

## CORRELAZIONI NSPT-V<sub>S</sub> IN CONTESTI GEOLOGICI COMPLESSI

Silvia Fabbrocino

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Napoli Federico II  
[silvia.fabbrocino@unina.it](mailto:silvia.fabbrocino@unina.it)

Giovanni Forte; Giovanni Lanzano; Filippo Santucci de Magistris

Laboratorio di Dinamica strutturale e Geotecnica StreGa, Università del Molise  
[giovanni.forte@unimol.it](mailto:giovanni.forte@unimol.it); [giovanni.lanzano@unimol.it](mailto:giovanni.lanzano@unimol.it); [filippo.santucci@unimol.it](mailto:filippo.santucci@unimol.it)

### Sommario

Nel presente lavoro sono esaminate alcune relazioni esistenti tra il numero di colpi misurato attraverso prove penetrometriche dinamiche (SPT) e la velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_S$ ), ottenuta da prove down-hole, nel settore molisano dell'Appennino centro-meridionale.

Il database analizzato è, in massima parte, quello relativo allo studio di microzonazione sismica delle aree urbane della provincia di Campobasso. L'analisi di regressione non lineare dei dati  $N_{SPT}-V_S$  permette di definire tre funzioni di correlazione controllate dalle caratteristiche litostratigrafiche delle diverse formazioni affioranti.

Il confronto con le correlazioni riportate nella specifica letteratura tecnica ed una preliminare analisi statistica evidenzia la necessità di un approccio più articolato ed interdisciplinare nei contesti geologici complessi, evidenziando, in ogni caso, la possibilità di definire relazioni, a scala regionale, tra  $V_S$  e parametri geotecnici più diffusi e di più immediata acquisizione.

### Introduzione

La stima della velocità di propagazione delle onde di taglio costituisce un utile strumento per l'analisi teorico-sperimentale del comportamento delle opere e dei sistemi geotecnici in zona sismica. La specifica letteratura tecnica evidenzia da una parte la rilevanza di tale parametro nella valutazione della rigidità del terreno, della risposta sismica locale, del potenziale di liquefazione ovvero nella classificazione sismica del sito; dall'altra la necessità di sviluppare la conoscenza delle relazioni esistenti con altri parametri di interesse geotecnico e di più facile acquisizione, quali quelli derivabili da prove penetrometriche dinamiche (SPT) (*Richart et al., 1970; Seed e Idriss, 1970; Ohta e Goto, 1978; Sykora e Stokoe, 1983; Iyisan, 1996; Hasancebi e Ulusay, 2006; Dikmen, 2009; Jafari et al., 2002; Ulugergerli e Uyanik, 2007; Maheswari et al., 2010; Akin et al., 2011*).

In tale ambito, numerose sono le correlazioni empiriche proposte tra il numero di colpi delle prove SPT (NSPT) e la velocità delle onde S ( $V_S$ ), talora differenziate in funzione del tipo di terreno e/o basate su una correzione del NSPT. Tuttavia, al di là della maggiore correlazione statistica per le leggi basate sul NSPT non corretto, si rileva che esse derivano da dati osservati in aree poco estese e caratterizzate da una limitata complessità stratigrafica.

D'altra parte, è ben noto che dal punto di vista meccanico non può esistere una correlazione diretta tra la velocità di propagazione delle onde S, che è proporzionale alla rigidità a taglio dello scheletro solido del terreno a piccole deformazioni e il numero di colpi della prova SPT legato al complesso meccanismo della resistenza a rottura del terreno, in condizioni drenate o non drenate, per l'avanzamento del campionatore standard. Di fatto però, rigidità e

resistenza dipendono in qualche modo dalle stesse variabili di stato del terreno, di modo che le due grandezze,  $N_{SPT}$  e  $V_s$ , siano pressochè influenzate dagli stessi parametri (Mayne e Rix, 1995 come citati da Madiati, 2006).

L'estrapolazione di tali correlazioni in contesti geologici complessi, quali quelli affioranti diffusamente lungo tutta la catena appenninica, richiedono una certa cautela e una eventuale rivisitazione dei dati.

Nel presente studio si illustrano i risultati di correlazioni relative al settore molisano dell'Appennino centro-meridionale, esaminandone l'affidabilità a scala regionale ed evidenziando ruolo della genesi e dell'evoluzione geologica e morfologica sulle correlazioni.

L'area campione considerata, corrispondente all'intera provincia di Campobasso, si estende per circa 2909 km<sup>2</sup>. Il set di dati analizzato proviene prevalentemente dallo studio di microzonazione sismica delle aree urbane della provincia di Campobasso.

### **Caratteristiche geologiche della provincia di Campobasso**

L'eterogeneità e la complessità dei terreni di natura sedimentaria affioranti nella provincia di Campobasso riflette ampiamente le caratteristiche geologiche dell'intera catena appenninica (*cfr ad es. Signorini, 1935; Lanzafame e Tortorici, 1976; Corrado et al., 1998; Sgrosso, 1998; Cello e Mazzoli, 1999; Scrocca e Tozzi, 1999; Antonucci et al., 2002; Festa et al., 2006; Pertusati e Buonanno, 2009*).

Nel settore molisano della catena è possibile distinguere, infatti, le principali unità tettono-stratigrafiche, ciascuna rappresentativa di differenti condizioni paleogeografiche.

Le unità di piattaforma affiorano prevalentemente nel settore sud-occidentale; le formazioni del Bacino Molisano sono ascrivibili principalmente a Complessi ad affinità Sicilide, alle Unità Irpine e a successioni silico-clastiche tardo e post-orogene di bacini di piggy-back.

La maggior parte dei litotipi affioranti sono riconducibili a formazioni flyschoidi, ad eccezioni di olistoliti carbonatici, derivanti dallo smembramento delle falde di provenienza Abruzzese-Campana, "imprigionati" nei depositi argilloso-marnosi ed arenaceo-conglomeratico-argillosi. Del resto, il margine orientale dell'area è caratterizzato da depositi conglomeratici coerenti ed incoerenti, di età Plio-pleistocenica, poggianti su formazioni flyschoidi, di età miocenica (Fig. 1).

Le formazioni flyschoidi maggiormente rappresentate, ascrivibili ai depositi del cosiddetto "Ciclo Irpino", costituito a sua volta da un "Complesso Tardorogeno" (dato dal "Flysch di S.Bartolomeo" e dal successivo "Flysch di Faeto") e dal "Complesso Postorogeno" (rappresentato dalle "Marne di Toppo Capuana", "Evaporiti di Monte Castello" e dalla "Formazione del Tona"), mostrano i caratteri peculiari di "wild flysch" e si presentano piuttosto eterogenee, sia verticalmente che orizzontalmente. Nel complesso esse sono costituite da termini prevalentemente di natura argillosa e subordinatamente argillitico-marnosa ed arenaceo-sabbiosa, mentre nella parte alta prevale la componente conglomeratico-sabbiosa, con inclusi frammenti calcarei e calcareo-marnosi.

Queste formazioni alla base si confondono con i depositi della "Formazione delle Argille variegata", ad affinità sicilide, che rappresenta il substrato regionale. Tale complesso è distinto in una parte basale ed una sommitale. Il membro inferiore è caratterizzato da terreni argillosi, che rappresentano il substrato dell'area sannita insieme ai depositi del "Flysch Rosso": si tratta di argille ed argille siltose caratterizzate da un aspetto tipicamente scaglioso e da un colore che varia dal grigio - grigio/azzurro al giallo-rossastro. Talvolta gli inclusi raggiungono dimensioni cartografabili e costituiscono degli olistoliti. Il membro superiore del Complesso è invece dato da strati e banchi marnosi e calcarei, della potenza variabile da pochi centimetri fino a 20 m: tale membro è ben rappresentato nei rilievi di Vinchiaturò e Campobasso.

A tali Unità sono stratigraficamente sovrapposti i depositi del “Ciclo Plio-pleistocenico”, i sedimenti lacustri ed i depositi delle alluvioni recenti.

La coltre detritica eluvio-colluviale, che chiude verso l’alto la serie locale, è costituita da terreno vegetale mediamente maturo di colore bruno, con inclusi lapidei di natura silicoclastica e sabbia argillosa.

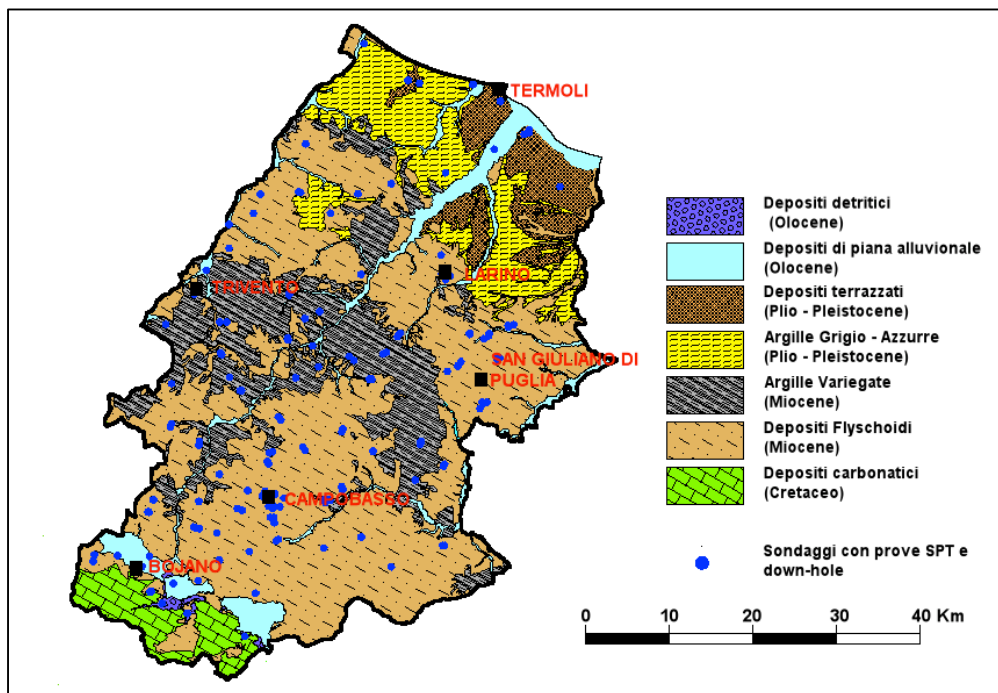


Figura 1. Carta geologica della provincia di Campobasso con indicazione dell’ubicazione delle indagini geotecniche e sismiche

### Correlazioni empiriche NSPT-Vs

In tale complesso contesto geologico, per analizzare le relazioni esistenti tra NSPT e Vs sono state prese in considerazione le indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche eseguite a partire dal 2003 nell’ambito dello studio di microzonazione sismica della provincia di Campobasso (*Regione Molise, 2009*). L’esame delle caratteristiche e delle condizioni dei diversi litotipi affioranti è stato integrato con le informazioni derivanti dalle indagini e dal rilevamento geologico risultanti da studi mirati alla valutazione su scala regionale della vulnerabilità sismica delle infrastrutture molisane (*Evangelista et al., 2011*).

Ai fini della definizione delle funzioni di correlazione tra i due parametri considerati sono stati selezionati circa 160 sondaggi geognostici, distribuiti nelle aree urbane e nelle aree P.I.P. della provincia di Campobasso (Fig. 1), ed opportunamente strumentati per l’esecuzione di prove sismiche down-hole. La profondità dei sondaggi è mediamente di 30 m dal p.c., e compresa tra i 15 e i 50 m. Durante l’esecuzione delle perforazioni sono state eseguite almeno due prove SPT in ciascun foro a profondità variabile tra 2 e 30 m da p.c.. In alcuni siti caratterizzati da particolari complessità stratigrafiche il numero di prove SPT è stato integrato fino a 5.

In Figura 2 sono riportati i dati disponibili in termini di legame tra  $N_{SPT}$  e  $V_s$ . Ogni coppia di

valori è relativa a misure effettuate nello stesso sito ed alla stessa profondità. Un'analisi di regressione non lineare dei dati esaminati permette di definire tre funzioni di correlazione controllate dalle caratteristiche litostratigrafiche delle diverse formazioni affioranti (Fig. 2). La funzione Molise B è da ritenersi valida nelle formazioni o in quelle parti di esse in cui prevale la componente argillosa. Se le caratteristiche geotecniche decadono per effetto di una alterazione naturale o antropica, ovvero per le specifiche condizioni idrogeologiche nelle medesime formazioni va considerata la funzione Molise C. Nelle parti di esse in cui per effetto dell'evoluzione paleogeografica dell'area prevalgono interstrati o intercalazioni a carattere litoide, invece, si registra un incremento delle VS e la funzione da considerare è quella denominata Molise A.

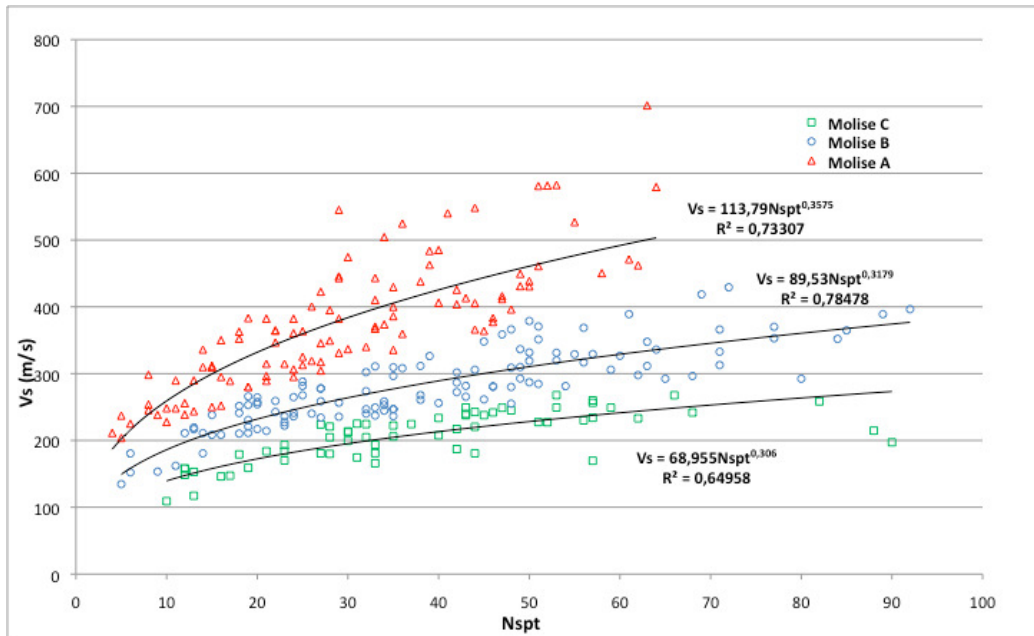


Figura 2. Correlazioni tra NSPT e VS

## Conclusioni

Lo studio effettuato nel settore molisano dell'Appennino centro-meridionale ha consentito di individuare funzioni di correlazione fra NSPT e VS più aderenti alla complessa evoluzione geologica e morfologica dell'area considerata. Ulteriori affinamenti scaturiranno dalla implementazione del database e dalla integrazione delle indagini in siti campione più significativi per l'analisi della variabilità dei parametri considerati.

## Bibliografia

- Antonucci, A., di Luzio, E., Lenci, F., Scrocca, D., Tozzi, M. (2002). Mesoscopic structural styles of deformation within the Frosolone unit multilayer (Molise Region, Central Italy). *Boll. Soc. Geol. It.* Volume speciale 1: 641 – 648.
- Akin, M. K., Kramer, S. L., Topal, T. (2011). Empirical correlations of shear wave velocity (Vs) and penetration resistance (SPT – N) for different soils in an earthquake – prone area (Erbaa – Turkey). *Engineering Geology* 119 : 1 – 17.
- Cello, G., Mazzoli, S. (1999). Apennine tectonics in southern Italy: A review. *Journal of*

- Geodynamics* 27 : 191 – 211.
- Corrado, S., Di Bucci, D., Naso, G., Damiani, A.V. (1998). Rapporti tra le grandi unità stratigrafico – strutturali dell’Alto Molise (Appennino centrale). *Boll. Soc. Geol. It.* 177: 761 – 776.
- Dikmen, U. (2009). Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. *J. Geophys. Eng.* 6 : 61 – 72.
- Festa, A., Ghisetti, F., Vezzani L. (2006). Carta Geologica del Molise Scala 1 :100000 Note illustrative. Evangelista, L., Fabbrocino, S., Lanzano, G., Todisco F., Santucci de Magistris, F., Fabbrocino, G. (2011). Integrated geotechnical characterization of distributed sites in the Molise region (Italy) for seismic vulnerability analysis. *SICEGE*, January 2011, 10 – 13 Santiago, Cile.
- Hasancebi , N., Ulusay, R. (2006). Evaluation of site amplification and site period using different methods for an earthquake - prone settlement in Western Turkey. *Engineering Geology* 87: 85 – 104.
- Iyisan, R. (1996). Correlations between shear wave velocity and in – situ penetration test results. *Teknik Dergi* Vol. 7, n. 2: 1187 – 1199.
- Jafari, M. K., Shafiee A., Razmkhah A. (2002). Dynamic properties of fine grained soils in South of Tehran. *JSEE* Vol. 4 n. 1.
- Kalteziotis, n., Sabatakakis, N., Vassiliou, J. (1992). Evaluation of Dynamics characteristics of Greek soil formations. *Second Hellenic Conference on Geotechnical Engineering* 2: 239 – 246.
- Lanzafame, G., Tortorici L. (1976). Osservazioni geologiche sul medio e basso bacino del F. Biferno (Molise, Italia centro – meridionale). *Geol. Rom.* 15: 199 - 222.
- Maheswari, R. U., Boominathan, A., Dodagoudar., G. R. (2010). Use of surface waves in the statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance of Chennai Soils. *Geotech Geol Eng.* 28 : 119 – 137.
- Maidiai C. (2006). *Correlazioni tra velocità delle onde sismiche di taglio e indici di prove geotecniche in sito di tipo corrente.* Rapporto di convenzione di ricerca, [http://www.dicea.unifi.it/~johamf/emilia2\\_report.pdf](http://www.dicea.unifi.it/~johamf/emilia2_report.pdf)
- Mayne, P.W., G.J. Rix, (1995). *Correlation between shear wave velocity and cone tip resistance in natural clays*, Soils and Foundations, vol. 35, n. 2, 107-110.
- Ohta, Y., Goto, N. (1978). Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soils indexes. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. Vol. 6: 167 – 187.
- Pertusati, S., Buonanno, A. (2009). Structural evolution of a foreland basin succession : the Dauna Unit in the sannio-molise sector of the Southern Apennines. *Ital. J. Geosci.* 128(2): 551 – 564.
- Pescatore, T.S., Di Nocera, S., Matano, F., Pinto, F. (2000). L’Unità del Fortore nel quadro della geologia del settore orientale dei monti del Sannio (Appennino meridionale). *Boll. Soc. Geol. It.* 199: 587 – 601.
- Regione Molise (2009). Microzonazione sismica. [http://www.regione.molise.it/web/assessorati/serviziogeologico.nsf/\(InfoInternet\)/37E7DDE91EC393FDC12572D00033D834?OpenDocument](http://www.regione.molise.it/web/assessorati/serviziogeologico.nsf/(InfoInternet)/37E7DDE91EC393FDC12572D00033D834?OpenDocument)
- Richart, F. E., Hall, J. R., Woods, R. D. (1970). Vibrations of soils and foundations. *Prentice Hall*, Englewood Cliff, N.J. 414 pp.
- Scrocca, D., Tozzi, M. (1999). Tettogenesi Mio – Pliocenica dell’Appennino molisano. *Boll. Soc. Geol. It.* 118: 255 – 286.
- Seed, H. B., Idriss, I. M. (1970). Soil Moduli and damping factors for dynamic response analysis. *Rep. No.EERC 70/10* Earthquake Engineering Research Center, Berkley.
- Sgrosso, I. (1998). Possibile evoluzione cinematica miocenica nell’orogene centro-sud-appenninico. *Boll. Soc. Geol. It.*, 117: 679 – 724.
- Signorini., R. (1935). Una zona fondamentale per la stratigrafia del Molise. *Atti Soc. Geol. It.*
- Sisman, H. (1995). An investigation on relationship between shear wave velocity and SPT and pressuremeter test results. *MSc Thesis*, Ankara University, Geophysical Engineering Department, Ankara 75 pp.
- Sykora, D. E., Stokoe K. H. (1983). Correlations of in situ measurements in sands of shear wave velocity. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 20: 125 – 136.
- Ulugergerli, U. E., Uyanik, O. (2007). Statistical correlations between seismic wave velocities and SPT blow counts and the relative density of soils. *J. Test. Eval.* 35: 1 – 5.
- Yokota, K., Imai, t., Konno, M. (1991). Dynamic deformation characteristics of soils determined by laboratory tests. *OYO Tee Rep.* 3, p. 13.