

INDICE

Capitolo 1	PREMESSA E QUADRO NORMATIVO	Pag. 3
Capitolo 2	UBICAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO E STATO DEI LUOGHI	Pag. 4
Capitolo 3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE	Pag. 5
Capitolo 4	IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA	Pag. 9
Capitolo 5	INDAGINI IN SITO E DI LABORATORIO	Pag. 10
5a	SONDAGGI A ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO	Pag. 10
5b	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DPSH)	Pag. 11
5c	PRELIEVO DI CAMPIONI	Pag. 13
5d	PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	Pag. 14
5e	INDAGINI GEOFISICHE: PROVA MASW	Pag. 14
Capitolo 6	RISULTATI DELLE INDAGINI	Pag. 17
6a	STRATIGRAFIA E MODELLO GEOLOGICO LOCALE	Pag. 17
6b	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	Pag. 18
Capitolo 7	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE	Pag. 20
Capitolo 8	CONCLUSIONI	Pag. 25
	BIBLIOGRAFIA	Pag. 27

ALLEGATI:

PLANIMETRIE:

- *Allegato 1:* Corografia
- *Allegato 2:* Schema Geologico Scala 1 : 100000
- *Allegato 3:* Stralcio Carta della Pericolosità Scala 1: 25000
- *Allegato 4:* Ubicazione Indagini in sito

INDAGINI IN SITO E DI LABORATORIO:

- SONDAGGIO GEOGNOSTICO
- PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
- CERIFICATI PROVE DI LABORATORIO
- PROVA MASW
- INDAGINI CONSULTATE

1 – PREMESSA E QUADRO NORMATIVO

Lo scrivente ha ricevuto incarico dall'Amministrazione Provinciale di Chieti di redigere uno studio geologico e sismico dei terreni interessati dal consolidamento del Ponte sul Torrente Gogna al Km 19+400 della strada provinciale pedemontana.

La presente Relazione è stata redatta in conformità al D.M. 14/01/2008 e alla relativa circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n° 617/2009.

Alla luce di quanto previsto dalle suddette norme l'iter seguito per la realizzazione dello studio ha previsto le seguenti fasi:

- ricerca bibliografica dei lavori e studi effettuati nella stessa area;
- rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio;
- realizzazione di indagini in sito da parte della Ditta incaricata dall'Amministrazione Provinciale (sondaggio geognostico, Prova penetrometrica Dinamica Pesante e Indagini Sismica Attiva Masw) ;
- redazione della Relazione Geologica e Sismica.

2 – UBICAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO E SATO DEI LUOGHI

Il ponte oggetto di intervento, si trova sul Torrente Gogna al Km 19+400 della Strada Provinciale 100 Pedemontana, al confine tra i Comuni di Sant'Eusanio del Sangro e Casoli, nei pressi dell'Oasi di Serranella.

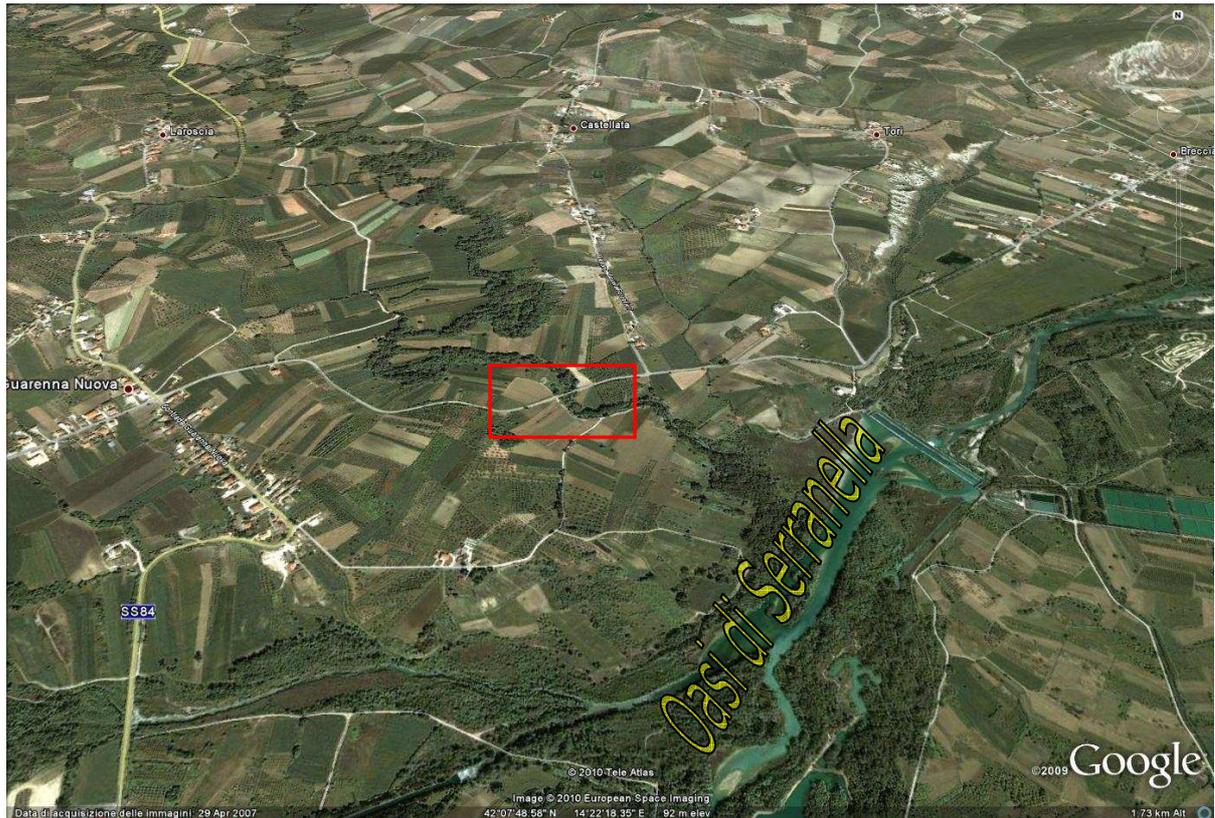


Fig. 1 – Ubicazione geografica del sito (Fonte Google earth)

L'opera allo stato attuale presenta nelle parti strutturali fenomeni di degrado che hanno messo a nudo i ferri d'armatura, si rilevano, inoltre, lesioni e rigonfiamenti ai muri d'ala e la mancanza di sistemi di allontanamento delle acque meteoriche che aggravano ulteriormente la situazione.

3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO – STRUTTURALE E GEOMORFOLOGICO

Nell'affrontare l'inquadramento geologico-strutturale del territorio in studio, si è fatto riferimento alla cartografia geologica disponibile, ovvero al Foglio n. 147 "Lanciano" della Carta Geologica d'Italia (fig. 3.1) ed al Foglio Est della Carta Geologica dell'Abruzzo di Vezzani e Ghisetti (stralcio allegato), entrambi editi alla scala 1:100.000.

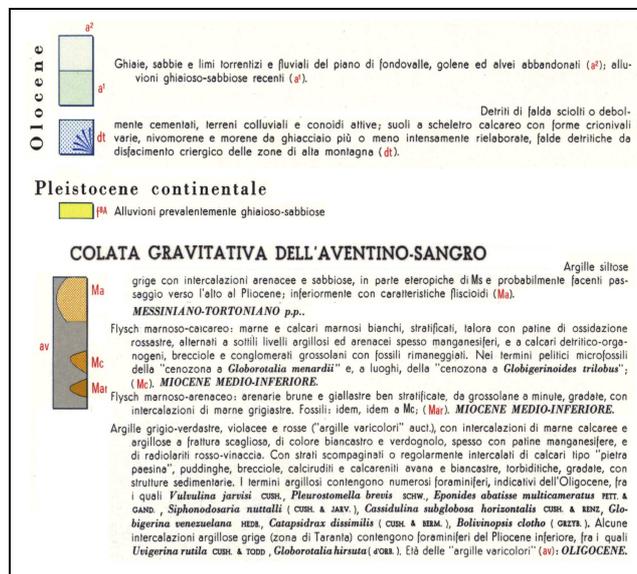
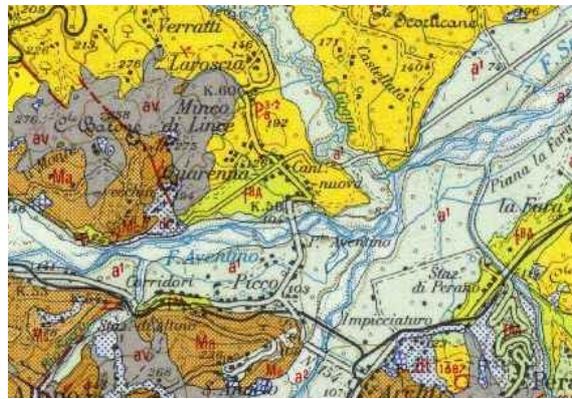


Fig. 3.1: stralcio della Carta Geologica d'Italia – Foglio n. 147 Lanciano.

L'area analizzata ricade nella fascia collinare periadriatica compresa tra la dorsale e la costa adriatica, in un settore particolarmente complesso dell'Appennino abruzzese.

In particolare questa si colloca all'interno del bacino periadriatico abruzzese evolutosi a partire dal Pliocene inferiore fino all'attuale, a seguito della progressiva migrazione verso est del fronte della catena appenninica e del successivo coinvolgimento in catena del settore d'avampaese.

In questo settore, come del resto l'orogenesi ha portato in affioramento le unità carbonatiche meso-cenozoiche di pertinenza della Piattaforma Apula e ben affioranti nel settore occidentale dell'area, in corrispondenza della struttura anticlinale della Maiella.

L'attuale fronte carbonatico della catena appenninica è rappresentato da una struttura anticlinale carbonatica sepolta (Struttura di Casoli-Bomba), localizzata in posizione più esterna rispetto a quella della Maiella. La struttura carbonatica di Casoli-Bomba, allineata secondo un andamento N-S, non è mai affiorante, ma, nella zona di culminazione assiale è stata intercettata a poche centinaia di metri di profondità da numerosi pozzi petroliferi per la ricerca di idrocarburi.

Attraverso l'interpretazione di profili sismici a riflessione, eseguiti anch'essi per la ricerca d'idrocarburi, è stata ricostruita la geometria profonda di tale elemento strutturale che borda ad occidente il bacino silicoclastico del Pliocene medio e superiore.

Una delle caratteristiche salienti del riempimento del bacino periadriatico in questo settore, a differenza di quello più settentrionale (Chieti – Pescara), è data dalla presenza dei terreni alloctoni delle Unità Molisane (Colata Gravitativa dell'Aventino-Sangro) che risultano impilati all'interno dei depositi silicoclastici Pliocenici.

L'Alloctono Molisano è rappresentato da successioni sedimentarie depostesi in un bacino pelagico ubicato più ad ovest della loro attuale

posizione, successivamente traslate nel bacino periadriatico a partire dal Pliocene inferiore. Si tratta di depositi fortemente deformati nei quali è raro riuscire a riconoscere un assetto macrostrutturale organizzato, come se i meccanismi di messa in posto di tali depositi riproducessero quelli gravitativi piuttosto che quelli della tettonica a sovrascorrimenti; da qui la loro definizione, da parte dei vecchi Autori, come “Colata gravitativa”.

Nella modalità di messa in posto delle coltri gravitative un ruolo fondamentale è dato dalla plasticità delle argille varicolori in quanto costituiscono gli orizzonti di sovrascorrimento. L’inserimento delle coltri alloctone all’interno dei depositi silicoclastici (prevalentemente argillosi e arenacei) pliocenici è avvenuta secondo fasi progressivamente più recenti verso NE; in particolare, nel settore in esame, l’arrivo delle Unità alloctone è documentabile durante il Pliocene inferiore, se si considera la presenza di una fascia autoctona di sedimenti argillosi del Pliocene inferiore, compresa tra il sottostante substrato carbonatico e le suddette coltri.

Successivamente, durante il Pliocene medio e il Pliocene superiore, le coltri alloctone sono state coinvolte nelle fasi compressive plioceniche che hanno interessato tale settore della catena appenninica; in particolare, tali depositi subiscono le deformazioni e le spinte provenienti dalla crescita e dal sollevamento delle strutture carbonatiche interne (Struttura della Maiella e Struttura di Casoli-Bomba), con lo spostamento verso E del depocentro si assiste ad un’aprofondimento del Bacino che porta alla sedimentazione di materiali argillosi che occupano tutta la fascia compresa grosso modo tra l’allineamento Teramo – Guardiagrele e la costa.

Le unità Plio-Pleistoceniche, mentre in superficie presentano un assetto geometrico piuttosto regolare, nel sottosuolo sono organizzate in strutture anticlinaliche.

Le fasi finali della deformazione compressiva sono testimoniate dalla presenza in discordanza dei depositi marini del Pliocene superiore-Pleistocene inferiore sia sui termini calcareo-marnosi e argillosi della coltre

alloctona che sulle unità silicoclastiche Plioceniche; ciononostante, allo stato attuale la deformazione delle Unità alloctone non può dirsi esaurita, stante il perdurare dei sollevamenti e delle spinte compressive dell'orogene appenninico.

Le fasi tardive dell'evoluzione geologica di questo settore, riferibili all'intervallo Pleistocene medio-Olocene, evidenziano un generale sollevamento dell'area appenninica, pedeappenninica e costiera. Durante quest'ultimo intervallo si assiste ad un netto cambiamento nella sedimentazione che, a seguito del sollevamento, passa da una precedente di tipo marina ad una di tipo continentale. A quest'ultima appartengono i vari depositi alluvionali presenti nell'area, nonché le altre coperture costituite dai detriti di versante, dai depositi eluvio-colluviali, e dagli accumuli di frana.

Dal punto di vista geomorfologico l'area insiste sulla piana alluvionale dell'Aventino - Sangro ad una quota di ca. 96,00 m slm. Di conseguenza, considerata la morfologia pianeggiante, non esistono problemi legati ad instabilità dei versanti.

Nel settore in studio sono presenti in affioramento sotto una copertura di depositi alluvionali, i terreni appartenenti alle unità Plio-Pleistoceniche. Si tratta di argille limose grigie passanti verso l'alto a depositi sabbiosi e/o conglomeratici.

4 – IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA

Dal punto di vista idrogeologico la circolazione e la raccolta delle acque sotterranee dipendono da due parametri fondamentali:

- permeabilità dei terreni e delle rocce: distinta in permeabilità primaria (per porosità), tipica delle rocce sciolte o poco cementate, e in permeabilità secondaria (per fessurazione, fratturazione o carsismo), tipica delle rocce compatte;
- assetto geometrico reciproco tra le unità litostratigrafiche a differente permeabilità: rappresenta la disposizione spaziale dei complessi idrogeologici che, soltanto per determinate geometrie, consente la circolazione sotterranea, l'accumulo di falde acquifere e l'eventuale risorgenza.

Durante l'esecuzione del sondaggio è stata rilevata la presenza di una falda posta ad una quota di ca. 7,00 m dal p.c. contenuta nei depositi alluvionali e sostenuta dal substrato impermeabile costituito dalle Argille grigio - azzurre.

Per quanto riguarda le precipitazioni nella tabella 1 si riportano i valori medi registrati in alcune stazioni ubicate in località vicine (valori desunti dagli Annali Idrografici).

Stazione	m.s.l.m.	Anni	mm/anno	Giorni piovosi	Bacino
Casoli	378	47	779	76	Sangro
Gessopalena	654	45	1097	81	Sangro
Bomba	424	46	827	67	Sangro

Tabella 1

Dal punto di vista idrografico il Torrente Gogna abbraccia un bacino imbrifero abbastanza ampio. La portata in ogni caso è molto variabile in relazione alle precipitazioni. Ricevendo i contributi di numerosi fossi, le cui testate sono impostate su materiali prettamente argillosi che fungono da raccolta e rapido drenaggio superficiale, si spiega bene come in occasione di precipitazioni particolarmente intense si instaurino condizioni di piena che favoriscono lo scalzamento delle pile del ponte.

5 - INDAGINI IN SITO E DI LABORATORIO

Con lo scopo di caratterizzare dal punto di vista stratigrafico i materiali presenti nel sito e di definirne le caratteristiche geotecniche e sismiche sono state condotte le indagini di seguito riportate.

5a- SONDAGGI A ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO

Per ricostruire con la maggiore precisione possibile la stratigrafia del sito è stato effettuato, dalla Ditta incarica dalla Provincia, N° 1 sondaggio a rotazione a carotaggio continuo S1, ubicato come da planimetria allegata, in corrispondenza della spalla del ponte (lato S. Eusanio) e spinto ad una profondità di ca. 13,00 m dal p.c., fino ad intercettare le argille limose grigie del substrato, la cui posizione ed andamento stratigrafico era peraltro nota grazie ad un sondaggio effettuato nell'area in esame a corredo dello Studio eseguito in occasione dei "*Lavori di consolidamento delle pile e delle spalle del viadotto sul torrente Gogna lungo la S.P. Pedemontana*" commissionato dall'Amministrazione Provinciale di Chieti nel 1997. (cfr. *Allegato Indagini consultate*)

La perforazione è stata effettuata con carotiere semplice ed a carotaggio continuo, in modo da avere una visione precisa delle litologie attraversate ed una buona conservazione dei campioni. L'iter seguito è rappresentato dalle seguenti fasi operative:

- perforazione a rotazione e carotaggio continuo;
- descrizione dei campioni estratti;
- esecuzione di prove speditive di campagna con pocket penetrometer;

La perforazione è stata eseguita mediante sonda equipaggiata da:

- carotiere semplice di diametro nominale esterno da 101 mm e lunghezza utile di 150 cm;
- aste con filettatura tronco-conica di diametro esterno 101 mm.

La descrizione stratigrafica dei campioni rinvenuti è stata effettuata in modo tale da mettere in evidenza la composizione granulometrica, il colore dominante, la presenza di materiale organico, la composizione mineralogica nonché i loro caratteri strutturali e tessiturali.

5b- PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (DPSH)

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari al suo avanzamento.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con gli eventuali sondaggi geognostici realizzati o con l'osservazione di scavi e trincee come nel nostro caso, per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente **M**
- altezza libera caduta **H**
- punta conica: diametro base cono **D**, area base **A** (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Lo strumento utilizzato dall'Impresa esecutrice, presenta le seguenti caratteristiche strumentali:

CARATTERISTICHE TECNICHE : EMILIA (20)

PESO MASSA BATTENTE	M = 63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 30,00 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 50,50 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	α = 60 °
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1,00 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 8,00 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P1 = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	δ = 0,20 m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(20) ⇒ Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	SI
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 11,91 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	β_t = Q/Qspt = 1,521 (teoricamente : Nspt = β_t N)

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

La prova è stata interrotta a 16,00 m dal p.c..

5c - PRELIEVO DI CAMPIONI

Durante l'esecuzione del sondaggio geognostico è stato prelevato N° 1 campione indisturbato mediante campionatore a pressione a pareti sottili (Shelby).

Nel prelievo si è cercato di ridurre al minimo il rimaneggiamento contenendo in limiti accettabili i valori dei coefficienti C_p (Coefficiente di parete), C_i (Coefficiente di sonda interna) e C_a (Coefficiente di attrito esterno).

Il coefficiente di parete (rapporto tra volume di materiale spostato e quello campionato) è stato mantenuto basso mediante l'utilizzo di scarpe campionatrici a basso angolo, campionatori a pareti sottili e con infissioni rapide.

Il coefficiente C_i definito come rapporto tra la differenza del diametro interno e del diametro di soglia con lo stesso diametro di soglia del campionatore è stato mantenuto circa a zero con l'utilizzo di fustelle a parete sottile.

Infine il coefficiente di attrito esterno (C_a) espresso come la differenza dei diametri esterni di soglia e del tubo ed il diametro esterno del tubo può considerarsi nullo.

Le quote di prelievo del campione e la ricostruzione stratigrafica sono riportate nelle scheda stratigrafica allegata.

5d - PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Al fine di caratterizzare dal punto di vista fisico meccanico i terreni presenti nel sito in essere sono state condotte, sui campioni prelevati durante i sondaggi, le seguenti determinazioni:

- proprietà indici;
- analisi granulometrica;
- limiti di Atterberg;
- Prova di taglio diretto (Scatola di Casagrande);
- Prova di Espansione Laterale Libera.

5e – INDAGINI GEOFISICHE: PROVA MASW

La tecnica MASW è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della modalità di propagazione delle onde di superficie nel sottosuolo, permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio Sv lungo un profilo verticale posizionato al centro dello stendimento.

La media ponderata delle velocità calcolate per i singoli orizzonti sismici consente di determinare il parametro Vs30 ovvero la velocità media di propagazione delle onde Sv nei primi 30 metri di profondità del terreno.

L'indagine geofisica con tecnica MASW viene realizzata mediante uno stendimento sismico costituito da 12 a 48 (o più) geofoni allineati e separati tra loro da una distanza intergeofonica costante.

I geofoni registrano l'arrivo delle onde sismiche generate in corrispondenza di un punto di energizzazione posizionato esternamente allo stendimento (offset) ad una distanza compresa fra 2 e 8 ml dal primo geofono ed in allineamento con i geofoni stessi.

Ogni singolo geofono trasmette il segnale sismico rilevato tramite un cavo schermato alla stazione di ricezione, nella quale avviene la

registrazione del treno d'onda su cui procedere per le successive elaborazioni ed interpretazioni. La distanza intergeofonica viene valutata in funzione dello spessore minimo rilevabile dello strato sismo genetico a velocità V_s costante.

La profondità massima di penetrazione è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e la sua frequenza. Tali caratteristiche quindi non dipendono direttamente dalla geometria dello stendimento, ma dalle caratteristiche della successione litostratigrafica del terreno attraversato. L'obiettivo della registrazione è l'individuazione del treno di onde superficiali (onde di Rayleigh). Il treno d'onda, attraversando il mezzo, subisce una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate con la velocità di propagazione delle onde di taglio S_v .

Le caratteristiche di un'acquisizione con la tecnica MASW prevedono una o più energizzazioni con tempi di acquisizione compresi tra 1 e 4 sec e con frequenza di campionamento variabile da 3000 a 5000 Hz.

Dal sismogramma, note le caratteristiche geometriche dell'acquisizione, si ricava il diagramma "velocità di fase - frequenza" sul quale l'operatore individua la curva di dispersione.

La curva di dispersione viene sottoposta ad un processo di inversione basato su complessi algoritmi genetici che lavorano in un campo assegnato dall'operatore di ΔV (range di variazione della velocità) e ΔP (range di variazione dello spessore di terreno supposto a velocità "costante").

Il processo di inversione porta all'elaborazione di un modello del sottosuolo espresso nel grafico "Profondità-Velocità delle onde S_v " con il relativo calcolo della V_{s30} .

L'attendibilità e l'affidabilità del modello matematico viene espressa in termini di deviazione standard del valore di velocità delle onde S_v e del rispettivo spessore assegnato a ciascun strato, ed in termini di "misfit" indice di qualità del processo di elaborazione matematica.

L'acquisizione in campagna è stata realizzata con strumentazione avente le seguenti caratteristiche:

Nome	Caratteristiche	Metodologia di azione
Energizzatore	massa battente 10 kg su piastra in duralluminio	generazione segnale
Geofoni verticali GEOSPACE	4,5 Hz – 4 kOhm	conversione segnale sismico in elettrico
Sismografo SARA – Do.Re.Mi.	digitalizzatori – 16 bit	conversione del segnale elettrico in digitale e registrazione
Interfaccia Do.Re.Mi. master		alimentazione, collegamento PC, erogazione del segnale start
Computer	Acer Aspire One	visualizzazione, memorizzazione, elaborazione dati

Tabella 2

6. RISULTATI DELLE INDAGINI

Le indagini realizzate hanno permesso di ricostruire la successione stratigrafica e definire i parametri fisico meccanici e sismici dei terreni interessati dalle opere in progetto.

6a. STRATIGRAFIA E MODELLO GEOLOGICO LOCALE

Dal punto di vista stratigrafico è possibile schematizzare la successione rinvenuta secondo il seguente schema:

- **terreno vegetale** formato da argille limose rimaneggiate, con elementi calcarei e resti di materiale vegetale, di spessore di ca. 1,00 m;
- **alternanza di limi argillosi e limi sabbiosi** con rari livelli limosi grigiastri e rari ciottoli calcarei. Lo spessore dell'unità, corrispondente al complesso alluvionale limo-argilloso, è di ca. 10,80 m in corrispondenza di sondaggio eseguito in questo lavoro, mentre è di ca. 5,90 m nella perforazione eseguita nel precedente lavoro già menzionato. La differenza è imputabile alla topografia e alla quantità di materiale di riporto presente;
- **argille limose grigiastre** che rappresentano il substrato, la cui notevole estensione in profondità è ben nota.

Per maggiori dettagli si rimanda alla colonna stratigrafica allegata e alle indagini consultate.

6b. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

La prova penetrometrica effettuata e le indagini di laboratorio realizzate sul campione prelevato, hanno permesso di caratterizzare dal punto di vista fisico - meccanico i terreni presenti nell'area di intervento.

Dall'esame dei diagrammi della prova DPSH si osserva che fino a 11,60 m dal p.c. l'andamento dei N° di colpi necessario all'avanzamento dello strumento si attesta mediamente intorno a 10, con punte di 42 e scarto quadratico medio pari a 7,0. L'andamento è quello tipico dei depositi alluvionali in cui si alternano materiali fini a livelli più grossolani. Da quota 11,60 m a 16,00 m (profondità a cui è stata interrotta la prova), il N° medio di colpi aumenta e l'andamento è più regolare con poche oscillazioni intorno alla media (substrato argilloso-limoso).

Le indagini di laboratorio condotte sul campione di substrato argilloso prelevato hanno dato i seguenti risultati: la composizione granulometrica della formazione è quella di un limo con argilla debolmente sabbioso.

Il peso specifico dei grani è pari a $2,70 \text{ g/cm}^3$, mentre il γ_{nat} è di $1,77 \text{ g/cm}^3$.

Per quanto riguarda le caratteristiche di plasticità i valori ottenuti sono i seguenti:

- ✓ *Limite di liquidità: LL = 46,10 %*
- ✓ *Limite Plastico : LP = 18,86 %*
- ✓ *Indice di Plasticità IP = 27,21 %*

Il contenuto d'acqua allo stato naturale **W** è mediamente pari a 19,45%, complessivamente tali terreni possono essere classificati come **argille molto consistenti**.

Per quanto riguarda invece il comportamento meccanico, i campioni sottoposti a prove di taglio diretti in condizioni drenate, mostrano peculiarità

tipiche delle argille sovraconsolidate, infatti, la coesione intercetta è diversa da zero:

Angolo di resistenza al taglio $\phi' = 24,66^\circ$

Coesione intercetta $c' = 0,19 \text{ Kg/cm}^2$

Dalla prova di Espansione Laterale Libera si è determinato un valore di resistenza al taglio non drenata c_u pari a $2,06 \text{ Kg/cm}^2$.

Di seguito si riporta una sintesi dei dati ottenuti.

COMPLESSO ALLUVIONALE (da p.c. a 11,80 m)

LIMI ARGILLOSI DEBOLMENTE SABBIOSI

- $\gamma_n = 1,60 \div 1,80 \text{ t/m}^3$ (PESO DI VOLUME NATURALE)

- $c_u = 4 \div 6 \text{ t/ m}^3$ (COESIONE NON DRENATA)

- $\phi = 20^\circ$ (ANGOLO DI ATTRITO INTERNO)

comportamento geotecnico:
INCOERENTE - COESIVO

SUBSTRATO ARGILLOSO LIMOSO

(ARGILLE LIMOSE GRIGIASTRE)

- $\gamma_n = 1,75 \text{ t/ m}^3$ (PESO DI VOLUME NATURALE)

- $\gamma_{sat} = 1,94 \text{ t/ m}^3$ (PESO DI VOLUME SATURO)

- $c_u = 20,00 \text{ t/ m}^3$ (COESIONE NON DRENATA)

- $\phi = 24,7^\circ$ (ANGOLO DI ATTRITO INTERNO)

- $c' = 1,90 \text{ t/m}^2$ (COESIONE DRENATA)

comportamento geotecnico:
COESIVO

Per gli altri parametri di interesse geotecnico si rimanda agli allegati "Prova penetrometrica dinamica" e "Certificati prove di laboratorio".

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Il moto sismico in superficie è fortemente condizionato dai parametri del moto atteso al substrato roccioso, cioè dal terremoto di riferimento (RIM), il quale viene determinato considerando la sismicità storica del sito. Pertanto il substrato roccioso subisce uno scuotimento direttamente alla sorgente (terremoto di riferimento), ipotizzando l'assenza di rilevanti effetti locali, questi ultimi di fondamentale rilevanza nell'ambito della valutazione della risposta sismica locale (RSL) di una determinata area.

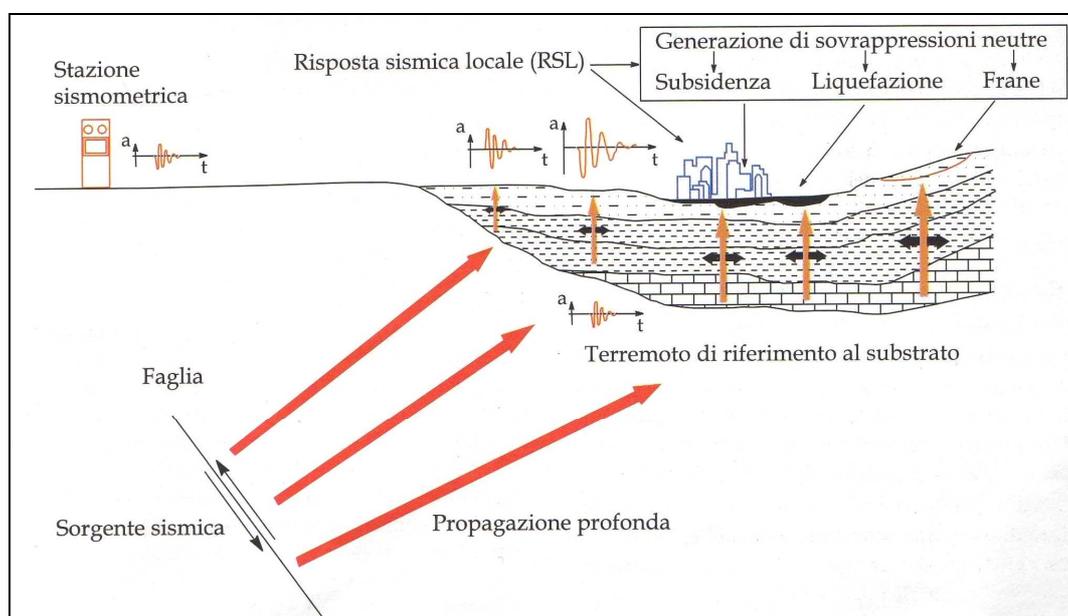


Fig. 6.1: Esempio di propagazione di un evento sismico dalla sorgente e modifiche del moto sismico di ingresso al sito (da *Geologia Tecnica & Ambientale*, 1/2004)

Con il termine risposta sismica locale (RSL) si intendono le modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (substrato) posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti sino alla superficie. Tali modifiche sono funzione delle caratteristiche geologiche del territorio, inoltre la loro definizione è alla base sia nella progettazione di

strutture in grado di resistere alle sollecitazioni dinamiche che, a scala territoriale, nella zonizzazione del territorio.

La valutazione quantitativa della risposta sismica locale è data dal rapporto tra l'accelerazione massima alla superficie del terreno e quella in corrispondenza del substrato roccioso, ed essa prende il nome di funzione di amplificazione. In sostanza il terreno agisce da "filtro", incrementando l'ampiezza del moto in corrispondenza di alcune frequenze e riducendola per altre. Le amplificazioni maggiori si registrano con il fenomeno della risonanza del moto, si hanno allorché la frequenza fondamentale dello strato ($f = 1/T_0$ in cui $T_0 = 4 * H / V_s$) risulta coincidere, o quasi, con quella dell'onda.

I parametri che, localmente, influenzano il percorso dell'onda sismica e, quindi, possono determinare l'incremento dell'intensità, possono essere individuati nei seguenti fattori:

1. variabilità stratigrafica delle formazioni superficiali (andamento dei contatti tra di essi, spessori, estensione areale ed assortimento granulometrico dei materiali sciolti);
2. variazioni longitudinali e trasversali della velocità di propagazione delle onde sismiche nei vari orizzonti dal substrato alle formazioni superficiali;
3. caratteristiche meccaniche intrinseche dei terreni con particolare riferimento al loro comportamento sotto l'azione di carichi ciclici e dinamici;
4. contesto geomorfologico locale, con particolare riferimento alle forme gravitative attive e quiescenti per le quali la sollecitazione sismica potrebbe innescare una rimobilizzazione;
5. morfometria di dettaglio dell'area, con particolare riferimento alle scarpate morfologiche (es. bordi di terrazzo) che possono essere soggette a fenomeni di instabilità e di crollo, alle zone di cresta delimitate da versanti acclivi, e a tutti i contrasti topografici in cui

l'azione sismica potrebbe generare fenomeni di focalizzazione delle onde.

6. presenza e profondità della falda idrica.
7. discontinuità strutturali tra le varie unità (faglie e fratture maggiori), in quanto possono rappresentare delle vie preferenziali di liberazione dell'energia in superficie, sia per il grado di fratturazione e degradazione, che per la possibile risalita in superficie della falda acquifera.

Le differenze di severità di risentimento sismico da un punto ad un altro del territorio comunale, inevitabile conseguenza della variabilità litologica, strutturale dei terreni che la contraddistinguono possono essere valutate solo nell'ambito di indagini di microzonazione sismica. Inoltre, è chiaro che le situazioni e gli scenari precedentemente elencati possono essere analizzati con livelli diversi di approfondimento; il tipo ed il grado di affinamento degli studi relativi dipende dall'importanza del progetto insediativo o di infrastruttura per il quale essi dovranno essere condotti.

Di seguito si riporta una valutazione sismica dei terreni di fondazione in relazione a quanto previsto dalle NTC 2008.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono cinque categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione con indicazione della velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità (V_{s30}).

I suoli di fondazione sono così definiti:

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti particolari studi per la definizione dell'azione sismica da considerare:

Categoria	Descrizione
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti V_{s30} rappresenta la velocità media di propagazione entro 30 m delle onde di taglio calcolata con la seguente espressione:

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

Dove h_i e v_i indicano lo spessore e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo.

Ai fini della classificazione sismica del terreno di fondazione si è proceduto alla realizzazione di una prova MASW le cui peculiarità sono state descritte in precedenza e i cui risultati sono esposti nell'*Allegato Rapporto Prova MASW*.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottengono i seguenti valori:

$$V_{s30} = 345 \text{ m/s}$$

per cui i terreni possono essere classificati come **suoli di fondazione di Tipo C con V_s compreso tra 180 e 360 m/s.**

8 – CONCLUSIONI

Lo scrivente ha ricevuto incarico da parte dell'Amministrazione Provinciale di Chieti di redigere uno studio geologico e sismico dei terreni e terreni interessati dal consolidamento del ponte sul Torrente Gogna al Km 19+400 della strada provinciale Pedemontana al confine tra i comuni di Casoli e Sant'Eusanio.

Il progetto visionato, prevede la demolizione completa dell'impalcato in c.a., delle travi e dei pulvini con realizzazione di nuove pile in c.a. che incorporeranno quelle esistenti mediante ripresa di getto sui diaframmi di sottofondazione.

In base alle opere da realizzare, e, dietro proposta dello scrivente, la committenza ha provveduto alla esecuzione di indagini specifiche tramite affidamento ad impresa specializzata, i cui risultati sono stati discussi nei paragrafi precedenti e che possono essere così riassunti:

- fino ad una quota variabile tra i 6,00 m ca. e i 12,00 m (rispettivamente nella piana alluvionale s.s. ed in corrispondenza della spalle del ponte), i terreni mostrano una marcata anisotropia verticale (in termini di resistenza) legata alla presenza di materiale di riporto e alluvionale, al di sotto di tali terreni si rinviene il substrato argilloso-limoso la cui la notevole estensione in profondità è nota, dotato di apprezzabili caratteristiche fisico - meccaniche;
- durante l'esecuzione delle indagini è stata rilevata falda acquifera ad una quota di ca. 7,00 m dal p.c.;
- la prova MASW realizzata permette di attribuire i terreni di fondazione alla **categoria C: $V_{s30}=345$ m/s**;

- essendo l'area pianeggiante, non esistono rischi legati a movimenti di versante.

Alla luce di quanto esposto si ritiene il sito idoneo alla realizzazione delle opere previste, in ogni caso durante l'esecuzione dei lavori, andranno verificate le ipotesi di progetto, provvedendo ove necessario, alla variazione dello stesso, previa caratterizzazione e risoluzione delle problematiche incontrate.

Restando a disposizione per eventuali chiarimenti e/o delucidazioni si porgono cordiali saluti

Altino, Ottobre 2010

Il Tecnico incaricato

Dr Geologo Nico DI SANTO

BIBILOGRAFIA

Opere di carattere generale

Guide Geologiche Regionali – Abruzzo – 15 Itinerari. A cura della Società Geologica Italiana, vol. 10, pp 1 – 335. BE-MA (2003).

Servizio Geologico d'Italia – Carta geologica d'Italia Foglio 147 Lanciano (1974).

Vezzani L. & Ghisetti F. – *Carta geologica dell'Abruzzo.* S.E.L.C.A., Firenze (1998).

Lavori consultati

"Lavori di consolidamento delle pile e delle spalle del viadotto sul torrente Gogna lungo la S.P. Pedemontana". Amministrazione Provinciale di Chieti (1997).