della curva di dispersione.

Picking

Muovendosi con il puntatore del mouse sopra l'immagine $p-f$ (fig. 1/b) sono state selezionate un ragionevole numero di triplette di valori ($f, p, V_{\text{apparente}}$) ricalcando il trend visualizzato nel grafico $p-f$.



Spettro di potenza con evidenziata l'area utile per il corretto picking della velocità di fase

I criteri che si è cercato di seguire nella scelta del picking sono :

- preferibilmente selezionare solo quelle triplette contraddistinte da una buona definizione dello spettro di potenza (elevata intensità di segnale).
- si è cercato di scegliere la velocità più bassa, prossima al confine tra incoerenza propria del rumore e segnale (tonalità azzurre posizionate al contatto tra verde/giallo e blu/viola) in quanto eseguire il picking lungo l'involuppo a velocità più bassa fornisce maggiori garanzie di campionare velocità che appartengono al modo fondamentale delle onde di Rayleigh.

Modellazione delle onde di taglio

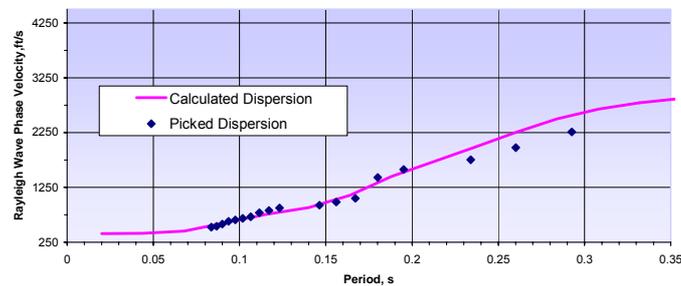
I dati selezionati dall'immagine p - f sono stati plottati su un diagramma nel quale compare una curva di distorsione (fig. 1/a) calcolata a partire da un modello di V_s che è modificabile dall'interprete. Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità, la curva di distorsione calcolata viene adattata fino a farla aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking.

Si tratta di una modellazione diretta, monodimensionale, che può accettare inversioni di velocità con la profondità ed in cui conta molto l'esperienza del geofisico.

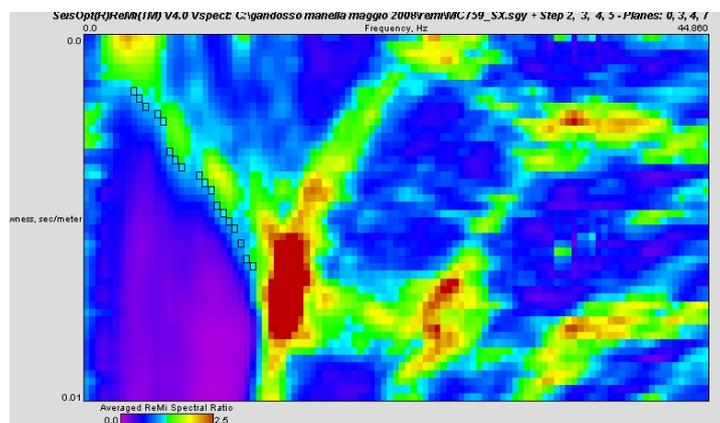
Si ricorda, infine, che i profili di V_s ricavati con il metodo ReMi non presentano una soluzione univoca in quanto più di un modello può fornire curve di dispersione simili tra loro e con il medesimo RMS; pertanto è fondamentale avere delle conoscenze dirette sulla stratigrafia del sottosuolo indagato.

Supportive Illustration

Dispersion Curve Showing Picks and Fit (fig 1/a)

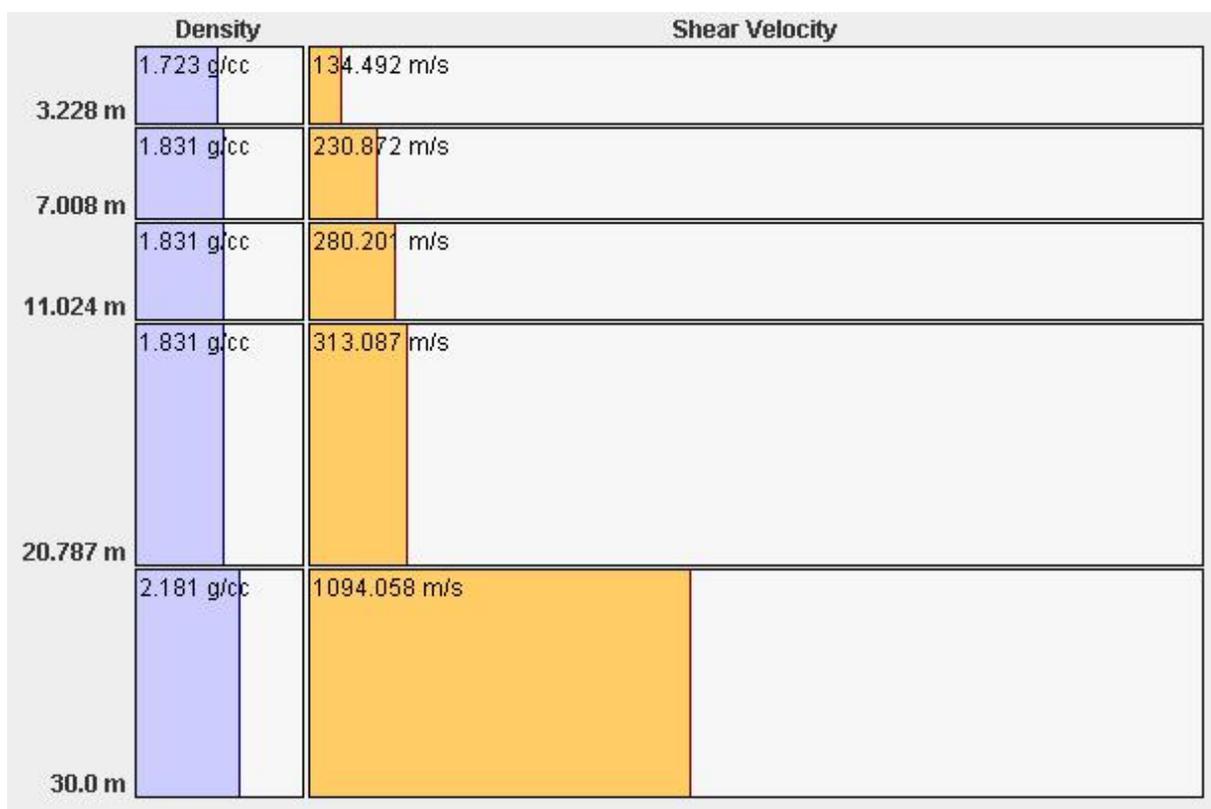


p - f Image with Dispersion Modeling Picks (fig 1/b)



Modello diretto

Nella fig. 2 “Vs model” viene diagrammato l’andamento delle onde di taglio e di compressione secondo un rapporto profondità/velocità. In questo modo è possibile ricostruire un modello del terreno che, sostanzialmente, si traduce in una successione stratigrafica. L’analisi del sottosuolo mediante le tecniche che utilizzano le onde di superficie consente di evidenziare, (dove presenti) al contrario di quanto avviene con la rifrazione le inversioni di velocità consentendo così di esacerbare situazioni anomale e delicate dal punto di vista prettamente geotecnica (strati più lenti al di sotto di strati più veloci e quindi ad elevata rigidità).



Vs model – fig. 2

Emergono i seguenti dati:

- presenza di terreni da poco a mediamente addensati almeno fino ad una profondità di circa 20 metri dal piano campagna
- oltre questa quota è molto probabile la presenza del substrato roccioso

4.4 CALCOLO DELLE “V_{s30}” (velocità di taglio nell’ambito dei primi trenta metri di sottosuolo)

L’applicazione del software SeisOpt ReMi Version 3.0 consente di calcolare attraverso la determinazione della “Dispersion Curve”, il valore delle velocità di taglio (Vs) nell’ambito dei primi 30 o più metri investigati.

Sulla base di quanto sopra esposto, si è provveduto al calcolo delle V_{s30} mediante la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} h_i / V_i}$$

dove :

h_i = spessore in metri dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo

V_i = velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di sottosuolo

N = numero strati nell’ambito dei primi 30 metri di sottosuolo

Dallo sviluppo del calcolo si ottiene un valore di V_{s30} pari a : **316 m/s**

L’Ordinanza n° 3274 del marzo 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri: “ **Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica** ” aggiorna la normativa sismica in vigore, con l’attribuzione alle diverse località del territorio nazionale, di un valore di scuotimento sismico di riferimento espresso in termini di incremento dell’accelerazione al suolo. Inoltre tale Ordinanza propone l’adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo, mediante cinque categorie principali (dalla A alla E), a cui ne sono aggiunte altre 2 (S₁ e S₂ per le quali sono richiesti studi speciali per definire l’azione sismica da considerare), da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di terreno (V_{s30}).

Le classi di cui sopra sono definite da parametri indicati nel EC8 (euro codice 8) e più specificatamente : velocità delle onde S, numero dei colpi della prova SPT, coesione non drenata.

Il valore delle V_{s30} calcolato precedentemente corrisponde alla **classe E**, le cui caratteristiche più salienti sono :

“depositi profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 metri, giacenti su un substrato di materiale più rigido, con V_{s30} > 800 m/s .

5. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

In corrispondenza dell'allineamento sismico per l'esecuzione dell'indagine passiva suesposta, è stata impostata una base sismica a rifrazione collocata, più specificatamente, in sovrapposizione al primo cavo ReMi .

5.1 ELABORATI PRODOTTI

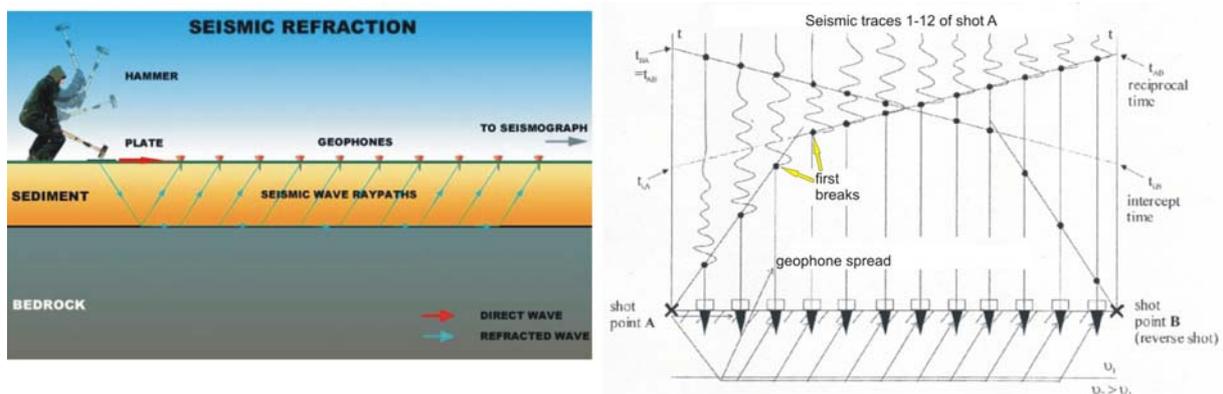
In allegato alla presente relazione vengono riportati gli elaborati cartografici/grafici delle risultanze ottenute dall'interpretazione dei dati geosismici acquisiti in campagna :

- Sezione sismica tomografica con rappresentazione a campitura di colore ed isolinee cinematiche della velocità delle onde P (onde di compressione).
- Ray Tracing con rappresentazione grafica in corrispondenza dello stendimento sismico
- Dromocrone (grafico *distanze – tempo*)

5.2 BREVI CENNI

I metodi convenzionali di sismica a rifrazione mirano a determinare la distribuzione nello spazio delle velocità delle onde sismiche nel sottosuolo (onde "p" – onde "s"). Queste velocità possono essere correlate a parametri geologici e petrofisici quali : tipo di roccia, porosità, erosione superficiale, saturazione d'acqua ed elasticità.

In linea generale una campagna sismica a rifrazione prevede l'energizzazione del terreno mediante l'onda d'urto prodotta dall'impatto sul terreno di una mazza di battuta o carica esplosiva ; il compito del sismografo è quello di misurare il tempo impiegato dalla "perturbazione sismica" indotta nel terreno a percorrere la distanza tra sorgente e geofoni, opportunamente spaziatati lungo un profilo.



La velocità di propagazione dell'onda sismica dipende dalle caratteristiche elastiche del sottosuolo e dalla sua conformazione ; la relazione tra velocità e distanza sorgente-geofono (dromocrona) permette, attraverso opportuni calcoli matematici, di risalire agli spessori degli strati che caratterizzano il sottosuolo investigato.

5.2.1 Generalità sulla Tomografia sismica a rifrazione

L'analisi tomografica, dove il sottosuolo investigato dalla linea sismica viene diviso in minime celle analitiche, permette un'elaborazione più dettagliata rispetto all'analisi standard per rifrattori consentendo così di distinguere, con rappresentazioni a "countour line" di isovelocità, intorni minimi con caratteristiche differenziate per variazioni di consistenza, grado di alterazione, granulometria e addensamento. La prospezione sismica con tecnica tomografica, grazie al suo dettaglio, può "esaltare" effetti di anisotropia laterale anche all'interno di un livello litostratigrafico indicati da significative variazioni dei valori di velocità di propagazione delle onde elastiche che evidenziano strati alterati non sempre individuabili direttamente. L'elaborazione tomografica è in grado quindi di differenziare maggiormente le variazioni nel grado di consistenza dell'ammasso roccioso rispetto anche alle altre tecniche sismiche; inoltre con questa tecnica si sopperisce alla mancanza di rifrattori significativi e alla presenza di materiale non sufficientemente differenziato nei termini fisici dei parametri elastici, per cui le tecniche tradizionali di sismica a rifrazione non riescono a discriminare il grado di consistenza, alterazione o disomogeneità dell'ammasso.

5.3 OPERAZIONI SISMICHE DI CAMPAGNA

Le operazioni di campagna sono identiche a quelle che si effettuano in rilievi di sismica a rifrazione tipo standard ; la differenza più sostanziale consiste nel fatto che il numero di registrazioni impostate è decisamente superiore al fine di consentire l'acquisizione di una quantità di dati tale da "coprire" con una corretta geometria dei raggi ed in maniera omogenea tutta la sezione sismica senza lasciare tratti scoperti o disomogenei.

La **prima fase** ha previsto alcuni shots di prova con lo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento.

Una volta effettuata la taratura è stata registrata la base sismica opportunamente ubicate secondo le possibilità logistiche del luogo ; la base stessa ha previsto una stesa del cavo sismico di circa 60 metri ed è stata registrata su 12 geofoni. La spaziatura dei punti di ricezione delle onde sismiche (geofoni) è stata di 5 metri ; inoltre ha previsto 5 punti di energizzazione (shots) così distribuiti : due alle estremità e tre posizionati all'interno di ciascun profilo sismico.

Occorre tener presente che la lunghezza dello stendimento definisce la profondità di indagine raggiungibile, mentre l'interdistanza tra i geofoni definisce il dettaglio della restituzione interpretativa. Questi due parametri devono quindi essere calibrati in modo da consentire di raggiungere il massimo dettaglio possibile per la profondità di indagine richiesta.

La metodologia usata per l'acquisizione dei dati a rifrazione è consistita in uno stendimento sismico con l'impiego di geofoni a frequenza naturale di 14 Hz a componente verticale, collegati, tramite un cavo multipolare, al sismografo; tali geofoni sono apparecchi che segnalano i movimenti del terreno, trasformando l'energia sismica in energia elettrica.

Inoltre è stata usato un geofono (geofono del *time break* o *hammer switch*) posizionato in fregio all'apparato energizzatore, che costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione. Il sismografo utilizzato per l'acquisizione dei dati in campagna è il modello McSeis SX48XP prodotto

dalla ditta giapponese OYO Corporation ; tale strumentazione è dotata di sommatoria del segnale con possibilità di filtratura diversa in funzione dei disturbi da eliminare.

L'energizzazione del terreno (sorgente di energia), in considerazione della buona risposta ottenuta in fase di taratura, è stata ottenuta impiegando una apposita mazza del peso di 8 Kg, che viene fatta collidere col suolo generando così onde elastiche.

Sono state previste più ripetizioni dell'energizzazione per garantire l'apprezzabilità dei segnali raccolti dal sistema di acquisizione dati. Si consideri che una massa del peso di 8 Kg. circa (in quantità pari a n. 1 battuta) corrisponde a circa 100 J di energia.

Non sono state eseguite registrazioni per il calcolo delle onde di taglio in quanto sono stati utilizzati i dati delle Vs ottenute dall'indagine ReMi.

5.4 ELABORAZIONE DATI

5.4.1 Analisi “primi arrivi” (F.B.P.)

La principale e fondamentale operazione da eseguire, quando si tratta di interpretare una campagna di dati sismici a rifrazione, è il riconoscimento (picking) dei tempi di arrivo degli impulsi registrati in fase di acquisizione al fine di ricercare su ciascuna traccia il primo arrivo (**First Break Peak**). Questa analisi, utilizzando un picking module, è stato effettuato in automatico (Automatic Picking) e successivamente si è provveduto ad una verifica puntuale (Manual Picking) dei singoli “arrivi”.

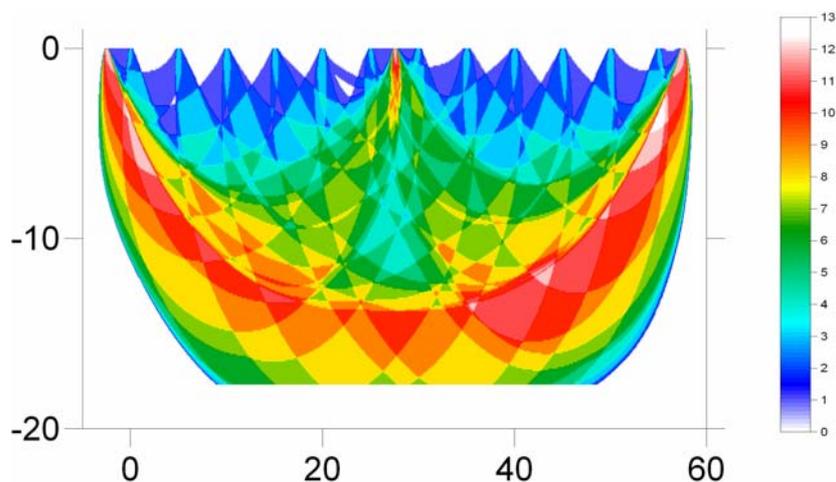
Il processing dei dati sismici ha comunque previsto tre fondamentali utilities necessarie ad ottimizzare e “pulire” i primi arrivi, quali : Frequency spectra – AGC (Automatic Gain Control) – Filtering.

I dati così ottenuti sono stati graficizzati per ottenere la rappresentazione delle diagrafie Tempi-Distanze (dromocrone) relative a ciascuna linea sismica. I medesimi dati in formato numerico sono stati inseriti nel programma di calcolo (Rayfract 32) per sviluppare l'elaborazione tomografica.

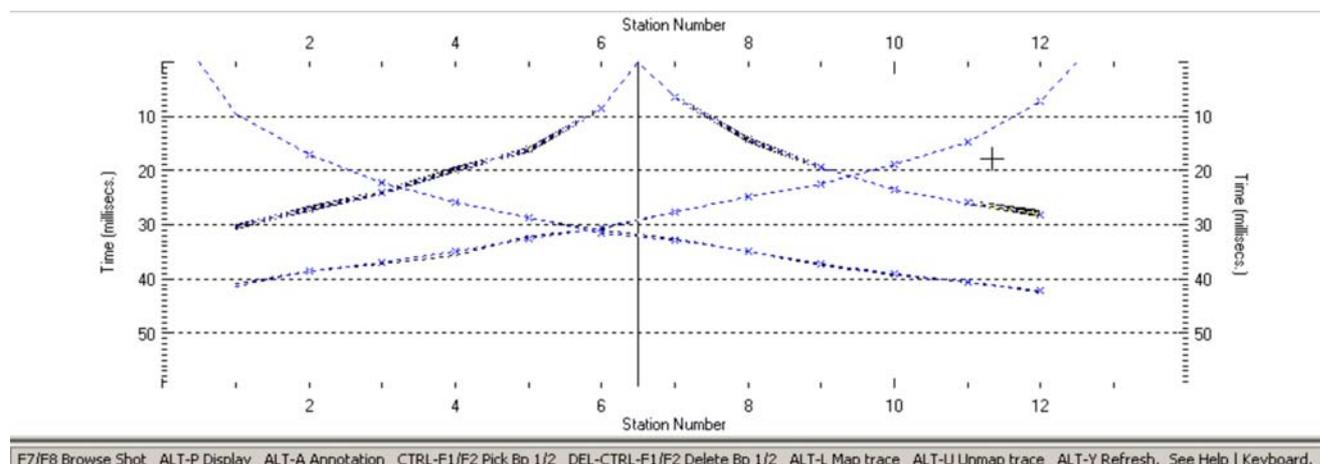
5.4.2 Elaborazione della sezione tomografica (processing in velocità)

L'elaborazione delle sezioni mediante analisi tomografica viene eseguita sia per avere un maggior dettaglio in termini di consistenza dell'ammasso roccioso sia per raggiungere maggiori profondità d'investigazione sopperendo alla comune mancanza di rifrattori significativi procedendo in profondità.

La prima procedura di elaborazione tomografica consiste nella ricerca della geometria di percorso dei raggi sismici da ogni punto di energizzazione a ciascun geofono. Questa operazione viene eseguita mediante tecniche di **Ray Tracing** utilizzando una prima modellazione in velocità del sottosuolo; il programma di calcolo traccia, sulla base di una prima modellazione in velocità del sottosuolo, i vari raggi sismici che coprono tutta l'area investigata al di sotto del piano topografico sul quale è stato steso l'allineamento sismico di pertinenza.



Il passo successivo ha previsto l'applicazione di procedure tipo S.I.R.T. che forniscono valori di velocità sismica per partizioni unitarie (celle di analisi di dimensione metrica) . Si è cercato, con successive iterazioni dalla prima modellazione del sottosuolo, di far convergere i dati modellati con quelli reali e corrispondenti ai tempi ottenuti dalle dromocrone originali ; in sintesi si procede fino a quando gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati sono minimi rispetto a quelli definiti in input. In pratica le successive elaborazioni calcolate dall'elaboratore risultano sempre più affinate in quanto si basano sull'osservazione del fit tra le dromocrone sintetiche e quelle calcolate e terminano, a discrezione dell'interprete, quando sono il più possibile coincidenti e con scarto minimo $\leq 0.5\%$.



Sono stati usati due metodi in modo da discriminare ulteriormente le risultanze, ossia : *Smooth Inversion* e *Delta t-V*; quest'ultimo presenta comandi corrispondenti a due diverse modalità di esecuzione: "Automatic Delta t-V and WET inversion" e "Interactive Automatic Delta t-V". Per sue intrinseche caratteristiche detto metodo però non è consigliabile in presenza di topografie esasperate o in presenza di strutture inclinate (anticlinali, sinclinali) poiché produce risultati artefatti.

5.4.3 Determinazione dell'Attenuazione

Tra le diverse indicazioni che si possono estrapolare nell'ambito di una campagna sismica risultano particolarmente interessanti dal punto di vista geognostico quelle correlabili al fenomeno dell'attenuazione degli impulsi sismici. Infatti l'energia sismica viene assorbita dai materiali con diverso grado ; i meccanismi che determinano l'assorbimento di energia sono da ricercare nell'attrito intergranulare e nella presenza di fluidi. Nel caso delle indagini sismiche l'attrito intergranulare è la causa principale dell'attenuazione ; laddove i materiali si presentano poco addensati un'onda sismica viene assorbita più rapidamente di una identica onda che si propaga in un mezzo costituito da materiali compatti. La stessa cosa avviene tra una roccia fratturata ed una integra questo ad indicare un sistema diagnostico molto significativo capace di localizzare le anomalie di porosità siamo esse definite in sistemi granulari che in rocce. Il parametro che si ricava è un indice molto sensibile alla tipologia di materiale che viene investigato, alla frequenza dell'onda che viene immessa per cui non è possibile avere dei valori standard assoluti che forniscono indicazioni strutturali, ma il valore dell'attenuazione deve essere tarato sulla situazione locale.

Uno dei metodi più comunemente usati per la determinazione dell'attenuazione è quello del rapporto spettrale che permette di risalire all'attenuazione dell'onda sismica conoscendo i valori di ampiezza del segnale in due punti (per esempio : shot – ricevitore).

L'ampiezza di un'onda sferica che si propaga in un mezzo con frequenza f è espressa da :

$$A_{(R, f)} = (1/R) * A_{0(R0, f)}^{(-i f * R/V)}^{(-\alpha R)}$$

dove :

f = frequenza

A = ampiezza dell'onda

R = distanza

α = attenuazione

Il decremento logaritmico del segnale viene valutato da (rapporto spettrale) :

$$\delta_f = 20 * \log [A_0/A_1]$$

dove :

δ_f = decremento logaritmico del segnale sismico

$A_1(x_{2,f})$ = ampiezza dell'onda alla distanza x_2 per la frequenza f

$A_0(x_{1,f})$ = ampiezza dell'onda alla distanza x_1 per la frequenza f

L'attenuazione si calcola con :

$$\alpha_f \text{ (decibel/m)} = \delta_f / X_2 - X_1$$

dove X_1, X_2 sono le distanze misurate lungo i tragitti sismici

Le componenti ad alta frequenza degli impulsi sismici si estinguono più rapidamente di quelle a bassa frequenza determinando visivamente l'allargamento dell'onda con l'aumentare del tempo di percorso e dunque della distanza ; questo si traduce in una riduzione della frequenza del segnale sismico e dell'intensità. La misura è pertanto proporzionale alla frazione di perdita di energia per ciclo d'onda sinusoidale e può dunque fornire informazioni sia sulla concentrazione delle fratture entro una massa rocciosa, sia sul grado di saturazione.

I procedimenti di analisi considerati sono stati realizzati utilizzando uno specifico programma di calcolo (GeoTomCG).

La relazione con la fatturazione si riferisce a materiali lapidei ; in tal caso l'energia è dissipata principalmente nei settori fratturati e giuntati dove le particelle presentano il maggior grado di libertà di oscillazione. Infatti in queste zone il coefficiente di attenuazione assume valori massimi.

L'attenuazione in rocce e/o materiali sciolti completamente o parzialmente anidri è più elevata di quella rilevabile in materiali saturi. Oltre al grado di saturazione l'attenuazione dipende anche dal tipo di fluido contenuto. L'attenuazione nei materiali detritici risulta più elevata in materiali anidri che non in materiali saturi. Nelle rocce la relazione attenuazione-saturazione risulta analoga, infatti si realizzano maggiori attenuazioni dove si presenta una minore saturazione. Infine è dimostrato che terreni che presentano un'elevata porosità risultano avere un coeff. di attenuazione maggiore rispetto a terreni con valori di porosità inferiori.

5.5 ELASTICITA' DEI MATERIALI

Nel campo delle indagini sismiche con generazione di onde p ed s tutti i materiali rientrano nel campo delle deformazioni elastiche essendo sia l'intensità delle forze applicate che il tempo in cui questa agisce ridotta ad alcuni millisecondi. Le onde sismiche si propagano all'interno del sottosuolo con velocità, frequenza e ampiezza che dipendono dalle proprietà elastiche delle rocce.

Attraverso la determinazione delle onde di compressione e di taglio è possibile ricavare i seguenti parametri :

coefficiente di Poisson (ν)

peso di volume (γ_{din}) espresso in t/m^3

modulo di Elasticità dinamico (E_{din}) espresso in Kg/cm^2

modulo di Taglio dinamico (G_{din}) espresso in Kg/cm^2

Il coeff. di Poisson, noto come la costante che lega le deformazioni in un corpo, può presentare un range di variazioni compreso tra 0 e 0.5 ; il valore di 0.5 è caratteristico di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (acqua), valori di poco inferiori (0.47 – 0.49) sono tipici delle argille o materiali molto saturi; valori inferiori sono associabili a materiali da poco consolidati a sovraconsolidati.

Per le rocce si presentano range molto ampi in funzione al grado di fratturazione, alla presenza di cavità, stratificazioni e litologie (0.46 – 0.20).

$$\nu = \frac{Vp^2 - 2*Vs^2}{2 * (Vp^2 - Vs^2)}$$

Il peso di Volume del terreno può essere ricavato empiricamente anche dalla velocità delle onde di compressione sulla base della seguente relazione :

$$\gamma_{din} = 0.51 * Vp^{0.19} \text{ m/sec}$$

Da tale relazione si può ottenere anche la **Densità geofisica**, intesa come :

$$\delta_{din} = \gamma / g$$

con g = accelerazione di gravità = 9.8 m/sec

questo parametro viene utilizzato nelle formule per ricavare i moduli di elasticità e di taglio.

Il Modulo di Young o di elasticità normale E_{din} definisce la deformazione longitudinale di un corpo, intesa come il rapporto tra l'allungamento e/o accorciamento e la lunghezza originale del corpo stesso. In funzione dei valori delle velocità delle onde di compressione Vp , della densità geofisica e del coeff. di Poisson il parametro è definito dalla relazione :

$$E_{din} = Vp^2 * \delta_{din} * \frac{(1+\nu)*(1-2\nu)}{(1-\nu)}$$

Il Modulo di Taglio o di Rigidità G_{din} o G_0 definisce invece la deformazione tangenziale di un corpo, intesa come l'angolo di cui ruota il corpo stesso in seguito ad uno sforzo di taglio.

In funzione dei valori della velocità delle onde di taglio Vs e della densità geofisica il parametro è definito da :

$$G_{din} = \delta_{din} * Vs^2$$

I moduli dinamici così calcolati risultano comunque sempre più elevati di quelli statici forniti dalle prove di carico in situ in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni istantanee.

Le rocce ed i materiali sciolti in genere presentano un comportamento molto prossimo a quello elastico e comunque ben diverso da quello che rivelano nelle condizioni imposte da prove di carico.

Il modulo di taglio G_{din} oltre ad essere utilizzato nel campo geotecnica per lo studio delle resistenze al taglio dei materiali detritici e lapidei, viene impiegato nello studio di microzonazioni sismiche in particolare nel calcolo delle seguenti relazioni relative alla valutazione dei parametri caratteristici sia di spessori (H) sia di interfacce stratigrafiche.

Rigidità sismica $t/(m^2 * sec)$ $R = \delta_{din} \sqrt{G_{din}/\delta_{din}}$

Periodo proprio (T in sec) $T = \frac{4H}{\sqrt{G_{din}/\delta_{din}}}$

Rapporto di impedenza $\lambda = \frac{\delta_{din1} * G_{din1}}{\delta_{din2} * G_{din2}}$

Tutti questi parametri possono essere anche utilizzati per l'applicazione del metodo degli elementi finiti a problemi geotecnici

6. ANALISI DELLE RISULTANZE

Essendo l'obiettivo primario dell'indagine geofisica ricostruire la natura del sottosuolo, le analisi sono state realizzate sulla base del gradiente geosismico, indicando nelle isolinee 2500 m/sec, relativa alle onde di compressione, le interfacce tra le principali variazioni litologiche.

La precisione della geometria di questa interfaccia può ritenersi abbastanza elevata sempre mantenendo un errore dell'ordine di +/- 1 metri determinato prevalentemente da un ridotto contrasto elastico con la sottostante formazione lapidea causata dalla presenza di una fascia di alterazione e decompressione di spessore elevato presente al tetto.

Unità superficiale

Rappresenta l'orizzonte più superficiale (aerato) del terreno con valori di $V_s < 800$ m/s. Mostra ottima continuità laterale e spessore pari a 2 metri.

Nel modello di velocità questo orizzonte viene rappresentato graficamente con le tonalità del blu.

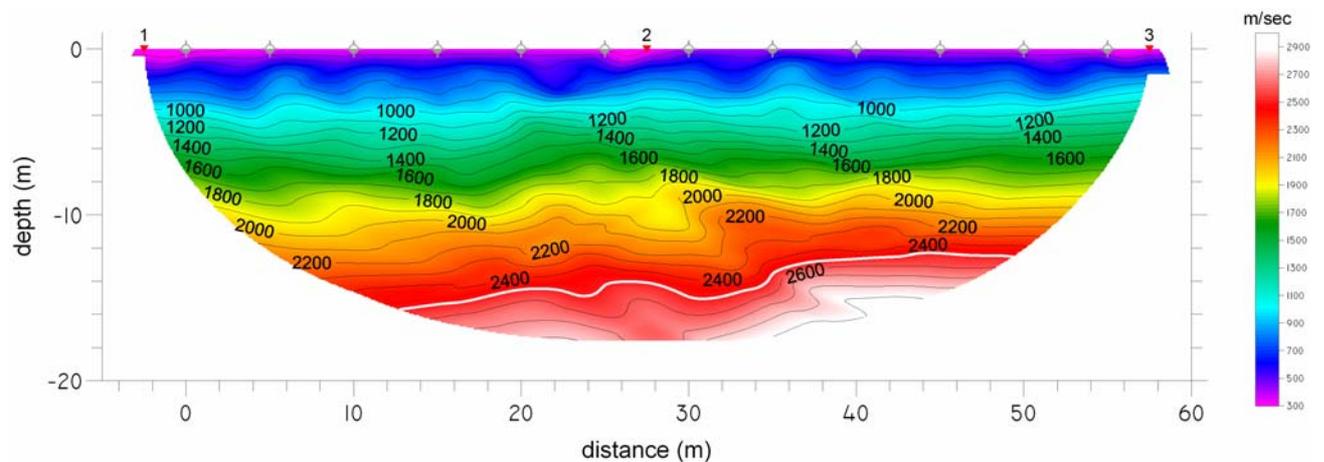
Prima unità

Al letto della precedente unità è stato intercettato un orizzonte che mostra parametri di velocità delle onde di compressione V_p compresi tra 1000 - 2400 m/s . La base si colloca ad una profondità che oscilla tra 14 – 17 metri e, nel modello di inversione, questa unità sismica viene raffigurata dalle tonalità cromatiche passanti dall' azzurro al rosso.

Seconda unità

Corrisponde alla porzione più profonda e compatta dei depositi soprastanti e/o alla porzione sommitale alterata del substrato roccioso; i valori di velocità delle onde di compressione ($2400 < V_p > 2800$ m/s) possono suffragare la presenza della seconda ipotesi; tuttavia il valore del Modulo di attenuazione (M_a compreso tra 2.0 – 4.0 m/db) e il valore delle V_s riscontrato dalle indagini ReMi indicano che, se questo orizzonte materializza il cappellaccio, lo stesso si presenta completamente alterato. Il modulo di taglio è compreso tra 9500 – 24000 kg/cm².

Nel modello di velocità il tetto di questo orizzonte viene rappresentato graficamente con linea continua di colore bianco.



7. CONCLUSIONI

Confrontando i dati delle indagini sismiche di tipo attivo e passivo, si riconoscono le seguenti convergenze:

- almeno fino ad una profondità che oscilla tra 14 – 17 (rifrazione) e oltre 20 metri (ReMi) è da escludersi perentoriamente la presenza di substrato roccioso.
- poiché l'indagine sismica a mezzo rifrazione ha investigato nell'ipotesi più realistiche i primi 20 metri di sottosuolo, riteniamo più plausibili i dati emersi dall'indagine ReMi, che intercetta il substrato roccioso ad una profondità pari a circa 21 metri dal piano topografico.

Comunque l'analisi delle velocità delle Vp relative agli strati più profondi (oltre i 15 metri) intercettati dalla sismica a rifrazione sostiene questo trend.

