

COSTRUZIONE DI UN DATA BASE PER L'ANALISI E LA PREVISIONE DEI DISSESTI IDROGEOLOGICI IN AREA URBANA: UN ESEMPIO NELL'AREA DI NAPOLI (ITALIA)

A DATABASE AS A TOOL FOR ANALYSIS AND PREVENTION OF HYDROGEOLOGICAL INSTABILITY EVENTS IN AN URBAN AREA: AN EXAMPLE IN THE NAPLES AREA (ITALY)

INES ALBERICO(*), MASSIMO RAMONDINI(**) & GIANCARLO ZITO(**)

(*) Università degli Studi di Napoli Federico II - C.I.R.A.M. Via Mezzocannone 16 - 80134 Napoli, Italy - e-mail: ialberic@unina.it

(**) Università degli Studi di Napoli Federico II - Dipartimento di Ingegneria Geotecnica - Via Claudio, 21 - 801254 Napoli, Italy

RIASSUNTO

Nella presente nota viene proposta, per l'area del comune di Napoli, una metodologia di lavoro utile per lo studio della pericolosità dovuta ad eventi di dissesto idrogeologico (DI).

Dall'analisi dei dati raccolti (circa 900 sondaggi, 600 Cone Penetration Test, climatici, e circa 4500 dissesti) è emerso un incremento limitato nel tempo di avvallamenti e cedimenti (AC), smottamenti e voragini (SV) e dissesti ai muri di sostegno (DM), nel caso di eventi meteorici intensi e di breve durata; ed un incremento di AC, SV protratto nel tempo, nel caso di eventi meteorici intensi e di lunga durata.

L'estesa diffusione del deposito "Riporto Antropico", nei primi 5 m di profondità dal piano campagna, ha attenuato il contributo del dato litologia e delle caratteristiche meccaniche dei terreni (i profili penetrometrici medi, mostrano valori di resistenza alla punta piuttosto costanti) come fattori d'innesco degli eventi di DI.

Le aree più vulnerabili, contraddistinte da circa il 62% di AC e SV, presentano una rete promiscua e pluviale incapace di sopportare il carico delle piogge prodotte da eventi meteorici intensi e/o protratti nel tempo. La distribuzione dei DM, circa il 10% del totale dei dissesti, risulta invece influenzata principalmente dalla naturale distribuzione di questa opera in aree contraddistinte da depositi piroclastici incoerenti e da pendenze medio-alte.

TERMINI CHIAVE: pericolosità urbana, G.I.S., database, CPT, sondaggio, pluviometria, dissesto idrogeologico

INTRODUZIONE

La quantificazione del rischio idrogeologico per i grandi e piccoli centri (aree urbane e metropolitane) è divenuto argomento di interesse scientifico a causa del crescente numero di eventi calamitosi verificatisi negli ultimi anni (le grosse voragini di Secondigliano e Miano a Napoli nel 1996, le colate di fango di Sarno e Cervinara del 1998).

Nelle aree urbane la definizione del rischio idrogeologico è complicata in quanto l'evento (pericolosità) è condizionato dall'interazione tra fattori naturali (l'incremento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorici, la natura geologica, le caratteristiche meccaniche dei terreni ed i fattori morfologici locali) e l'attività antropica.

ABSTRACT

A methodological approach for the assessment of hydrogeological instability events (HIEs) in the Napoli municipality area is proposed. The statistical analysis of collected data (about 900 drill holes, 600 Cone Penetration Test (CPT), climatic data and about 4500 HIEs) has shown: a) an increase in hollow and sinking (HS), deep hollow and deep sinking (DHS) as well as instability events concerning supporting wall (IEW) limited over short time, in case of intense but short rainfall; b) an increase of HS and DHS extended in time, in case of intense and protracted rainfall.

The wide spatial distribution of the Anthropoc Reworked Material, in the first 5 meters depth, reduced the effects of the other deposits and of their mechanical features (the mean CPT profiles show a quite variable resistance value q_c) on the occurrence of the HIEs.

The HS and DHS (about 62% of total instability events) occur in areas characterized by the presence of drain-sewer net and pluvial net that carry the water volume produced during intense and protracted rainfall, while the IEW (representing about 10% of total instability events) occurs mainly in areas characterized by unwelded pyroclastic deposits and medium-high slopes.

KEY WORDS: urban hazard, G.I.S., database, Cone Penetration Test (CPT), drill-hole, pluviometric data, hydrogeological instability events

INTRODUCTION

In the last years hydrogeological hazard and risk assessment for urban areas has represented one of the main goals of the scientific community as a consequence of the progressive increase of hydrogeological instability events (deep sinking occurred in Naples 1996, the mud flows occurred in Sarno and Cervinara Campanian municipalities in 1998).

In the urban areas hydrogeological risk assessment is very difficult to detect because it depends on the complex interaction between natural factors (frequency and intensity of rainfall events, lithology, morphophogy, geotechnic, hydrology) and anthropic

Il rischio può essere quantificato utilizzando la seguente relazione (VARNES, 1984; CNR-GNDICI, 1995):

$$R(X,I) = P(I) \times V(X,I) \times E(X)$$

dove:

X = elemento o insieme di elementi colpiti da un evento dannoso;

I = intensità dell'evento dannoso;

R = rischio, è il numero di perdite umane, feriti, danni alle proprietà, riduzione o interruzione di attività economiche in conseguenza di un fenomeno pericoloso;

P = pericolosità, cioè probabilità di accadimento di un evento dannoso in un dato periodo di tempo e in una determinata area con una intensità I;

V = vulnerabilità, cioè propensione dell'elemento X presente in una determinata area a sopportare le sollecitazioni di un evento dannoso di data intensità I;

E = valore esposto, esposizione del territorio ovvero valore degli elementi X (popolazione, proprietà, attività economiche, servizi pubblici) espresso in numero di unità, valore economico, livello di qualità che sono investiti dall'evento dannoso in una determinata area.

Da tali definizioni emerge che il rischio può essere mitigato o prevenuto sia attraverso azioni di cosiddetta difesa passiva [utilizzate per mitigare gli effetti derivanti dall'accadimento di un evento di dissesto geologico (DI)] che di difesa attiva (finalizzate ad impedire l'accadimento di eventi di DI) tuttavia entrambi i tipi di azioni richiedono la conoscenza della pericolosità dovuta al DI.

La mappa di hazard da eventi di DI permette infatti di conoscere le condizioni di pericolosità in cui versa il territorio e costituisce un valido supporto per le Autorità preposte alla difesa e alla pianificazione.

In sintesi, la presente ricerca ha avuto come scopo di pervenire ai seguenti obiettivi:

- analisi e classificazione dei dissesti idrogeologici verificatisi nel periodo 1986–2001 (fig.1);
- implementazione del database "Geocity" con nuovi dati (geomorfologici, geotecnici, climatici, morfologici, sistema fognario);
- definizione dei fattori naturali ed antropici responsabili dei dissesti idrogeologici che si verificano nei primi 5 m di profondità dal piano campagna (p.c.);
- elaborazione di carte tematiche relative alla distribuzione spaziale dei dati ritenuti possibile causa di eventi di DI: zonazione geotecnica basata su prove CPT, densità dei sondaggi, densità delle prove CPT, densità dei DI, distribuzione e frequenza delle principali litologie incontrate nei primi 5 m dal p.c.;
- elaborazione di una prima carta di hazard connessa a DI.

LA RACCOLTA DEI DATI

La città di Napoli è stata interessata periodicamente da dissesti riconducibili a problematiche di natura idrogeologica, che spesso hanno provocato danni ingenti alle infrastrutture (muri, strade, edifici, reti idrauliche interrate) ed in alcuni casi vittime umane

activities.

The risk may be quantified by using the following relationship (VARNES, 1984; CNR-GNDICI, 1995):

$$R(X,I) = P(I) \times V(X,I) \times E(X)$$

where:

X = element subjected to hazardous event;

I = intensity of hazardous event;

P = hazard, probability that a certain area within a time period will be affected by a certain phenomenon;

V = vulnerability, measure of the fraction of the value, which is likely to be lost as a result of a given event;

E = element at risk, and includes population, property, economic activity, public services, and so on, that are threatened by the event.

This formula shows that the hydrogeological risk can be reduced by means of passive action [used in order to mitigate the effects related to the occurrence of hydrogeological instability events (HIEs)] or proactive action (used in order to prevent the occurrence of HIEs), but both actions can be applied when the hazard due to the HIEs is well known.

In fact, the HIEs hazard map makes it possible to recognize the current hazard conditions and so represents a very useful tool for Local Authorities and Territorial Agencies that deal with territorial planning and intervention.

To summarize, the present research focused on the following main topics:

- analysis and classification of HIEs, occurring between 1986-2001 (fig.1);
- implementation of Geocity database (ALBERICO *et alii*, 2005) with new types of data (geomorphological, geotechnical, climatic, morphological, city sewer system);
- definition of possible natural and anthropic (city sewer system) factors triggering the HIEs that occurred in the first 5 meters depth from the field plain;
- development of thematic maps showing the features of all potential triggering factors: geotechnical zoning based on Cone Penetration Test (CPT), drill holes density map; CPT density map; hydrogeological instability events density map, distribution and frequency map of the main deposits recognized in the first 5 m depth b.g.l.;
- development of hazard thematic maps through the use of GIS software.

DATA COLLECTION

In the city of Napoli, periodically HIEs produced high number of damages to public and private buildings, to the city sewer system and sometimes human victims (EVANGELISTA *et alii*, 2002). The high frequency of these events, during winter 1996-1997, has suggested to

A DATABASE AS A TOOL FOR ANALYSIS AND PREVENTION OF HYDROGEOLOGICAL INSTABILITY EVENTS IN AN URBAN AREA:
AN EXAMPLE IN THE NAPLES AREA (ITALY)

		CAUSES																			
		A / AC		AN / NR		DC / IIC		I / WI		P / R		IEWCSS		IEBCSS		V / VE		NI			
		N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%		
AI	FI	525	12	0	0,0	6	1,14	0	0	5	1,0	58	11,0	177	34	243	46,3	0	0,0	36	7
AC	HS	1239	28	63	5,1	0	0	8	1	58	4,7	176	14,2	241	19	320	25,8	0	0,0	373	30
C	RF	103	2	4	3,9	0	0	1	1	0	0,0	22	21,4	0	0	1	1,0	1	1,0	74	72
DC	IEC	49	1	0	0,0	0	0	0	0	6	12,2	1	2,0	8	16	17	34,7	0	0,0	17	35
DF	IEF	201	5	8	4,0	0	0	1	0	11	5,5	13	6,5	44	22	70	34,8	0	0,0	54	27
DM	IEW	462	10	2	0,4	0	0	1	0	7	1,5	117	25,3	34	7	40	8,7	10	2,2	251	54
F	L	268	6	4	1,5	0	0	0	0	0	0,0	73	27,2	4	1	3	1,1	0	0,0	184	69
S	VSS	81	2	8	9,9	0	0	0	0	0	0,0	20	24,7	4	5	4	4,9	0	0,0	45	56
SV	DHS	1512	34	62	4,1	1	0,07	25	2	65	4,3	223	14,7	263	17	359	23,7	1	0,1	513	34
Tot		4440		151	3,4	7	0,16	36	0,01	152	3,42	703	15,8	775	17,5	1057	23,8	12	0,27	1547	34,8

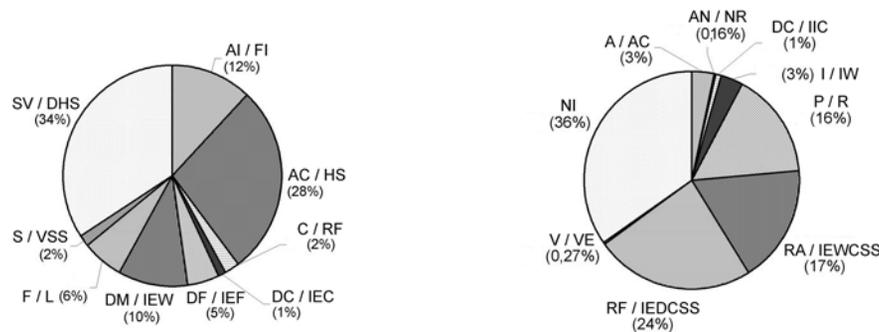


Fig. 1 - Distribuzione percentuale delle tipologie dei dissesti e relative cause. Per i codici vedi la tabella 1
- Frequency distribution of hydrogeological instability event classes and their causes. For code see caption to table 1

(EVANGELISTA *et alii*, 2002). A partire dall'inverno 1996-97, la frequenza di tali fenomeni e l'entità dei danni conseguenti ha suggerito di affrontare in maniera più organica gli studi e le ricerche sull'argomento attraverso l'istituzione di un Comitato Tecnico a supporto del Commissario Delegato dal Ministro dell'Interno "per gli interventi di emergenza connessi al consolidamento del sottosuolo e dei versanti della città di Napoli", con l'ambiziosa finalità di formulare un piano organico di interventi di prevenzione e salvaguardia ed indicarne la priorità di attuazione.

Per individuare, in prima analisi, le zone del comune di Napoli esposte a rischio, per l'occorrenza di eventi di DI, sono state analizzate sia la causa d'innescò che la tipologia degli eventi verificatisi in passato (come indicato dal D.P.C.M. 180/98). Si è quindi cercato di individuare una relazione tra i dissesti registrati e le relative cause, e di collegare questa relazione alle caratteristiche del sottosuolo, al fine di individuare le situazioni di maggior pericolosità.

La prima fase del lavoro è consistita nella individuazione e nella successiva raccolta dei dati. Questi sono stati raggruppati in tre grosse categorie:

- dati sul sottosuolo (litologia, geotecnica);
- idrologia e morfologia dell'area di studio;
- dati sui dissesti verificatisi in passato (tipologia, ubicazione, eventuali cause).

In particolare il modello geologico del sottosuolo relativo ai primi 5 m di profondità dal p.c. è stato realizzato utilizzando i dati registrati nel database implementato presso il Centro Interdipartimentale di Ricerca Ambiente (C.I.R.A.M.) (ALBERICO *et*

Dissesti		Cause	
Categoria	Codice	Categoria	Codice
Allagamenti ed infiltrazioni	AI	Azione antropica	A
Avvallamenti e cedimenti	AC	Esondazione alveo naturale	AN
Crolli in costoni lapidei	C	Dissesto in cavità	DC
Dissesto in cavità	DC	Infiltrazione d'acqua	I
Dissesto in fondazione	DF	Pioggia	P
Dissesto a muro di sostegno	DM	Dissesto rete idrica	RA
Frana in rocce sciolte	F	Dissesto rete fognaria	RF
Smottamenti	S	Azione della vegetazione	V
Sprofondamenti e voragini	SV	Non indicata	NI

Tab. 1 - Dissesti e relative cause

HYDROGEOLOGICAL INSTABILITY EVENT		Causes	
Type		Type	Code
Floodings and infiltrations	FI	Anthropic activity	AC
Hollow and sinking	HSS	Overflowing from natural river	NR
Rock fall	RF	Instability event in cavity	IIC
Instability event in cavity	IEC	Water infiltration	WI
Instability event in foundation	IEF	Rainfall	R
Instability event to supporting wall	IEW	Instability event to white city sewer system	IEWCSS
Landslide	L	Instability event to dark city sewer system	IEDCSS
Shallow landslide	VSS	Vegetation effect	VE
Deep hollow and deep sinking	DHS	Not indicated	NI

Tab. 1 - Hydrogeological instability events and their causes

approach this topic systematically through the institution of a Technical Committee in support to the activity of the Delegated Commissary of Minister of the Interior.

The factor triggering the HIEs and the location of the historical events (as reported by D.P.C.M. 180/98) represented the primary data used to identify, areas with the highest hazard value in the Napoli municipality. Therefore, in the present study the relationship between HIEs and their relative causes, and also between the HIEs and the triggering factors (geological and geotechnical features, rainfall, city

alii, 2005), nel quale sono registrati circa 900 stratigrafie opportunamente interpretate sulla base delle conoscenze consolidate nella letteratura scientifica (SCHERILLO & FRANCO, 1967; DI GIROLAMO *et alii*, 1984; ROSI & SBRANA, 1987; BELLUCCI, 1994; RUSSO *et alii*, 1998).

I dati sulla morfologia sono stati estratti da un dettagliato modello digitale del terreno (ALBERICO *et alii*, 2005), ricavato dai dati contenuti nella cartografia tecnica del Comune di Napoli in scala 1:1.000.

I dati sulla resistenza meccanica dei terreni in termini di angolo di attrito efficace, sono stati dedotti dall'analisi di circa 600 profili penetrometrici realizzati negli ultimi 20 anni (GROSSO CIPONTE, 2003), tarati sui sondaggi stratigrafici disponibili (Fig.2); tale indagine è molto diffusa nei terreni piroclastici presenti nel sottosuolo della città di Napoli, in quanto non permettono il prelievo di campioni da testare in laboratorio.

I dati sui dissesti sono stati raccolti presso il comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Napoli, dove sono state analizzate le schede redatte per ciascuno degli interventi effettuati sul territorio comunale, relative al periodo compreso tra gennaio 1986 e dicembre 2002; tra le 27000 schede esaminate, ne sono state selezionate circa 4440, individuando per ciascuna di essa la tipologia di dissesto, le relative cause (Tab. 1), e la relativa ubicazione (ZITO, 2003) (val la pena osservare che, in media, al comando di Napoli vengono richiesti 15000 interventi l'anno, che vanno dall'apertura della porta di casa a seguito di smarrimento delle chiavi alla gestione di disastri con perdite di vite umane. Di questi, circa 1500-2000 sono di importanza tale da richiedere la comunicazione ad altri Enti a mezzo fonogramma. La ricerca è stata effettuata con riferimento a questi ultimi).

I dati sulla rete drenante-fognante, classificata in cinque destinazioni d'uso (separata, alveo naturale, fecale, pluviale e promiscua) sono stati messi a disposizione, già in formato numerico, dall'Ufficio Difesa del Suolo del Comune di Napoli.

DATABASE

I dati di base utilizzati per la valutazione della pericolosità del territorio napoletano sono stati integrati nel database GEOCITY (Alberico *et alii*, 2005) sviluppato sia per una ricostruzione delle principali unità stratigrafiche, presenti nel sottosuolo dell'area urbana del Comune di Napoli, che per lo studio dell'hazard geologico. In particolare il modello entità-relazione di GEOCITY, rinominato come HAZCITY, è stato integrato con altre quattro entità denominate: *cpt*, *cpt-qc*, dissesto idrogeologico, dati-clima (Fig. 3).

La tabella *cpt* contiene i dati relativi alle campagne di prove CPT, effettuate nell'ambito del territorio comunale, i suoi campi principali sono:

codice-*cpt*, è un codice univoco che costituisce la chiave primaria della tabella;

codice-nativo, registra la denominazione delle prove *cpt* così come riportate nei documenti originali;

sewer system condition) has been analysed.

The first step of the present research focused on data collection, namely in the follow three main groups :

- subsurface data (lithology, geotechnical features of sediments)
- hydrogeological and geomorphological data;
- historical data (type of events, location, causes).

In detail, 900 drill-holes recorded in the "Geocity" database, implemented in the last 10 years at Centro Interdipartimentale di Ricerca Ambiente C.I.R.A.M. (ALBERICO *et alii*, 2005), and interpreted according to the recent literature (SCHERILLO & FRANCO, 1967; DI GIROLAMO *et alii*, 1984; ROSI & SBRANA, 1987; BELLUCCI, 1994; RUSSO *et alii*, 1998) were used to reconstruct the geological subsurface of the first five meters depth b.g.l.

The morphology data, used to define the slope classes, characterizing the studied area, were recorded in a detailed digital elevation model derived from the Technical Cartography of the Napoli area at scale 1:1.000 (ALBERICO *et alii*, 2005).

About 600 penetrometric profiles, realised in the last 20 years, (GROSSO CIPONTE, 2003) interpreted using the available drill-holes stratigraphy data, were used to obtain information on the mechanical terrain resistance (Fig.2). This analysis is mainly used for pyroclastic deposits, occurring in the subsurface of the city of Napoli, where the occurrence of coarse-grain size does not allow to sample for laboratory analysis.

The hydrogeologic instability events data, spanning the interval between January 1986 and December 2002, come from the archives of the Fireman of Napoli; about 4440 events were analysed and for each one the type, cause of event (Tab. 1) and location was defined (ZITO, 2003).

DATABASE

The GEOCITY database (Alberico *et alii*, 2005) was developed to define the main stratigraphic units buried in the subsurface of Napoli municipality area and to study the geological hazard, has been integrated with the subsurface and historical data and successively renamed as HAZCITY. These data, shown in the entity-relation model (Fig. 3), have been organised in four entities labelled: "*cpt*", "*cpt-qc*", "hydrological instability events", "climate_data".

The *cpt* table records the data related with the CPT survey. Its main fields are:

cpt-cod, a primary key;

raw_cod, original code used to link the data recorded in the database with the original reports;

x coord, *y coord*, coordinates used to define the "CPT" location.

The *cpt- qc* table records the information of each CPT. Its main fields are:

A DATABASE AS A TOOL FOR ANALYSIS AND PREVENTION OF HYDROGEOLOGICAL INSTABILITY EVENTS IN AN URBAN AREA:
AN EXAMPLE IN THE NAPLES AREA (ITALY)

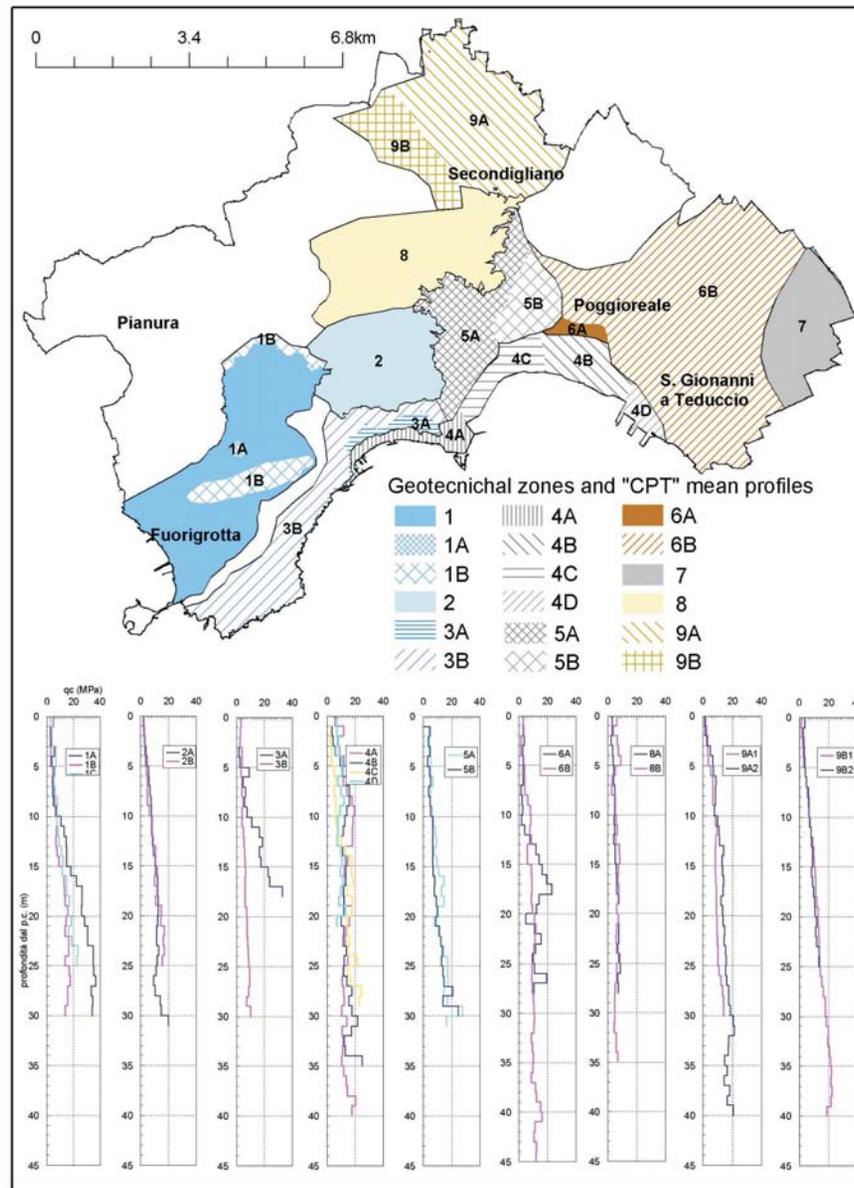


Fig. 2 - Zonazione geotecnica del Comune di Napoli basata dai risultati delle CPT
- Geotechnical zoning of Napoli municipality area based on Cone Penetration Test

- x coord, ycoord, contiene le coordinate di ubicazione delle prove cpt;
- la tabella cpt_ qc contiene le informazioni relative alle singole prove cpt quali:
 - codice-qc, contiene un codice univoco che costituisce la chiave primaria della tabella;
 - codice-cpt, è la chiave esterna alla tabella cpt;
 - resistenza-qc, registra i valori di resistenza alla punta misurati dal penetrometro.
 - profondità, contiene i dati sulla profondità progressiva a cui sono state effettuate le prove di resistenza.
- qc- cod, a primary key;
- cpt-cod, a foreign key used to link this table with the "CPT table";
- depth, records the depth of each "CPT";
- qc_data, records the resistance value of each "CPT".
- The hydrological instability events record the raw data reported in the documents of National Fire Department. Its main fields are:
 - raw-code-event, a primary key;
 - event-type, records the description of each hydrogeological instability events;
 - event-code, a foreign key used to link this table with the unstructured dictionary (GILES *et alii*, 1997) containing all the possible

La tabella dissesto idrogeologico contiene i dati registrati nei fonogrammi dei Vigili del Fuoco; i suoi campi principali sono:

- codice-fono, contiene un codice univoco che costituisce la chiave primaria di questa tabella;
- tipologia di dissesto, riporta la descrizione del dissesto idrogeologico così come indicato nei fonogrammi dei Vigili del Fuoco;
- codice-dissesto, costituisce una chiave esterna ad un dizionario non strutturato (GILES *et alii*, 1997) in cui sono indicate tutte le tipologie di dissesti verificatesi nell'area di studio;
- codice-causa, costituisce una chiave esterna ad un dizionario non strutturato (GILES *et alii*, 1997) in cui sono indicate tutte le tipologie di cause possibili;

cod_sondag, è la chiave esterna alla tabella drill_hole.

La tabella dat_clima, raccoglie i dati delle precipitazioni degli ultimi 20 anni riportati negli annali idrologici con riferimento alle stazioni di Napoli.

La chiave primaria delle tabelle *cpt*, *cpt_qc*, *dissesto idrogeologico* è un numero strutturato costituito rispettivamente da cinque, otto e sei caratteri:

- nella tabella *cpt* i primi due caratteri della chiave primaria costituiscono l'identificativo della circoscrizione, mentre i successivi tre caratteri individuano la singola prova CPT;
- nella tabella *cpt-qc* i primi due caratteri della chiave primaria costituiscono l'identificativo della circoscrizione, i successivi tre caratteri individuano la singola prova CPT; e gli ultimi tre caratteri individuano i singoli intervalli a cui è stata misurata la resistenza alla punta del penetrometro (Tab. 2a);
- nella tabella *dissesto idrogeologico* i primi due caratteri della chiave primaria costituiscono l'identificativo della circoscrizione, i successivi due caratteri individuano il tipo di dissesto idrogeologico e le ultime tre cifre individuano il singolo dissesto.

Per le nuove entità contenute nel database HAZCITY sono state utilizzate delle liste di domini (un insieme di valori in cui è contenuto ogni singolo valore presente nei campi del database) implementate come dizionari non strutturati (GILES *et alii*, 1997) in modo da poter effettuare dei cambiamenti senza invalidare i dati precedentemente inseriti, mentre sono stati usati intervalli di domini per i dati attributo (Tab. 2b).

L'integrità del database HAZCITY è garantita dall'applicazione della regola di distinguibilità delle occorrenze per ogni entità attraverso l'uso della chiave primaria (Fig.3) e le regole di consistenza attraverso l'uso della chiave esterna.

- hydrogeological instability events occurring in the study area;
- cause-code, a foreign key used to link this table with the unstructured dictionary (GILES *et alii*, 1997) containing all the possible causes which trigger the hydrogeological instability events;
- drill-hole-code, a foreign key used to link this table with the drill_hole table.

The climate_data table records the rainfall data of the last 20 years, recorded by the meteorological stations, located in the studied area and reported in the hydrological annals.

The primary key of *cpt*, *cpt_qc* and *hydrogeological instability events* tables is a structured number constituted respectively by five, eight and six characters:

- in the *cpt* table, the first two characters of primary key represent a code to identify the districts, while the next three characters represent a code to identify the single "CPT";
- in the *cpt_qc* table, the first two characters of primary key represent a code to identify the districts, the next three characters identify the CPT and each of the last three identify the depth interval where the terrain resistance was measured (Tab. 2a);
- in the *hydrogeological instability events* table, the first two characters of primary key represent a code to identify the districts, the next two characters identify hydrogeological instability events classes and the last three characters identify the single hydrogeological instability event.

For new entities, registered in the database HAZCITY, the list domain (a set of values which contains all the possible values listed in the table) implemented as unstructured dictionary, has been used (GILES *et alii*, 1997) because changes can be done without affecting previous entries, while only for the attributes data a range domain was used (Tab. 2b).

The HAZCITY integrity is guaranteed by following distinguishing rules of each entity occurrence, through a primary key (Fig. 3)

Codice circoscrizione	Codice "CPT"	Resistenza "qc"
10	001	001
10	001	002
10	001	003
10	002	001
10	002	002
10	002	003
10	002	004
10	002	005
10	002	006
10	003	001
10	003	002

(a)

Codice dissesto	Descrizione
AC	Avvallamenti e cedimenti
AI	Affollamenti ed infiltrazioni
C	Crollo in roccia
DC	Dissesto in cavità
DF	Dissesto in fondazione
DM	Dissesto a muro di sostegno
F	Frana
S	Smottamento
SV	Sprofondamento e voragine

(b)

Tab. 2 - a) Esempio di numero strutturato utilizzato come chiave primaria nella tabella "cpt"; b) esempio di dizionario non strutturato elaborato per la tabella "causa dissesti"

District code	CPT code	Resistance "qc"
10	001	001
10	001	002
10	001	003
10	002	001
10	002	002
10	002	003
10	002	004
10	002	005
10	002	006
10	003	001
10	003	002

(a)

Hydrogeological instability event code	Description
SS	Hollow and sinking
FI	Flooding and infiltration
RF	Rock fall
IEC	Instability event in cavity
IEF	Instability event in foundation
IEW	Instability event to supporting wall
L	Landslide
SL	Shallow landslide
DSS	Deep hollow and deep sinking

(b)

Tab. 2 - a) Example of structured number used as primary key in the "cpt" table; b) example of unstructured dictionary describing the main causes of hydrogeological instability events

A DATABASE AS A TOOL FOR ANALYSIS AND PREVENTION OF HYDROGEOLOGICAL INSTABILITY EVENTS IN AN URBAN AREA:
 AN EXAMPLE IN THE NAPLES AREA (ITALY)

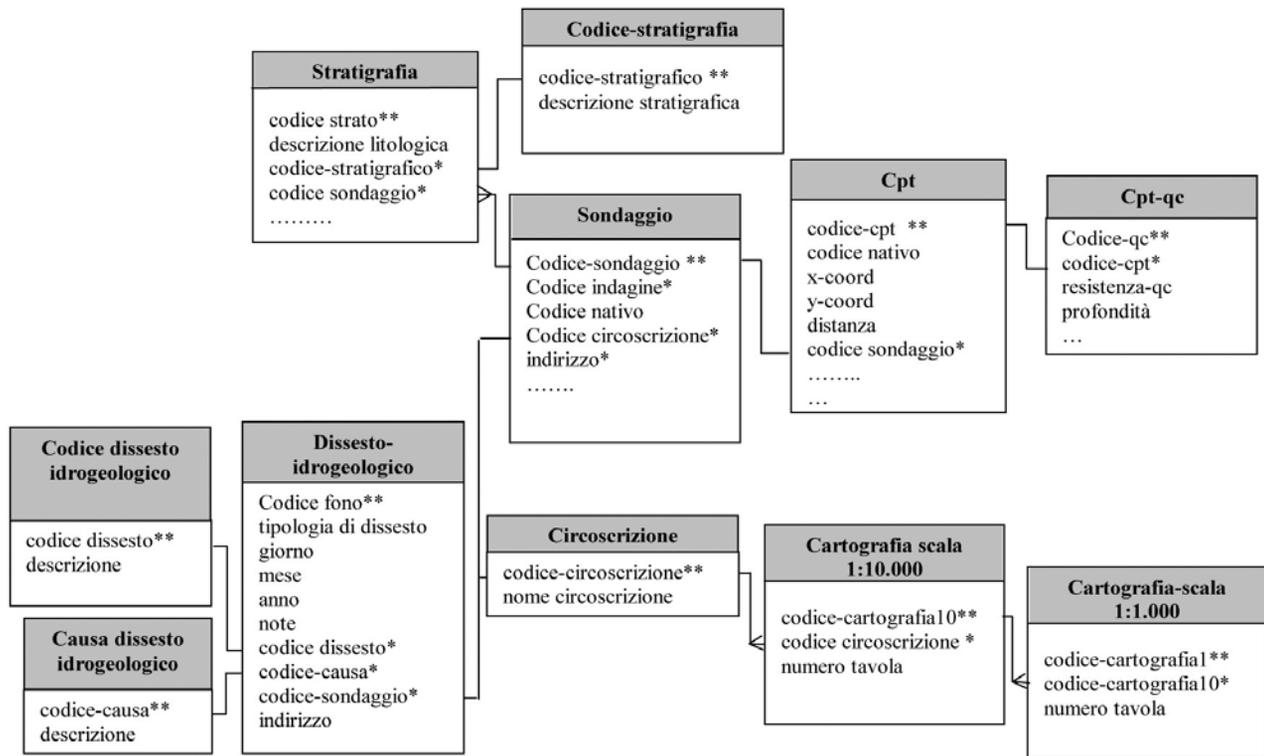
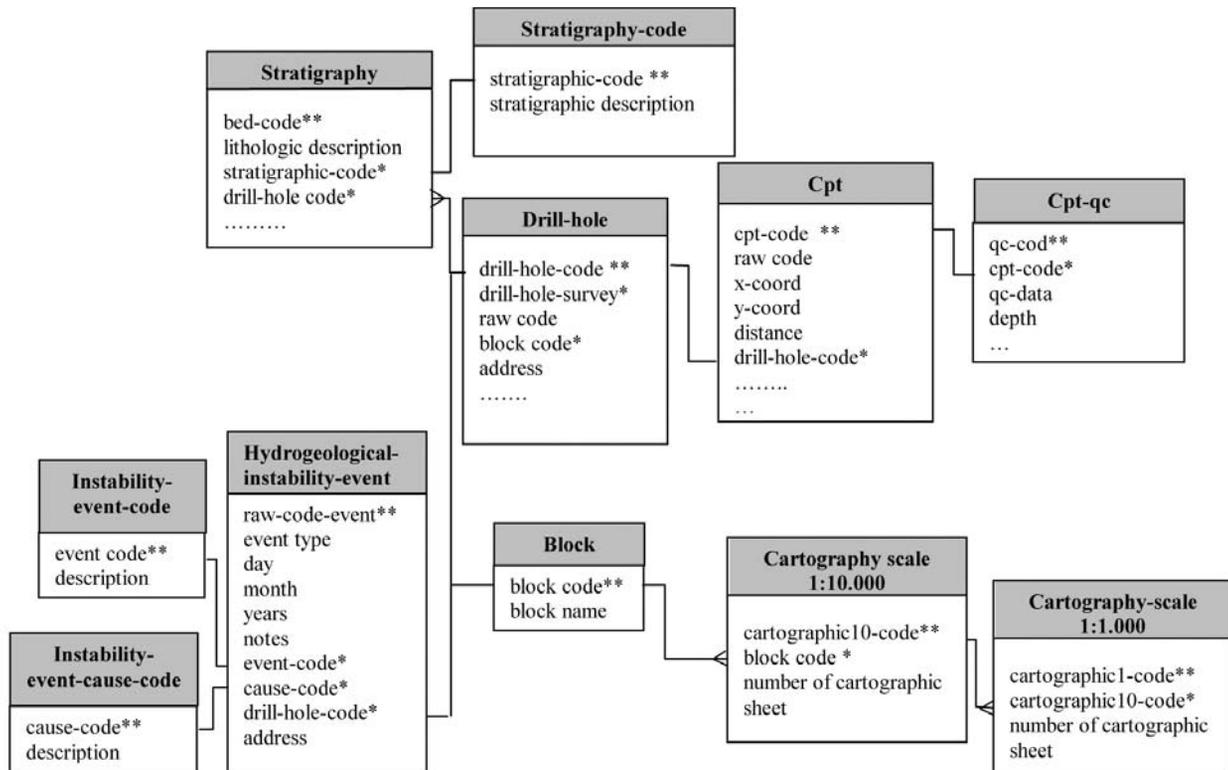


Fig. 3 - Modello entità-relazione del database HAZCITY: il simbolo ** indica la chiave primaria mentre il simbolo * indica la chiave esterna
 - HAZCITY entity-relationship modelling diagram: the symbol ** shows the Primary key, the symbol * shows the Foreign key



Le entità cpt, dissesto-idrogeologico e dati-clima hanno una propria componente geografica, gestita con il software ArcGis rel. 8.0, utilizzata per rappresentare in carte tematiche i dati alfanumerici contenuti nel database (LAXTON *et alii*, 1996; FLORES, 1999; ALBERICO *et alii*, 2005). A tal fine tra gli elementi geografici ed il database è stata stabilita una connessione SQL.

METODOLOGIA DI LAVORO

La metodologia utilizzata per definire la propensione ai dissesti connessa all'occorrenza di eventi di DI si basa sull'utilizzo degli algoritmi di analisi spaziale, implementati nei Sistemi Informativi Geografici, e sull'analisi statistica dei fattori ritenuti causa d'innescio (geologici, geotecnici, dati climatici, rete drenante-fognante).

Propedeutica ad ogni tipo di attività è stata la raccolta, la razionalizzazione dei dati e la loro informatizzazione. Si è quindi preliminarmente proceduto a georeferenziare sia i dissesti, in base agli indirizzi registrati nelle schede dei Vigili del Fuoco, che le prove CPT e l'ubicazione delle stazioni meteorologiche, attraverso la realizzazione di un file di testo contenente le coordinate X;Y direttamente visualizzabili in ambiente GIS come elementi geometrici di tipo puntuale.

I dati geologici, geotecnici ed i dissesti presentano una disomogenea distribuzione spaziale (Fig. 4); in particolare i sondaggi mostrano concentrazione nel centro storico della città, lungo la rete di comunicazione (strade e metropolitane), rispetto ai quartieri di Soccavo, Pianura, Fuorigrotta e della periferia Nord della città (Fig. 4a).

Le ubicazioni delle prove CPT mostrano una distribuzione meno uniforme di quella dei sondaggi: si osservano elevate concentrazioni in corrispondenza di grandi opere e/o infrastrutture mentre risultano assenti in molte zone della città (Fig. 4b).

Gli eventi di DI ricoprono in maniera diffusa tutto il territorio comunale, evidenziando una concentrazione maggiore in corrispondenza del centro storico della città (Fig. 4c).

La limitata coincidenza dell'ubicazione geografica dei dati ha richiesto la messa a punto di un sistema che permettesse comunque di stabilire delle relazioni tra essi. Tale problema è stato risolto con l'utilizzo in ambiente GIS dell'algoritmo "*assign data by location*", che ha consentito di associare, con una relazione uno a uno, i dati attributo del file vettoriale sondaggio alle tabelle dei file vettoriali denominati cpt e dissesto idrogeologico (Fig. 3).

Terminata la fase di strutturazione dei dati si è proceduto a definire il contributo di ciascuno all'innescio dei dissesti nel sottosuolo napoletano. L'individuazione dei depositi presenti nel sottosuolo così come la definizione delle relative caratteristiche geotecniche sono state limitate ai terreni presenti nei primi 5 m dal piano campagna; tale scelta è derivata dalla constatazione che entro tale profondità si sono verificati la maggior parte dei dissesti appartenenti alle categorie studiate in dettaglio nel presente lavoro: AC, SV e DM.

and consistency rules, through a foreign key.

The entities cpt, hydrogeological instability events and climate-data have a spatial component, and are managed through ArcGis rel. 8.0 software. In a thematic maps they are used to symbolize the attributes data recorded in HAZCITY (LAXTON *et alii*, 1996; FLORES, 1999; ALBERICO *et alii*, 2005).

METHODOLOGY

The methodology used to define the HIEs hazard, occurring in the Napoli municipality areas, is based on the spatial analysis algorithm implemented in the Geographic Information System (GIS) and on the statistical analysis of input data (geological, geotechnical, HIEs and climate data).

To perform these analyses, the input data were geo-referenced using the address registered on the National Fire Department schedules and the geographic coordinates recorded in text files, for the HIEs and for CPT and climate data, respectively.

The data showed a scattered spatial distribution and no coincidence among the different spatial data components (Fig. 4a); in particular, the drill-holes have high concentration and homogeneous spatial distribution in the Napoli historical centre, the density of which increases close to the highway and railway and decrease in the Soccavo, Pianura, Fuorigrotta districts as well as in the northern Napoli area (Fig. 4a).

The CPT data showed a less uniform spatial distribution than the drill-holes, in fact it is possible to observe high number of CPT data located near public infrastructures and a very small number in other parts of the city (Fig. 4b).

The HIEs are distributed in the whole municipality area with the highest concentration in the historical centre (Fig. 4c).

The absence of spatial coincidence between the input data was resolved using the algorithm "*assign data by location*", available in the GIS environment, in fact, it allows us to relate the attribute data of the vector files named drill-hole, cpt, hydrogeological instability events and climate (Fig. 3). These relations were fundamental to perform the statistical analysis and to define the factor triggering the HIEs, and the first HIEs hazard map.

In detail, we analysed the factors triggering the HIEs classes with the highest frequency (HS, DHS and IEW), occurring mainly in the first 5 meters depth b.g.l.

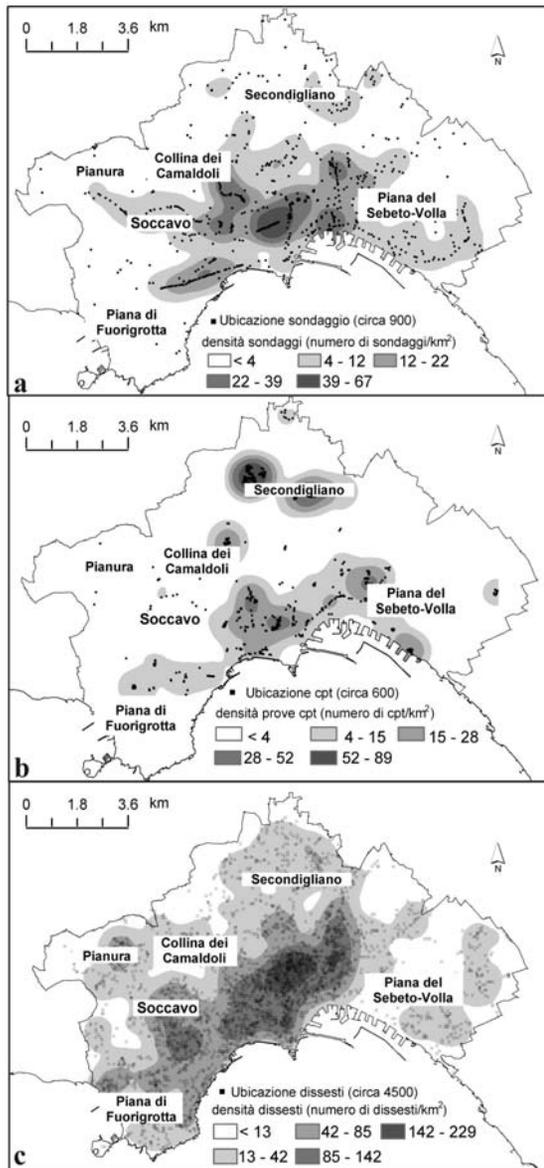


Fig. 4 - Mappe di densità: a) dei sondaggi; b) delle prove CPT; c) dei dissesti

ANALISI DEI DATI GEOLOGICI

I depositi presenti nel sottosuolo napoletano entro i primi 5 metri di profondità dal piano campagna, definite in base ad un'analisi di dettaglio dei dati registrati nel database HAZCITY, sono costituite dall'associazione del deposito Riporto Antropico (RIA) con i seguenti principali depositi (Fig. 5):

Depositi Alluvionali (ALL), costituiti da termini piroclastici rimaneggiati con granulometria da sabbioso-grossolana a limoso-argillosa, con intercalazione di paleosuoli e livelli torbosi a differenti altezze stratigrafiche;

Depositi dei Campi Flegrei (DCF), costituiti da depositi pirocla-

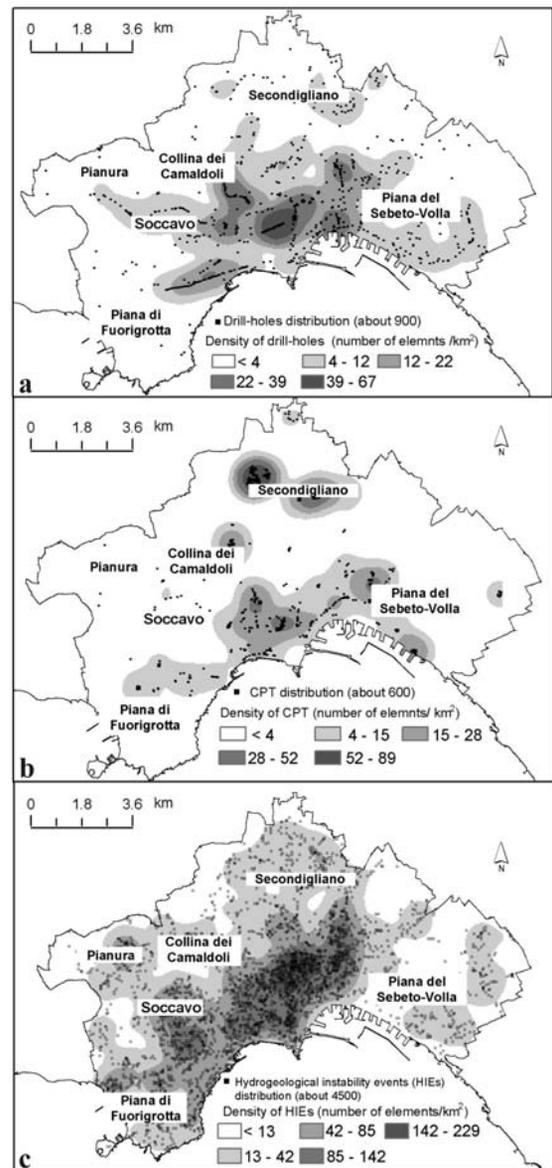


Fig. 4 - Spatial data distribution and density maps of: a) drill holes; b) CPT and c) hydrogeological instability events

GEOLOGICAL DATA ANALYSIS

The deposits, occurring in the subsurface of Napoli in the first 5 meters depth, defined through a detailed analysis of the data recorded in the HAZCITY database, are mainly constituted by the Anthropic Reworked Material (ARM), associated with the following downwards deposits (Fig. 5):

Alluvial deposits (AL) are constituted by remoulded pyroclastic deposits, composed by coarse-grained sands and silty layers with intercalation of paleosols and peat levels, occurring at different stratigraphic levels;

Campi Flegrei deposits (CFD) are constituted by grey and faint-

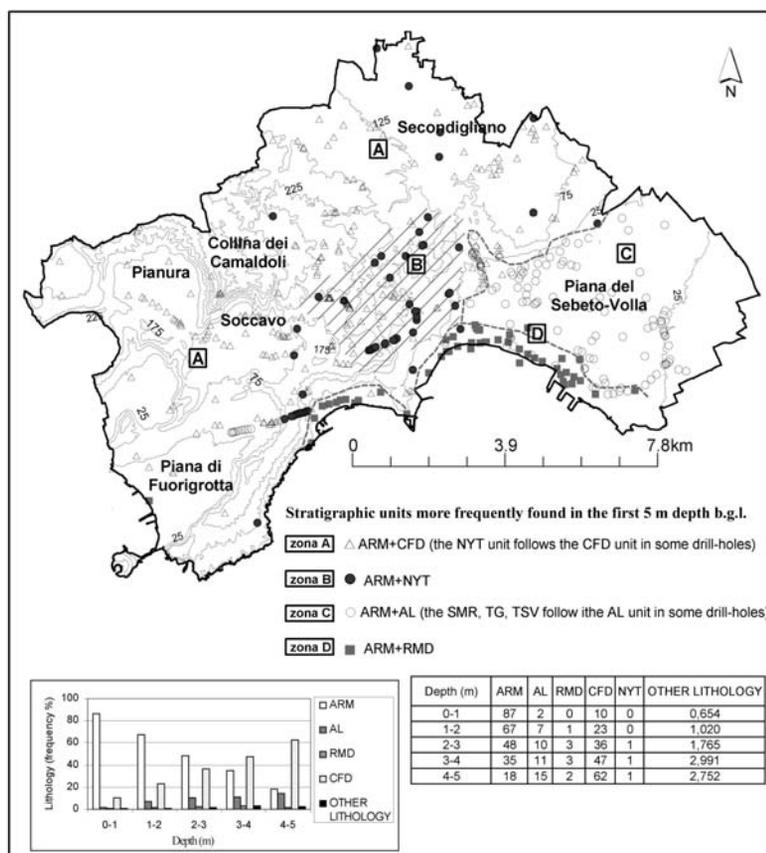


Fig. 5 - a) Mappa della distribuzione delle principali unità stratigrafiche rinvenute nei primi 5 metri di profondità dal p.c.; b) Frequenza percentuale delle unità stratigrafiche rinvenute nei primi 5 m di profondità dal piano campagna.
- Maps of the distribution and frequency of the main deposits recognized in the first 5 m depth from the ground level

stici di colore da grigio a marrone chiaro con granulometria da sabbioso-grossolana a cineritica, contenenti subordinati elementi litici (<12 Ky. B.P.);

Sabbie Marine Recenti (SMR);

Tufo Giallo Napoletano (TGN), deposito piroclastico di colore giallo (litoide) e grigio (incoerente) presenta una tessitura da massiva a ondulata a grande scala, contenente elementi pomice da centimetrici a decimetrici e frammenti litici di tufo verde (12 ky B.P. ALESSIO *et alii*, 1973), recentemente datato a 15 ky B.P. (DEINO *et alii*, 2004).

Per definire il tipo di unità prevalente, il sottosuolo è stato ripartito in cinque classi da un metro di profondità, e per ognuna sono stati individuati i depositi presenti (Fig. 5).

Il territorio del Comune di Napoli è stato così suddiviso in quattro zone (A, B, C, D) in base alla diversa associazione di depositi riscontrati nel sottosuolo (Fig. 5):

la zona A, corrispondente con la parte del territorio comunale ricadente all'interno della caldera flegrea e con l'alto morfologico della Collina dei Camaldoli che con il suo versante settentrionale progredisce fino a Secondigliano, è costituita in prevalenza dall'associazione dei depositi RIA e DCF;

- la zona B, corrispondente con la circoscrizione Vomero, è costituita in prevalenza dall'associazione dei depositi RIA e TGN;

- la zona C, corrispondente con la Piana del Sebeto-Volla, è costitui-

ta da depositi di colore da grigio a marrone chiaro con granulometria da sabbioso-grossolana a cineritica, contenenti subordinati elementi litici (<12 Ky. B.P.);

Recent marine deposits (RMD);

Neapolitan Yellow Tuff (NYT) are constituted by yellow welded and grey unwelded pyroclastic deposits with pumice (from centimetre up to decimetre) and lithic fragments of green tuff (12 ky B.P. ALESSIO *et alii*, 1973), recently dated at 15 ky B.P. (DEINO *et alii*, 2004).

Five classes (one meter thick) grouping the deposits occurring in the first 5 meters depth from ground level were identified. The definition of the most frequent deposits allowed us to subdivide the Naples municipality area in 4 zones (A, B, C, D) (Fig. 5):

- zone A: corresponding to the area inside the caldera of the Flegrean Field and to the area placed between the northern flank of Camaldoli Hill and the Secondigliano district, is mainly constituted by the ARM and CFD deposits;

- zone B: corresponding to the Vomero area, is mainly constituted by the ARM and NYT deposits;

- zone C: corresponding to the Sebeto-Volla Plain, is mainly constituted by the ARM and AL deposits;

- zone D: corresponding to the coastal area of Chiaia and to the Napoli harbour, is mainly constituted by the ARM and RMD deposits.

ta in prevalenza dall'associazione dei depositi RIA ed ALL;
- la zona D, corrispondente con le fasce costiere di Chiaia e dell'area portuale di Napoli, è costituita in prevalenza dall'associazione dei depositi RIA e SMR.

Da tale analisi è emerso che la frequenza percentuale del RIA pur mantenendosi superiore a quella di molti altri depositi tende a diminuire con la profondità; andamento opposto hanno i depositi DCF ed ALL che diventano prevalenti oltre i 3-4 m dal piano campagna.

La prevalenza su tutto il territorio entro i primi 5 m di profondità dal p.c. del deposito RIA, sia come distribuzione spaziale che come frequenza, ha reso tale parametro poco incisivo sulla distribuzione spaziale e sulla frequenza dei dissesti analizzati.

ANALISI DEI DATI GEOTECNICI

Le indicazioni fornite dalla caratterizzazione dei terreni presenti nel sottosuolo con le prove penetrometriche hanno mostrato che le differenze dal punto di vista meccanico tra i vari depositi presenti nei primi 5 m di profondità dal piano campagna sono trascurabili. Infatti i profili penetrometrici medi, utilizzati per la definizione di nove zone geotecniche individuate per il territorio napoletano, hanno esibito per i primi 5 metri valori di resistenza alla punta q_{c5} piuttosto costanti. Associando a ciascuno dei 503 profili penetrometrici il valore medio q_{c5} dei valori q_c rilevati dal penetrometro per tali profondità di terreno è stata ottenuta la distribuzione riportata in figura 6 relativa all'intero territorio cittadino. L'ampiezza delle classi è stata fissata pari a 0.5 MPa; sono stati eseguiti preventivamente alcuni test di sensibilità facendo riferimento a diversi intervalli di q_c in maniera da ottenere un numero di classi superiore a k, con $k = 1 + 3.3 \log_{10}(N)$, ma contemporaneamente non tanto elevato da avere classi prive di valori. Tale procedura, senza dubbio semplicistica, è stata utilizzata unicamente per ottenere una rappresentazione continua dei dati, senza approfondire gli aspetti statistici, probabilmente non particolarmente significativi attese le finalità dell'elaborazione e l'elevato numero dei dati esaminati.

Ciò premesso, si osserva che essa ha un andamento piuttosto regolare, centrato intorno ad un valore medio di circa 3.8 MPa con

This analysis shows that the frequency of the ARM, even if it is the most frequent unit in the investigated tract, decreases with depth while the CFD and AL deposits increase with depth becoming the prevailing deposits under 3-4 meters.

The abundance of ARM deposits, in the first 5 meters depth, makes it a very suitable parameter to detect the distribution of the HIEs.

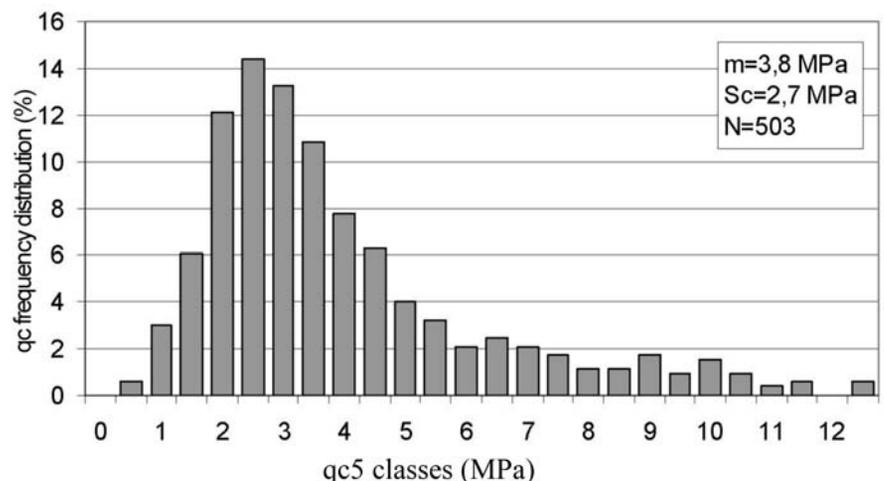
GEOTECHNICAL DATA ANALYSIS

The results of CPT, realized in the first 5 meters-depth, showed a negligible difference within the mechanical terrain features, in fact, the mean CPT profiles, used to classify the Napoli municipality area in nine geotechnical zones, showed a quite variable resistance value q_c (Fig. 6).

For each CPT a resistance value " q_{c5} " was defined as a mean of all resistance values, measured in the first 5 meters. The frequency distribution of " q_{c5} " for the whole studied area, was defined by subdividing its field variation in classes with interval value corresponding to 0.5 MPa. This value was defined using different q_c interval classes that allowed us to obtain a number of classes higher than K, with $K = 1 + 3.3 \log_{10}(N)$ but avoiding classes without values. Considering the aim of this manuscript (obtain a continuous data representation) and the high number of input data (600 CPT), no detailed statistical analysis has been performed on our data. This distribution shows a relatively regular trend, with a mean and standard deviation value equal to 3.8 MPa and 2.7 MPa respectively (Fig. 6).

The methodology used to define the influence of mechanical terrain features on the HS, DHS and IEW frequency is based on the following three steps: 1) a q_{c5} value, derived by the CPT located within a buffer of 300 m from the HIE event, was associated to the terrain

Fig. 6 - Distribuzione di frequenza delle q_c per i terreni presenti nei primi 5 m di profondità dal p.c. dell'area di studio
- Frequency distribution of q_c values related to the deposits recognized in the first 5 m depth b.g.l. for the whole study area



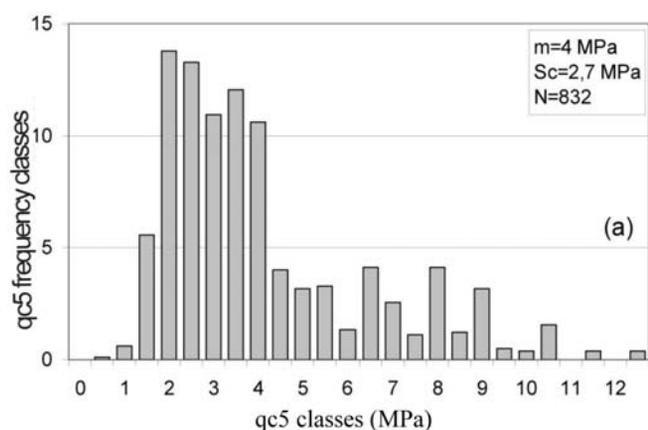


Fig. 7 - Distribuzione di frequenza delle q_{c5} per i terreni presenti nei primi 5 m di profondità dal p.c. relative: a) agli avvallamenti-cedimenti (AC) e smottamenti-voragini (SV); b) a dissesti ai muri di sostegno (DM)

uno scarto quadratico medio pari a 2.7 MPa (Fig. 6).

Per verificare l'influenza delle proprietà meccaniche dei terreni sulla frequenza di cedimenti e sprofondamenti della sede stradale si è proceduto con tre passi successivi: 1) al terreno del sito in cui si è verificato un DI è stato associato il valore di q_{c5} relativo al CPT più vicino, fissato, in prima approssimazione, entro i 300 m; 2) è stata calcolata la distribuzione di frequenza dei dissesti per le varie classi di valori di q_{c5} relativi alle tre categorie analizzate; 3) tali distribuzioni sono state confrontate con la distribuzione di frequenza delle q_{c5} relativa all'intero territorio cittadino per valutare se i dissesti in esame interessano allo stesso modo tutti i terreni indipendentemente dalle resistenze, oppure se si verificano di preferenza per alcune classi di valori delle resistenze medie q_{c5} . L'analisi mostra che la distribuzione di frequenza di AC e SV per classi di q_{c5} appare simile alla distribuzione di tutte le altre categorie di dissesti individuati. Infatti le maggiori frequenze si verificano in corrispondenza di valori di q_{c5} pari a 3.5-4.0 MPa (Fig. 7a), analogamente a quanto accade per la distribuzione generale. Quindi sembrerebbe che le differenze nelle caratteristiche meccaniche dei terreni non abbiano un'influenza significativa sulla frequenza di tale tipologia di dissesto. Per quanto riguarda invece i DM, la distribuzione mostra differenze significative rispetto a quella generale, assumendo un andamento meno regolare con frequenze maggiori rispetto alla distribuzione generale per le classi di valori di q_{c5} più elevati (Fig. 7b).

ANALISI DEI DATI PLUVIOMETRICI

Per poter definire l'influenza dei fenomeni piovosi sull'innescare dei dissesti del sottosuolo, è stata preliminarmente effettuata un'analisi storica dei dati registrati dalle 9 stazioni disponibili sul territorio cittadino dal 1951 al 2002; i dati, anche se non continui, hanno permesso di individuare, con riferimento alle piogge medie mensili, un andamento periodico molto simile per le diverse stazioni. Si è quindi fatto riferimento, per il periodo di osservazione, ad una pioggia

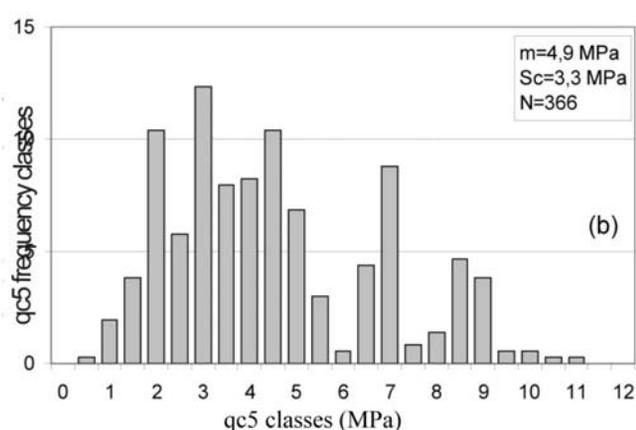


Fig. 7 - Frequency distribution of q_{c5} values, related to the deposits recognized in the first 5 m depth from b.g.l., for the areas hit by: a) hollow and sinking, deep hollow and deep sinking and b) instability event to retaining wall

where the HIE is recorded; 2) definition of the frequency distribution of HS, DHS and IEW, for each q_{c5} class; 3) comparison between the frequency distribution of HS, DHS and IEW and the frequency distribution of all q_{c5} values, related to the whole studied area, to assess if the HIEs are related to a specific q_{c5} resistance value.

This analysis has shown that the q_{c5} frequency distribution of HS and DHS is equal to the frequency distribution of all the classes of HIEs. They have the same trend of the general instability events distribution and, in fact, the maximum frequency occurs when the q_{c5} value is equal to 3.5-4.0 MPa (Fig. 7a). Therefore the differences in the mechanical terrain features, do not have a meaningful influence on the frequency of this type of instability events.

The IEW frequency distribution showed important differences from the whole HIEs distribution and they have a less regular trend, with the greatest frequencies for the high values of q_{c5} than the general instability events (Fig. 7b).

PLUVIOMETRIC DATA ANALYSIS

The analysis of the historical rainfall data, spanning between 1951 and 2002, registered by 9 meteorological stations located in the Napoli municipality area, was performed to identify their influence on the HIEs occurrence.

The data, even if not continuous, have allowed us to define for all stations a similar cyclic trend, in the mean month rainfall values. As a consequence, a mean rainfall value, related to all stations, was used

media relativa a tutte le stazioni. Nella figura 8a è riportato l'andamento nel periodo 1986-2002 delle frequenze cumulate di AC e SV rilevati in tutto il territorio della città di Napoli, con le frequenze cumulate delle piogge giornaliere e con le piogge medie mensili. Si osserva che la curva delle frequenze cumulate di pioggia giornaliera ha una pendenza sostanzialmente costante, mentre quella relativa ai dissesti, pur non presentando discontinuità significative è comunque caratterizzata da graduali variazioni nel tempo. Si possono osservare scostamenti nei due andamenti proprio in corrispondenza di periodi caratterizzati da piogge piuttosto intense. In corrispondenza degli eventi meteorici tipo quelli accaduti nell'ottobre e novembre 1987 (in media circa 450 mm di pioggia in poco più di un mese) e del 15 settembre 2001 (in media 130 mm di pioggia in poche ore) si sono verificati incrementi di AC e SV limitati nel tempo. In corrispondenza degli eventi meteorici accaduti nel settembre 1996 e gennaio 1997 (circa 1000 mm di pioggia in meno di cinque mesi) le frequenze relative di AC e SV hanno subito un significativo incremento che si è prolungato anche negli anni successivi. Tale andamento potrebbe essere dovuto ad intensi e non trascurabili periodi di entrata in pressione della rete fognaria (Indagine sullo stato del sottosuolo quadro organico degli interventi, Rapporto Aprile 2000) che avrebbero danneggiato in più punti le strutture in maniera permanente, favorendo così il verificarsi di AC e SV del piano campagna anche per eventi in precedenza "sopportabili".

Dalla sovrapposizione della componente geografica di tali dati con la rete drenante fognante, e con l'utilizzo dell'algoritmo *assign data by location*, è stato possibile osservare che il numero di dissesti maggiori si ha nelle zone intensamente urbanizzate del centro storico della città dove prevale come destinazione d'uso la rete promiscua. Una conferma a questo tipo di osservazione deriva anche dalla distribuzione di frequenza, dei dissesti classificati in base alla loro vicinanza alle varie classi in cui è stata suddivisa la rete drenante-fognante. Da questa analisi emerge una maggiore pericolosità dovuta ad avval-

for the analysed period.

Figure 8a shows the trend of cumulative frequency of HS and DHS, during in the period 1986-2002, and the cumulative frequency of both daily and monthly rainfall are compared.

The cumulative frequency distribution of daily rainfall values shows a constant trend, while the cumulative frequency distribution of subsurface hydrogeological instability events is characterized by gradual variation within the studied time interval.

It is possible to observe the difference in both cumulative frequency distributions during the period of intense rainfall: a) events that occurred in October and November 1987 (characterized by 450 mm of rainfall in about one month) and also on 15 September 2001 (characterized by 130 mm of rainfall in a few hours) triggered an increase of HS and DHS limited in time (Fig.8a); b) events that occurred in September 1996 and January 1997 (characterized by 1000 mm of rainfall in about five months) triggered an increase of HS and DHS extended in time (Fig. 8a). This trend can be explained by the occurrence of HS and DHS, also in periods characterized by slight rainfalls, as a consequence of damage caused to different points of the city sewer system by the overpressure generated during intense and continuous rainfall (Indagine sullo stato del sottosuolo quadro organico degli interventi, Rapporto Aprile 2000).

The use of algorithm *assign data by location* and the overlay of geographical components of the city sewer system with the HIEs, has allowed us to observe that most of the instability events are located in the area of Napoli historical centre characterized by the coexistence of white and dark water.

This situation is confirmed by frequency distribution of HIEs, classified on the basis of the neighbourhood to the different classes of the city sewer system. In particular, the Avvocata-Monte Calvario-San Giuseppe-Porto, Vicaria-San Lorenzo, Fuorigrotta, San Ferdinando-Chiaia-Posillipo, Stella-San Carlo all'Arena districts are more sensible to HS and DHS because they are characterized by the

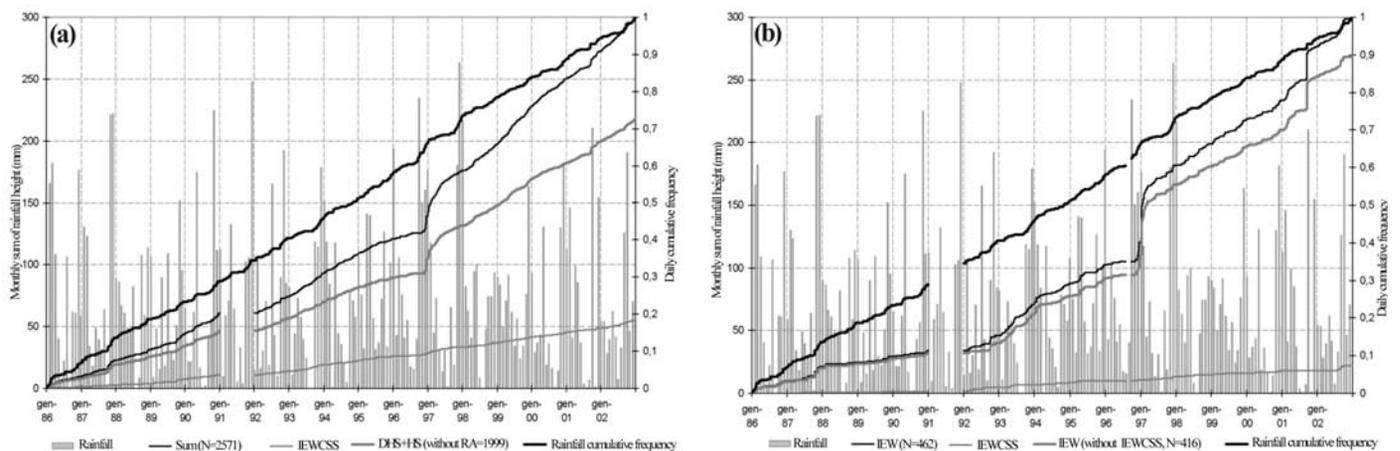


Fig. 8 - Confronto tra la frequenza cumulata delle piogge giornaliere e: a) avvallamenti e cedimenti, b) dissesti ai muri di sostegno
- Comparison between cumulated frequency of daily rainfall and: a) hollow and sinking, deep hollow and deep sinking and b) instability event to retaining wall

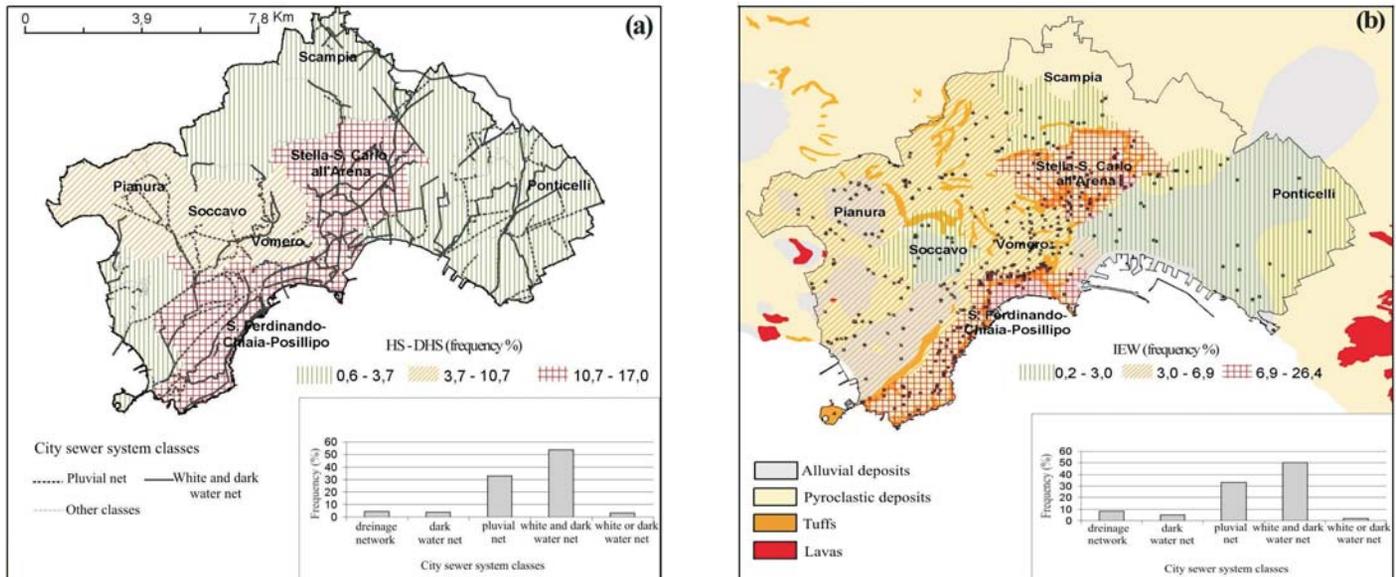


Fig. 9 - Carta di pericolosità del sottosuolo per le categorie di dissesti: a) avvallamenti e cedimenti del piano campagna, b) dissesti ai muri di sostegno
- Hazard classes caused by the occurrence of: a) hollow and sinking (HS), deep hollow and deep sinking (DHS) and b) instability event to retaining wall (IEW)

lamenti-cedimenti e sprofondamenti-voragini delle circoscrizioni di Avvocata-Monte Calvario-San Giuseppe-Porto, Vicaria-San Lorenzo, Fuorigrotta, San Ferdinando-Chiaia-Posillipo, Stella-San Carlo all'Arena caratterizzate principalmente dalla presenza della rete promiscua e delle circoscrizione Arenella, Vomero e Pianura caratterizzate principalmente dalla presenza della rete pluviale (Fig. 9a).

In figura 8b sono infine confrontate la frequenza cumulata delle piogge medie giornaliere con le frequenze cumulate giornaliere dei DM rilevati nell'intero territorio cittadino. Si osserva che l'andamento temporale dei dissesti ai muri è caratterizzato da maggiori discontinuità e brusche variazioni. In particolare, in corrispondenza degli eventi del settembre 1996-gennaio 1997 e del settembre 2001, la curva delle frequenze mostra significative discontinuità, dovute al notevole incremento del numero di dissesti rilevati ogni qualvolta si verificano precipitazioni molto intense.

La relazione tra la distribuzione dei DM e le diverse classi della rete drenante-fognante è analoga a quella mostrata dagli AC e SV; tuttavia la loro distribuzione sul territorio comunale risente in modo diretto sia della geologia di superficie che delle morfologia; la combinazione di pendenze medio-alte e di depositi piroclastici incoerenti ha infatti condizionato pesantemente la loro distribuzione (Fig. 9b). I settori del territorio comunale più sensibili a tale dissesto sono costituiti dalle circoscrizioni di San Ferdinando-Chiaia-Posillipo (26% dei totale dei dissesti) e di Stella-San Carlo all'Arena (16% del totale dei dissesti), caratterizzate dalla presenza di depositi piroclastici sciolti e pendenze medie superiori ai 25°, a cui seguono le circoscrizioni di Arenella, Vomero, Avvocata-Monte Calvario-San Giuseppe-Porto, Bagnoli, Chiaiano, Fuorigrotta e Pianura caratterizzate da una frequenza percentuale di tali dissesti pari a circa il 6%.

coesistenza of separate water net; while Arenella, Vomero and Pianura are characterized by the presence of pluvial net (Fig.9a).

In figure 8b the cumulative frequency of mean daily rainfall and the cumulative frequency of IEW are compared. The temporal trend of IEW is characterized by the highest discontinuity and abrupt variation. In particular, in correspondence to September 1996, January 1997 and September 2001 events, the trend shows relevant discontinuities, probably due to increasing instability events related to these intense rainfalls.

The city sewer system frequency distribution of IEW shows the same trend of HS and DHS (Fig. 9) and consequently the IEW distribution is mainly due to the geology and morphology of the studied area. The coexistence of medium-high slope and unwelded pyroclastic deposits has influenced their geographical distribution (Fig. 9).

San Ferdinando-Chiaia-Posillipo (26% of the whole events) and Stella-San Carlo all'Arena (16% of the whole events) districts are the most sensible areas to this type of instability event, in fact they are characterized by the presence of unwelded pyroclastic deposits and mean slope higher than 25°.

CONCLUSIONI

La metodologia di studio proposta nel presente lavoro ha permesso di definire il contributo di ciascun fattore naturale (litologico, geotecnico, climatico e morfologico) ed antropico (rete drenante-fognante) all'insorgere di instabilità, quali avvallamenti-cedimenti, sprofondamenti-voragini (AC ed SV, 62% del totale dissesti) o di dissesti ai muri di sostegno (DM, 10% del totale dissesti), e di realizzare una prima carta di pericolosità per il territorio del Comune di Napoli.

Dall'analisi dei dati geologici, relativi ai primi 5 m di profondità dal piano campagna, è emersa la prevalenza del Riporto Antropico (RIA) rispetto agli altri quattro depositi cui è associato; ciò ha determinato un trascurabile effetto delle associazioni di depositi sulla distribuzione spaziale e sulla frequenza dei dissesti verificatisi nel periodo 1986-2002. L'omogeneità del sottosuolo è stata confermata anche dalle prove penetrometriche, che hanno mostrato differenze di comportamento meccanico minime tra i vari depositi presenti nei primi 5 m di profondità dal piano campagna. I profili penetrometrici medi relativi alle nove zone geotecniche individuate per il territorio napoletano hanno infatti mostrato valori di resistenza alla punta q_{c5} relativamente costanti.

Una buona correlazione è stata invece trovata tra l'andamento delle piogge e le diverse tipologie di dissesto, in particolare:

- un incremento di cedimenti e sprofondamenti limitato nel tempo nel caso di eventi meteorici simili a quelli accaduti nell'ottobre-novembre 1987 (caratterizzati dall'accumulo in poco più di un mese di circa 450 mm di pioggia) e del 15 settembre 2001 (caratterizzato invece dall'accumulo di circa 130 mm di pioggia in poche ore);
- un incremento di cedimenti e sprofondamenti protratto nel tempo nel caso di eventi meteorici simili a quelli accaduti nel settembre 1996 e gennaio 1997 (caratterizzati dalla caduta di circa 1000 mm di pioggia in meno di cinque mesi). Tale incremento esteso anche agli anni successivi a detto periodo, è da imputarsi molto probabilmente ai danni provocati alla rete drenante/fognante dall'entrata in pressione delle acque meteoriche;
- una maggiore frequenza dei dissesti ai muri di sostegno in concomitanza di eventi meteorici di breve durata ma particolarmente intensi simili a quelli accaduti nel settembre 1996-gennaio 1997 e nel settembre 2001. La curva delle frequenze dei dissesti mostra significative discontinuità, dovute al notevole incremento del numero di dissesti rilevati ogni qualvolta si verificano precipitazioni molto intense.

Particolarmente significativa è apparsa anche la relazione tra i dissesti e la distribuzione sul territorio delle diverse destinazioni d'uso della rete drenante-fognante.

Le zone del territorio napoletano più vulnerabili, dove si concentra circa il 62% di AC e SV, corrispondono con le circoscrizioni di Avvocata- Monte Calvario- San Giuseppe- Porto, Vicaria-San Lorenzo, Fuorigrotta, San Ferdinando-Chiaia-Posillipo, Stella-San Carlo all'Arena, caratterizzate principalmente dalla presenza della rete promiscua, e con le circoscrizioni di Arenella, Vomero e Pianura, caratterizzate primariamente dalla presenza della rete pluviale cioè è da imputarsi molto probabilmente all'entrata in pressione della rete a

CONCLUSIONS

The effect of natural (lithological, geotechnical, climatic and morphological) and anthropic (city sewer system) factors triggering hollow-sinking, deep hollow-deep sinking (HS and DHS, 62% of HIEs) and instability events concerning supporting wall (IEW, 10% of HIEs) in the Napoli urban area, has been defined.

The geological data analysis, in the first 5 m depth, has shown that the wide spatial distribution of the Anthropical Reworked Material (ARM) on all the other deposits has reduced the effects of the geological factor on the spatial distribution and frequency of HIEs that occurred between 1986-2002.

In addition, the small differences in the terrain mechanical features revealed by the CPT mean profiles, support the evidence of homogeneous characteristic of the sediments in the first 5 meters depth.

A good correlation has been found between the rainfall tendency and the different HIEs, in detail:

- an increase of HS and DHS, limited in time, during a rainfall event as that which occurred in October-November 1987 (characterized by 450 mm in about 30 days) and on 15 September 2001 (characterized by 130 mm of rainfall in only few hours);
- an increase of HS and DHS, protracted in time, during rainfall as that which occurred in September 1996 and January 1997 (characterized by 1000 mm of rainfall in only five months). This situation is probably due to damages to the city sewer system caused by the overpressure resulting from past rainfall;
- an increase of IEW when rainfall events, characterized by short and intense duration, as those that occurred in September 1996-January 1997 and in September 2001.

A good correlation was also found between the geographic distribution of the HIE and the different classes of city sewer system.

The Avvocata-Monte Calvario-San Giuseppe- Porto, Vicaria-San Lorenzo, Fuorigrotta, San Ferdinando-Chiaia-Posillipo, Stella-San Carlo all'Arena, and the Arenella, Vomero and Pianura are the most vulnerable districts, where about 62% all of HS and DHS occurred in the whole Napoli municipality area are concentrated. In detail for the first municipalities group the HS and DHS are probably due to the coexistence of white and dark water in only one city sewer system; while for the second group the HS and DHS are mainly due to overpressure present in the old pipes of city sewer system unable to contain both the meteoric and the sewer water load at the same time.

The San Ferdinando-Chiaia-Posillipo and Stella-San Carlo all'Arena districts are characterized by the highest number of IEW corresponding to 26% e 16% respectively. These high values of IEW are related to the presence of the oldest city sewer system and to the natural geographic distribution of the retaining walls in areas characterized by slope with medium-height value and unwelded pyroclastic deposits.

cui è richiesto un trasporto sia di acque reflue che meteoriche superiore alla loro portata. Le circoscrizioni di San Ferdinando-Chiaia-Posillipo e di Stella-San Carlo all'Arena presentano altresì il maggior numero di dissesti ai muri di sostegno pari rispettivamente al 26% e 16%; ciò è da correlare sia alle condizioni in cui versa la rete drenante-fognante che alla naturale distribuzione di questo tipo di opera di contenimento nei luoghi caratterizzati da versanti costituiti da depositi piroclastici incoerenti e con pendenze medio-alte.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori esprimono ringraziamenti al professore Lucio Lirer ed al revisore anonimo per i costruttivi suggerimenti e per la critica revisione del manoscritto, ai Vigili del Fuoco del Comando Provinciale di Napoli, nella persona del Capitano D'Angelo, per la pronta disponibilità mostrata nella raccolta dei dati presso l'archivio del Comando e Patricia Sclafani per la revisione del testo in inglese.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank prof. Lucio Lirer and an anonymous reviewer whose suggestions greatly improved the manuscript, Captain D'Angelo of Naples Fire Department, for the support in the surveys collection. They also thank Patricia Sclafani for revising the english text.

OPERE CITATE / REFERENCES

- ALBERICO I., LIRER L., PETROSINO P. & ZENI G. (2001) - *Geomorfologia e geologia dell'area urbana di Napoli*. Geoitalia 3° Forum FIST: 359-360.
- ALBERICO I., PETROSINO P., ZENI G., D'ANDREA F. & LIRER L. (2005) - *GEOCITY: a drill-hole database as a tool to assess geological hazard in Napoli urban area*. Environ. Geol. **47**: 751-762
- ALESSIO M., BELLA F., IMPROTA S., BELLUOMINI G., CORTESI C. & TURI B. (1973) - *University of Rome Carbon-14 dates IX*. Radiocarbon **13**: 341-395.
- ARCVIEW SPATIAL ANALYST (1996 Eds.) - 147, Esri, Press Redlands - CA USA.
- ARCVIEW GIS (1996 Eds) - 350, Esri, Press Redlands CA USA
- BELLUCCI F. (1994) - *Nuove conoscenze stratigrafiche sui depositi vulcanici del sottosuolo del settore meridionale della Piana Campana*. Boll. Soc. Geol. It., **113**:395-420.
- CNR - GRUPPO NAZIONALE DIFESA CATASTROFI IDROGEOLOGICHE (1995) - *Linee Guida dei Programmi di previsione e prevenzione del rischio idrogeologico*.
- DEINO A.L., ORSI G., DE VITA S. & PIOCHI M. (2004) - *The age of the Neapolitan Yellow Tuff caldera-forming eruption (Campi Flegrei caldera-Italy) assessed by ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating method*. J. Volcanol. Geother. Res. **133** (1/4): 157-170.
- DI GIROLAMO P., GHIARA M.R., LIRER L., MUNNO R., ROLANDI G. & STANZIONE D. (1984) - *Vulcanologia e Petrologia dei Campi Flegrei*. Boll. Soc. Geol. It. **103** (2): 349-413.
- EVANGELISTA A., PELLEGRINO A., PERRELLA A. & VIGGIANI C. (2002) - *Un paradiso abitato da diavoli? I problemi geotecnici della città di Napoli*. XXI Convegno Nazionale di Geotecnica, L'Aquila: 53-62
- FLORES R. M. (1999) - *Database creation and resource evaluation methodology*. In U.S. Geological Survey Professional Paper 1625A, 16
- GILES J.R.A., LOWE D. J. & BAIN K.A. (1997) - *Geological Dictionaries-Critical elements of every geological database*. Computers & Geosciences **23**(6): 621-626.
- GROSSO CIPONTE V. (2003) - *Caratterizzazione geotecnica del sottosuolo della città di Napoli con prove penetrometriche statiche. Tesi di laurea non pubblicata* 198, Dip. Ing. Geotecnica, Univ. degli Studi di Napoli Federico II.
- Indagini sullo stato del sottosuolo di Napoli quadro organico degli interventi, Rapporto aprile 2000.
- LAXTON J.L. & BECKEN K. (1996) - *The design and implementation of a spatial database for the production of geological maps*. Computers & Geosciences **22**(77): 723-733.
- ROSI M. & SBRANA A. (1987) - *Phlegrean Fields, Progetto Finalizzato Geodinamica*. Quaderni della Ricerca Scientifica **114**. CNR, Roma, 175 pp.
- RUSSO F., CALDERONI G. & LOMBARDO M. (1998) - *Evoluzione geomorfologica della depressione Bagnoli-Fuorigrotta: periferia urbana della città di Napoli*. Boll. Soc. Geol. It. **117**: 21-33.
- SCHERILLO A. & FRANCO E. (1967) - *Introduzione alla carta stratigrafica del territorio comunale di Napoli*. Atti Acc. Pontaniana **16**: 27-37.
- ZITO G. (2004) - *Analisi dei dissesti del sottosuolo della città di Napoli*. Tesi di laurea non pubblicata 210 pp., Dip. Ing. Geotecnica, Univ. degli Studi di Napoli Federico II.

Received September 2005 - Accepted April 2006