

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/234055663>

Amplificazione di sito in argille e contenuto in CaCO_3 .

Conference Paper · January 2001

CITATIONS

0

READS

312

4 authors:



Giancanio Sileo

ENI Rewind

39 PUBLICATIONS 590 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Marco Mucciarelli

National Institute of Oceanography and Applied Geophysics - OGS

276 PUBLICATIONS 5,529 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Vincenzo Lapenna

Italian National Research Council

300 PUBLICATIONS 5,746 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Tramutoli Valerio

Università degli Studi della Basilicata

336 PUBLICATIONS 5,485 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

G. Sileo⁽¹⁾, M. Mucciarelli⁽¹⁾, V. Lapenna⁽²⁾, V. Tramutoli⁽²⁾

⁽¹⁾ Università degli studi di Basilicata – Potenza

⁽²⁾ IMAAA – CNR - Tito Scalo, Potenza

AMPLIFICAZIONE DI SITO IN ARGILLE, CONTENUTO IN CaCO_3 E LORO RICONOSCIMENTO DA PIATTAFORMA AEREA

Riassunto. Nella comunità geotecnica è noto che un maggiore contenuto in carbonato di calcio, aumenta la rigidità delle argille. Questo lavoro intende presentare un contributo preliminare circa lo studio della possibilità di correlare il livello di amplificazione sismica di sito con il contenuto in carbonato di calcio senza ricorrere a sondaggi diretti in foro. Nel bacino di Sant'Arcangelo sono state effettuate misure di amplificazione di sito mediante la tecnica HVSR, sia in condizioni asciutte che umide, per separare una prima possibile causa di variazione dei valori osservati. Nelle stesse posizioni sono state svolte analisi granulometriche, allo scopo di accertare l'omogeneità dei campioni da questo punto di vista; analisi mineralogiche, per stabilire il contenuto di carbonato di calcio percentuale; analisi spettrofotoradiometriche (SFR), per identificare l'intensità della firma spettrale del carbonato di calcio. I risultati sembrano indicare che è possibile riconoscere il contenuto relativo di carbonato di calcio dalle analisi SFR, quindi teoricamente senza ricorrere a prelievo di campioni in foro e che esiste una correlazione inversa tra amplificazione di sito e contenuto di carbonato di calcio, come ci si attendeva dai modelli teorici. Si è proceduto, quindi, al riconoscimento del CaCO_3 da un'immagine acquisita da piattaforma aerea con sensore multispettrale.

SITE AMPLIFICATIONS, SPECTRAL SIGNATURES AND CaCO_3 CONTENTS OF THE PLIO - PLEISTOCENE SANT'ARCANGELO BASIN'S CLAYS AND THEIR IDENTIFICATION FROM AERIAL PLATFORM WITH MULTISPECTRAL SENSOR

Abstract. In the geotechnical community it is known that a greater content of calcium carbonate increases the stiffness of the clays. This paper intends to present the first notes about the studies on the possibility to correlate the level of the seismic site amplification and the content of calcium carbonate, without direct drilling in the holes. In the Sant'Arcangelo basin, measurements of the site amplification have been taken through the HVSR techniques, both in dry or in damp conditions, to keep separate a possible cause of variation of the observed values. In the same conditions have been made:

- particle size analysis to check the homogeneity of the samples;
- mineralogical analysis to establish the content of calcium carbonate percentage;
- spectrophotometric analysis (SFR) to identify the intensity of the spectral signature of calcium carbonate.

The results demonstrate:

- that it is possible to recognise the relative calcium carbonate contents by the mean of the SFR analysis, in theory without drilling in the holes;
- and that it exists an inverse correlation between the site amplification and calcium carbonate contents, as it was expected by theoretical models.

Then the research has gone on through the identification of the CaCO_3 by an image made from an aerial platform with multispectral sensor .

INTRODUZIONE

L'area scelta per lo studio è sita nel bacino di Sant'Arcangelo, un bacino di origine tettonica (Hyppolite et al., 1994) situato in Appennino lucano a sud della valle dell'Agri (Fig. 1), caratterizzato da potenti depositi quaternari (fino a molte centinaia di metri)

Le litologie su cui sono state concentrate le ricerche sono le marne argillose Plio – Pleistoceniche affioranti estesamente all'interno del bacino (Fig. 2). Sono stati campionati cinque siti nei dintorni dell'abitato di Sant'Arcangelo.

Il lavoro svolto è consistito nell'effettuare, per ogni sito, misure di amplificazione sismica con la tecnica dei microtremori, nella raccolta di campioni, nella loro identificazione dal punto di vista geotecnico e nell'analisi mineralogica per stimarne il contenuto in carbonato di calcio.

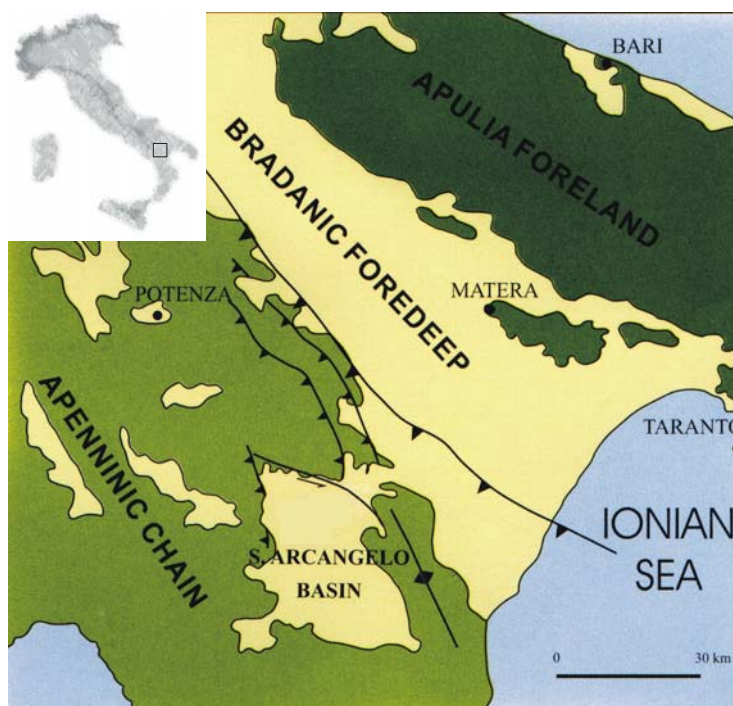


Fig. 1 - Inquadramento geografico e tettonico dell'area oggetto di studio (Pieri et. al., 1994).

Per ogni campione è stato poi messo in relazione il picco dello spettro di amplificazione con il contenuto in CaCO_3 . Quest'analisi ha dimostrato come il comportamento meccanico delle argille vari in funzione del contenuto in carbonato di calcio. Successivamente sono state analizzate le curve di risposta spettrale dei campioni prelevati con uno spettrofotoradiometro in luce artificiale. Le curve di risposta spettrale acquisite sono state riportate su di un grafico e ne sono state analizzate le caratteristiche, per individuare la firma spettrale del CaCO_3 e per valutare l'effetto della sua variazione su di esse. Si è cercato quindi di capire se, sulla base del contenuto di carbonato di calcio delle argille, ci possa essere un collegamento fra le firme spettrali e lo spettro dell'amplificazione di sito.

IDENTIFICAZIONE DEI TERRENI

Al fine di correlare l'amplificazione di sito con il contenuto del CaCO_3 e di analizzarne il comportamento sulla firma spettrale delle argille, è stato necessario caratterizzare i terreni sia dal punto di vista mineralogico allo scopo di ricavare informazioni sul contenuto percentuale di CaCO_3 , che da quello granulometrico per essere sicuri di indagare terreni con le stesse caratteristiche.

Per raggiungere tale scopo, sono stati prelevati cinque campioni superficiali (50 cm di profondità) con un carotiere manuale. Questo ovviamente conduce all'ipotesi di una sostanziale omogeneità con la profondità, e impedisce di effettuare prove geotecniche che richiedano condizioni indisturbate.

I siti dove sono stati prelevati i campioni sono indicati in Fig. 3.

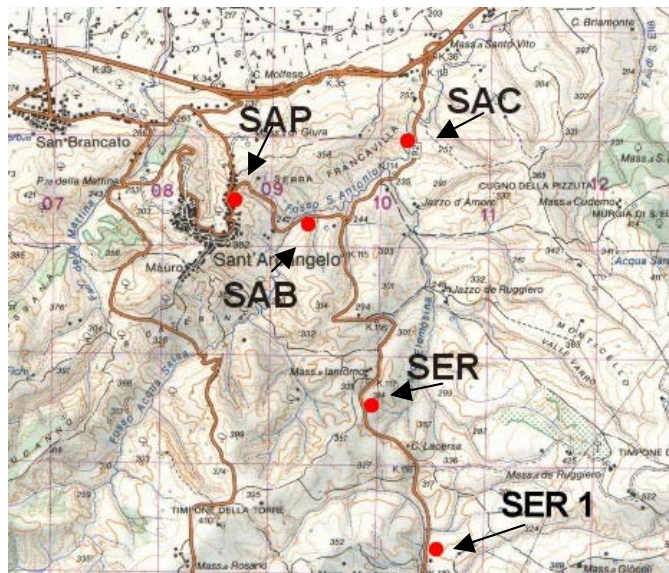


Fig. 2 - Siti d'indagine.

Classificazione granulometrica

Le analisi granulometriche sono state effettuate mediante setacci, limitatamente alla frazione grossolana dei terreni (dimensione delle particelle $> 0,075$ mm). Sono stati usati setacci con diametro variabile tra 8 mm e 0.075 mm.

Per il passante al setaccio 200 (dimensione delle particelle $< 0,075$ mm) si è utilizzata la tecnica della sedimentazione (aerometria).

È stato possibile classificare solamente i campioni SAB, SAP, SER, poiché nei restanti due (SAC e SER1) è presente un contenuto di materia organica (dovuto anche alla superficialità dei campioni) troppo elevato affinché l'analisi risultasse significativa.

In Fig. 3 è pubblicata la curva granulometrica del sito SAB. Le altre due curve granulometriche sono analoghe e non vengono presentate per motivi di spazio.

Dall'analisi granulometrica è possibile classificare questi terreni come *limo con argilla*, dall'alto contenuto in materia organica.

Analisi mineralogiche

Le analisi mineralogiche "su campione totale", sono state effettuate su tutti e cinque i campioni prelevati.

Ogni campione è stato essiccato in forno a 36° C per 24 ore e successivamente polverizzato in un mortaio d'agata, fino a produrre una granulometria ottimale per le riprese diffrattometriche (consistenza talcosa), necessaria per evitare possibili

fenomeni di isorientazione dei minerali (Moore e Reynolds, 1997). La misura è stata effettuata in un intervallo compreso fra 2° e 63°.

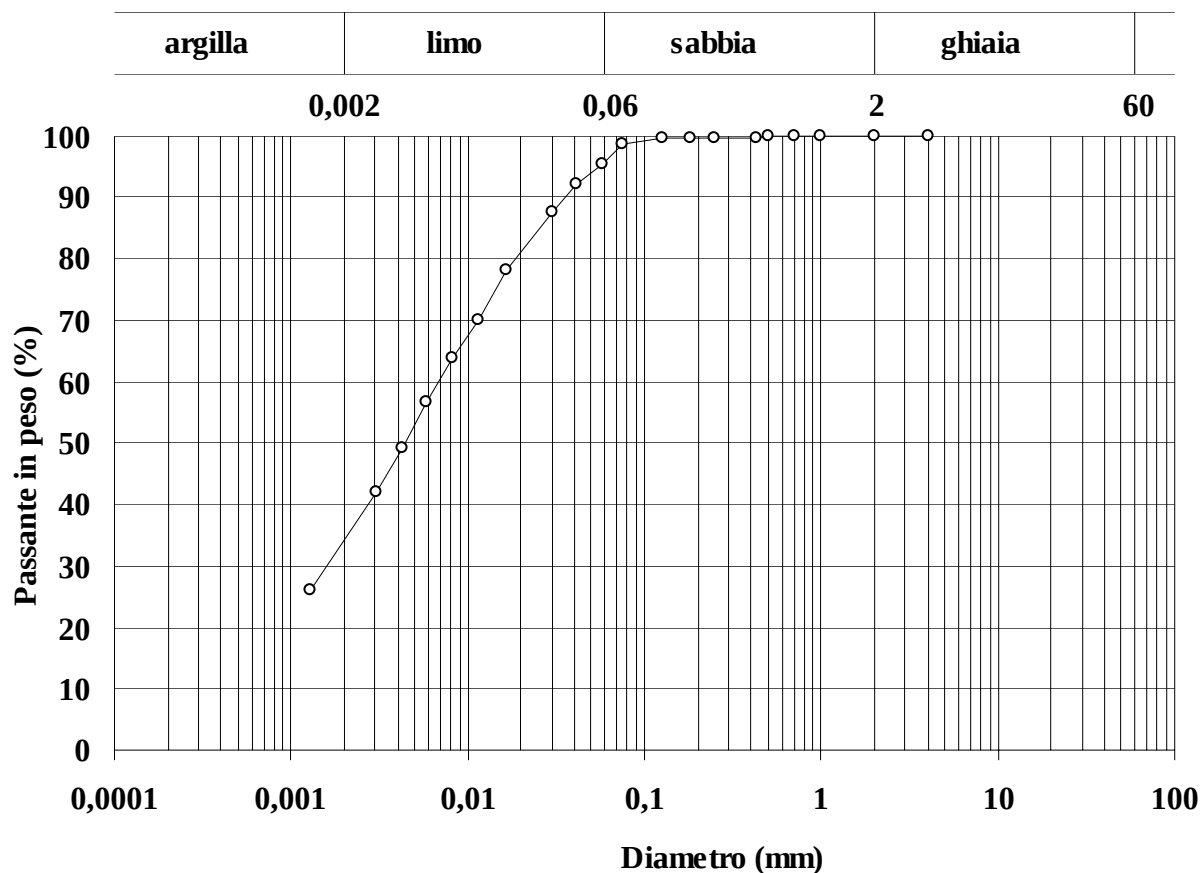


Fig. 3 - Curva granulometrica del sito SAB.

Le polveri così ottenute sono state inserite in provini caricati lateralmente, al fine di avere un'orientazione il più possibile casuale dei reticoli cristallografici e sono state effettuate le analisi diffrattometriche utilizzando un diffrattometro per polveri *Siemens D 5000*, equipaggiato con radiazione Cu - K α , monocromatore e porta campione dotato di *spinner*. Le fenditure utilizzate per l'acquisizione dei diffrattogrammi sono state 1 mm/1 mm/0,2 mm/0,6 mm.

La stima delle percentuali è stata eseguita misurando l'area dei riflessi, attraverso il software *Diffract 3.03* fornito con il diffrattometro, previa sottrazione del fondo (*background*).

Le intensità ottenute sono state moltiplicate per i relativi fattori di correzione (f.c.) quindi riferite a quelle del quarzo (considerato come standard interno).

La percentuale di tutti i minerali si ottiene sommando i pesi di tutte le fasi presenti e riportando tutto a 100:

È stata determinata anche la percentuale di clorite, utilizzando come parametro di riferimento l'intensità del riflesso a 4,26 Å del quarzo.

I risultati sono riportati in Tab. 1.

Tab. 1 - Analisi mineralogica su campione totale (Aa = Aggregati argillosi; Ch = Clorite; Qtz = Quarzo; Cc = Calcite; Kfs = K - feldspati; Pl = Plagioclasio; Do = Dolomite; An = Anatasio).

Campione	A.a	Ch	Qtz	Cc	Kfs	Pl	Do	An	Somma
SAP	57	16	1	23	0	2	0	0	100
SER	49	14	2	32	0	2	1	0	100
SER1	38	14	3	39	0	4	2	0	100
SAB	47	16	2	29	0	2	2	2	100
SAC	30	12	3	42	1	7	5	0	100

Amplificazione sismica al sito

La valutazione dell'amplificazione di sito del presente lavoro è stata effettuata con la tecnica HVSR, (o dei microtremiti) la cui prima formalizzazione è stata presentata da Nakamura (1989). Diversi aspetti di questa tecnica sono tuttora molto discussi (per un review, si veda Mucciarelli e Gallipoli, 2001). L'aspetto più discusso nella recente letteratura è la reale affidabilità del rapporto spettrale H/V nell'essere rappresentativo dell'amplificazione sismica del sito durante i terremoti. L'ipotesi che viene fatta in questa fase preliminare della nostra ricerca è che questa coincidenza sussista. Abbiamo pertanto stimato le funzioni di trasferimento dei siti mediante la metodologia descritta da Mucciarelli (1998). Le misure sono state effettuate nei dintorni dell'abitato di Sant'Arcangelo nei siti dove sono stati raccolti i campioni per le analisi mineralogiche e granulometriche.

Si è scelto di energizzare il terreno ad intervalli costanti (circa ogni 10 secondi) con una massa di 5 kg, da un'altezza di 100 cm poiché nei siti di misura il livello di rumore era molto basso, tranne che per il sito SAP, situato dentro l'abitato di Sant'Arcangelo dove il livello di rumore era sufficiente per le misure.

Durante tutta la campagna di acquisizione dei dati, la strumentazione è stata protetta mediante una cassa di plastica completamente chiusa alla base e sui quattro lati, al fine di evitare l'acquisizione di picchi spuri dovuti al vento (Mucciarelli, 1998).

Le misure sono state condotte in condizioni "secche", quando le argille si presentavano molto disidratate ed in condizioni "umide", quando invece, le argille erano sature di acqua. Le prime sono state effettuate nel mese di Agosto 2000 mentre le altre nel mese di Novembre dello stesso anno, dopo intense piogge. Ambedue le serie di misure sono state successivamente comparate, per valutare la stabilità della tecnica nelle diverse condizioni di umidità dei terreni (non sono stati effettuati due carotaggi, e quindi manca una quantificazione della umidità nelle due condizioni).

Misure in condizioni "secche"

Prima di passare ad analizzare gli spettri di amplificazione acquisiti è utile fare alcune considerazioni generali. Il fattore di amplificazione 2 è considerato il limite inferiore oltre il quale l'amplificazione non è considerata significativa, e in ogni caso essendo ottenuto da HVSR non è da considerarsi in termini assoluti ma relativi.

Gli intervalli di frequenze che vengono utilizzati per valutare l'amplificazione di sito sono tre: il primo (0.1, 1 Hz), sulle basse frequenze, tiene conto di profondità molto elevate, che non sono d'interesse per lo studio dell'amplificazione di sito. Il secondo (1 Hz, 10 Hz), ci dà conto di profondità interessanti per lo studio dell'amplificazione sismica di sito. È l'intervallo di frequenze preso in considerazione

in questo lavoro, per correlare il contenuto di CaCO_3 con i picchi dello spettro di amplificazione. In questo intervallo, inoltre, ricadono le frequenze di amplificazione proprie della maggior parte degli edifici costruiti sul territorio Italiano.

Il terzo intervallo infine è quello delle alte frequenze (10 Hz, 100 Hz) ed è sensibile a spessori sub-metrici e non è significativo per studi di microzonazione poichè in area urbana i terreni possono essere interessati da importanti disturbi di tipo antropico (es. scavi superficiali, condutture interrato, coltivazioni, etc.).

A questo punto, passiamo ad analizzare con più dettaglio le misure di amplificazione effettuate sulle argille del Bacino di Sant'Arcangelo.

Come si evince dai grafici in Fig. 5, nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 Hz e 1 Hz, gli spettri di amplificazione dei siti SAC e SAB sono ambedue sotto il fattore di amplificazione 2.

Gli spettri di amplificazione di SAP e SER, invece, in questo intervallo, presentano dei picchi di amplificazione superiori a 2.

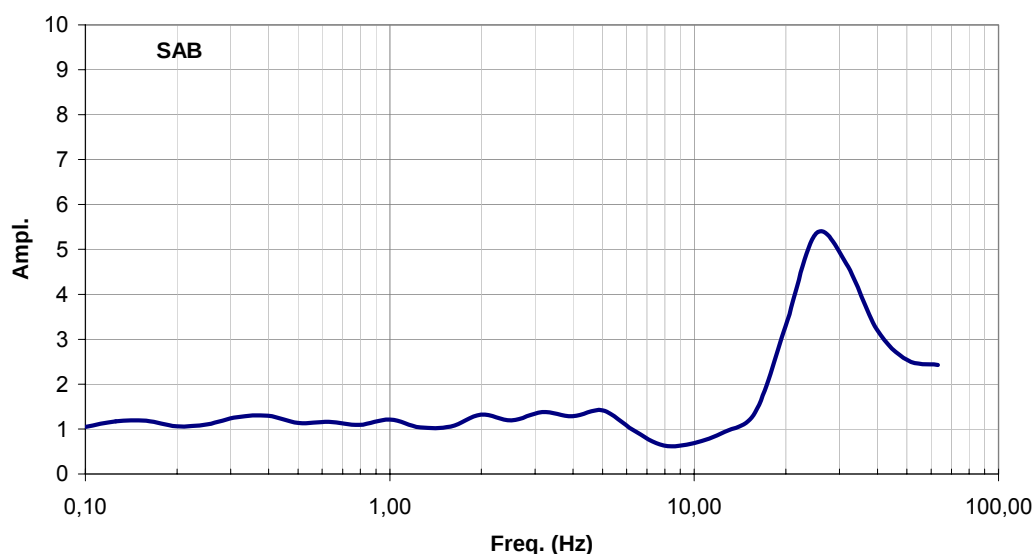


Fig. 4a - Spettro di amplificazione in condizioni "secche" del sito SAB.

Nel range di frequenze tra 1 Hz e 10 Hz gli spettri presentano picchi sopra il fattore 2 a varie frequenze, dato che ciò è funzione della diversa potenza dello strato.

Nel range tra 10 e 100 Hz, l'amplificazione di sito aumenta in maniera importante per tutti gli spettri, a conferma del grande disturbo antropico esistente nell'area.

Confronto tra le misure in condizioni "secche" e le misure in condizioni "umide"

La comparazione delle misure, mette in risalto il differente comportamento meccanico in condizioni diverse di umidità dei terreni. I siti SAP e SER risentono di questo fenomeno su tutto lo spettro di frequenza, dove è ben visibile che il fattore di amplificazione in condizioni "umide" è nettamente inferiore rispetto a quello in condizioni "secche".

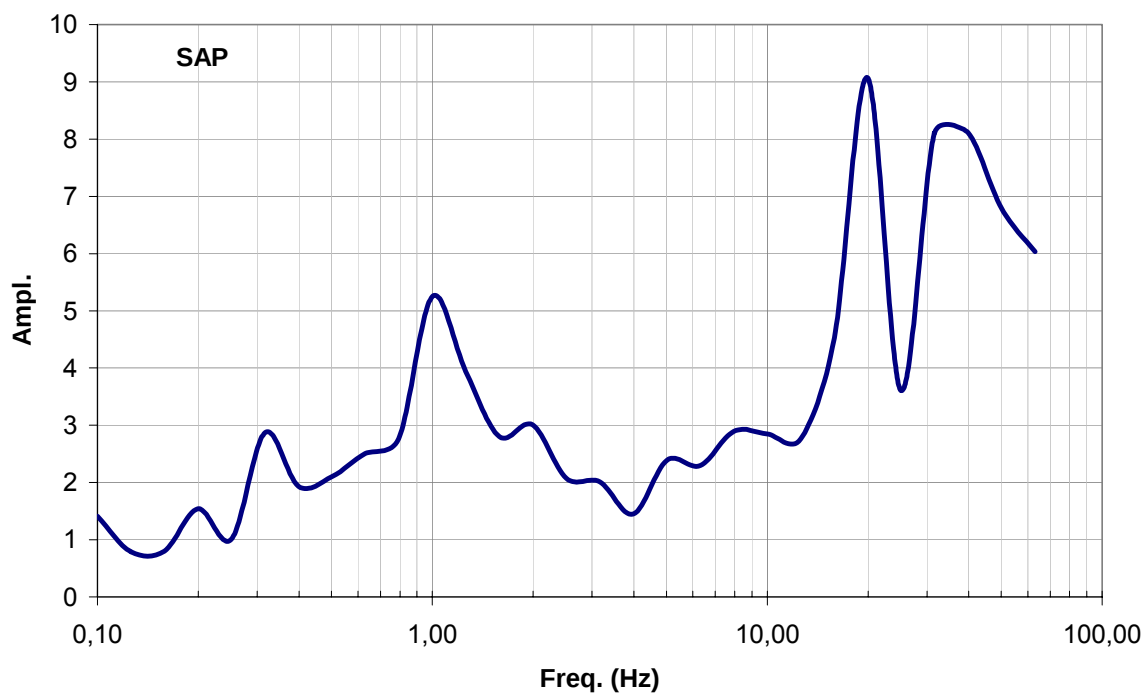


Fig. 4b - Spettro di amplificazione din condizioni “secche” del sito SAP.

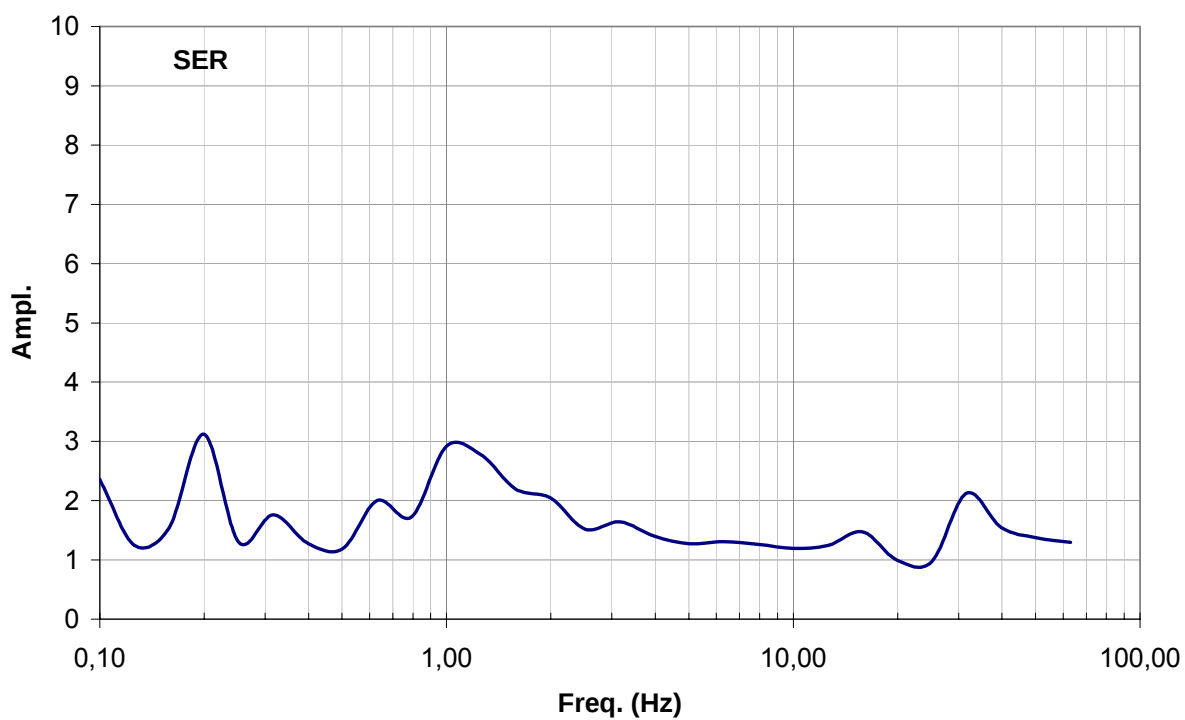


Fig. 4c - Spettro di amplificazione in condizioni “secche” del sito SER.

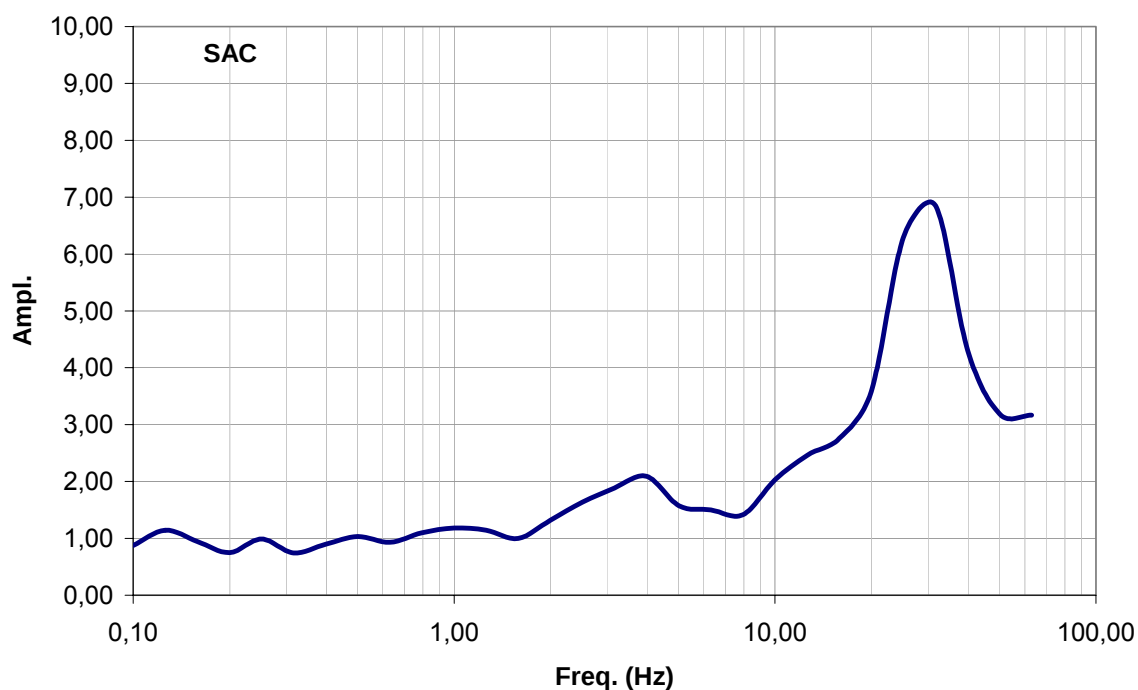


Fig. 4d - Spettro di amplificazione in condizioni "secche" del sito SAC.

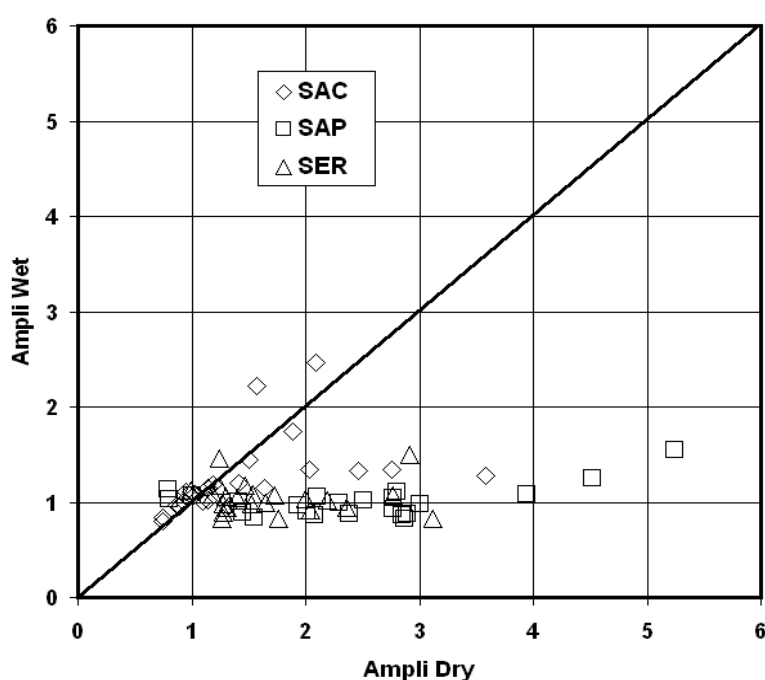


Fig. 5 - Confronto fra misure di amplificazione in condizioni umide e secche.

Nel sito SAC invece, nel range tra 0.1 Hz e 10 Hz, sostanzialmente il comportamento è lo stesso. Cambia di molto sulle alte frequenze (oltre 10 Hz). Per quantificare meglio queste differenze, le misure di amplificazione sono state correlate l'una in funzione dell'altra e dal grafico in Fig. 5 si nota chiaramente come le argille in condizioni secche sono più amplificanti che in condizioni umide. Ciò ci fa dedurre che le condizioni umide rispetto alle condizioni secche peggiorano le caratteristiche di

amplificazione dei terreni provocando una deamplificazione diffusa su tutto lo spettro di frequenze (per la variazione della amplificazione verticale come dovuta al contenuto d'acqua si veda Yang e Sato, 2000). Questo fenomeno è da attribuirsi al fatto che la presenza di liquidi modifica il rapporto V_p/V_s , ed esso non è da confondersi con un miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni, poiché è noto dalla letteratura che all'aumentare del contenuto d'acqua la resistenza al taglio delle argille non drenate diminuisce sensibilmente.

SPETTROFOTOMETRIA DI MINERALI E ROCCE

Sui campioni raccolti sul campo, sono state effettuate delle analisi spettrofotoradiometriche di laboratorio al fine di ricavare le firme spettrali delle argille Plio – Pleistoceniche del bacino di Sant'Arcangelo e verificare se da esse fosse possibile ricavare indicazioni sul contenuto in CaCO_3 .

Per acquisire le firme spettrali è stato utilizzato uno spettrofotoradiometro portatile in condizioni di illuminazione artificiale e sono state impiegate le stesse polveri dei campioni che sono state usate per le analisi mineralogiche.

La firma spettrale del CaCO_3

In Fig. 7 è riportata la firma spettrale della calcite pura ricavata in laboratorio con illuminazione artificiale del campione.

Quando il minerale è completamente privo d'impurità si presenta incolore su campioni a mano e completamente bianco se polverizzato; le uniche bande in cui è meglio riconoscibile sono quelle dell'infrarosso, dove la firma spettrale del Calcio si sovrappone con quella del gruppo CO_3 che, a causa di processi vibrazionali, produce una serie di bande con intensità crescente con la lunghezza d'onda.

A volte alcuni ioni bivalenti, quali Fe^{+2} , Mg^{+2} , Mn^{+2} , Sr^{+2} , Ba^{+2} , Co^{+2} , Zn^{+2} prendono il posto del Calcio. La maggior parte della calcite, comunque, è formata essenzialmente da CaCO_3 senza altri elementi vicarianti e la presenza di questi ultimi è tradita dalla colorazione del minerale (Hunt et al., 1971).

Come si può osservare dalla figura, la firma spettrale della calcite, essenzialmente, è concentrata, nel range 1800-2500 nm, dove sono ben riconoscibili 3 piccoli picchi di assorbimento a 1872 nm e 1990 nm, 2152 nm ed un grande picco di assorbimento a 2335 nm.

Dalla Fig. 7, dove sono rappresentate le firme spettrali delle argille, è possibile tracciare alcune interessanti considerazioni circa le caratteristiche spettrali di queste argille.

Innanzitutto, il picco del CaCO_3 a 2335 nm, indicato dalla freccia, non è molto pronunciato ed è circa uguale, in profondità relativa, per tutti e 5 i campioni. Anche la forma della firme spettrali è la stessa come è da aspettarsi per campioni che si riferiscono allo stesso materiale.

Si può notare come nei campioni SAC e SER1, che dalle analisi mineralogiche risultano avere il maggior contenuto di carbonato di Calcio, (con differenze dell'ordine del 3%) hanno una riflettanza spettrale sistematicamente più alta. Ciò è in accordo con ciò che abbiamo detto poc'anzi circa il colore bianco della calcite polverizzata, che, quanto più grande è la sua concentrazione nelle argille tanto più ne aumenta la riflettanza integrale. Nel visibile le curve si intersecano a vicenda, confermando

l'ipotesi che in questa regione dello spettro EM i singoli minerali si sommano in maniera non lineare (Gupta, 1991) al contrario di quanto accade nell'infrarosso.

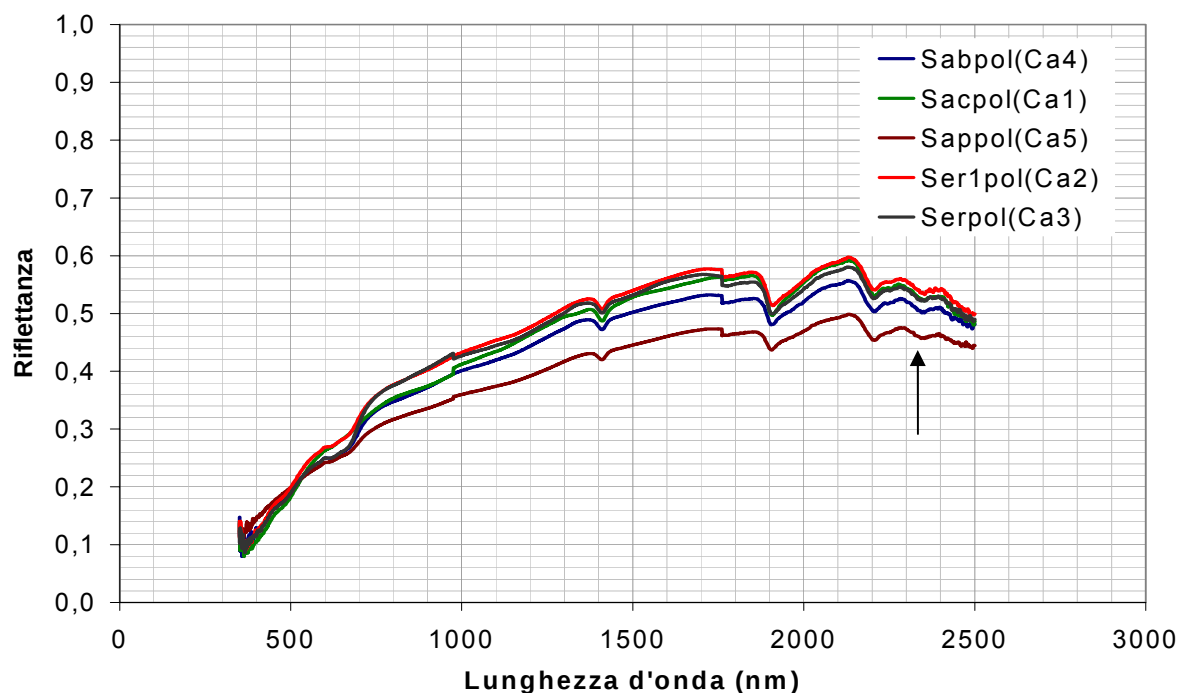


Fig. 6 - Curva di risposta spettrale della calcite pura.

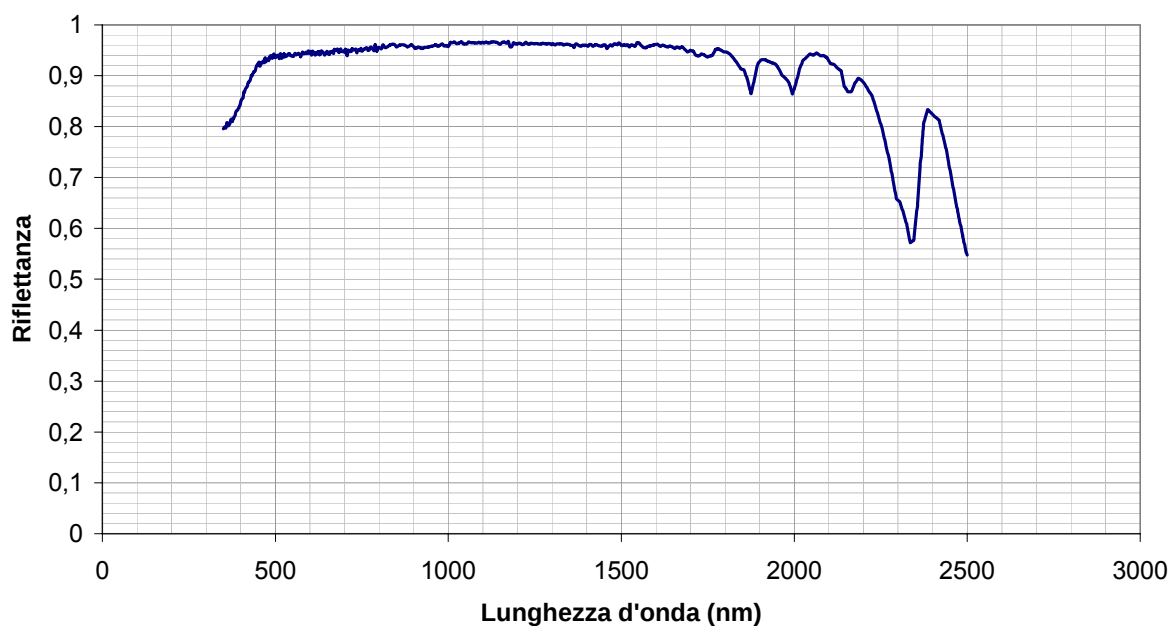


Fig. 7 - Curve di risposta spettrale delle argille oggetto di studio.

I picchi a 1400 nm a 1900 nm e 2200 nm, circa, rappresentano le firme spettrali comuni alla maggior parte dei principali minerali argillosi.

La banda di assorbimento intorno a 712 nm, comune a tutte le curve, rappresenta, invece, il picco della clorite. I picchi a 1400 nm e 1900 nm sono in parte dovuti all'acqua presente nel materiale e nelle firme spettrali delle argille di

Sant’Arcangelo esso è molto piccolo per tutti i campioni, poiché sono state utilizzate polveri essiccate. Tale picco rappresenta, quindi, l’acqua residua nel reticolo cristallino.

RISULTATI

Come anticipato nell’introduzione, lo scopo di questo lavoro è stato quello di correlare il contenuto di carbonato di calcio alle firme spettrali e all’amplificazione sismica di sito delle argille affioranti estesamente nella zona di Sant’Arcangelo.

Per valutare la significatività delle correlazioni ottenute, è stata usata sia la statistica non – parametrica che quella parametrica.

Il coefficiente di correlazione non parametrico è stato ottenuto con il metodo di *Spearman*, mentre il coefficiente di correlazione parametrico è stato calcolato con la formula di Pearson. Sono stati quindi eseguiti test di significatività sia parametrici (*Fisher test*) che non parametrici (*Mann-Whitney test*) per valutare la significatività del coefficiente di correlazione ottenuto.

Relazione firma spettrale contenuto di CaCO_3

I dati spettrofotoradiometrici acquisiti, sono stati trattati per via numerica allo scopo di quantificare il grado di correlazione esistente tra il contenuto di CaCO_3 e la firma spettrale.

Come si è potuto notare nel capitolo precedente, la profondità della firma spettrale della calcite rispetto alla firma spettrale integrale è molto piccola comparandola al picco di assorbimento della calcite pura. Per correlare la quantità di carbonato di calcio con la firma spettrale si è ritenuto necessario rivolgere l’attenzione alla “forma” delle firme spettrali, e alla loro riflettanza integrale relativa.

L’ipotesi è che il carbonato di calcio si somma alla firma spettrale sull’intero intervallo di lunghezze d’onda, aumentandone la riflettanza a seconda della percentuale presente nel campione esaminato.

Per verificare quest’ipotesi, per ogni lunghezza d’onda è stata calcolata la differenza fra i valori di riflettanza di SAC ed i valori di riflettanza delle altre firme spettrali, normalizzandola per il valore di riflettanza di SAC secondo la seguente relazione:

$$R'_{\lambda} = \frac{R_{\lambda \text{rif.}} - R_{\lambda}}{R_{\lambda \text{rif.}}}$$

dove R_{rif} è il valore di riflettanza della firma spettrale di SAC su di una lunghezza d’onda e R è il valore di riflettanza della firma spettrale da normalizzare.

In seguito è stata calcolata la media dei valori ottenuti e la si è correlata alla differenza di carbonato di calcio che tale campione ha rispetto agli altri. È stata effettuata una prima correlazione nell’intervallo di lunghezze d’onda 2000-2500 nm, dove, cioè, la firma spettrale della calcite è più rappresentativa.

I punti si correlano con un fattore di correlazione non parametrico (*Spearman's rank correlation*) di 1.00 mentre il coefficiente parametrico è di 0.92 con una probabilità del 90% che la relazione sia lineare.

È stata quindi effettuata una seconda correlazione sull'intero intervallo di lunghezze d'onda (350 – 2500 nm). Anche in questo caso il coefficiente di correlazione parametrico è 0.93, con la probabilità del 91% che la relazione intercorrente fra i due parametri sia lineare.

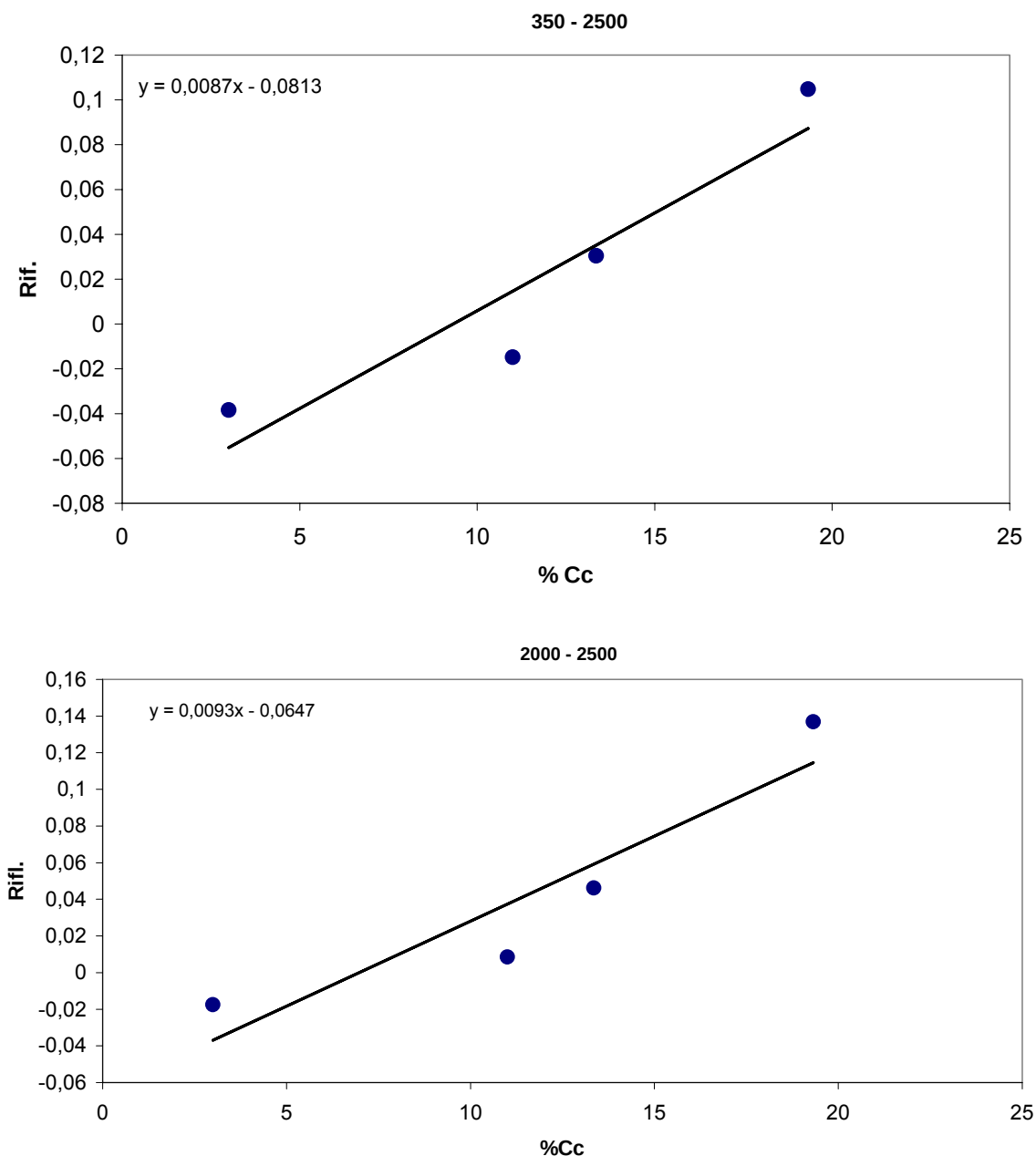


Fig. 8 - Correlazione riflettanza - % CaCO_3 (Cc) nell'intervallo 350 nm – 2500 nm (sopra) e nel range 2000 – 2500 (sotto).

Correlazione CaCO_3 – amplificazione

La relazione fra il contenuto di carbonato di calcio e le caratteristiche meccaniche dei depositi argillosi è molto importante dal punto di vista geotecnico poiché i processi di dissoluzione pedogenica oppure i fenomeni di precipitazione,

inducono dei cambiamenti nel comportamento meccanico dei terreni argillosi (El Amrani Paaza et al., 1998).

Del Olmo et al., 1996, hanno mostrato che la deformazione delle argille sature, rispetto alla percentuale iniziale dei vuoti presenti nella struttura, diminuisce all'aumentare del contenuto di CaCO_3 ed il modulo elastico K diminuisce al diminuire del CaCO_3 .

Bozzano et al. (1999) hanno dimostrato che lo sforzo di rottura aumenta all'aumentare del grado di cementazione, che è quantificato come contenuto di carbonato di CaCO_3 delle argille. Inoltre, la presenza di CaCO_3 come agente cementificante sulla struttura del materiale, fa crescere di un fattore 4.5 il modulo di confinamento rispetto ad un materiale non cementificato.

El Amrani Paaza et al. (1998), hanno dimostrato, sulle marne del bacino di Granada - Spagna - che esiste una correlazione diretta tra il contenuto in carbonato di calcio e gli sforzi di taglio.

La necessità di dimostrare l'esistenza di una correlazione lineare, fra i picchi dell'amplificazione di sito ottenuti con il metodo HVSR ed il contenuto in CaCO_3 , è motivata dagli esiti che le indagini finora svolte hanno prodotto, nel tentativo di spiegare questa relazione.

La diminuzione delle capacità meccaniche al calare del CaCO_3 dovrebbe tradursi in una minore velocità delle onde S e quindi in una maggiore amplificazione. Ciò perché

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

e l'amplificazione di uno strato soffice è direttamente proporzionale alla differenza di impedenza con il "*bedrock*".

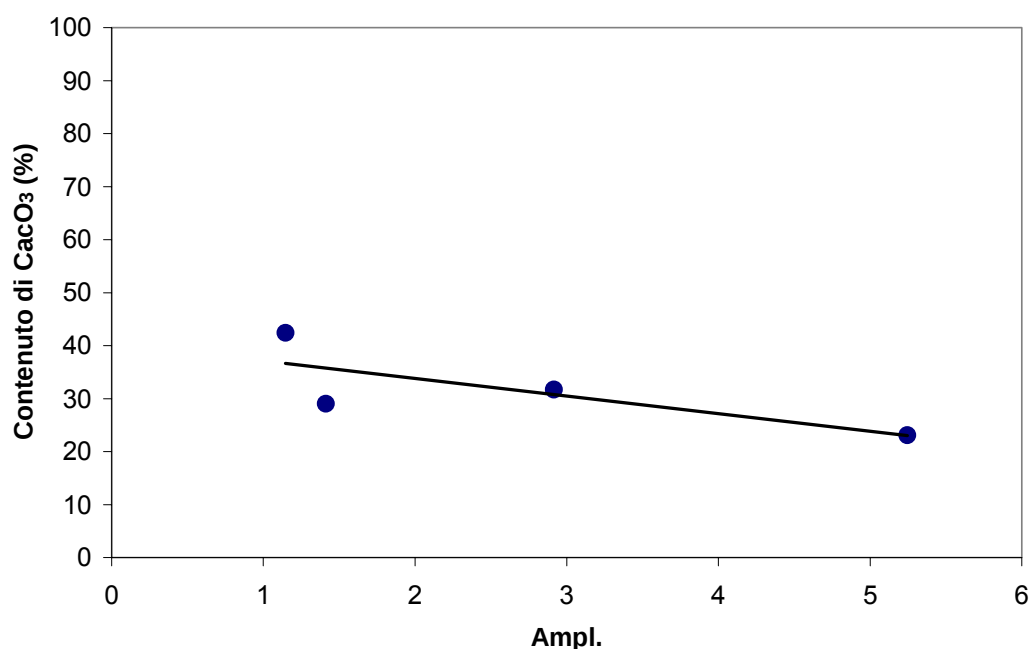


Fig. 9 - Correlazione contenuto di CaCO_3 – amplificazione.

A questo punto del lavoro si è quindi deciso di accertare se il diverso contenuto in CaCO_3 comporta effettivamente una variazione sistematica nelle amplificazioni misurate.

La correlazione è stata effettuata riportando sul grafico in Fig. 9, sull'asse delle ordinate i picchi di amplificazione delle misure effettuate, nell'intervallo di frequenze compreso fra 1 Hz e 10 Hz, mentre sull'asse delle ascisse è stato riportato il contenuto percentuale del carbonato di calcio. Il coefficiente di correlazione non parametrico risulta essere -0.80 , con una significatività del 90%.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I risultati preliminari del presente lavoro, nei limiti dei pochi campioni prelevati, possono essere riassunti in due principali analisi di correlazione:

- Correlazione amplificazione – contenuto in CaCO_3
- Correlazione contenuto di CaCO_3 – firma spettrale.

La prima correlazione mostra una proporzionalità inversa fra amplificazione e contenuto in carbonato di calcio. Ciò è indicativo del fatto che il carbonato di calcio, agendo da cemento sulle particelle di argilla, creando una struttura rigida, permette alle onde di taglio di viaggiare più velocemente, riducendo il fenomeno di amplificazione. Questo fenomeno di irrigidimento della struttura dei terreni argillosi ad opera del carbonato di calcio è conosciuto, nell'ambito della letteratura geotecnica, come “*coesione vera*” delle argille. Il carbonato di calcio, è originato da microfossili che si depositano insieme con l'argilla, creando punti di contatto molto saldi, che permettono ai terreni di sostenere più elevati sforzi di trazione (Mitchell, 1993).

Nella seconda correlazione è interessante notare come esista una proporzionalità diretta fra la riflettanza delle firme spettrali ed il contenuto in CaCO_3 . I campioni che hanno più alta riflettanza integrata, hanno anche il maggior contenuto di carbonato di calcio che, mediamente, essendo di colore biancastro, si distribuisce in maniera quasi uniforme su tutta la firma spettrale.

È da notare però che quest'affermazione non vale in assoluto, poiché, come mostrato nel grafico di Fig. 5. nella porzione dello spettro del visibile, le curve si intersecano a vicenda, confermando l'ipotesi che gli elementi che compongono la curva di risposta spettrale, in questa regione dello spettro EM, non si sommano in maniera lineare (Gupta, 1991) al contrario di quanto accade nell'infrarosso.

Le correlazioni ottenute sono incoraggianti, poiché permettono di validare l'ipotesi dalla quale è partita questa ricerca e cioè capire se sia possibile collegare l'amplificazione sismica di sito con la firma spettrale delle litologie affioranti in una certa area, ricordando che le firme spettrali su cui si sono basate le analisi, sono state acquisite in laboratorio ed in condizioni controllate.

La tecnica è stata a questo punto ulteriormente sviluppata: il passo successivo compiuto è stato quello di passare ad analizzare le firme spettrali acquisite da un sensore multispettrale montato su piattaforma aerea (MIVIS) per studiare il comportamento delle curve di risposta spettrale in condizioni non controllate (dove cioè variabili indipendenti quali la geometria d'illuminazione e di raccolta del segnale, l'assorbimento e lo scattering relativi in atmosfera, etc, possono modificare anche in maniera importante il segnale) sfruttando la firma spettrale del CaCO_3 in altre bande, allo scopo di effettuare un *mapping* remoto basato sul contenuto in CaCO_3 .



Fig. 10 - Immagine classificata.

L'area scelta per questo tipo di analisi ricade a sud dell'area dell'abitato di Sant'Arcangelo lungo il bordo meridionale del bacino.

Attraverso il software ENVI, sono state analizzate le firme spettrali al suolo, ed è stata riconosciuta la firma spettrale del CaCO_3 a 2335 nm. Successivamente è stata operata una classificazione supervisionata di tipo *Spectral Angle Mapper* (SAM) al fine d'individuare sull'immagine analizzata le zone d'interesse. E' stato considerato un angolo di 0,05 radianti. Non è stato necessario effettuare la maschera della vegetazione, poiché la zona è ben esposta.

Il risultato è mostrato in Fig. 10 e nel particolare di Fig. 11.

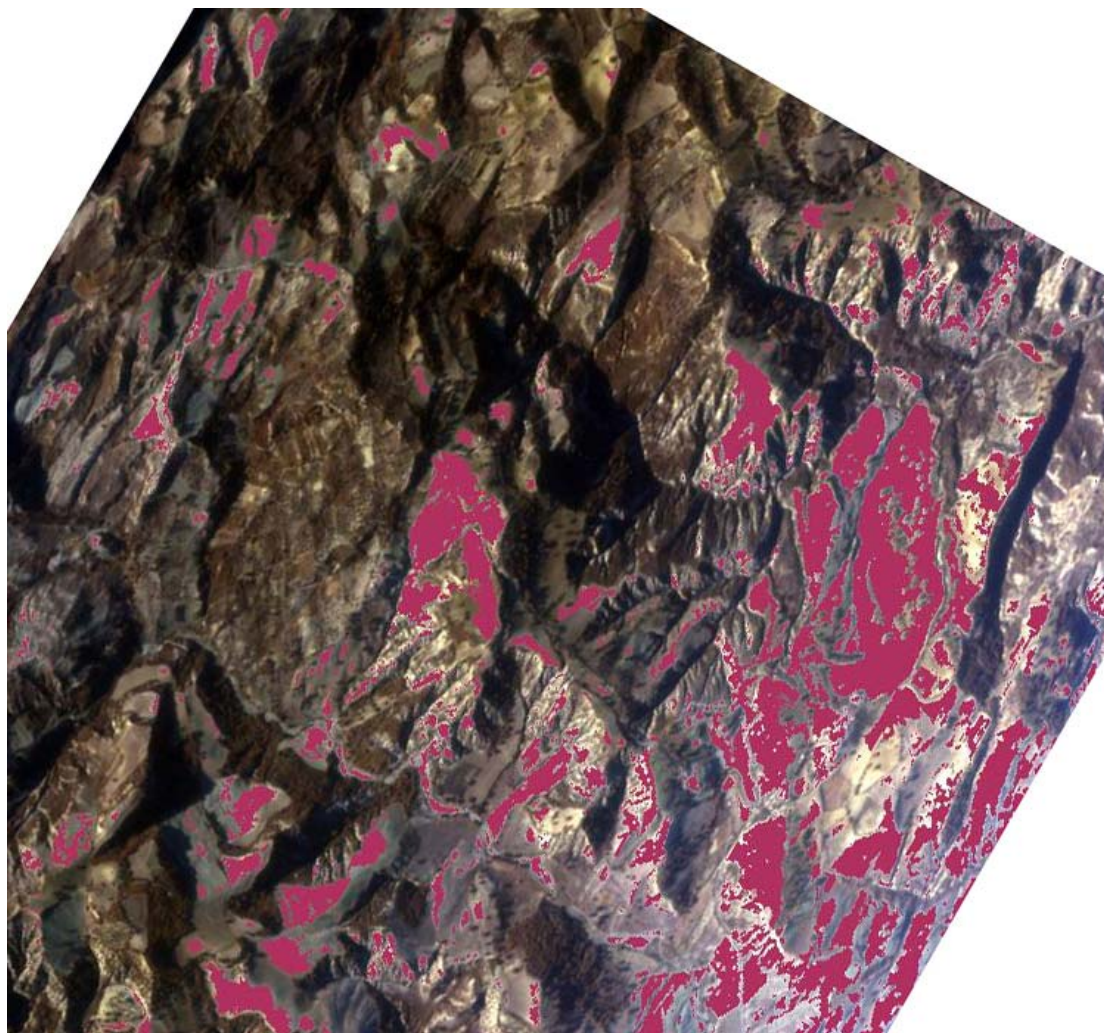


Fig. 11 - Particolare (indicato nel riquadro sulla Fig. 10).

BIBLIOGRAFIA

- Bozzano F., Marcoccia S. e Barbieri M.; 1999: The role of calcium carbonate in the compressibility of Pliocene lacustrine deposits. *Quar. Journ. Eng Geol.*, 3, 271 – 289.
- Del Olmo C., Fioravante V. Gera F., Hueckel T., Mayor J. C. e Pellegrini R.; 1996: Thermomechanical properties of deep argillaceous formations. *Eng. Geol.*, 41, 87 – 101.
- El Amrani Paaza N., Lamas F., Irigaray C. e Chacòn J.; 1998: Engineering geological characterization of Neogene marls in the Southeastern Granada Basin, Spain. *Eng. Geol.*, 50, 165-175.
- Gupta R.; 1991: Remote sensing geology. Springer-Verlag, Berlino,
- Hippolyte J. C., Angelier J.; 1994: Piggyback basin development and thrust belt evolution: structural and palaeostress analyses of Plio - Quaternary basins in the Southern Apennines. *Jour. Struct. Geol.*, 2, 159 – 173.

- Hunt G. R. e Salisbury J. W.; 1971: Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: II. Carbonates. *Mod. Geol.*, 2, 23 – 30.
- Mitchell J. K.; 1998: Fundamentals of soil behavior. John Wiley and sons II ed.
- Moore D. M. e Reynolds R. C. jr.; 1997: X ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press, Londra,
- Mucciarelli M.; 1998: Reliability and applicability of Nakamura's technique using microtremors: an experimental approach. *Jour. Earth. Eng.*, 4, 625 – 638.
- Mucciarelli M. e Gallipoli M. R.; 2001: A critical review of 10 years of HVSR technique. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 42, 3-4, 255-266.
- Nakamura Y.; 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the round surface. *QR or RTRI*, 30, 25 – 33.
- Pieri P., Sabato L., Loiacono F. e Marino M.; 1994: Il bacino di piggyback di Sant'Arcangelo: evoluzione tettonico – sedimentaria. *Boll. Soc. Geol. It.*, 113, 465 – 481.
- Sridharan, A. e Prakash K.; 1999: Mechanism controlling the undrained shear strength behaviour of clays. *Can. Geotech. J.*, 135, 1030 – 1038.
- Yang J. e Sato T.; 2000, Interpretation of seismic vertical amplification observed at an array site, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, 275-285.