

# COMUNE DI PETACCIATO (CB) (Provincia di Campobasso)

## PIANO REGOLATORE GENERALE VARIANTE GENERALE

COMMITTENTE : Amministrazione Comunale di Petacciato  
PROGETTAZIONE : Dott. Arch. Cirino F. FERRAUTO  
CONSULENTE GEOLOGO: Dott. Geol. Vito Francesco PLESCIA



**Elab. n° 1**

RELAZIONE GEOLOGICA REDATTA AI SENSI DELLA L.R. DEL 6  
GIUGNO 1996 N°20

*SINDACO : Dott. Gabriele LAPALOMBARA*

*ASS. LL.PP. : Dott. Alberto DI VITO*

*SEGRETARIO COMUNALE: Dott.ssa Rosalba MUCCIARELLA*

*R.U.P. Dott.ssa Arch. Agnese FAIETA*

MODIFICHE

IN VIGORE

SCALA

ADOZIONE

APPROVAZIONE REGIONALE

DATA

Febbraio 2013

**Studio di geologia - geotecnica - sismica**

**Geol. Vito F. PLESCIA**

Via Pantelleria, n°20, Termoli (CB)

tel. 0875.85046, fax. 0875.85046, cell. 336.650522

e\_mail: [geolplescia@virgilio.it](mailto:geolplescia@virgilio.it)

## INDICE

<b>PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
<b>INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO .....</b>	<b>2</b>
<b>GEOMORFOLOGIA.....</b>	<b>3</b>
<b>IDROGEOLOGIA.....</b>	<b>5</b>
<b>RISCHIO IDRAULICO.....</b>	<b>7</b>
<b>GEOLOGIA.....</b>	<b>9</b>
<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>12</b>
<b>CARTA DELLA ZONAZIONE SISMICA.....</b>	<b>18</b>
<b>CLASSIFICAZIONE DEL SITO METODO PREVISTO DAL D.M. 14 GENNAIO 2008....</b>	<b>19</b>
<b>CARTA D'USO DEL TERRITORIO O DELLE PENALITA' AI FINI EDIFICATORI.....</b>	<b>20</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>22</b>

## ALLEGATI

<b>ELAB N° 1 RELAZIONE GEOLOGICA REDATTA AI SENSI DELLA LEGGE REGIONALE DEL 6 GIUGNO 1996 N°20</b>	
<b>ELAB N° 2 STRATIGRAFIE SONDAGGI – PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (S.P.T.) – PROVE DI LABORATORIO</b>	
<b>ELAB N° 3a-b PROVE PENETROMETRICHE CPT – DPM - DPSH</b>	
<b>ELAB N° 4 PROVE SISMICHE A RIFRAZIONE E PROVE SISMICHE HVSR</b>	
<b>TAV-A CARTA GEOMORFOLITOLOGICA CON UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>SCALA 1: 2.000</b>
<b>TAV-B CARTA DELLA ZONAZIONE SISMICA.....</b>	<b>SCALA 1: 2.000</b>
<b>TAV-C CARTA D'USO DEL SUOLO O DELLE PENALITA' AI FINI EDIFICATORI.....</b>	<b>SCALA 1: 2.000</b>
<b>TAV-D CARTA IDROGEOLOGICA.....</b>	<b>SCALA 1: 5.000</b>
<b>TAV-E SEZIONI GEOMORFOLOGICHE</b>	

## **PREMESSA**

Con determina n.35 del 24.03.2004, l'Amministrazione Comunale di Petacciato ha affidato allo scrivente "Geologo PLESCIA Vito Francesco, iscritto all'Albo Professionale dell'Ordine dei Geologi della Regione Molise al n° 039 sez. A - Geologi Specialisti", l'incarico per la redazione della documentazione geologica di cui alla L.R. 20/96 propedeutica alla redazione della Variante al Piano Regolatore Generale di Petacciato e per gli adempimenti relativi alla L.R-20/96. Detta consulenza in accordo con la legge 20 prevede tre fasi di studio. La prima riguarda uno studio geologico-litologico, idrogeologico e morfologico di base su tutto il territorio di Petacciato. La seconda è costituita da indagini geognostiche in sito dirette ed indirette, sondaggi, perforazioni, prove penetrometriche, prove geotecniche di laboratorio, indagine sismica sull'aree interessate dal piano. L'ultima prevede la stesura ed elaborazione finale delle carte di sintesi (carta geomorfologica, carta della microzonazione sismica, carta dell'uso del territorio o delle penalità ai fini edificatori, carta idrogeologica).

Per la stesura della cartografia allegata si è fatto riferimento alle linee guide della microzonazione del Comune di Petacciato realizzata dalla Regione Molise. Pertanto è stata utilizzata la stessa simbologia e colorazione nelle varie carte tematiche. Inoltre per la stesura delle carte tematiche si è tenuto conto della carta IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), della carta del rischio e pericolosità da frana, della carta del rischio e pericolosità idraulica del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), redatta dall'Autorità di Bacino di Fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore, della carta geomorfologica tratta dalla microzonazione sismica del Comune di Petacciato redatta dalla Regione Molise, della carta del rischio idrogeologico redatta dal servizio Geologico regionale e dei dati geomorfologici dello studio della frana di Petacciato, commissionato dalla Regione Molise e redatto dallo studio Cotecchia di Bari. Lo studio e l'analisi di campo è iniziato nel mese di Giugno 2004 (sondaggi, prove in sito e di laboratorio), poi è proseguito negli anni e l'intervento di nuove normative ha comportato una rivisitazione continua di tutto il lavoro per adattarlo alle attuali normative. Di seguito si espongono le risultanze di che trattasi e le considerazioni emerse dallo studio effettuato.

## **INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO**

Il territorio di Petacciato, topograficamente è individuabile nelle tavolette I.G.M. (scala 1:25.000) II° S.E. Petacciato, II° S.O San Salvo, I° N.E. San Giacomo e I° N.O. Montenero di Bisaccia dei fogli N.148 Vasto e Foglio N. 154 Larino (scala 1: 100.000) della Carta d'Italia. Mentre per quanto riguarda la C.T.R. scala 1:5.000 rientra nei seguenti elementi 372141, 372154, 372151, 372142, 372153, 372152, 381021, 381034, 381031. I confini territoriali sono delimitati a nord dal Mare Adriatico e fascia costiera, ad est dal Fosso San Giovanni, a sud-est dalla strada Provinciale Guglionesi Petacciato e dalla Strada Comunale Petacciato-Guglionesi, a Sud dal Fosso del Tratturo e dalla Strada Provinciale Felicetta, a sud-ovest per un tratto dal Torrente Tecchio infine ad ovest dalla Contrada Calgione e Torrente Mergola.

Altimetricamente le quote vanno dal livello medio mare fino ad un massimo di mt.296,70 s.l.m. riscontrabile a sud del territorio nei pressi della Località Masseria Borgia. Mentre il centro abitato presenta quote medie di mt. 224 mt., s.l.m. L'idrografia superficiale è formata sostanzialmente da tre corpi idrici principali ed una serie di fossi con bacini o apporti idrici alquanto limitati con pattern dentritico o sub-dentritico. Torrente Mergola e Torrente Tecchio presentano direzione nord-Mare Adriatico. Torrente Sinarca posizionato a sud-ovest del territorio con direzione parallela alla linea di costa.

## **GEOMORFOLOGIA**

Dal punto di vista morfologico il territorio si presenta del tipo media-bassa collina con altitudini massime in aree di cresta, andamento dei rilievi uniforme con acclività graduate e non accentuate. Fratture e salti di pendio rilevanti sono evidenti soprattutto nell'area centrale del territorio ove sorge il centro abitato. In quest'area si accentuano le forme d'erosione e di modellazione del territorio, risalta la netta differenza litologica dei sedimenti argillosi da quelli sabbiosi arenacei che avendo un grado di erodibilità minore dei sedimenti argillosi formano pianalti, sporgenze e picchi piuttosto ripidi. Tuttavia la morfologia derivante dalla modellazione e dalla evoluzione dei versanti, è per lo più di tipo franoso. Ad alta densità si riscontrano frane posizionate maggiormente lungo le pendici vallive dei corsi d'acqua e dove l'azione antropica ha effettuato disboscamenti e modellazioni del reticolo idrografico originario-naturale. Sporadiche tipologie morfologiche come calanchi in via di formazione si rinvengono nei pressi del Monte Favero a sud del territorio di Petacciato.

Particolare rilevanza nel territorio allo studio assume il movimento franoso esteso in tutta la zona nord del centro abitato. Questo fenomeno interessa un'area estesa per circa 4.000.000 m<sup>2</sup> ove insiste una densità abitativa di 25 abitanti ogni 1.000.000 m<sup>2</sup>. All'interno dell'area dissestata si individuano diversi movimenti franosi verificatisi in tempi e modi diversi, di conseguenza la configurazione morfologica dell'area in frana ha subito continue modificazioni nel tempo. Infatti notizie storiche certe sul verificarsi dei movimenti franosi si hanno dal 1906, di conseguenza le evidenze morfologiche osservate permettono di affermare che la gran parte dei fenomeni franosi sono molto antichi e che nel corso degli anni, hanno subito periodiche e locali riattivazioni.

Tali riattivazioni nella maggior parte dei casi hanno prodotto variazioni morfologiche evidenti con il locale arretramento del coronamento. La placca sabbiosa ove sorge l'attuale abitato di Petacciato senz'altro abbia avuto una maggiore estensione sia verso nord che verso sud, presumibilmente variata a seguito sia di attività antropiche che di eventi franosi a carattere retrogressivo che hanno coinvolto porzioni di versante sempre più interne. Esso si presenta con un coronamento di testata lungo circa 2 Km, con profondità dei piani di rottura

che interessano le argille di base stimata da studi specifici variabile fino a profondità di oltre 60 m, nell'area di testata, e stimate fino a oltre 100 m, in avvicinamento alla costa. Il profilo longitudinale del pendio presenta un'inclinazione di  $5^{\circ}$ - $7^{\circ}$ , ed eccezionalmente raggiunge i  $10^{\circ}$ . Esso è caratterizzato da scarpate e linee di rottura principali e secondarie, limiti dei corpi di frana, depressioni o conche di frana, superfici ruotate contromonte, spostamenti laterali, sollevamenti, rughe di compressione, terrazzi di frana.

Al piede in corrispondenza della linea di costa risulta emersa dalle sabbie una "lingua" di argilla, rappresentante il piede di una delle superfici di rottura, nonché alcuni piccoli crateri di acqua e melma argillosa. Sembra sollevato anche il cordone di dune.

Lo scoglio conglomeratico di fronte al viadotto Marinella sembra si sia "avvicinato" alla costa di una diecina di metri per effetto del sollevamento del fondale marino dovuto al movimento franoso. Infine, per l'interpretazione del meccanismo del movimento franoso è interessante tener presente che i segni di rimobilitazione spesso si sono verificati prima al piede del pendio e poi si sono propagati verso monte, fino all'abitato di Petacciato, come ad esempio per gli eventi del 1979 e 1991.

Nel settore ovest dell'abitato si rilevano altresì frane con tipo di movimento dal crollo (interessanti le sabbie costituente il bedrock, cioè la base del nucleo urbano) e di tipo scivolamento-rotazionale nelle argille poste più a valle. Anche nei settori sud-est e sud-ovest si rinvencono aree con concentrazione mediamente elevata di fenomeni gravitativi che interessano principalmente le sponde dei valloni impiantati su terreni argillosi. In corrispondenza delle confluenze e delle immissioni dei valloni e rigagnoli negli affluenti e corsi d'acqua maggiori si rinvencono delle piccole conoidi alluvionali costituite da depositi limosi, sabbiosi-ghiaiosi.

Dai sopralluoghi effettuati per validare le aree in frane è risultato che alcune di esse erano state posizionate in aree stabili e pertanto nella carta redatta dallo scrivente, (allegata al presente rapporto) non sono state cartografate. Inoltre i movimenti franosi sono stati suddivisi in tre tipologie. La prima formata da movimenti franosi allo stato attivo, la seconda formata da movimenti franosi in stato quiescente, l'ultima formata da relitti di frana.

## **IDROGEOLOGIA**

Premesso che per bacino idrografico, o bacino imbrifero, si intende la porzione di superficie terrestre, limitata dalla linea di dislivello o spartiacque, entro la quale si raccolgono e defluiscono le acque derivanti dalle precipitazioni liquide (pioggia), dallo scioglimento delle nevi, da eventuali sorgenti. Le acque defluiscono in superficie attraverso la rete di drenaggio oppure in sottoterraneo (falda freatica o artesianica) fino a giungere alla sezione di chiusura. Inoltre, un bacino idrografico può essere suddiviso in sottobacini in cui si mettono in evidenza la presenza di aree intermedie definite come interbacini, spesso prive di rete di drenaggio completamente sviluppata.

Un bacino idrografico presenta, dal punto di vista morfologico, tre zone, in genere facilmente distinguibili :

- 1) Il bacino di raccolta come produttore di sedimenti e di deflusso. Si identifica con la parte del sistema situata alle quote più elevate, altrimenti denominata “zona di testata” (upland o headwater).
- 2) Il canale di trasferimento in cui avviene il deflusso dei sedimenti.
- 3) I conoidi alluvionali, oppure le zone deltizie in cui il deflusso viene recapitato al recipiente (mare, lago o altro corso d'acqua). Vi si verifica principalmente deposizione dei materiali trasportati.

Nel territorio di Petacciato si individuano tre bacini idrografici ed un'area formata da microbacini. Tuttavia dall'esame di questi sistemi idrografici l'unico corso d'acqua con un bacino di un certo rilievo ed importanza è rappresentato dal Torrente Tecchio che nasce dalla confluenza tra il Fosso Melonico ed il Fosso di Bisaccia in prossimità della Masseria Scarpone nel territorio del Comune di Montenero di Bisaccia. Tale Torrente è stato riportato anche sulle carte del rischio idraulico redatta dall'Autorità di Bacino di Fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore.

Segue in ordine di importanza il Torrente Mergolo, che sorge nella località Pontone S. Matteo tale torrente fa da confine naturale col territorio del Comune di Montenero per cui solo il lato destro del bacino imbrifero ricade nel territorio di Petacciato. Nella parte N.E. del

territorio di Petacciato si rilevano il Fosso degli Olivi, Fosso Del Lupo e fosso della Torre che scaricano le proprie acque direttamente nel Mare Adriatico e vengono definiti microbacini. Infine nel settore S.E. dell'abitato si annoverano il Fosso Vallone, Fosso Saraceno e Vallone della Fonte che sono degli affluenti sinistri del Torrente Sinarca.

Il territorio allo studio è interessato sia nelle aree di testata che nelle aree di fondovalle e di foce dal T.Tecchio e dal T.Mergolo. Inoltre non si riscontrano manifestazioni idriche superficiali di rilievo, così come in tutto il territorio preso in considerazione. Non si escludono nelle aree interne delle piccole venute d'acqua, soprattutto in seguito ad un periodo piovoso al contatto tra il complesso sabbioso conglomeratico e le argille plioceniche.

## RISCHIO IDRAULICO

Ai fini della definizione del **rischio** diventa necessario stabilire l'arco temporale entro cui si decide di accettare il verificarsi di un evento di entità uguale o superiore ad uno già verificatosi. Tale arco temporale può essere la vita prevista per un'opera o un intervento. Il grado di esposizione di un'area a fenomeni naturali quali gli allagamenti, le frane, le valanghe ( e così via fino alle eruzioni vulcaniche ed ai terremoti).

Il **rischio** cui è esposto un bene dovrebbe essere calcolabile mediante procedure oggettive (ciò non significa affatto esatte né definitive) e almeno dal punto di vista lessicale sono state proposte alcune definizioni di base che permettono di distinguere:

**pericolosità ( $H$ )** : traduce il termine *hazard* o *natural hazard* ed indica la probabilità che si verifichi entro un assegnato intervallo di tempo ed entro una area assegnata un fenomeno potenzialmente dannoso. Pertanto, il termine *rischio idraulico*, indicante la probabilità che in un periodo di  $n$  anni, si presenti un evento uguale o superiore all'evento stimato con tempo di ritorno  $T$  data dalla relazione (KITE, 1988)  $n R = 1 - (1 - 1/T)^n$  assume un significato simile e più limitato di *pericolosità*. Anche il termine francese *risque* dovrebbe assumere lo stesso significato.

**Vulnerabilità ( $V$ )** : indica il grado delle perdite arrecate ad un bene o ad una pluralità di beni (esposti a rischio) a seguito del verificarsi di un fenomeno naturale di assegnata entità. Si esprime con riferimento ad una scala di valori compresa fra 0 (nessun danno) e 1 (perdita totale). **Rischio specifico ( $R$ )** : indica l'entità del danno atteso a seguito di un particolare fenomeno naturale. Si esprime con il prodotto  $R_s = H \times V \times s$ .

**Elemento o bene a rischio ( $E$ )** : indica la popolazione, le proprietà, le attività economiche, inclusi i servizi pubblici che si trovano esposti al pericolo di un evento naturale in una determinata area.

**rischio totale ( $R_t$ )** : indica il numero atteso di morti, feriti, danni alle proprietà o interruzione di attività economiche a seguito di un evento naturale ed è perciò dato dal prodotto  $R_t = R_s \times E = E \times H \times V$ .

Nella carta idrogeologica allegata, viene riportata la mappatura delle aree a rischio con la relativa pericolosità. Partendo dal rischio più alto abbiamo :

- 1) Aree a rischio idraulico elevato. Quest'aree si riscontrano in prossimità della foce del Torrente Tecchio, sono presenti in due punti arealmente limitati.
- 2) Aree a rischio idraulico medio. Quest'aree si riscontrano lungo tutto il corso del torrente, in piccole isole pianeggianti confinanti con l'alveo del Torrente Tecchio.
- 3) Aree a rischio idraulico moderato. Quest'aree si riscontrano lungo tutto il corso del torrente, confinanti ove manca l'area a rischio medio, con l'alveo del Torrente Tecchio.

## GEOLOGIA

L'assetto geologico - strutturale regionale e le litologie del settore costiero tra Vasto e Termoli sono riferibili alla zona medio - esterna del dominio di avanfossa, compreso tra l'Appennino e l'Avampese Adriatico (Casnedi et al, 1981). Per tutto il Pliocene nell'avanfossa subsidente si è deposta una potente successione argillosa, in cui si sono inseriti complessi alloctoni di provenienza appenninica ("coltre molisana"), mobilizzati verso NE dal sollevamento orogenetico pliocenico, giunti in questo settore nel Pliocene superiore. Durante il Pleistocene inferiore, nello stesso settore, si è istaurata una sedimentazione prevalentemente sabbiosa, seguita da una facies conglomeratica a chiusura di un ciclo regressivo, che segna l'emersione dell'area ed il conseguente sviluppo di terrazzi marini.

Con il sollevamento pliocenico, sistemi di faglie, a prevalente direzione appenninica, hanno controllato un'evoluzione per fasce sub-parallele del dominio sedimentario di avanfossa. Il territorio di Petacciato ha evidenziato la presenza di sette formazioni geologiche sedimentarie di cui due di origine marina e le restanti cinque di origine continentale, riferibili al ciclo di riempimento dell'avanfossa appenninica molisana. L'età di queste formazioni vanno dal periodo Pliocene fino ai sedimenti attuali.

Dal basso verso l'alto la successione stratigrafica è così composta :

**“Argille di Montesecco” (Ssi).** Rappresenta la formazione più antica affiorante nel territorio di Petacciato, costituita da una successione di argille limose e limi argillosi di colore grigio e grigio azzurro, di solito debolmente sabbiosi, con sottili intercalazioni di sabbia fine e/o sabbia limosa grigia, che evidenziano una fitta stratificazione in successione ritmica. Le intercalazioni sabbiose, in genere, sono rappresentate da veli e strati fino a 2÷3 cm, meno frequentemente fino a 10 cm, eccezionalmente, da bancate metriche. L'argilla, spesso, contiene sostanze carboniose sotto forma di punteggiatura diffusa e di piccole lenti o vene, che raramente raggiungono il centimetro di spessore. Sono presenti, inoltre, rare concentrazioni di bioclasti costituiti da frammenti minuti di lamellibranchi e gasteropodi. Sovente la parte terminale della formazione assume un colore avano chiaro in seguito ad alterazioni litologiche e chimiche. Affiora esclusivamente nei pressi della Stazione Ferroviaria

zona fornace, nelle vecchie cave di argilla e nella parte centrale del territorio lungo le sponde del Fosso della Fara nei pressi della Casa Damerio e Casa Di Credico. Si evidenzia che dal punto di vista geotecnico presentano un carattere coesivo e se poste in versante spesso sono interessate da movimenti eversivi e franosi. L'età è compresa dal Pliocene Superiore-Pleistocene inferiore.

**“Sabbie di Serracpriola” (Ssa).** La formazione è costituita da sabbie e sabbie limose di colore giallastro, ocra e grigio, intercalate da livelli millimetrici e centimetrici di arenarie tenere, da sporadici strati, da 10 a 30 cm, di arenarie e calcareniti ben cementate, occasionalmente fino a 1 m di spessore, da diffusi e sottili livelli di limo sabbioso marrone, raramente, di argilla limosa/limo argilloso verdastro.

Nella parte NE dell'abitato alcune scarpate evidenziano elevata frequenza di intercalazioni arenacee, localmente fino ad una generale prevalenza di arenarie da tenere a cementate, ben stratificate. La stratificazione è piano-parallela ad andamento sub-orizzontale, spesso, con assetto finemente laminato. Nella parte alta, le sabbie sono intercalate da livelli lenticolari di sabbie conglomeratiche e conglomerati sabbiosi ad elementi di piccole dimensioni, tendenti a costituire, al top della successione, corpi irregolarmente estesi di conglomerati grossolani a matrice limoso-sabbiosa, di spessore metrico.

I clasti sono in prevalenza costituiti da elementi di calcari, calciruditi, calcari marnosi, calcareniti, arenarie quarzose e selce, che negli orizzonti sub-affioranti sono spesso parzialmente decalcificati. La facies si presenta generalmente molto addensata e con grado di cementazione variabile, da incoerente a ben cementata da cemento calcareo. L'età è ascrivibile al Pleistocene.

**“Depositi di spiaggia e duna recenti ed attuali” (sp).** Sono depositi costituiti da sabbie da fini a grossolane di spiaggia e duna da sciolte a leggermente cementate.

**“Depositi alluvionali ” (a).** Sono termini alluvionali, rinvenibili ai margini degli'alvei del nel Fosso Pozzo Vallone, del Vallone della Fara, del Torrente Tecchio e del Torrente Mergolo. Trattasi di depositi argilloso-sabbioso-ghiaiosi di conoide colluviale, intercalati da episodi sabbioso-ghiaiosi di genesi fluviale.

**“Depositi continentali ” (ter2).** Costituiti da limi sabbiosi e/o argillosi di colore bruno, intercalati o sovrastati da lenti di argille grigio-verdastre e giallastre con frequenti noduli di calcite farinosa biancastra. Derivano essenzialmente dal lento disfacimento chimico/fisico dei materiali di substrato. con spessori > di 2.00 metri.

**“Depositi continentali ” (ter1).** Costituiti da limi sabbiosi e/o argillosi di colore bruno, intercalati o sovrastati da lenti di argille grigio-verdastre e giallastre con frequenti noduli di calcite farinosa biancastra. Derivano essenzialmente dal lento disfacimento chimico/fisico dei materiali di substrato. con spessori compresi tra 0.5-2.00 metri.

**“Depositi di frana” (cf).** Sono depositi costituiti litologicamente da materiale sabbioso e/o limoso e argilloso degradato.

## **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

### **A-SONDAGGI MECCANICI**

Nel territorio in esame dalla società Trivelpali Molise S.r.l. di Sepino, sono stati eseguiti n.9 sondaggi geognostici, spinti fino alla profondità massima di mt. 30 dal p.c. Per i lavori di perforazione è stata utilizzata attrezzatura di perforazione idraulica montata su mezzo gommato, con piedi stabilizzatori e pompa per fango, variamente accessoriata in relazione alla natura dei terreni attraversati. Nel corso delle terebrazioni si è raccolta la normale campionatura continua dal diametro di 101 mm., e si è misurato il livello della falda ad ogni interruzione e ripresa dei lavori, oltre alle perdite totali d'acqua nei fori di sondaggio.

Durante l'esecuzione degli stessi a diverse profondità sono stati prelevati n. 5 campioni indisturbati sui quali sono state eseguite le necessarie prove geotecniche di laboratorio occorrenti per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi presenti. Dato la natura prevalentemente non lapidea degli strati e dei litotipi presenti, nel corso delle terebrazioni ad intervalli più o meno regolari sono state effettuate prove penetrometriche dinamiche del tipo S.P.T. Standard Penetration Test. A completamento delle operazioni di perforazione e per avere maggiori informazioni sulla presenza o meno di falde idriche in 4 sondaggi sono stati installati tubi piezometrici del tipo sfenestrati, dove periodicamente sono state eseguite le letture di controllo freatico.

### **B-PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE LEGGERE (DPM)**

Le prove penetrometriche dinamiche leggere sono state effettuate dal Dott. Geol. Russo Antonio di Termoli ed elaborate dallo scrivente. Per la realizzazione delle stesse è stata utilizzata attrezzatura costituita da un penetrometro dinamico leggero tipo "TG 30-20". La singola prova è consistita nel conteggio dei numeri di colpi necessari per infiggere mediante un peso una batteria d'aste nel terreno di successive quantità costanti. I dati che si ricavano, opportunamente elaborati, forniscono una indicazione qualitativa e quantitativa delle caratteristiche del sottosuolo e dalle correlazioni  $N_{30} - N_{10}$  sono stati ricavati i parametri di resistenza. I risultati che scaturiscono da tali tipi di prove vengono generalmente diagrammati prendendo in considerazione come parametri il numero di colpi ( $N_{10}$ ) per infissioni successive

di 10 cm, in grado di fornire indicazioni quantitative sulla resistenza dei terreni investigati correlandoli successivamente con quelli dello Standard Penetration Test ( $N_{SPT}$ ), e la resistenza dinamica alla punta dinamica alla punta ( $R_{pd}$ ) valutata, tramite la cosiddetta “formula degli Olandesi”, sulla base delle caratteristiche meccaniche dell’attrezzatura e valida in assenza di attrito laterale. I dati penetrometrici ricavati dalla prova sono stati riportati in due diagrammi i cui grafici correlano la profondità di rilevazione rispettivamente con il fattore  $N_{10}$  e con la resistenza alla punta  $R_{pd}$ .

Dalle suddette penetrometrie, si è proceduto alla individuazione delle caratteristiche di omogeneità litologica-geomeccanica dei materiali presenti nel sottosuolo. Pertanto i dati acquisiti con l'esecuzione della prova penetrometrica dinamica continua opportunamente elaborati, hanno permesso la definizione delle caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti. Inoltre, l’elaborazione ha fornito l’angolo d’attrito, il modulo edometrico, la densità relativa, la coesione non drenata e l’indice dei vuoti.

#### C-PROVE PENETROMETRICHE CONTINUE PESANTI (DPH)

Per quanto riguarda le prove penetrometriche dinamiche pesanti, le stesse sono state realizzate dalla GEOEQUIPE Molise ed elaborate dallo scrivente. Per la realizzazione è stato utilizzato un penetrometro tipo “TG 63-100 ISM.C”. La singola prova è consistita nel conteggio dei numeri di colpi necessari per infiggere mediante un peso una batteria d’aste nel terreno di successive quantità costanti. I dati che si ricavano, opportunamente elaborati, forniscono una indicazione qualitativa e quantitativa delle caratteristiche del sottosuolo e dei parametri di resistenza dello stesso. I risultati che scaturiscono da tali tipi di prove vengono generalmente diagrammati prendendo in considerazione come parametri il numero di colpi ( $N_{20}$ ) per infissioni successive di 20 cm, in grado di fornire indicazioni quantitative sulla resistenza dei terreni investigati correlandoli successivamente con quelli dello Standard Penetration Test ( $N_{SPT}$ ), e la resistenza dinamica alla punta dinamica alla punta ( $R_{pd}$ ) valutata, tramite la cosiddetta “formula degli Olandesi”, sulla base delle caratteristiche meccaniche dell’attrezzatura e valida in assenza di attrito laterale.

I dati penetrometrici ricavati dalle prove sono stati riportati in due diagrammi i cui grafici correlano la profondità di rilevazione rispettivamente con il fattore  $N_{20}$  e con la resistenza alla

punta  $R_{pd}$ . Dalle suddette penetrometrie, si è proceduto alla individuazione delle caratteristiche di omogeneità litologica-geomeccanica dei materiali presenti nel sottosuolo. Pertanto i dati acquisiti con l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche continue opportunamente elaborati, hanno permesso la definizione delle caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti. Inoltre, l'elaborazione ha fornito l'angolo d'attrito, il modulo edometrico, la densità relativa, la coesione non drenata e l'indice dei vuoti.

#### D-PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

Per quanto riguarda la prova penetrometrica statica, è stata realizzata ugualmente dalla GEOEQUIPE Molise ed elaborata dallo scrivente. Per la realizzazione è stato utilizzato un penetrometro tipo "GOUDA", costituito da un penetrometro statico con spinta fino a 10 tons. La singola prova è consistita nel determinare la resistenza di punta e la resistenza laterale durante l'infissione intervallata ogni 20 cm. I dati che si ricavano, opportunamente elaborati, forniscono una indicazione qualitativa e quantitativa delle caratteristiche del sottosuolo e dei parametri di resistenza.

#### E-INDAGINE SISMICA DI SUPERFICIE

L'indagine sismica a rifrazione è stata realizzata dal Dott. Geol. Aldo Succi di Isernia ed elaborata dallo scrivente. Detta indagine consiste in una serie di misure sulla variazione nello spazio della proprietà elastica dei terreni. Il metodo sismico a rifrazione utilizza i dati forniti dalla rifrazione subita dalle onde elastiche nell'attraversare i terreni e le rocce che si vogliono investigare. Più in dettaglio, attraverso una serie di ricevitori posti a distanze variabili dalla sorgente di energia, vengono rilevati impulsi sismici, trasformati in impulsi elettrici che opportunamente amplificati e decodificati dall'apparecchiatura di registrazione, permettono la lettura dei tempi di arrivo delle onde sismiche ai diversi ricevitori comunemente detti geofoni. Nel presente lavoro sono state realizzate n° 5 stese sismiche.

#### F- ESECUZIONE DELLA MISURA DI MICROTREMORE

L'indagine sismica a riflessione multipla del tipo passiva a stazione singola (HVSr) è stata realizzata ed elaborata dallo scrivente. Per la rilevazione del rumore sismico ambientale è stato utilizzato il tomografo digitale TROMINO (Marca Micromed), uno strumento dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W che permettono la registrazione

del microtremore nel campo di frequenze compreso tra 0 e 200 Hz. Il segnale di microtremore, dopo essere stato acquisito dai tre velocimetri ad una frequenza di campionamento di 128Hz, amplificato e digitalizzato a 24 bit equivalenti, è stato quindi trasmesso ad un software dedicato (Grilla) che, per ciascuna delle tre componenti del moto registrate, ha eseguito:

1. la divisione del tracciato in finestre di lunghezza scelta dall'operatore;
2. la depurazione del segnale dal trend di ciascuna finestra;
3. il "taper" con una finestra di Bartlett;
4. il "pad" di ciascuna finestra con degli zero;
5. il calcolo della trasformata di Fourier (FFT) per ciascuna finestra;
6. il calcolo dello spettro di ampiezza per ciascuna finestra;
7. lo smoothing dello spettro di ogni finestra secondo differenti funzioni;
8. il calcolo del rapporto spettrale H/V per ogni frequenza e finestra.

Il risultato finale consiste nella graficizzazione delle medie degli HVSR di ciascuna finestra e nell'interpretazione secondo la tecnica di Nakamura.

#### GENERALITA' SULLA TECNICA DI NAKAMURA

Il metodo di Nakamura, noto anche come tecnica dei rapporti spettrali (HVSR), si basa sulla misura del rumore sismico ambientale. Quest'ultimo, presente ovunque sulla superficie della Terra, è generato, oltre che dall'attività dinamica del pianeta, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole (10-15m/s<sup>2</sup> in termini di accelerazione), inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come avviene invece nel caso della sismica attiva (esplosioni).

Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso pianeggiante presenta dei picchi a 0.14 e 0.07 Hz, comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di fenomeni di guida d'onda. A tale andamento generale, che

è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie, ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce. Nel tragitto dalla sorgente al sito, le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che, se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di ray tracing, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore impiegato per la rilevazione del microtremore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione.

Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico ambientale registrati in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), applicata inizialmente da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale. Mentre su questo punto non è ancor stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli (informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica). La tecnica di Nakamura non richiede l'individuazione di una stazione di riferimento, permettendo così di operare in campagna utilizzando una sola stazione sismica. Il metodo HVSR considera i microtremori come composti principalmente da onde di Rayleigh e presuppone che l'amplificazione relativa agli effetti di sito sia causata dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio elastico. In queste condizioni le componenti del moto sismico da analizzare sono quattro: quelle orizzontali di superficie ( $H_s$ ), quelle orizzontali al bedrock ( $H_b$ ), quelle

verticali di superficie ( $V_s$ ) e quelle verticali al bedrock ( $V_b$ ).

Secondo Nakamura è inoltre possibile fare una stima della forma spettrale della sorgente dei microtremori  $A_s(\omega)$  (in funzione della frequenza) con la seguente relazione:

$$A_s(\omega) = V_s(\omega) / V_b(\omega) \quad (1)$$

in cui  $V_s(\omega)$  e  $V_b(\omega)$  sono le ordinate spettrali delle componenti verticali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock. Nakamura definisce poi come effetto di sito il rapporto spettrale  $S_e(\omega)$ :

$$S_e(\omega) = H_s(\omega) / H_b(\omega) \quad (2)$$

dove  $H_s(\omega)$  e  $H_b(\omega)$  sono le ordinate spettrali delle componenti orizzontali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock. Per compensare l'effetto di sito  $S_e(\omega)$  dallo spettro di sorgente  $A_s(\omega)$  viene calcolato il rapporto spettrale modificato  $S_m(\omega)$  come:

$$S_m(\omega) = S_e(\omega) / A_s(\omega) = (H_s(\omega)/V_s(\omega)) / (H_b(\omega)/V_b(\omega)) \quad (3)$$

Nakamura assume infine che per tutte le frequenze di interesse  $H_b(\omega)/V_b(\omega)=1$ , basandosi su registrazioni, sperimentalmente verificate da lui, di microtremori in pozzo; quindi l'effetto di sito modificato  $S_m(\omega)$  è descritto da:

$$S_m(\omega) = S_e(\omega) / A_s(\omega) = H_s(\omega)/V_s(\omega) \quad (4)$$

La frequenza di risonanza è ricercata al primo picco individuato dal rapporto tra la componente orizzontale e quella verticale dei segnali registrati. Nel 2004, nell'ambito di un progetto europeo denominato SESAME1 (Site EffectS assessment using Ambient Excitations), sono state elaborate le linee guida per l'esecuzione e l'interpretazione di misure sismiche di microtremore, creando così le premesse per la standardizzazione di questo tipo di indagine geofisica. Nel territorio di Petacciato sono state eseguite n. 8 prove.

## CARTA DELLA ZONAZIONE SISMICA

Come già descritto in premessa parte del territorio di Petacciato è stato già oggetto di studi superiori per microzonazione sismica eseguiti dalla Regione Molise, detti studi hanno esaminato le varie velocità  $V_{S30}$  dei litotipi presenti nel territorio, determinati da prove sismiche del tipo Down-Hole. Pertanto in questa fase sono state effettuate prove sismiche complementari sul territorio oggetto di variante al Piano Regolatore Generale, atte a verificare l'appartenenza dei litotipi alle varie categorie di sottosuolo considerando un'accelerazione di picco orizzontale al suolo  $a_g$  di 0.125 determinata dalla Commissione Regionale per i Comuni ricadenti in zona sismica 3. Di conseguenza dopo l'analisi sismica del territorio in esame è stata redatta una carta di sintesi che riporta in totale tre tipologie di aree. La prima area è caratterizzata da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 360 e 800 mt/sec che individuano un terreno classificato in base al D.M. 14 Gennaio 2008 di categoria "B". Inoltre in base ai calcoli effettuati dalla Commissione Regionale per la microzonazione sismica il coefficiente S che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente  $S = S_s S_t$  dove  $S_s$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_t$  il coefficiente di amplificazione topografico risulta pari a 1.15.

La seconda area è caratterizzata da valori di  $V_{S30}$  compresi tra 180 e 360 mt/sec che individuano un terreno classificato in base al D.M. 14 Gennaio 2008 di categoria "C". Il coefficiente S risulta pari a 1.25. Per le aree caratterizzate da condizioni geomorfologiche particolari, (arre poste ai bordi delle scarpate) si adotta ove previsto un ulteriore coefficiente di amplificazione topografica  $S_t = 1.20$  moltiplicativo di quello di base. La terza area riguarda zone con presenza di fenomeni di dissesto ed in quest'aree non si è proceduto a nessuna classificazione in quanto le stesse non sono edificabili ed in esse gli unici interventi previsti sono quelli dell'Art.2 Delib.103 del 29 Settembre 2006 Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore.

## CLASSIFICAZIONE DEL SITO METODO PREVISTO DAL D.M. 14 GENNAIO 2008

Vengono identificate 5 classi, A, B, C, D e E ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ( $N_{spt,30} > 50$ nei terreni a grana grossa o $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi fra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ( $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato di riferimento ( $V_{s30} > 800$ m/s).

Per  $V_{s30}$  s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione. In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E. Alle cinque categorie descritte se ne aggiungono altre due per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare.

## **CARTA D'USO DEL TERRITORIO O DELLE PENALITA' AI FINI EDIFICATORI**

Questa carta rappresenta un documento di sintesi dello studio eseguito; infatti dopo aver analizzato tutte le problematiche che il territorio in esame presenta unitamente alle caratteristiche geotecniche dei terreni è stata redatta una carta che riporta in totale quattro tipi di terreno. Come si può vedere dagli allegati, dai risultati delle indagini in sito e di laboratorio e dagli elaborati cartografici “Carta Geomorfolitologica e Carta Idrogeologica“, il territorio di Petacciato in base alla L.R. n.20 del 06/06/1996, presenta quattro tipologie di terreno che sono:

### **TERRENO BUONO**

Terreno caratterizzato da termini sabbiosi a luoghi con inclusioni ghiaiose da mediamente a ben addensati, a grana media e medio-fine alternati a livelli arenacei. Nella parte basale dello strato presenza di sottili livelli di limi o argille verdastre. Assenza di fenomeni di dissesto antichi e attuali, medio drenaggio con falda profonda, assenza di dissesto geologico-idraulico. Nel complesso buone caratteristiche geomeccaniche di tipo attritivo. Prima della edificazione vanno effettuate indagini geognostiche puntuali, relazione geologica, geotecnica e sismica ai sensi del D.M. 14/01/2008 e della Circolare del C.S.LL.PP. 617/2009 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le Costruzioni”.

### **TERRENO MEDIOCRE- CLASSE M1**

Termini sabbiosi e sabbioso-limosi a marcata eterogeneità latero-verticale e con grado di addensamento e cementazione variabile da molto sciolto a medio. Assenza di fenomeni di dissesto in atto o potenziali, medio-bassa densità di drenaggio con falda superficiale mt. -0.70 -2.00 dal p.c. Nel complesso medie caratteristiche geomeccaniche di tipo attritivo. Prima della edificazione vanno effettuate indagini geognostiche puntuali, relazione geologica, geotecnica e sismica ai sensi del D.M. 14/01/2008 e della Circolare del C.S.LL.PP. 617/2009 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le Costruzioni”.

## TERRENO MEDIOCRE- CLASSE M2

Termini limosi-argillosi con grado di consistenza da media a localmente elevata. Termini sabbiosi con grado di addensamento e cementazione medio-buono. Si richiede per le aree in pendio verifiche di stabilità ed eventuali interventi di stabilizzazione preventivi. Assenza di frane sovraincombenti, presenza di fenomeni di creep in stato attivo. Localmente drenaggio difficoltoso, caratteristiche geomeccaniche medio-buone e localmente anche variabili. Remote possibilità di esondazioni, dissesto geologico-idraulico limitato. Prima della edificazione vanno effettuate indagini geognostiche puntuali, relazione geologica, geotecnica e sismica ai sensi del D.M. 14/01/2008 e della Circolare del C.S.LL.PP. 617/2009 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le Costruzioni".

## TERRENO SCADENTE

L'edificabilità è sconsigliata: (possibilità remota di frane sovraincombenti: drenaggio impedito e frequenti condizioni di saturazione del terreno; caratteristiche geomeccaniche scadenti; possibilità di esondazioni; dissesto geologico-idraulico limitato). Prima della edificazione vanno effettuate indagini geognostiche puntuali, relazione geologica, geotecnica e sismica ai sensi del D.M. 14/01/2008 e della Circolare del C.S.LL.PP. 617/2009 Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le Costruzioni".

## TERRENO PESSIMO

L'edificabilità è preclusa per l'elevatissima penalizzazione: pendio acclive; reale possibilità di frane. Aree con presenza di fenomeni di dissesto, diffuso dissesto geologico idraulico, drenaggio impedito e frequenti condizioni di saturazione del terreno interventi previsti ai sensi dell'Art.2 Delib.103 del 29 Settembre 2006 Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e minori, Saccione e Fortore.

IL GEOLOGO

Dott. Vito. F. PLESCIA

## **Bibliografia**

PRESIDENTE GIUNTA REGIONALE COMMISSARIO DELEGATO ATTIVITA' POST-SISMA (L.27/12/2002 n. 286) Attività di microzonazione sismica nei comuni della Provincia di Campobasso (Comune di Petacciato).

Regione Abruzzo dipartimento della protezione civile, Linee guida per la microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana.

Carta Tecnica Regionale 1:5000 elementi 372141, 372154, 372151, 372142, 372153, 372152, 381021, 381034, 381031.

Servizio Geologico Regionale

Autorità di Bacino dei Fiumi Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore, 2007  
*Progetto di Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) dei Bacini di competenza.*

Cotecchia V., Melidoro G. *et Al.*, 2002 - *Movimenti franosi nel comune di Petacciato (CB)– Studi, rilevamenti dell'area in frana, indagini e orientamenti progettuali.*  
Incarico Presidenza Consiglio dei Ministri – Dipartimento Protezione Civile – Presidenza Regione Molise

Il Dipartimento Difesa del Suolo - *Servizio Geologico d'Italia* dell'APAT (ora in ISPRA).  
Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia).

Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato Direzione Generale delle Miniere, Servizio Geologico d'Italia - Note illustrative della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA Foglio 148 VASTO, 154 LARINO.

ENI Acque dolci sotterranee “ Inventario dei dati raccolti dall'Agip durante la ricerca di idrocarburi in Italia”.

D.M. 14 gennaio 2008 integrato con la Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP.

C.Cestelli Guidi Geotecnica e tecnica delle fondazioni Vol.I°-II°  
Arai H. e Tokimatsu K., 2004. *S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum*, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **94**, p. 53-63.

Delgado J., Lopez Casado C., Giner J., Estevez A., Cuenca A. e Molina, S., 2000.  
Microtremors as a geophysical exploration tool: applications and limitations,  
*Pure Appl. Geophys.*, **157**, 1445–1462.

Nakamura Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTRI*, **30**, 25-33.

Bard P.-Y., 1998. Microtremor measurements: a tool for site effect estimation? Second International Symposium on the Effects of the Surface Geology on Seismic Motion-ESG98, Japan.

Borcherdt R. D., 1992. Simplified site classes and empirical amplification factors for site-dependent code provisions, in *Proc. NCEER, SEAOC, BSSC Workshop on Site Response during Earthquakes and Seismic Code Provisions*, November 18-20, University of Southern California, Los Angeles, California.

Borcherdt R. D., 1994. Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification), *Earthq. Spectra*, **4**, 617-653.

Budny M, 1984. *Seismische Bestimmung der bodendynamischen Kennwerte von oberflächennahen Schichten in Erdbebengebieten der Niederrheinischen Bucht und ihre ingenieur seismologische Anwendung*, Ph.D. Thesis, Special publications No. 57, Geologisches Institut der Universität zu Köln, 209 pp. (in German).

Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica e Ambientale*, vol. 3.

Mulargia F. e Castellaro S.; 2007b: Single station passive seismic stratigraphy to almost 2 km depth, Roma, GNGTS.

Ben-Menahem A. e Singh S.J.; 1981: *Seismic waves and sources*, Springer-Verlag, New York, 1108 pp.

Mucciarelli M. e Gallipoli M.R.; 2006: Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy, *Conf. Earthq. Eng. and Seismol.*, Geneva, 3-8 Sept., no. 270.