UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

FLORE
Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

# Ricostruzione stratigrafica da prove CPT meccaniche nell'area portuale di Gioia Tauro mediante tecniche di clustering e fuzzy

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Ricostruzione stratigrafica da prove CPT meccaniche nell'area portuale di Gioia Tauro mediante tecniche di clustering e fuzzy / Facciorusso J.; Uzielli M.. - (2003), pp. 1-6. (Intervento presentato al convegno Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica tenutosi a Potenza nel 18-20 giugno 2003).

*Availability:*

This version is available at: 2158/839333 since:

*Publisher:*

Università degli Studi di Potenza

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf)

*Publisher copyright claim:*

(Article begins on next page)

20 April 2024

*Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica 2003 - IARG 2003*
*Potenza, 18-20 Giugno 2003*

# RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA DA PROVE CPT MECCANICHE NELL'AREA PORTUALE DI GIOIA TAURO MEDIANTE TECNICHE DI CLUSTERING E FUZZY

Johann Facciorusso, Marco Uzielli
*Dipartimento di Ingegneria Civile, Università degli Studi di Firenze*
*e-mail: johannf@dicea.unifi.it , marcouzi@dicea.unifi.it*

**Abstract**

Nella presente sintesi sono riassunti i risultati parziali di una ricerca inerente l'applicazione di procedure di elaborazione statistiche e tecniche di soft computing di dati geotecnici finalizzata alla caratterizzazione stratigrafica di siti nei quali siano state eseguite prove penetrometriche statiche.

## Introduzione

La prova penetrometrica statica (CPT) viene impiegata sempre più frequentemente per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica, grazie alla sua maggiore precisione ed accuratezza rispetto ad altre indagini in sito ed alla misura continua, con la profondità, dei valori di resistenza del terreno. I dati penetrometrici disponibili sono sovente riferiti a campagne di prove eseguite con penetrometro meccanico, meno affidabili rispetto a prove effettuate con il penetrometro elettrico o con il piezocono, a causa, tra l'altro, del maggiore intervallo tra letture consecutive, delle maggiori incertezze sui valori misurati, e di uno sfasamento maggiore tra le misure della resistenza di punta $q_c$ e della resistenza laterale $f_s$. La minore affidabilità della prova meccanica e la necessità di utilizzarne i risultati nella progettazione, suggeriscono l'utilizzo ed il confronto di più tecniche di interpretazione finalizzate alla caratterizzazione stratigrafica e geotecnica. Tali procedure possono consistere in: 1) analisi visuale dei dati; 2) carte di classificazione empiriche; 3) metodi statistici univariati e multivariati; 4) tecniche fuzzy o procedure più complesse, quali reti neurali. Il presente lavoro si propone di indagare l'applicabilità di tecniche di classificazione dei terreni e ricostruzione stratigrafica da prove CPT meccaniche basate sul clustering e sugli insiemi fuzzy. A tal fine sono state considerate 24 prove CPT meccaniche relative a campagne di indagini condotte nella zona portuale di Gioia Tauro (RC).

## Aspetti geologici e geotecnici del sito in esame

L'area zona portuale di Gioia Tauro (limitatamente ai primi 20 m esplorati con le prove CPT) è caratterizzata da strati più superficiali costituiti prevalentemente da terreni granulari saturi, salvo uno strato di riporto decimetrico. Procedendo verso il basso, si individuano tre formazioni: depositi eolici rimaneggiati di sabbie sciolte da grossolane a medie (di spessore variabile tra 3 e 5 m); ghiaie poligeniche sabbiose litorali e fluviali di spesso-

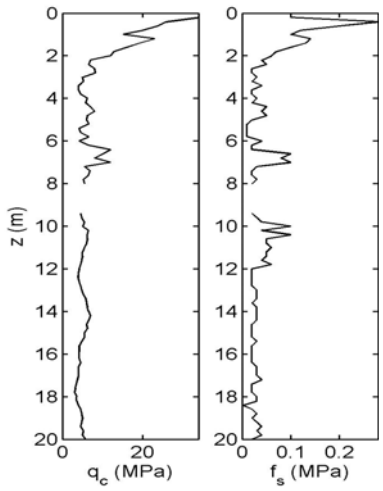


Figura 1. Profilo della resistenza alla punta, $q_c$, e dell'attrito laterale, $f_s$.

re pari a circa 10 m; sabbie dense da medie a fini, a livelli ghiaiosi, di ambiente litoraneo con intercalazioni di lenti e sottili strati di sabbia limosa (Facciorusso e Vannucchi 2002). Quest' ultima formazione, ubicata a profondità variabile da 5 a 20 m dal piano di campagna, è assai variegata.

A titolo di esempio vengono illustrati i risultati della ricerca per una tra le prove CPT considerate (Fig. 1). Dal diagramma di Robertson (Fig. 2) e dai valori dell'indice di classe, $I_c$ (Fig. 3c) calcolati per tale prova, non è possibile apprezzare le diverse litologie evidenziate dalla succitata descrizione geologica del sito (si veda ad esempio la stratigrafia in Fig. 3f relativa al sondaggio eseguito a 12 m di distanza dalla prova CPT) e dai risultati delle prove SPT (Fig. 3e). Pertanto, appare giustificato il ricorso a tecniche alternative di classificazione.

**Sintesi e modalità di applicazione delle tecniche di clustering e classificazione fuzzy**

Le tecniche di clustering consistono nella suddivisione di dati in gruppi omogenei secondo un determinato criterio di similarità. Gli algoritmi di clustering esistenti differiscono tra loro in base al trattamento delle variabili di ingresso ed alla definizione dei criteri di raggruppamento. In considerazione della natura e la disposizione areale irregolare delle prove CPT nel sito in esame, ed in base alle applicazioni in campo geologico e geotecnico (queste ultime ancora limitate) rinvenute in letteratura, si è adottato un modello di clustering (in seguito denominato HAMAD) gerarchico ed agglomerativo, basato sulla distanza di Minkowski con esponente $n$=2 e sulla distanza media tra cluster. Il sistema di classificazione dei terreni in base ai risultati di prove CPT proposto da Zhang e Tumay (1999), le cui modalità di applicazione sono brevemente sintetizzate in seguito, è basato sulla definizione di insiemi fuzzy di comportamento dei terreni (incoerente, intermedio, coesivo), e consente di caratterizzare, in funzione della profondità, il tipo di risposta meccanica alla penetrazione in termini di resistenza alla punta e resistenza laterale, svincolandosi dalle informazioni geologiche e granulometriche.

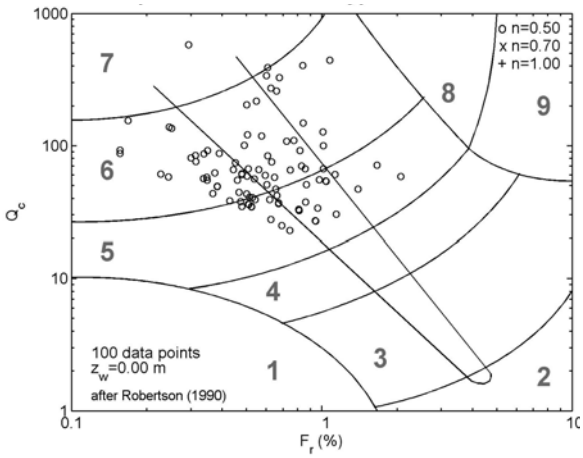


Figura 2. Classificazione secondo Robertson relativa ai dati della prova CPT considerata

L'algoritmo HAMAD applicato alle variabili di riferimento assunte (resistenza

alla punta normalizzata $Q_c$ e rapporto d'attrito normalizzato $F_r$, Figg. 3a e 3b) consente di suddividere le coppie di valori di ingresso in un numero $N_c$ di cluster (variabile tra 1 ed il numero di dati iniziali) stabilito in base al criterio definito da Hegazy e Mayne (2002). I cluster così definiti e riportati in funzione della profondità (Fig. 3d) individuano zone omogenee di terreno dal punto di vista della risposta meccanica: strati principali e secondari, lenti, e zone di transizione. Nella classificazione fuzzy, dalle misure di $q_c$ ed $f_s$ (Fig. 1), si calcola a ciascuna profondità un parametro di classificazione $U$ (Fig. 4a), in base al quale, mediante formule fornite da Zhang e Tumay (1999), si ottengono i valori di $\mu_s$, $\mu_m$ e $\mu_c$, che definiscono il grado di appartenenza ($\mu$=0: nessuna appartenenza; 0<$\mu$<1: appartenenza parziale; 1: $\mu$=1: appartenenza completa) di un terreno ai seguenti tre insiemi fuzzy: terreni dal comportamento incoerente, terreni dal comportamento meccanico intermedio, terreni dal comportamento meccanico coesivo. I picchi del coefficiente intraclasse $\rho_c$, calcolato secondo la procedura indicata da Wickremesinghe (1989) con l'ausilio di una finestra mobile sul profilo di $U$, suggeriscono la posizione delle interfacce stratigrafiche.

## Analisi dei risultati

Confrontando i risultati del clustering con la descrizione litologica di sondaggi, adiacenti alle prove CPT, ed i risultati di prove SPT vicine, si è osservato, in generale, un buon accordo, come visibile ad esempio in Fig.3d, dove le divisioni tra i 17 cluster individuati corrispondono in parte alle interfacce tra le formazioni principali precedentemente citate (con uno sfasamento dovuto al ritardo nella risposta del penetrometro rispetto al terreno incontrato e alle diverse profondità di misura di $q_c$ e $f_s$) ed in parte (come, ad esempio, alle profondità di 9.8 m, 10.3 m e 12.6 m), ad interfacce tra strati, lenti e livelli eterogenei evidenziati dai risultati delle prove SPT e dalle indagini geologiche, ma non riportati come interfacce stratigrafiche primarie. L'eterogeneità delle formazioni principali è confermata anche dalla variabilità dei valori di appartenenza agli insiemi di comportamento incoerente e misto risultanti dalla classificazione fuzzy (Fig. 4b, 4c, 4d) al variare della profondità, anche in strati classificati come omogenei nella descrizione visuale del sondaggio. L'analisi del profilo del coefficiente $\rho_c$, infine, ha mostrato un buon accordo con i risultati del clustering per quanto riguarda la posizione delle interfacce stratigrafiche (Fig. 4e).

## Conclusioni

I risultati conseguiti suggeriscono che il clustering e la classificazione fuzzy, anche se applicati a dati affetti da notevoli incertezze quali i risultati di prove CPT meccaniche, forniscono criteri spesso più oggettivi e più precisi per la ricostruzione stratigrafica, specie per quei terreni che presentano caratteristiche piuttosto simili da un punto di vista della descrizione litologica, ma che al loro interno presentano livelli e inclusioni di modesto spessore con proprietà meccaniche differenti. In particolare le tecniche di clustering e la classificazione fuzzy possono considerarsi complementari, in quanto, mentre le prime consentono di stimare la localizzazione delle interfacce stratigrafiche, la seconda consente di formulare ipotesi circa il comportamento meccanico del terreno.

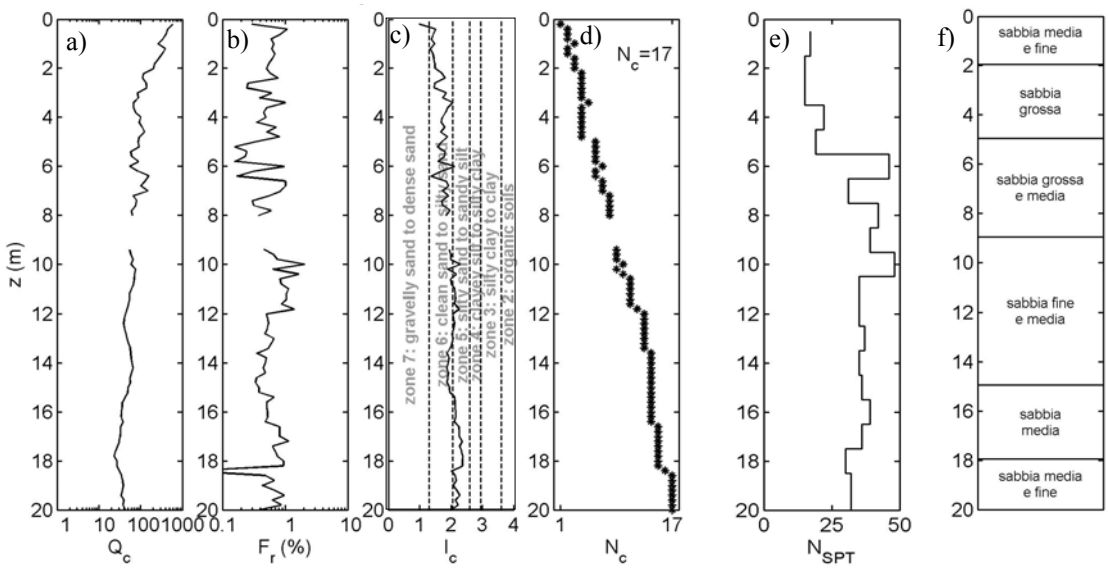


Figura 3 - Risultati della procedura di clustering, ottenuti con l'algoritmo "HAMAD", per $N_c$=17 cluster

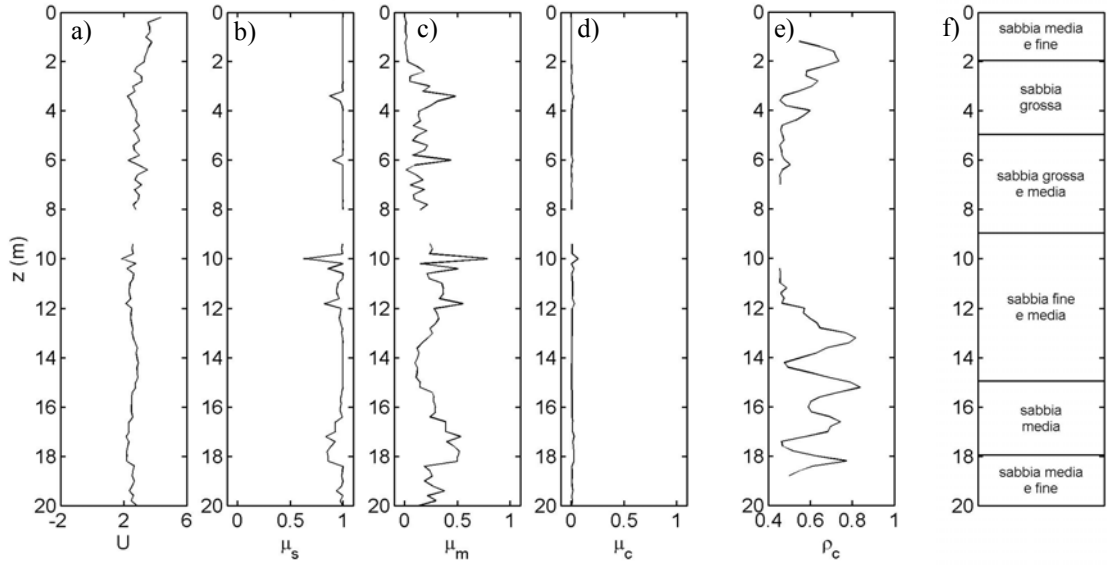


Figura 4 – Risultati della classificazione fuzzy in termini di grado di appartenenza agli insiemi dei terreni, e profilo del coefficiente intraclasse $\rho_c$

**Bibliografia**

Facciorusso, J., Vannucchi, G. (2002), "Liquefaction Hazard Maps of the Harbour Area of Gioia Tauro (Italy) by Geostatistical Methods", *Proc. SEE4*, Teheran (Iran)

Hegazy, Y.A., Mayne, P.W. (2002), "Objective Site Characterization Using Clustering of Piezocone Data", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 128(12): 986-996.

Wickremesinghe, D.S. (1989), "Statistical Characterization of Soil Profiles Using In Situ Tests", Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of British Columbia.

Zhang, Z., Tumay, M.T. (1999), "Statistical to Fuzzy Approach Towards Soil Classification", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 125(3):179-186.