

AREA URBANA PALERMITANA: ANALISI DELLE PROPRIETÀ GEOTECNICHE DEI TERRENI, SUPPORTATA DA
TECNOLOGIA GIS

V.Canzoneri* , M.S.Giammarinaro**, G.Gugliuzza**, P.Vallone**

*Laboratorio METRO srl – Palermo

**Dipartimento di Geologia e Geodesia – Università di Palermo

SOMMARIO

Una applicazione GIS, denominata City-GIS, sviluppata su un modello dei dati orientato ai temi delle geoscienze urbane, è stata realizzata presso il Dipartimento di Geologia e Geodesia dell' Università di Palermo ed è stata utilizzata nell'elaborazione ed archiviazione, relativamente all'area urbana palermitana, di un database di prove geotecniche visualizzabile ed interrogabile su cartografia georeferenziata. L'esame del database elaborato e le conoscenze sui terreni dell'area, derivanti da precedenti studi, hanno portato ad una classificazione geotecnica dei terreni che sono stati suddivisi, ad un primo livello di approssimazione, in 7 classi. I risultati delle prove geotecniche di laboratorio hanno consentito uno studio dei campi di variabilità per le principali proprietà indici e per le caratteristiche meccaniche dei terreni. L'analisi dei risultati ha evidenziato valori delle caratteristiche fisiche confrontabili. I parametri di resistenza al taglio invece si presentano nell'area disomogenei, con valori affetti da ampia dispersione.

1 – INTRODUZIONE

L'alta vulnerabilità dei sistemi urbani impone che scelte decisionali, inerenti la gestione e/o la promozione di uno sviluppo sostenibile, siano pilotate da una conoscenza a scala locale delle proprietà del sottosuolo e dei conseguenti andamenti spaziali dei fattori controllanti il complessivo rischio ambientale.

Questa conoscenza si può raggiungere solo partendo da affidabili database, elaborati attraverso un processo, spesso complesso, di filtraggio e omogeneizzazione dei dati raccolti. Occorre, inoltre, acquisire il contenuto informativo derivante dalle mutue e corrette relazioni spaziali tra i dati e dalle eventuali correlazioni presenti tra dati di tipo differente.

Si spiega perciò l'attenzione crescente rivolta ad applicazioni GIS orientate ai temi delle geoscienze urbane, dotate di strumenti di supporto alla elaborazione di database, al modelling dell'area ed ai processi decisionali.

2 - CARATTERISTICHE DELL' APPLICAZIONE GIS

Una applicazione GIS, denominata City-GIS (Giammarinaro M.S., Maiorana S., 2001; Giammarinaro M.S. et al., 2001) con queste caratteristiche è stata sviluppata presso il Dipartimento di Geologia e Geodesia dell' Università di Palermo.

Il linguaggio di programmazione adoperato è Visual Basic versione 6, con il supporto di DbCADdev per la gestione delle finestre grafiche, True Grid professional per la gestione dei dati in forma tabellare e Access per la rea-

lizzazione della struttura del database di tipo relazionale.

La necessità di una applicazione che assicurasse un rapido accesso alle informazioni richieste e che fosse facilmente espandibile per essere adattata a necessità future, ha imposto una architettura aperta con una struttura a moduli, ciascuno dei quali dedicato alla gestione di un particolare tema.

All'apertura del programma una finestra di dialogo consente di scegliere, tra i differenti moduli presenti nel sistema, il modulo attivo, ossia il tema di lavoro, la banca dati su cui si vuole operare a livello di inserimento e/o modifica dati, di interrogazione e/o elaborazione e la base cartografica georeferenziata sulla quale visualizzare i dati.

E' possibile visualizzare contemporaneamente anche dati relative a temi differenti da quello al momento attivo e perciò gestite da altri moduli, identificati come moduli di sfondo.

Tra i moduli già sviluppati, quello che gestisce il tema litostratigrafico è stato utilizzato per l'elaborazione di un database relativo ai terreni dell'area urbana palermitana.

Tale processo di elaborazione si è articolato in tre fasi: 1) classificazione dei differenti litotipi rinvenuti nell'area, con attribuzione di opportuna sigla a ciascuno di essi; 2) omogeneizzazione dei dati e, mediante attribuzione delle corrette sigle, archiviazione codificata delle stratigrafie reperite; 3) verifica, facilitata dall'uso di City-GIS, della coerenza del database ottenuto.

Parallelamente, nell'archivio di City-GIS è stato costituito un database di risultati di prove geotecniche, eseguite su campioni provenienti da parte dei sondaggi a disposizione.

3 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA

Precedenti studi dell'area urbana palermitana (Liguori V., Cusimano G., 1978; Giammarinaro M.S. et al., 1999; Giammarinaro M.S., 2000) mostrano che la stessa è suddivisibile in zone distinte per la diversità delle successioni geologiche. Infatti, in alcune parti del territorio depositi calcarenitici Plio-Pleistocenici sovrastano la formazione Oligo-Miocenica (argille del Flysch Numidico) che costituisce il bedrock dell'area; in altre aree tra il bedrock e le calcareniti è interposto uno strato di sabbie limo-argillose grigiastre, databili tardo Emiliano – Siciliano (Di Stefano E., 1981).

Inoltre, l'area urbana palermitana è interessata da corsi d'acqua, alcuni dei quali oggi non più visibili. In tali zone i depositi calcarenitici passano verso l'alto a depositi alluvionali su cui, per lo più, si rinvengono terreni di riporto di notevole spessore, dovuti ai numerosi interventi di ricolma e deviazione operati dall'uomo.

4 - ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI GEOTECNICI

Il database litostratigrafico è stato elaborato sulla base delle stratigrafie relative a circa 2200 sondaggi meccanici e pozzetti esplorativi eseguiti all'interno dell'area urbana palermitana, la cui ubicazione è riportata nella figura 1. La posizione dei sondaggi per i quali sono disponibili anche risultati di prove geotecniche è riportata nel riquadro in basso.

Come si vede, la distribuzione spaziale nell'area dei sondaggi corredati da prove geotecniche di laboratorio non è uniforme. In varie zone infatti se ne registra la totale assenza, ma il database è in continuo accrescimento dinamico.

L'esame dei database elaborati e le conoscenze sui terreni dell'area, derivanti da numerosi studi svolti in varie occasioni (Jappelli R. et al., 1981; Valore C., 1983; Canzoneri V. et al., 1998;), hanno portato ad una classificazione geotecnica dei terreni che sono stati suddivisi, ad un primo livello di approssimazione, in 7 classi:

- Terreno vegetale o di riporto
- Limo argilloso, generalmente poco consistente o molle
- Sabbia e sabbia limosa, calcarenitica ovvero alluvionale
- Terreni a grana grossa: ghiaia di varia natura
- Detrito a grana fina ed a grana grossa
- Formazione argillosa del Flysch Numidico, localmente denominata *Ginolfo*
- Formazioni lapidee: calcare dolomitico, radiolariti, quarzarenite, calcarenite

All'interno di ciascuna delle classi individuate sono stati riconosciuti e descritti differenti litotipi, ottenendo una ulteriore divisione in sottoclassi.

Il complessivo schema di classificazione geotecnica così ottenuto per i terreni ricadenti all'interno dell'area urbana palermitana viene riportato a fine testo.

4.1 - Proprietà indici

Per ciascuna delle classi di terreni l'esame dei risultati forniti dalle prove geotecniche di laboratorio ha permesso di definire i campi di variazione delle principali proprietà indici (contenuto naturale d'acqua w_n , peso dell'unità di volume γ , limite di plasticità w_p , limite di liquidità w_L , indice di plasticità I_p , grado di saturazione S).

Gli intervalli di variabilità di alcune di queste, limitatamente ai terreni a grana fina, sono indicati in tabella 1.

Emerge che il contenuto naturale d'acqua varia all'incirca tra i medesimi valori ($0,05 \div 0,39$) nelle terre rosse LR, nelle sabbie limose calcarenitiche SLc e nelle argille del Flysch Numidico FN ed FNA. Nei terreni L ed SL la suddetta grandezza presenta valori più elevati e maggiormente dispersi ($10 \div 97\%$).

Nelle argille del Flysch Numidico w_n è sempre minore del limite di plasticità (figura 2); nei limi L, L_F (figura 3) e nei terreni sabbioso limosi SL, SLc (figura 4) è invece generalmente maggiore. Per i terreni L ed SL sono stati ottenuti valori del contenuto naturale d'acqua anche prossimi al limite di liquidità.

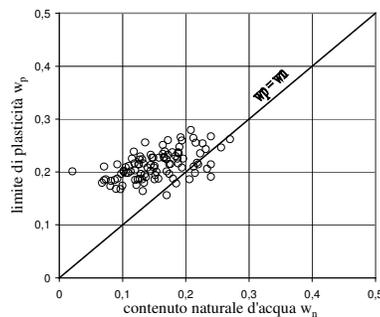


Figura 2. Terreni FN. Relazione tra limite di plasticità e contenuto naturale d'acqua

Sui terreni SL sono state effettuate numerose misure di w_n su campioni prelevati in due differenti zone della città (figura 5), distanti circa un chilometro. L'analisi dei risultati mostra che tale grandezza presenta un analogo andamento con la profondità e, a parità di profondità, valori confrontabili.

I valori del limite di liquidità w_L sono compresi negli intervalli $0,37 \div 0,85$ e $0,35 \div 0,57$, rispettivamente per i terreni L ed L_F. Per i terreni FN e FNA w_L mediamente assume il valore di 0,4.

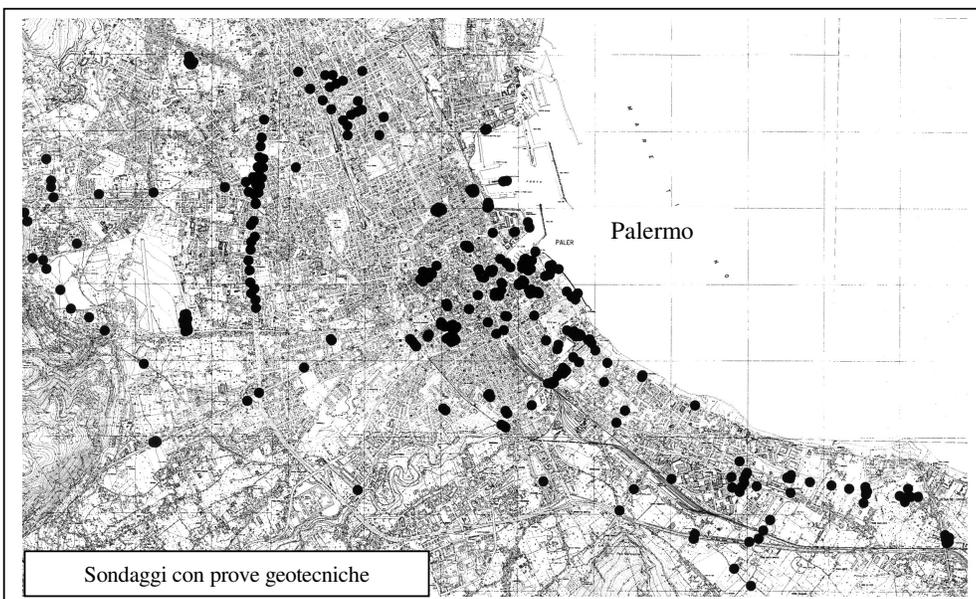
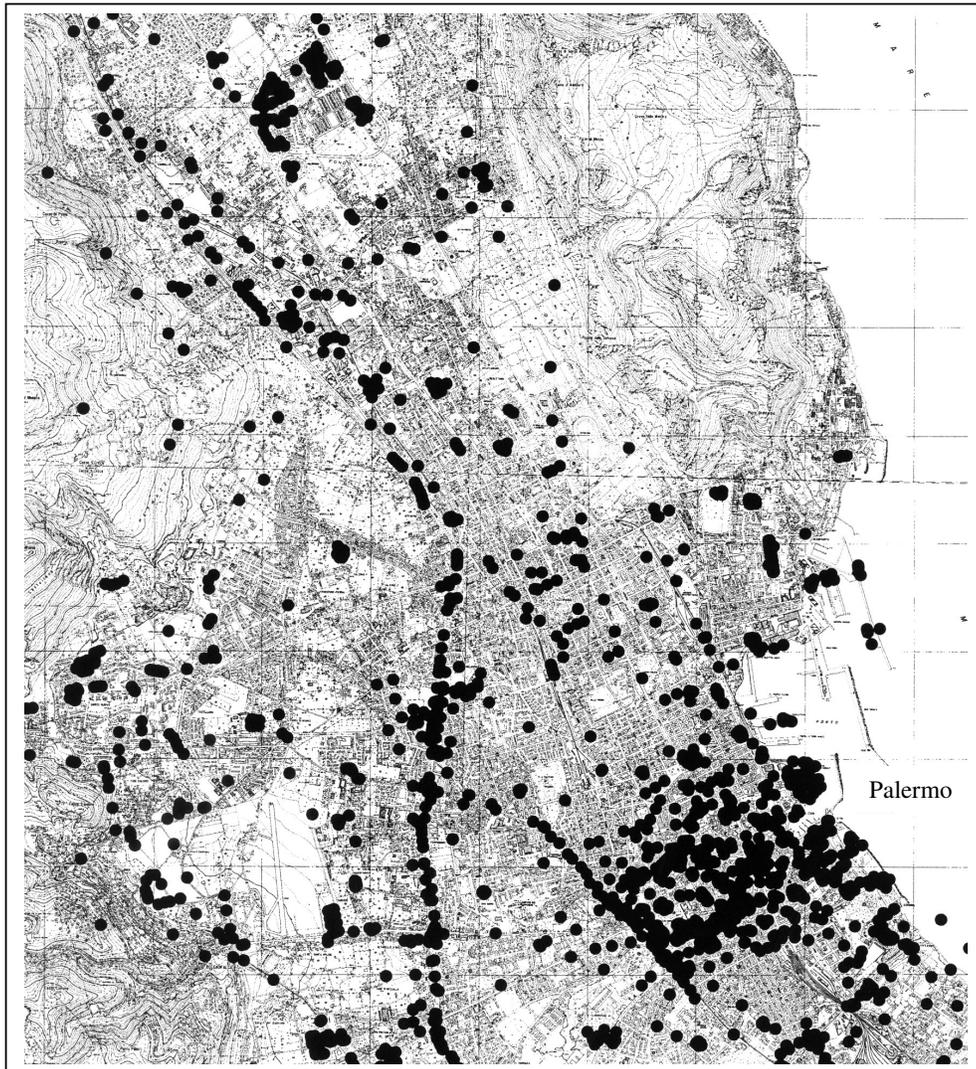


Fig 1. Distribuzione dei sondaggi nell'area urbana palermitana

Tabella 1 - Terreni a grana fina - Campi di variabilità di w_n , w_p , e w_L e della frazione argillosa ($\% d < 0,002$ mm) e numero dei dati

(n°)

Terreno	w_n	n°	w_p	n°	w_L	n°	% d < 0,002 mm	n°
LR	0,09 ÷ 0,38	48	0,14 ÷ 0,39	8	0,24 ÷ 0,71	10	5 ÷ 73 %	15
L	0,14 ÷ 0,91	230	0,17 ÷ 0,42	55	0,37 ÷ 0,85	55	29 ÷ 62 %	17
L _F	0,22 ÷ 0,41	80	0,16 ÷ 0,28	22	0,35 ÷ 0,57	23	25 ÷ 77 %	14
SL	0,10 ÷ 0,97	508	0,15 ÷ 0,34	76	0,18 ÷ 0,60	91	8 ÷ 52 %	38
SLc	0,05 ÷ 0,39	146	0,11 ÷ 0,26	20	0,23 ÷ 0,41	21	5 ÷ 37 %	31
FN	0,05 ÷ 0,39	147	0,16 ÷ 0,28	83	0,24 ÷ 0,68	82	6 ÷ 63 %	24
FNa	0,07 ÷ 0,39	106	0,14 ÷ 0,30	56	0,25 ÷ 0,71	56	10 ÷ 72 %	28

Sulla base delle carte di plasticità elaborate, un grado di plasticità medio basso caratterizza le argille del Flysch Numidico (figura 6) e le sabbie limose calcarenitiche, medio alto le sabbie limose (figura 7).

Si rileva inoltre che i terreni L ed L_F sono argille inorganiche di plasticità medio-alta (figura 8); tuttavia, alcuni punti sperimentali dei limi L ricadono nel campo dei limi inorganici e argille organiche.

Le carte di attività elaborate, riportate anch'esse nelle figure 7, 8 e 9, mostrano che tutti i terreni indagati sono caratterizzati da attività bassa o normale.

4.2 - Composizione granulometrica

E' stata analizzata la composizione granulometrica di 152 campioni prelevati nei terreni a grana fina.

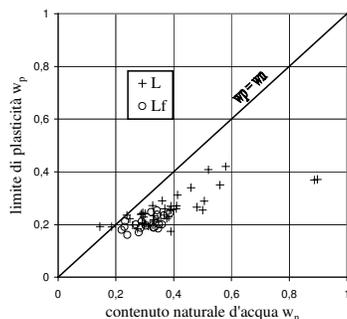


Figura 3. Terreni L, L_F. Relazione tra limite di plasticità e contenuto naturale d'acqua

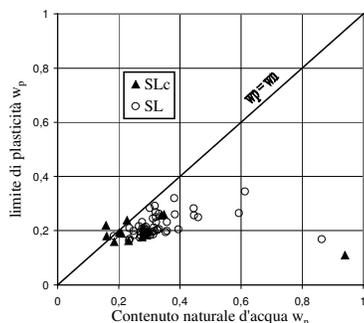


Figura 4. Terreni SLc, SL. Relazione tra limite di plasticità e contenuto naturale d'acqua

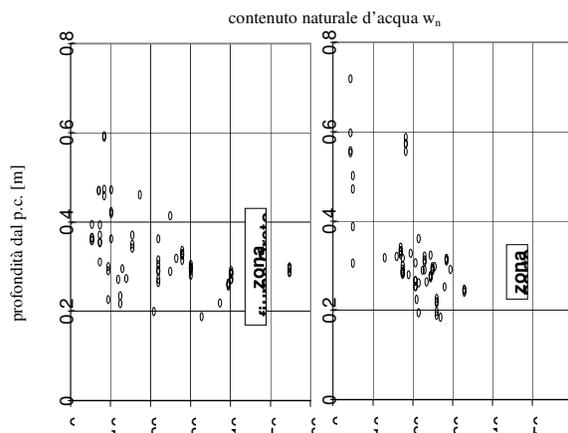


Figura 5. Terreni SL. Variazione del contenuto naturale d'acqua con la profondità dal p.c.

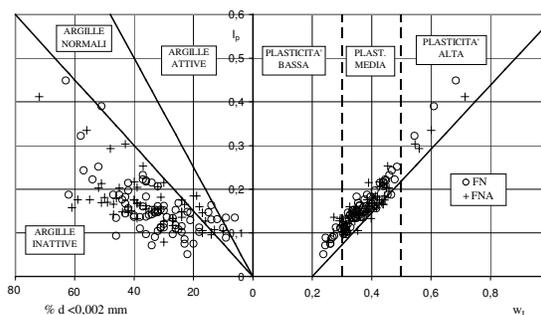


Figura 6. Carta di attività e carta di plasticità delle argille del Flysch Numidico

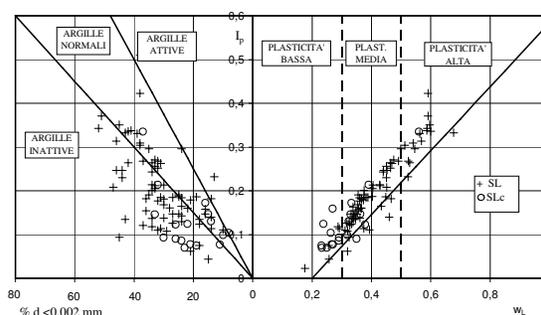


Figura 7. Carta di attività e carta di plasticità delle sabbie limose

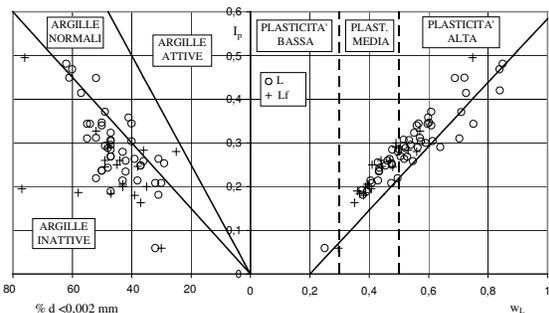


Figura 8. Carta di attività e carta di plasticità dei limi argillosi

Per quanto riguarda i limi argillosi L ed L_F (figura 9), la granulometria ricade in una fascia relativamente ristretta che va dall'argilla con limo al limo argilloso sabbioso, talora debolmente ghiaioso.

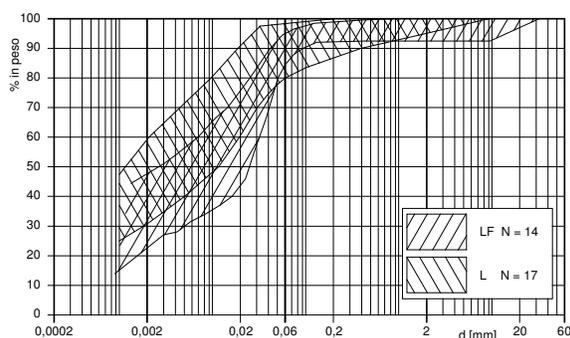


Figura 9. Granulometria dei limi argillosi

I terreni sabbioso limosi SL ed SL_C (figura 10) non differiscono apprezzabilmente nella composizione granulometrica. Si tratta sempre di sabbia con limo o limo con sabbia, con frazione argillosa che può variare tra l'8 % ed il 42 % e frazione ghiaiosa compresa nell'intervallo 0 % ÷ 37 %.

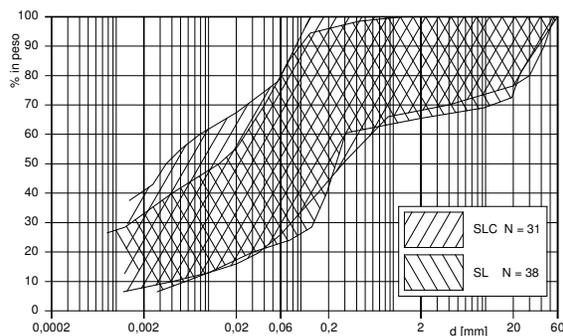


Figura 10. Granulometria delle sabbie limose

Dal punto di vista granulometrico, le argille del Flysch Numidico FNA, FN (figura 11) rientrano in un'ampia fascia, dall'argilla con limo alla ghiaia con sabbia argillosa limosa. La percentuale a volte notevole di ghiaia

(fino al 30 % per i termini FNA ed anche oltre il 40 % per FN) è dovuta alla particolare struttura caratterizzata dalla presenza di scaglie centimetriche a consistenza marnosa (Jappelli 1980), che spesso non si sciolgono operando con tecnica "standard".

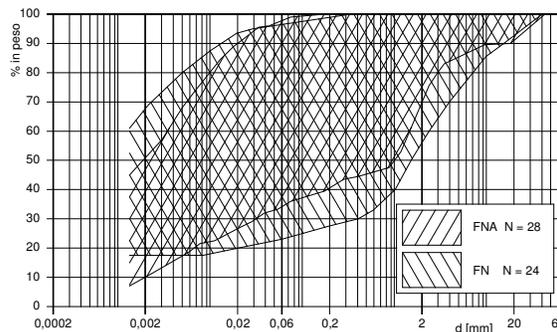


Figura 11. Granulometria delle argille del Flysch Numidico

4.3 - Resistenza al taglio

Al momento sono disponibili i risultati di 126 prove di taglio diretto consolidate drenate. Di queste, il 58 % sono state eseguite sui terreni sabbioso limosi SL, SL_C, il 32 % sui limi argillosi L, L_F, LR ed il 10 % sulle argille della formazione del Flysch Numidico.

I risultati forniti dalle prove sono riportati in tabella 2. Per tutti i terreni presi in esame si osserva un'elevata dispersione dei valori della coesione effettiva c' e dell'angolo d'attrito interno φ', sia a livello locale che a scala urbana.

Più specificatamente, per le sabbie limose SL e SL_C i valori della coesione ricadono tra 0 e 37 kPa, i valori dell'angolo d'attrito φ' nell'intervallo 19° ÷ 41°.

Dei due terreni esaminati, quello contraddistinto con la sigla SL_C (sabbia limosa, limo, limo sabbioso, limo argilloso sabbioso, di natura calcarenitica) è caratterizzato da valori di φ' sempre superiori a 26° e pertanto, in base ai dati ad oggi disponibili, appare presentare le migliori caratteristiche meccaniche. Il numero delle misure effettuate (12) è però, al momento, notevolmente inferiore al numero di quelle eseguite sui terreni SL (61). E' pertanto da verificare se la maggiore dispersione nei valori dell'angolo d'attrito interno mostrata dalle sabbie limose alluvionali SL sia una caratteristica di questi terreni o una conseguenza della maggiore abbondanza di dati.

Tabella 2. Terreni a grana fina - Campi di variabilità di c' e φ' e numero dei dati (n°)

Terreno	c' [kPa]	φ'	n°
LR	0 ÷ 23	23° ÷ 37°	6
L	0 ÷ 31	20° ÷ 33°	26
L _F	0 ÷ 28	22° ÷ 31°	8
SL	0 ÷ 30	19° ÷ 41°	61
SL _C	0 ÷ 37	26° ÷ 39°	12
FN	8 ÷ 49	15° ÷ 37°	12

Le prove di taglio diretto sui limi argillosi hanno fornito valori di coesione ed angolo di attrito ricadenti rispettivamente negli intervalli $0 \div 31$ kPa e $20^\circ \div 37^\circ$. In tale categoria di terreni sono stati distinti i termini L (limi alluvionali), L_F (limi grigio verdastri), LR (*terre rosse*) sui quali sono state eseguite 26, 8, 6 prove.

I valori dell'angolo di attrito di L ed L_F ricadono nel segmento inferiore del campo di variabilità (rispettivamente $\phi' = 20^\circ \div 33^\circ$; $\phi' = 22^\circ \div 31^\circ$). Come si vede (figura 12) i valori dei parametri di resistenza caratterizzanti i terreni L ed L_F presentano una alta dispersione. In particolare le numerose misure effettuate sui termini L, in una area molto circoscritta, in prossimità della foce del fiume Oreto, portano a concludere che tale dispersione è attiva anche a scala locale. Differentemente, l'esame delle curve granulometriche (v. figura 12) dei medesimi campioni evidenzia una sostanziale omogeneità delle caratteristiche granulometriche.

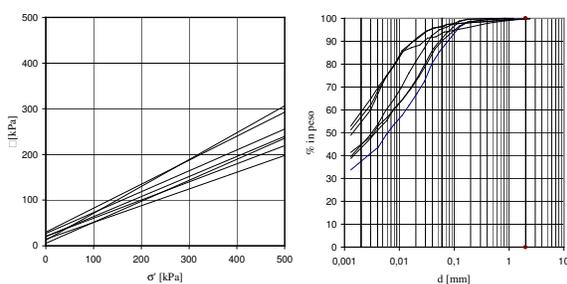


Figura 12. Resistenza al taglio e granulometria dei limi argillosi alluvionali L prelevati in prossimità della foce del fiume Oreto

Per le *terre rosse* LR, i valori di resistenza a taglio attualmente disponibili, sono relativi a campioni prelevati nel medesimo sito. I valori ottenuti (figura 13) per le suddette grandezze ricadono rispettivamente negli intervalli $0 \div 23$ kPa e $23^\circ \div 37^\circ$ mostrando un migliore comportamento di tali terreni rispetto agli altri due della classe.

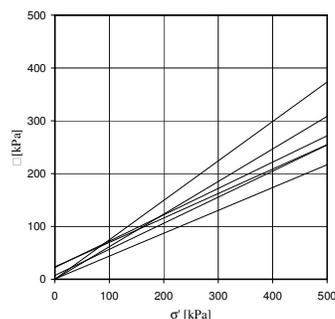


Figura 13. Resistenza al taglio delle terre rosse LR

La variabilità da punto a punto dei caratteri strutturali delle argille e la casualità dell'orientazione delle scaglie possono giustificare l'ampio campo di variabilità ottenuto nella formazione argillosa del Flysch Numidico per i

valori dei parametri di resistenza (Jappelli et al, 1979). In questo caso i campioni disponibili, in numero limitato, provengono da differenti zone della città.

4.4 - Resistenza a rottura delle rocce calcarenitiche

Sono stati esaminati i risultati di 130 prove di compressione monoassiale eseguite su campioni di calcarenite. La maggior parte delle prove (67 %) si riferisce a calcareniti a grana uniforme, fina e media CL; le rimanenti determinazioni a calcareniti fortemente cementate CFC (15 %), vacuolari CV(14 %) e nodulari CN (4 %).

L'analisi dei dati (figura 14) evidenzia una forte correlazione tra le caratteristiche fisiche e quelle meccaniche delle calcareniti (Arces et al., 1998; Valore C., 2000). I dati sperimentali si distribuiscono, infatti, secondo una funzione crescente ben interpolata dalla curva di equazione $y = 0,012e^{0,3425x}$. La resistenza a rottura σ_f va da pochi MPa ad oltre 50 MPa, con i valori più bassi per le calcareniti nodulari.

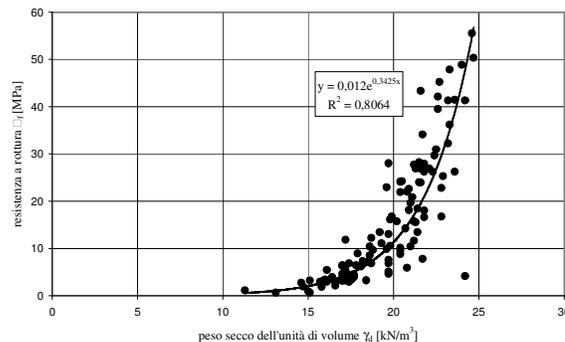


Figura 14. Calcareniti. Resistenza a compressione monoassiale σ_f in funzione del peso secco γ_d

5 – CONCLUSIONI

Viene per la prima volta eseguita una analisi, in ambiente GIS, delle proprietà geotecniche dei terreni ricadenti nell'area urbana palermitana. Scopi di ricerca, ma anche di prevenzione e mitigazione del rischio ambientale hanno suggerito tale analisi, che localmente raggiunge livelli di grande dettaglio.

L'area urbana palermitana è caratterizzata infatti da elevata vulnerabilità derivante da un alto grado di urbanizzazione, dalla molteplicità delle risorse e dalla presenza di molti dei fattori che producono instabilità del territorio: cavità di differente origine, eterogeneità laterali nelle successioni stratigrafiche idonee a produrre cedimenti differenziali ed effetti di sito. Questi ultimi, che comportano una amplificazione ed un allungamento della durata del segnale sismico, si attivano in presenza di consistenti spessori di terreni con proprietà meccaniche scadenti, quali depositi alluvionali e terreni di riporto. Questi tipi di terreni sono presenti in ampie zone dell'area urbana palermitana a causa dei corsi d'acqua che ricadono al suo interno.

L'analisi di dati geotecnici, supportata dagli strumenti in dotazione al GIS, può fornire importanti contributi alla elaborazione di carte di zonazione per alcuni fattori di rischio ed alla conseguente identificazione delle aree con maggiore esposizione al rischio.

La copertura attualmente non completa dell'area con dati geotecnici, i limiti intrinseci delle prove geotecniche e le ancora parziali elaborazioni condotte, non hanno ad oggi permesso il raggiungimento di tale obiettivo.

Il lavoro è in continua evoluzione poiché il sistema sviluppato, City-GIS, è in accrescimento dinamico anche grazie alle collaborazioni attivate con Istituzioni e con professionalità operanti sul territorio, particolarmente sensibili e interessate alle problematiche delle aree urbane.

Risultati parziali, ma significativi, sono stati già raggiunti e sulla base di essi è possibile trarre alcune conclusioni: 1) relativamente a ciascuna delle classi di terreni prese in considerazione, i valori delle caratteristiche fisiche mostrano una indipendenza dal punto di prelievo; 2) i limi argillosi e le sabbie limose hanno quasi sempre un valore del contenuto naturale d'acqua maggiore del limite di plasticità; 3) i parametri di resistenza al taglio dei terreni a grana fina presentano una notevole disomogeneità, con ampia dispersione dei valori; 4) le caratteristiche fisiche e i valori di resistenza a rottura delle calcareniti mostrano una correlazione diretta, descrivibile mediante una legge analitica, rispetto a cui i dati sperimentali presentano piccola dispersione.

Bibliografia

- Giammarinaro M.S., Maiorana S., 2001, *Una applicazione GIS sviluppata su un modello dei dati orientato ai tematismi della geologia urbana*, Atti 82° Congresso della Società Geologica Italiana, pp. 284-285
- Giammarinaro M.S., Guidoboni E., Maiorana S., Rovelli A., 2001, *A GIS system as a tool for the integrated analysis of geological data and seismic effects: historic centre of Palermo*, Proceedings "Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas" 2001, IEEE Catalog Number 01EX482, pp. 288-292
- Liguori V., Cusimano G., 1978, *Il sottosuolo della città di Palermo. Caratterizzazione geologica del centro storico*, Boll. Soc. Nat. Napoli, vol. 87, pp 289-319
- Giammarinaro M.S., Spotorno R., Sulli A., Catalano R., 1999, *Analisi litostratigrafica del sottosuolo del Centro Storico della città di Palermo finalizzata alla stima della pericolosità sismica dell'area*, Naturalista Sicil., S. IV, XXIII (3-4), pp. 335-337
- Giammarinaro M.S., Canzoneri V., Spotorno R., Sulli A., Catalano R., 2000, *Historical Centre of Palermo: effects of the lithotechnical successions on the bulk contribution to seismic response*, Mem.Soc. Geol. It., 55, pp. 439-447
- Di Stefano E., 1981, *Biostratigrafia a nannofossili e biocronologia del Siciliano nella località tipo di Ficarazzi (Palermo - Sicilia)*, Acta Naturalia de l'Ateneo Parmense, 17, pp 97-111
- Jappelli R., Cusimano G., Liguori V., Valore C., 1981, *Contributo alla conoscenza del sottosuolo della città di Palermo*, Atti della Riunione del Gruppo di Ingegneria Geotecnica del C.N.R., Roma 1981, pp 271-289
- C. Valore, 1983, *Near-surface underground constructions in mixed abruptly changing round*, V Int. Con. On Rock Mechanics, Melbourne 1983, pp C 287-294
- Canzoneri V., Giammarinaro M.S., Spotorno R., Sulli A., 1998, *Primi risultati sulla modulazione della pericolosità sismica nell'area del centro storico della città di Palermo indotta dal fattore litotecnico*, Atti del 79° Congresso della Società Geologica Italiana, Vol. A, pp.216-219
- Jappelli R., 1980, *Ministero dei Lavori Pubblici. Provveditorato Regionale alle Opere Pubbliche per la Sicilia Palermo. Piano di Bacino del fiume Salso. Legge 23 marzo 1973 n. 36. Vol. 5 Studio Geotecnico*, Studio 80 S.p.A., Catania
- Jappelli R., Liguori V., Umiltà G., Valore C., 1979, *A survey of geotechnical properties of a stiff highly fissured clay*, Proc. Int. Sym. The Geotechnics of Structurally Complex Formations Capri, Vol. II, pp. 91-106
- Arces M., Nocilla N, Aversa S., Lo Cicero G., 1988, *Geological and geotechnical features of the "Calcarenite di Marsala"*, Proc. the 2nd Int. Symp. on Hard Soils - Soft Rocks, Naples Italy, October 1998, Vol. I, pp 15-25
- C. Valore, 2000, *Additional contribution to report nr 2: The role of calcarenites in the urbanization of Palermo*, Proc. of the 2nd Int. Symp. on Hard Soils - Soft Rocks, Naples Italy, October 1998, Vol. III, pp 1269-1281

ABSTRACT

A GIS application, called City-GIS and developed on a data model oriented to the issues of the urban geology, has been developed at the Department of Geology and Geodesy of Palermo University for Palermo's urban area.

This application has been used to elaborate and file a database concerning about 100 series of geotechnical laboratory tests. The database can be visualized and queried on georeferenced cartography.

Examination of database and past geological and geotechnical studies on the area led to classify soils into seven classes.

Further geotechnical tests results permitted to individuate the range for index properties and shear strength for each of the seven classes.

Some conclusions can be drawn about the trend of geotechnical properties:

- 1) physical properties values of fine grained soils show a strong independence from the point of sampling;
- 2) mechanical properties of fine grained soils show a large unhomogeneity and wide dispersion of values;
- 3) a direct correlation between physical properties and uniaxial strength has been found, for calcarenites. This trend is well described with a mathematical law, as regard of which experimental data have a very little dispersion.

Moreover appears that clayey silts and silty sands have water content higher than plasticity limit, sometimes close to liquid limit.

Classificazione geotecnica dei terreni e delle rocce dell'area urbana di Palermo

TERRENO VEGETALE RIPORTO	R	Terreno di riporto - Frammenti di muratura e di laterizi, calcarenite, calcare, variamente e disordinatamente frammisti a limo, sabbia e ghiaia
	TV	Terreno vegetale marrone scuro
LIMO LIMO ARGILLOSO	LR	Limo sabbioso rossastro (<i>terre rosse</i>), con frammenti di calcarenite e terreno vegetale; $w_n \geq w_p$
	L_F	Limo argilloso ed argilla limosa, di colore grigio o grigio verdastro; $w_n \gg w_p$
	L	Limo, limo argilloso e limo debolmente sabbioso, alluvionale, dal grigio al giallastro, generalmente molle, $w_n \gg w_p$, con resti legnosi, torba, frustoli carboniosi e sostanza organica.
	LG	Limo ghiaioso alluvionale, poco consistente o molle, con sostanza organica e torba. $w_n \gg w_p$
SABBIA E SABBIA LIMOSA LIMO SABBISO	SL	Sabbia limosa e limo sabbioso di colore grigio o grigio verdastro, con frustoli carboniosi e sostanza organica, talora ricca di conchiglie; $w_n > w_p$
	SL_c	Sabbia limosa, limo, limo sabbioso, limo argilloso sabbioso, di natura calcarenitica, colore marrone-giallastro; $w_n \leq w_p$
	S	Sabbia alluvionale grigio scuro o giallastra, a grana fina o medio-fina, debolmente limosa Sabbia fina uniforme debolmente limosa, grigia o grigio-verdastra, talora ricca di conchiglie
	Sc	Sabbia giallastra calcarenitica: - intercalata ai termini CL in livelli regolari. - presente negli spazi internodulari delle calcareniti CN; - in forma di lenti
TERRENI A GRANA GROSSA	SG	Sabbia sciolta a grana grossa, con ghiaia a spigoli arrotondati di varia natura
	G	Ghiaia sciolta di varia natura a spigoli arrotondati, talora mista a sabbia limosa
	GH	Ghiaia a spigoli arrotondati di natura calcarea, arenacea o quarzarenitica
DETRITO	DT_{gf}	Detrito a grana fina.
	DT_{gg}	Detrito a grana grossa
FORMAZIONE ARGILLOSA DEL GINOLFO	FNA	Argilla alterata grigio-giallastra, con patine di ossidazione ocracee; $w_n \leq w_p$
	FN	Argilla ed argilla marnosa di colore grigio scuro, generalmente dura o molto consistente, $w_n \ll w_p$, con frequenti giunti verticali Struttura brecciata o finemente scagliettata.
FORMAZIONI LAPIDEE	C	Calcare dolomitico, calcilutite, breccie di scogliera
	RA	Radiolariti.
	Q	Quarzareniti durissime, in banchi o blocchi.
	CFC	Calcarenite fortemente cementata, in livelli di spessore generalmente inferiore al m
	CV	Calcarenite vacuolare e breccia conchigliare, da debolmente cementata a ben cementata, con distribuzione irregolare del cemento
	CL	Calcarenite a grana uniforme fina e media, da friabile a ben cementata, di colore variabile dal giallastro al biancastro al grigio, porosa, talora vacuolare
	CN	Calcarenite a forma di noduli (ossa) di materiale fortemente cementato, con spazi internodulari parzialmente o completamente riempiti di sabbia; colore giallastro
	CG	Conglomerati ben cementati
	TVR	Travertino vacuolare, grigio-giallastro