

Un caso esemplare : la stabilità degli edifici nell'area intorno a Viale Giustiniano Imperatore (Roma, IX municipio)

Structural settlements affecting some buildings of Via Giustiniano Imperatore in Rome (Italy)

M.P. CAMPOLUNGHY*, G. CAPELLI*,
R. FUNICIELLO*, M. LANZINI**,
R. MAZZA*, R. CASACCHIA***

RIASSUNTO - Il progressivo aggravarsi della stabilità di alcuni edifici eretti nel settore sud orientale di Roma lungo Viale Giustiniano Imperatore intorno ai primi anni cinquanta, ha determinato il verificarsi di un progressivo peggioramento delle condizioni di sicurezza che ha portato l'Amministrazione Comunale di Roma ad emettere, nel novembre 2001 e nel novembre del 2004 ordinanze di sgombero per alcune famiglie residenti in edifici considerevolmente lesionati a causa di cedimenti strutturali.

Si è, di conseguenza, resa necessaria l'attivazione di una procedura d'urgenza per consentire una soluzione definitiva e di qualità per i residenti trasferiti, attraverso la predisposizione di un programma di interventi attuato in un quadro generale di sostenibilità e compatibilità urbanistica con le ovvie finalità di interesse pubblico.

L'ambito Giustiniano Imperatore rappresenta un caso emblematico; un'area che necessita di significativi provvedimenti di riqualificazione urbana che non si limitino ad una generale riorganizzazione e migliore dotazione delle aree e servizi pubblici, ma che contemplino anche la possibilità di intervenire sistematicamente con processi di sostituzione edilizia sull'intero sistema insediativo.

Dal 2000, il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università "Roma TRE", chiamato dall'Amministrazione Comunale, effettua studi a carattere geologico - tecnico indirizzati alla comprensione delle dinamiche che hanno reso così "vulnerabile" questo territorio. Il presente lavoro riassume l'analisi delle componenti geologiche, idrogeologiche e geologiche-tecniche e di alcune componenti del tessuto urbano, la cui conoscenza è necessaria ai fini della progettazione degli interventi di tutela monitoraggio e sostituzione edilizia.

PAROLE CHIAVE: subsidenza, cedimenti, depositi alluvionali recenti, pericolosità, edilizia, geotecnica.

ABSTRACT - During the early 50s, the stability of some buildings of "Viale Giustiniano Imperatore" in south-eastern Rome was rapidly growing worse. This started an urban housing emergency that in November 2001 and November 2004 led the local Administration to force some resident families to move out of their homes. As a matter of fact, structural settlement had seriously damaged many buildings.

The situation called for a quick procedure that would give transferred residents a quality and definitive solution. A programme of housing projects was realized with an eye to urban sustainability and compatibility for the area, as well as to coherence with public interests. The "Giustiniano Imperatore" case is emblematic: the area needs significant urban retrofitting, which should not be limited to a general reorganization with better facilities and public services, but would also include a building replacement plan for the entire area.

Since the year 2000, the Department of Geological Sciences of the University of "Roma Tre" has been charged by the local administration of the city of Rome with geological and technical studies aimed to understanding the phenomena that made this territory so vulnerable. This paper summarizes the analysis of geological-technical issues and some urban texture issues, whose knowledge is mandatory for protection, monitoring, and building replacement plans.

KEY WORDS: settlement, alluvial deposits, hazard, urban development, geotechnical studies.

* Dipartimento di Scienze Geologiche - Università degli Studi "Roma Tre", Largo San Leonardo Murialdo, 1 - 00146 Roma

** Libero professionista - Via degli Scaligeri, 29 - 00164 Roma

*** CNR - DTA, Piazzale Aldo Moro, 7 - 00185 Roma

INTRODUZIONE

Il Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università Roma Tre da diversi anni si sta occupando dei problemi che interessano gli edifici che sorgono in prossimità di Viale Giustiniano Imperatore.

I primi studi sono stati intrapresi per la costituzione del *Master Plan* per l'organizzazione urbanistica della Terza Università di Roma e quindi, da un punto di vista geologico, sono stati mirati alla definizione delle caratteristiche geologico tecniche dei depositi alluvionali tiberini di questo settore.

Le sollecitazioni delle Amministrazioni Comunali hanno condotto ad una estensione degli studi più ad est, nel settore riferibile al deposito alluvionale del Fosso di Grotta Perfetta; tributario in sinistra idrografica del Fiume Tevere.

Il fosso, alla fine degli anni '40, è stato incanalato all'interno di un collettore fognario, la valle è stata colmata da terreni di riporti e si è dato il via

allo sviluppo urbano.

Alcuni degli edifici hanno manifestato problemi di stabilità appena elevati, altri hanno addirittura indotto i costruttori ad effettuare importanti varianti al progetto in corso d'opera.

I cedimenti dei fabbricati, in molti casi di tipo differenziale, sono proseguiti nel corso degli anni.

Nel presente studio, attraverso l'analisi delle caratteristiche litotecniche dei terreni che costituiscono il substrato del tessuto urbano comparata a dati acquisiti tramite tecniche di telerilevamento, definisce il trend di subsidenza dell'area in esame.

1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA

L'area in esame (fig. 3), compresa nel IX Municipio, tra Via Leonardo Da Vinci a ovest, Via Cristoforo Colombo a est, Via Costantino a nord e Via Alessandro Severo a sud, ricade sul territorio occupato, fino alla fine degli anni '40, dal Fosso di Grotta Perfetta. Questa "marrana" è la porzione

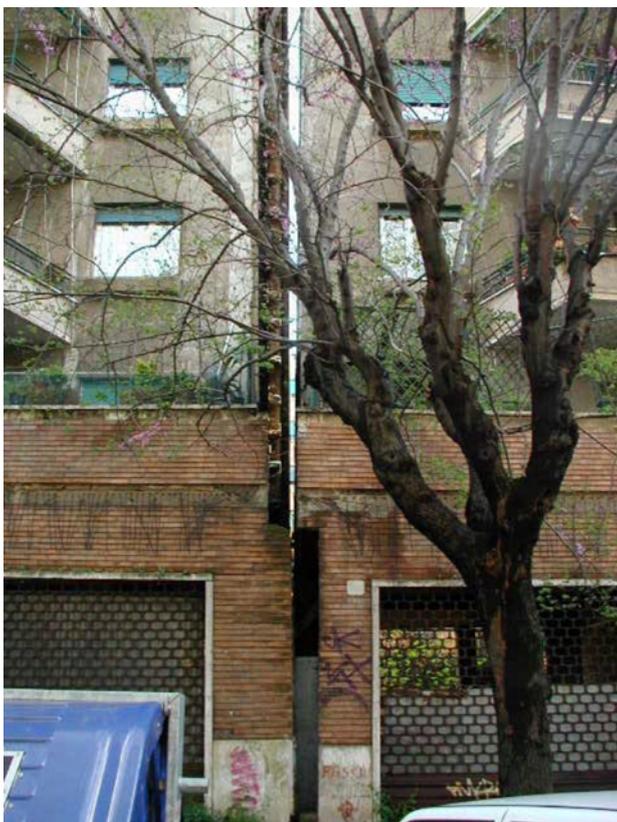


Fig 1 - La situazione di due corpi di Fabbrica in Via della Villa di Lucina in prossimità di Viale Giustiniano Imperatore; il corpo a sinistra è stato demolito nel 2005 nell'ambito del piano di sostituzione edilizia..

-The situation of two factories in Via della Villa di Lucina, near Viale Giustiniano Imperatore; the left one has been demolished in 2005 in accordance to the building replacement plan.



Fig. 2 - Particolare delle lesioni nel cortile interno dell'edificio demolito nel 2005.

- Close view of the damage in the courtyard of the building demolished in 2005.



terminale del Fosso di Tor Carbone che si origina in tenuta Terricola a 70 m s.l.m., poco ad ovest dalla Via Appia Antica all'altezza dell'Ippodromo delle Capannelle. Dalle sue sorgenti il fosso scendeva a valle verso nord senza ricevere alcun tributario di rilievo, fino a confluire nel Tevere assumendo successivamente il nome di Fosso del Grottone e poi di Fosso di Grotta Perfetta. Ora il fosso è incanalato all'altezza di Piazzale del Caravaggio nel collettore primario che segue approssimativamente la direzione di Viale Giustiniano Imperatore. Il bacino imbrifero del fosso ha una superficie di circa 13 km², un'altitudine media di 46 m s.l.m. e la pendenza media dell'asta è dello 0,6%.

2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO

I caratteri geologici principali sono rappresentati da terreni alluvionali antichi e vulcanici di età pleistocenica e da terreni olocenici-recenti di origine alluvionale del Fosso di Grotta Perfetta .

Le suddette formazioni si sono impostate sopra un esteso *bedrock* pliocenico di origine marina.

Dalle unità più antiche alle più recenti si individuano, in sintesi, il substrato pliocenico costituito da depositi marnosi e argilloso-marnosi sovraconsolidati ben noti nell'area romana della formazione di Monte Vaticano, sul tetto della quale si è messo in posto il corpo alluvionale della successione del "Paleotevere" costituito da sabbie, ghiaie e depositi

argillosi (Unità del Fosso della Crescenza), (FUNICIELLO & GIORDANO, 2005). Il tracciato e i processi sedimentari dell'antico corso del Tevere furono modificati ed interrotti dalle attività vulcaniche prevalentemente esplosive sabatine ed albane che nell'area in esame sono individuate rispettivamente dalle parti distali della successione di Sacrofano (Vulcano Sabatino) riconoscibili in alcuni sporadici affioramenti o sondaggi e dalle Pozzolane Rosse, Nere e dall'Unità di Villa Senni (Vulcano Albano).

Successivamente tale sequenza geologica è stata incisa nel corso dell'ultima glaciazione *wurmiana*, e poi colmata da depositi alluvionali a seguito della risalita del livello del mare, durante gli ultimi 10-12.000 anni (Olocene).

Il suddetto corpo alluvionale può essere suddiviso (come vedremo più avanti) in unità deposizionali caratterizzate da diverse caratteristiche fisico-meccaniche.

Sinteticamente si possono individuare, dall'alto verso il basso:

Riporti -R

I terreni superficiali di riporto sono di spessore intorno a 4-5 m e sono legati agli interventi urbanistici che sin dagli anni '50 hanno alzato la quota topografica dell'area da circa 10.5 a 15 m s.l.m.

Sono costituiti da terreni di origine piroclastica-pozzolanaea, più o meno argillificati, con inclusi elementi lapidei vulcanici e di origine antropica, eterometrici, in assetto caotico.

I riporti costituiscono sia i rilevati stradali che sono stati realizzati, sia i riempimenti vari in zone non edificate ed attualmente utilizzate a giardino e/o inutilizzate.

Alluvioni storiche - Allstor

La coltre superficiale dei depositi alluvionali del fosso, precedenti ai riporti antropici, è costituita da sabbie limose con sparsi elementi lapidei e orizzonti pozzolanacei fluitati che sono attribuibili alle fasi di alluvionamento in epoca storica. Infatti si rinvennero in tali strati elementi di origine antropica fluitati in ambiente acqueo e orizzonti pedogenizzati legati alle passate attività agricole.

L'assetto strutturale, pur in presenza di orizzonti legati a passate fasi alluvionali del fosso, è in genere caotico e con maggiore eterogeneità granulometrica rispetto ai sovrastanti riporti. La distinzione fra le alluvioni storiche ed i sovrastanti riporti non è sempre immediata ed agevole.

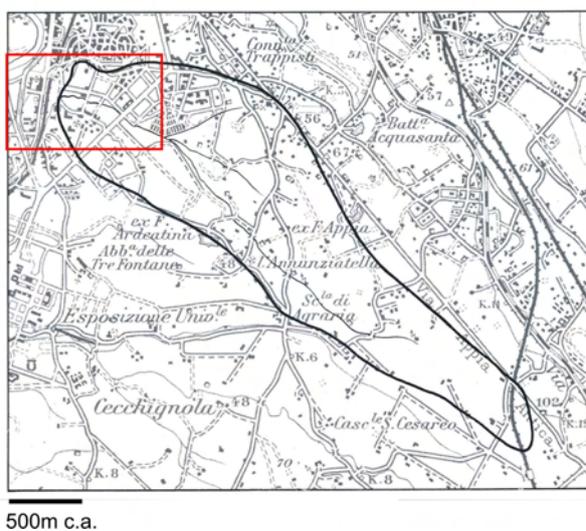


Fig. 3 - Il bacino idrografico del Fosso di Grotta Perfetta da VENTRIGLIA U. (1990) e localizzazione dell'area in esame.
- Hydrographic basin of the Fosso di Grotta Perfetta water stream from VENTRIGLIA U. (1990) and location map of the examined area.

Dalla cartografia IGM del 1924, quando le alluvioni storiche erano esposte in superficie, risulta una quota media di circa 10.50 m s.l.m. Lo spessore di questo deposito è di circa 5-6 m.

“Argille” marroni – *AM*

Argilla più o meno limosa di colore marrone, localmente con screziature grigiastre e/o violacee; sono presenti nella massa frequenti minuti elementi piroclastici e concrezioni carbonatiche alterate.

Al tetto sono presenti plaghe irregolari dovute a processi locali di ossidazione associate ad una maggiore consistenza dei depositi argillosi dovuta a processi di indurimento per essiccazione causati da esposizione superficiale o in prossimità della superficie; la coesione tende a diminuire con la profondità fino al letto dello strato posto a circa 15-17 m dal piano campagna. Lo spessore totale è di circa 7-10 m.

“Argilla” nerastra organica – *AO1*

Il deposito in esame è caratterizzato da una prevalente frazione limo-argillosa, con diffuso contenuto organico che determina una colorazione sovente nerastra e brunastra; frequentemente si sono rinvenuti resti minuti vegetali lignitificati. Lo spessore è di circa 3-5 metri.

Le “argille” in esame sono caratterizzate da una bassissima consistenza e da elevata umidità.

La sostanza organica, più che presente come livelli e orizzonti isolati, è diffusa prevalentemente nella massa in forma colloidale. Questi aspetti individuano un ambiente di deposizione di tipo decisamente lacustre-palustre a bassissima energia e condizioni ambientali di tipo riducente; si sono valutati in laboratorio contenuti in sostanza organica fino a 15-25%.

“Argilla” verdastra – *AV*

Le argille in esame sono dotate di prevalente colorazione verdastra, pur con plaghe irregolari di fiamme grigiastre e diffusi livelletti brunastrì e nerastrì, prevalentemente al tetto ed al letto; il contenuto organico, a differenza degli strati superiori e inferiori (*AO1* e *AO2*), è comunque assente o molto limitato e ciò esprime probabilmente un locale cambiamento paleoambientale se non deposizionale e di energia dell’ambiente.

Inoltre è da sottolineare che le argille limose verdastre hanno sempre reagito all’HCl, a differenza degli strati organici sovrastanti e sottostanti, indice di un certo contenuto in carbonati.

Anche in questo caso prevale la frazione limo-argillosa ed una bassissima consistenza.

Lo spessore è abbastanza omogeneo intorno ai 6-8 metri.

Detriti di versante fluitati – *DV*

L’indagine geognostica effettuata anche lungo una sezione trasversale alla valle del Fosso di Grotta Perfetta, ha evidenziato che la successione olocenica sin qui descritta (*AM*, *AO1*, *AV*) presenta delle significative eteropie verso i margini del bacino, ove i sedimenti lacustri-palustri acquistano caratteri più grossolani ed eterometrici per gli apporti di versante fluitati e rimaneggiati nel bacino stesso durante le fasi di sedimentazione.

Litologicamente si individuano elementi eterometrici di natura essenzialmente tufacea e/o sabbiosa, provenienti dai rilievi collinari, in una matrice limo-argillosa con variabile contenuto in sostanza organica.

Depositi Argillosi nerastrì-grigiastri – *AO2* (*AO2'*, *AO2''*)

I depositi qui descritti rappresentano la parte

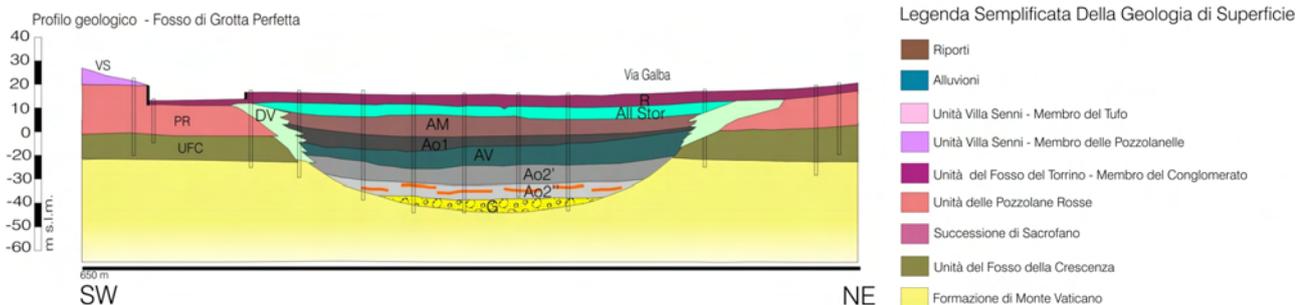


Fig. 4 - Sezione geologica trasversale alla Valle del Fosso di Grotta Perfetta.
- Geological cross-section through the Fosso di Grotta Perfetta valley.



basale dei depositi olocenici con spessore variabile da 10 a 14m; le caratteristiche granulometriche, cromatiche e geotecniche hanno permesso una loro suddivisione in due sottounità. Il letto di queste argille è a circa 43 m di profondità (-30 m s.l.m.) nel settore centrale del Fosso di Grotta Perfetta.

La prima unità superiore AO2' è costituita da limi argillosi con colorazione decisamente nerastra per l'abbondante contenuto organico, dello spessore di circa 5-6 m, abbastanza simile ai sovrastanti strati organici AO1; la seconda unità inferiore AO2" di spessore maggiore (circa 7-8 m) è di colorazione più frequentemente grigiastra e presenta frequenti intercalazioni di livelli pozzolanacei e ghiaiosi di spessore da decimetrico a metrico e localmente di 3-5 m.

L'unità AO2' è a bassa consistenza come le unità AV e AO1, mentre passando verso la sottostante sotto-unità AO2" la consistenza aumenta via via; tale maggiore consistenza è dovuta sia al carico litostatico e sia alla funzione drenante degli orizzonti pozzolanacei grossolani fluitati.

Gli strati grossolani intercalati in AO2" sono costituiti prevalentemente da elementi pozzolanacei sub-arrotondati con sparsi elementi calcarei arrotondati.

Ghiaie sabbiose – G

La base del fosso è riempita da uno strato di ghiaie sabbiose di origine carbonatica ed elementi arrotondati, con locale apporto di elementi tufacei arrotondati.

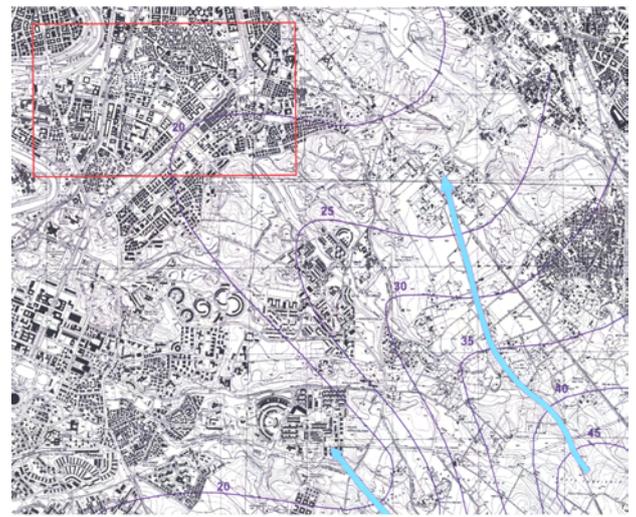
Le ghiaie, che sono legate alla fase erosiva della paleovalle, sono presenti nel centro valle con spessori variabili da 3 a 5 m. La figura 4 mostra una sezione geologica trasversale alla Valle del Fosso di Grotta Perfetta, con l'indicazione delle varie unità alluvionali sopra descritte.

Le alluvioni oloceniche si sviluppano da piano campagna fino a circa 45-50 m di profondità (da 14.5 m slm a -35 m slm). Inferiormente sono presenti le ghiaie di base legate alla fase erosiva (spessore 3-5 m) e il tetto delle argille plioceniche localizzato, nel fondo valle, a -40 m slm e, con quote che aumentano via via risalendo verso i versanti sepolti fino a -10/-15 m slm. Al di sopra di tale quota, ed in corrispondenza dei rilievi collinari che bordano la Valle di Grotta Perfetta, sono presenti i depositi del Fosso della Crescenza; tali depositi sono costituiti da una unità caratterizzata da ghiaie sabbiose e da "argille" grigiastre e da un'unità caratterizzata da sabbie limose giallastre con spessore

totale intorno a 10-15 m (tetto a circa 0/+5 m slm). Superiormente e fino alla sommità dei rilievi collinari a circa 35-40 m slm, sono presenti i depositi vulcanici (Unità di Villa Senni).

3 - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'assetto idrogeologico dell'area in esame è riconducibile al modello di circolazione idrica sotterranea proprio del settore terminale nord occidentale dell'Unità Idrogeologica dei Colli Albani. Tale modello è schematizzabile con un substrato a bassissima permeabilità, costituito dalla formazione delle *Argille Azzurre plioceniche* (Formazione di Monte Vaticano), al di sopra del quale si trova la sequenza delle vulcaniti della fase eruttiva tuscolano-artemisia, prevalentemente costituita da prodotti esplosivi di tipo ignimbrítico depositasi durante il Pleistocene medio. I prodotti vulcanici risultano nel complesso mediamente permeabili e sono sede di una falda acquifera regionale con drenaggio verso nord ovest, in direzione del Fiume Tevere. La geometria dell'acquifero illustrata dalla carta delle linee isofreatiche e di deflusso del settore nord occidentale dei Colli Albani (fig. 5), indica un livello di saturazione che da circa 70-80 metri s.l.m. nell'area delle Mole, scende a 19-20 metri s.l.m. in corrispondenza della via Cristoforo Colombo, nel tratto dove essa delimita l'area in studio per poi raccordarsi al livello medio del Tevere che nel meandro di S. Paolo è posto a circa



500 m c.a.

Fig. 5 - Carta delle isofreatiche del settore sud-orientale di Roma.
- Phreatic surface contours of Rome's south-eastern sector.

2 m s.l.m. In relazione allo spessore medio dell'acquifero e ai valori di trasmissività ricavati da alcune prove di pompaggio effettuate in pozzi per acqua ubicati a ridosso dell'area di studio lungo la Via Colombo, si calcola che il flusso idrico sotterraneo che proviene dal settore centrale dei Colli Albani, lungo il fronte compreso tra Via Costantino e Via Severo, ha un ordine di grandezza di alcune centinaia di litri al secondo. Tale flusso, incontrando tra le quote 15 e - 30, i depositi alluvionali del Fosso di Grotta Perfetta, caratterizzati da bassissima permeabilità, si indirizza verso i rilievi collinari che costituiscono i versanti della valle. La circolazione sotterranea prosegue, quindi, all'interno delle sabbie e ghiaie del Paleotevere e al top della serie alluvionale, sia nei terreni di riporto che nelle alluvioni storiche. Dalla lettura dei livelli piezometrici si osserva che il rilevato della linea metropolitana "B" costituisce un ostacolo al naturale deflusso delle acque sotterranee verso il Tevere. Infatti i piezometri posti a Est della linea ferrata si attestano intorno a valori di 14 m s.l.m. mentre per quelli a Ovest i valori sono mediamente più bassi di circa 10 metri.

4 - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Molteplici studi condotti sul territorio attraversato da Via Giustiniano Imperatore hanno consentito di parametrizzare le varie unità presenti nel deposito alluvionale e le "argille Plioceniche" sovraconsolidate costituenti il *bedrock*, al fine di individuare con dettaglio le implicazioni geologi-

che legate ai fenomeni di subsidenza precedentemente descritti.

Le caratteristiche fisico-meccaniche sono state definite attraverso prove di laboratorio eseguite su 180 campioni. Tali parametri sono inoltre controllati e verificati in sito attraverso l'analisi delle prove penetrometriche dinamiche tipo SPT, statiche CPT e di una serie di prove scissometriche in foro.

4.1 - CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI TERRENI

Di seguito sono descritte le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni alluvionali e delle formazioni costituenti il *bedrock* plio-pleistocenico, fatta eccezione per le formazioni vulcaniche e le alluvioni antiche del Paleotevere.

Terreni di riporto - R

Sono terreni estremamente eterogenei di natura essenzialmente piroclastica, con prevalenza di pozzolane scoriacee, prevalentemente relativi a riporti antropici messi in posto per la realizzazione dei rilevati stradali che hanno alzato la quota di campagna dell'area.

Le analisi granulometriche hanno evidenziato la presenza preponderante della frazione sabbio-ghiaiosa (60-70 %), pur in presenza di locali orizzonti con componente limo-argillosa significativa.

I coefficienti di uniformità sempre molto elevati indicano classamenti non omogenei, tipici di terreni caotici.

Le prove di laboratorio hanno prodotto i seguenti risultati (tab.1).

Tab. 1 - Parametrizzazione geotecnica relativa ai terreni di riporto (R)
- *Geomechanical parameters of the anthropic backfill (R)*

Peso di volume - (kN/m^3)	15.6-19.6
Umidità naturale - W_n (%)	28.9-44.5
Limite liquido - LL (%)	ND-48.3
Indice Plastico - IP	NP-15.6
Indice di consistenza - I_c	0-0.7
Angolo di attrito - ($^\circ$)	17-44
Coesione drenata - C' (kPa)	0-30
SPT - colpi/30cm	5-9
Modulo di deformabilità - E (kPa) (stimato da SPT)	5000-10000



I limiti di Atterberg non sono in genere determinabili; soltanto localmente, ove sono presenti frazioni limo-argillose, si riscontra un certo grado di plasticità, ma sempre con bassi valori di Indice Plastico.

Il comportamento geomeccanico è decisamente frizionale con elevati angoli di attrito e coesione nulla o molto bassa.

I riporti sono stati sottoposti a numerose penetrometrie dinamiche che, per terreni di difficile e poco significativo campionamento come quelli in esame, rappresentano la migliore metodologia per una loro parametrizzazione: si sono ottenuti valori variabili da 5 a 9 colpi/30cm.

Con tali valori si ottengono densità relative $D_r = 30\% - 40\%$ ed angoli di attrito di picco di $34^\circ - 40^\circ$.

I bassi valori di addensamento sono confermati dalle prove di taglio che sono caratterizzate da significative deformazioni verticali negative durante le prime fasi di rottura e pertanto la pur elevata resistenza al taglio si realizza dopo non trascurabili fenomeni di deformazione.

In base ai valori penetrometrici, si stima un modulo di deformazione $E = 5000-10000$ kPa.

All'interno dei riporti esiste una falda con piezometrica a circa 3-5 m dal piano campagna che con le sue escursioni giustifica la variabilità dei valori di umidità.

Alluvioni storiche - Allstar

Inferiormente ai riporti e per uno spessore di circa 3-4 m sono presenti i depositi delle ultime alluvioni storiche caratterizzate da sabbie limo-argillose con inclusi elementi antropici fluitati; i terreni sono prevalentemente di origine piroclastica con frequenti elementi di tufo lapideo.

Localmente si rinvengono orizzonti pedogenizzati e/o torbosi con frustoli vegetali. Le prove di

laboratorio hanno prodotto i seguenti parametri geotecnici (tab.2)

I Limiti di Atterberg sono in genere non determinabili in quanto prevalgono granulometrie grossolane sabbio-ghiaiose.

L'unica prova edometrica in un campione a granulometria limo-argillosa ha confermato moduli di deformabilità molto bassi ($E_{ed} = 3650$ kPa).

La notevole variabilità dell'umidità è legata alla presenza di circolazione idrica, sostenuta dalle sottostanti argille marroni.

Le penetrometrie dinamiche hanno dato valori variabili da 5 a 9 colpi/30cm, dai quali si stima una Densità Relativa $D_r = 30\% - 40\%$ ed angoli di attrito di picco di $35^\circ - 45^\circ$.

Il comportamento geomeccanico è decisamente frizionale, con coesione pressochè nulla; rispetto ai riporti antropici sopra descritti risulta una maggiore percentuale della frazione ghiaio-sabbiosa.

"Argille" marroni - AM

Trattasi di "argille" limose e limi argillosi di colore marrone dotate, al tetto, di una media consistenza che diminuisce in profondità; tale caratteristica è legata a fenomeni di consolidazione per essiccamento superficiale.

Le prove di laboratorio hanno evidenziato i seguenti parametri fisico-meccanici (tab. 3)

I valori di umidità e dei Limiti di Atterberg sono piuttosto elevati; l'indice di consistenza è medio basso, pur diminuendo con la profondità, e individua stati fisici da plastici a molli-plastici.

Il comportamento geomeccanico è decisamente coesivo, con parametri in accordo con le caratteristiche globali del litotipo in esame; la coesione non drenata, determinata da prove di compressione ad espansione laterale libera, è inferiore ai valori ottenuti in sito con il penetrometro e *Vane Test*

Tab. 2 - Parametrizzazione geotecnica relativa all'unità dei depositi alluvionali storici (Allstar)

- *Geomechanical parameters of historical alluvial unit (All star)*

Peso di volume - (kN/m^3)	16.8-19.1
Umidità naturale - W_n (%)	32.40-50.70
Angolo di attrito - ϕ'	35-47
Coesione drenata - C' (kPa)	0-40
SPT - colpi/30cm	6-8
Modulo di deformabilità - E (kPa) (stimato da SPT)	4000-7000

tascabili. Ciò può essere imputato a disturbi di decompressione durante il campionamento e la preparazione dei provini in laboratorio.

Le scissometrie in sito hanno dato valori di C_u decrescenti con la profondità e variabili da 50 a 100 kPa, confermando i relativamente migliori valori di coesione in sito.

Le penetrometrie statiche hanno dato valori di $R_p = 800-1000$ kPa e $R_l = 20-30$ kPa; i rapporti R_p/R_l individuano terreni limosi ed argillosi più o meno sabbiosi. La coesione non drenata stimata dalle penetrometrie statiche ($C_u = 60$ kPa) è risultata leggermente più elevata di quella misurata in laboratorio.

Le caratteristiche di deformabilità indicano una medio-alta compressibilità.

Argilla nerastra organica - AO1

I terreni in esame sono caratterizzati da colorazione bruno-nerastra per l'elevato contenuto in sostanza organica; localmente sono presenti screziature grigiastre, marroni e/o verdastre.

Le prove di laboratorio hanno individuato i seguenti parametri fisico-meccanici (tab. 4)

Come si può notare trattasi di parametri del tutto particolari e globalmente individuano un terreno dotato di scadenti caratteristiche geotecniche.

L'elemento predominante e sicuramente l'elevato contenuto in sostanza organica che una serie di determinazioni ha valutato intorno al 15-35% in peso.

Le densità sono particolarmente basse, con Indici dei Vuoti che arrivano a valori maggiori di 4.00.

Sovente si è misurato un contenuto di umidità superiore al limite liquido e di conseguenza si realizzano Indici di Consistenza $I_c < 1$, che indicherebbero stati fisici inconsistenti ed allo stato semifluido. Tale caratteristica è tipica dei terreni metastabili e/o sensitivi per i quali sono possibili stati stabili soltanto in sito (in presenza di tensioni di confinamento), ma qualora vengano disturbati da tensioni sia statiche che dinamiche possono

Tab. 3 - Parametrizzazione geotecnica relativa all'unità delle "Argille Marroni"(AM).

- *Geomechanical parameters of brown clays (AM).*

Peso di volume - γ (kN/m ³)	14.3-18.8
Umidità naturale - W_n (%)	33.50-86.30
Limite liquido - LL (%)	51.30-123.70
Indice Plastico - IP	9.90-58.20
Indice di consistenza - I_c	0.3-0.8
Angolo di attrito - ϕ'	24.0-30.63
Coesione drenata - C' (kPa)	0-35
Coesione non drenata - C_u (kPa)	15-27
Modulo edometrico - E_{ed} (kPa)	2870-5850

Tab. 4 - Parametrizzazione geotecnica relativa all'unità delle "Argille Organiche" (AO1).

- *Geomechanical parameters of organic clays (AO1).*

Peso di volume - γ (kN/m ³)	11.5-14.8
Umidità naturale - W_n (%)	91.0-186.10
Limite liquido - LL (%)	102.8-171.3
Indice Plastico - IP	30.8-93.9
Indice di consistenza - I_c	0.20-0.53
Angolo di attrito - ϕ'	13-29
Coesione drenata - C' (kPa)	0-25
Coesione non drenata - C_u (kPa)	16-61
Modulo edometrico - E_{ed} (kPa)	1050-1320



perdere la loro coesione; in particolare se sottoposti a tensioni dinamiche possono produrre fenomeni locali di deformazione di collasso.

L'attività colloidale è caratterizzata da valori variabili da 1.0 a 1.5, tipici di materiali tendenzialmente attivi.

I parametri di resistenza al taglio sono decisamente bassi; in alcune prove di taglio si sono ottenuti alcuni valori di coesione elevati ($C' = 40-90$ kPa), che risultano non rappresentativi e legati a situazioni locali non estrapolabili e influenzati dalla presenza di frustoli ed elementi vegetali più o meno lignificati, particolarmente diffusi nel litotipo qui esaminato.

Ovviamente da quanto detto risultano elevati valori di compressibilità; tra l'altro le curve $e/\log\sigma^1$ individuano a volte curve di compressione vergine non retta e ciò è tipico di terreni sensitivi e metastabili.

In tali casi risulta non univoca la valutazione dell'Indice di Compressibilità, il quale può comunque valutarsi maggiore di 2.00.

Le curve cedimento/tempo sono caratterizzate da una certa percentuale della deformazione secondaria e perciò sono ipotizzabili significativi fenomeni di deformazione visco-plastica e di *aging*, probabilmente ancora in atto.

Le scissometrie hanno testato soltanto gli orizzonti superiori delle argille organiche in esame, confermando i bassi valori di coesione non drenata ($C_u = 20-30$ kPa).

Le penetrometrie statiche sono risultate particolarmente utili nel caratterizzare con continuità le caratteristiche geotecniche dei terreni ed hanno confermato parametri particolarmente scadenti: $R_p = 800-1000$ kPa e $R_l = 20-30$ kPa.

L'utilizzazione del rapporto R_p/R_l per l'interpretazione dei litotipi attraversati non è in questi

casi attendibile; infatti con terreni sensitivi e metastabili e con bassi valori di R_p e R_l , l'influenza delle pressioni interstiziali indotte dalla penetrazione non è più trascurabile ed i valori suddetti andrebbero corretti. Per problematiche come quelle in esame OLSEN (1984) ha costruito un grafico per la classificazione dei terreni il quale conferma l'individuazione di limi ed argille organiche e sensitive.

Detriti di versante fluitati - D_v

Le indagini che hanno contemplato sondaggi geognostici lungo una sezione trasversale alla valle del Fosso di Grotta Perfetta, hanno evidenziato che la successione olocenica sin qui descritta (AM, AO1, AV) presenta delle significative eteropie verso i margini del bacino, ove i sedimenti lacustri-palustri acquistano caratteri più grossolani ed eterometrici per gli apporti di versante fluitati e rimaneggiati nel bacino stesso durante le fasi di sedimentazione.

Le prove di laboratorio hanno evidenziato i seguenti parametri fisico-meccanici (tab. 5).

Le granulometrie sono molto variabili, con contenuto ghiaioso da assente fino a 37 %; questa eterogeneità si ripercuote ovviamente sulla estrema variabilità della resistenza al taglio con comportamento geomeccanico localmente "attritivo" ed a luoghi essenzialmente coesivo.

"Argille" verdastre - AV

Le prove di laboratorio hanno evidenziato i seguenti parametri fisico-meccanici (tab. 6).

Nei terreni in esame si riscontrano valori di umidità, Limiti di Atterberg e relativi indici che, pur essendo ancora elevati, denotano un certo miglioramento rispetto alle argille organiche sovrastanti.

Tab. 5 - Parametrizzazione geotecnica relativa ai detriti di versante (D_v).
- *Geomechanical parameters of valley debris (DV).*

Peso di volume - γ (kN/m ³)	16-18
Umidità naturale - W_n (%)	33.6-52.6
Limite liquido - LL (%)	47-73
Limite Plastico - IP	5-45
Indice di consistenza - Ic	0.45-1.4
Angolo di attrito - ϕ'	14-29
Coesione drenata - C' (kPa)	7-37

In particolare ciò è dovuto all'assenza o minore presenza di sostanza organica (valori inferiori al 10 % e riferiti a particolari orizzonti); la classifica USCS indica terreni MH e ML, mentre l'attività colloidale riscontra valori normali ($A = 0.4-0.6$).

Pur tuttavia permangono bassi valori dell'indice di consistenza e bassa resistenza al taglio, la quale è sostanzialmente simile alle argille organiche precedentemente descritte

Le caratteristiche di compressibilità denotano valori dell'Indice di Compressibilità $C_c = 0.6-1.5$, i quali, pur essendo ancora tipici di argille molto compressibili, individuano un leggero miglioramento rispetto alle sovrastanti argille organiche

Le penetrometrie statiche CPT danno valori di $R_p = 800$ kPa e $R_l = 10$ kPa, sempre molto bassi.

"Argille" nerastra organica - AO2' (AO2', AO2")

Le "argille" in esame sono caratterizzate da parametri fisico-meccanici simili a quelle nerastre ed organiche precedentemente descritte (AO1), ma

si individua, a profondità maggiori di 35-40 m, una colorazione grigiasta e non più nerastra (diminuzione di sostanza organica) ed un relativo aumento di coesione, in presenza di orizzonti grossolani di natura pozzolanacea fluitati.

Questa situazione geotecnica e stratigrafica permette pertanto una divisione dello strato in due sotto-unità: una superiore AO2' ed una inferiore AO2".

Dalle prove di laboratorio si sono ottenuti i seguenti parametri fisico-meccanici (tab. 7).

L'Unità AO2' è caratterizzata da parametri abbastanza simili alla unità AO1; si individuano elevati valori di umidità e dei limiti di Atterberg, con indici di consistenza molto bassi fino a valori quasi nulli; permangono le caratteristiche di terreni sensitivi e metastabili.

Dalle prove penetrometriche statiche CPT si individuano i seguenti valori medi delle resistenze alla punta e laterale:

$$R_p = 1000-1800 \text{ kPa}$$

$$R_l = 20-40 \text{ kPa}$$

Tab. 6 - Parametrizzazione geotecnica relativa alle "argille verdastre" (AV).
- *Geomechanical parameters of greenish clays (AV).*

Peso di volume - γ (kN/m ³)	12.3-16.7
Umidità naturale - W_n (%)	49.30-160.10
Limite liquido - LL (%)	44.30-168.0
Limite Plastico - IP	13.7-48.4
Indice di consistenza - I_c	0.30-0.80
Angolo di attrito - ϕ'	12.27-25.0
Coesione drenata - C' (kPa)	0-25
Coesione non drenata - C_u (kPa)	2-19
Modulo edometrico - E_{ed} (kPa)	1300-1810

Tab. 7 - Parametrizzazione geotecnica relativa all'unità delle "argille organiche" (AO2).
- *Geomechanical parameters of organic clays (AO2).*

	AO2'	AO2"
Peso di volume - γ (kN/m ³)	11.7-17	13.9-18.2
Umidità naturale - W_n (%)	48.2-192.6	31.7-101.3
Limite liquido - LL (%)	62.4-164.8	53.7-128.8
Indice Plastico - IP	18.4-76.3	14.6-51.0
Indice di consistenza - I_c	0.2-0.8	0.4-1.56
Angolo di attrito - ϕ'	17-32	26-28
Coesione drenata - C' (kPa)	0-25	0-20
Coesione non drenata - C_u (kPa)	15-36	12-25
Modulo edometrico - E_{ed} (kPa)	2610-3380	7640



L'unità AO2" è invece dotata da parametri fisico-meccanici relativamente migliori e dalla presenza di diffusi orizzonti e strati pozzolanacei, lenticolari e di dimensioni decimetriche; soltanto localmente gli spessori arrivano a 1-3 m.

La conseguenza della presenza di tali interstratificazioni è un relativo miglioramento geotecnico dell'ammasso argilloso, soprattutto in vicinanza dei suddetti orizzonti, i quali, caratterizzati da maggiore permeabilità hanno permesso locali e discontinui fenomeni di consolidazione delle argille organiche.

Ciò è ben visibile analizzando le penetrometrie statiche, le quali, prescindendo dalle lenti pozzolanacee, individuano i seguenti valori penetrometrici per le argille organiche in esame:

$$R_p = 1500-2000 \text{ kPa}$$

$$R_l = 30-60 \text{ kPa}$$

Le migliori condizioni geotecniche dello strato AO2" rispetto allo strato AO2' si notano anche analizzando i valori d'umidità, di densità e di deformazione.

Ghiaie sabbiose - G

Per le ghiaie in esame, pur non rivestendo particolare interesse per le problematiche di dissesto in atto, data la profondità alla quale sono presenti ed in quanto esse rappresentano comunque un *bedrock* stabile a bassa deformabilità, si sono definite le caratteristiche fisico-meccaniche stimate sulla base

di informazioni ricavate in letteratura. Tali caratteristiche sono riportate in tab. 8.

"Argille" grigie consistenti - Formazione di Monte Vaticano - Apl

Le "argille" plioceniche costituenti il *bedrock* del deposito alluvionale, benché non rivestano importanza per le problematiche di dissesto, sono state parametrizzate in base ad alcuni valori di laboratorio, ai valori del penetrometro tascabile e a dati di letteratura.

Dal penetrometro tascabile si sono ottenuti valori di $R_p = 350-500 \text{ kPa}$, dai quali può stimarsi una coesione non drenata $C_u = 170-250 \text{ kPa}$.

Tali valori individuano "argille" molto consistenti.

Si identificano i seguenti parametri fisico-meccanici riportati in tab. 9.

5 - CONSIDERAZIONI SUI CARATTERI FISICO-MECCANICI DEI DEPOSITI ALLUVIONALI DEL FOSSO DI GROTTA PERFETTA

5.1 - CARATTERI FISICI

I caratteri fisici dei depositi alluvionali sono definiti da valori decisamente anomali: per esempio si individuano contenuti in acqua fino a valori di 70-150 % e densità piuttosto basse ($\gamma = 13-16$

Tab. 8 - Parametrizzazione geotecnica relativa alle ghiaie di base (G).
- *Geomechanical parameters of base gravels (G).*

Peso di volume - γ (kN/m ³)	19
Angolo di attrito - ϕ'	35
Coazione drenata - C' (kPa)	0
Modulo di Deformazione - E (kPa)	50000

Tab. 9 - Parametrizzazione geotecnica relativa all'Unità di Monte Vaticano (Apl).
- *Geomechanical parameters of Monte Vaticano Unit (Apl).*

Peso di volume - γ (kN/m ³)	19.5-21.3
Umidità naturale - W_n (%)	17.3-23.0
Indice di consistenza - Ic	1.1-1.36
Angolo di attrito - ϕ' (°)	20-24
Coazione drenata - C' (kPa)	30-60
Coazione non drenata - C_u (kPa)	170-250
Indice di compressibilità - Cc	0.04-0.21

kN/m^3), accompagnati da indici dei vuoti molto elevati ($e = 1.5-4.5$).

Dall'analisi dell'andamento dei parametri fisici con la profondità si evidenzia inoltre, ad una profondità da circa 15 a 30 m dal piano campagna (-1/-13 m slm) in corrispondenza degli strati AO1 e AV, valori particolarmente anomali ($W_n = 100-200\%$; densità = $12-14 \text{ kN/m}^3$; $e = 2.5-4.5$).

La fig. 6 mostra una correlazione fra i valori di Umidità naturale e di Peso di Volume delle varie unità afferenti alle alluvioni oloceniche del Fosso

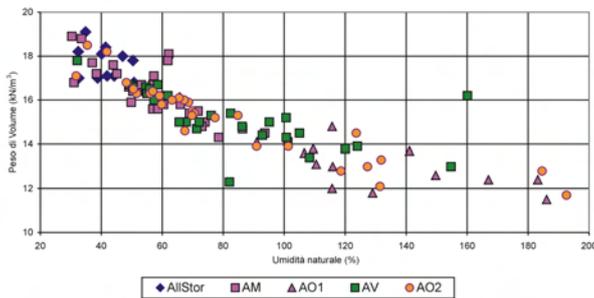


Fig. 6 - Correlazione fra Umidità Naturale e Peso di Volume.
- Natural Humidity vs. Volume Weight correlation..

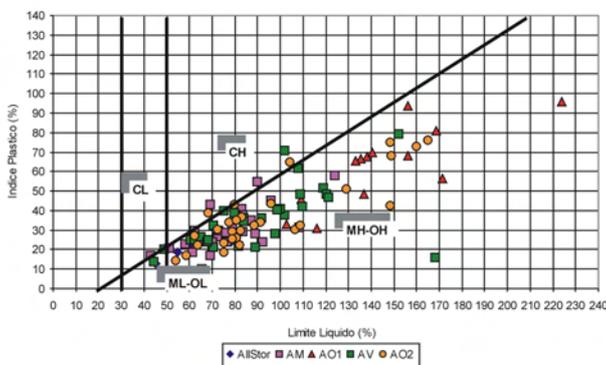


Fig. 7 - Carta di Plasticità di Casagrande.
- Casagrande's Plasticity map.

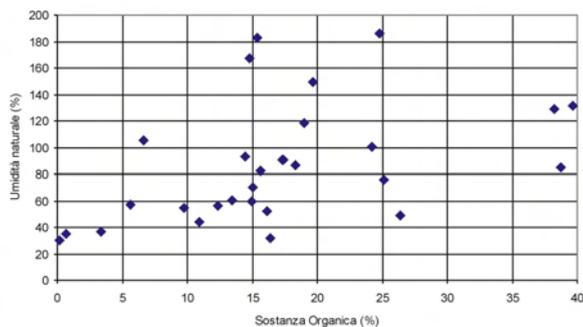


Fig. 8 - Variazione del Indice di Compressibilità rispetto al contenuto di SO.
- Variation of the Compressibility Index compared with OM content.

di Grotta Perfetta.

Nella fig. 7 si mostra la distribuzione dei valori di LL e IP nella Carta di Plasticità di Casagrande, separatamente per le varie unità litotecniche: si notano molti dati localizzati al di sotto della "linea A" che individua terreni MH e OH ("argille" e limi organici molto compressibili).

Negli strati AO1, AO2 e AV si verifica che i valori di Umidità sono anche superiori ai Limiti Liquidi, con conseguenti indici di consistenza, oltre che molto bassi, anche negativi.

Tale ultima condizione fisico-meccanica, con indici di consistenza inferiore all'unità, individua pertanto in sito stati metastabili e/o "argille" sensitive e ciò sembra dovuto anche alla presenza di sostanza organica.

Con esclusione dello strato AV, si segnala infatti un abbondante contenuto in sostanza organica che fa assumere ai sedimenti una colorazione grigio-scura fino a decisamente nerastra; la sostanza organica è presente in forma particellare e colloidale diffusa nei sedimenti e solo localmente assume l'aspetto di vera e propria torba con elementi vegetali macroscopici.

La sostanza organica varia da poche unità percentuali fino al 25% in peso, con locali orizzonti in cui la percentuale è superiore al 30 - 35%.

Le figure 8 e 9 mostrano le relazioni tra il contenuto in sostanza organica e l'Umidità Naturale e l'Indice di Attività.

L'Indice di Attività, valutato in base all'Indice Plastico ed alla percentuale della frazione argillosa, individua indirettamente minerali argillosi prevalentemente rappresentati da illite e caolinite, ma con frequenti contenuti in smectite soprattutto per l'Unità AO1.

5.2 - RESISTENZA AL TAGLIO

La resistenza al taglio è molto bassa per tutti gli strati, ma valori quasi nulli di resistenza si realizzano fra 0 e -15 m slm, sia in relazione all'angolo di attrito efficace che per la coesione drenata e non drenata.

I parametri variano da $\delta' = 12^\circ - 25^\circ$ e la coesione drenata C' oscilla da $a = 20 \text{ kPa}$; la coesione non drenata C_u è intorno a $10-30 \text{ kPa}$ (da notare la limitata differenza fra la coesione drenata e non drenata). Mostriamo qui di seguito in forma grafica (fig.10) i valori dell'angolo di attrito e di coesione drenata separatamente per le varie unità litotecniche.



La resistenza al taglio molto bassa è anche confermata dai valori di coesione non drenata C_u ; la figura 11 mostra come tali valori scadenti siano correlabili al contenuto in sostanza organica.

Le curve di rottura carico/deformazione hanno sempre un andamento plastico, con fase elastica molto limitata o quasi inesistente; tale andamento tenso-deformativo determina una certa incertezza alla individuazione di un "punto" di rottura ed è indice di un comportamento parzialmente viscoso, dovuto alla presenza di sostanza organica ed alla

sensibilità delle argille limose. La resistenza al taglio molto bassa è conseguenza soprattutto dei bassi indici di consistenza e degli elevati valori dell'indice dei vuoti, ma anche dei valori medio-elevati della "sensibilità" di questi terreni; le argille sensitive sono quelle che mostrano rapporti elevati fra la resistenza non drenata del campione indisturbato e quella di un campione rimaneggiato. Questo aspetto è di una certa importanza in quanto può essere indice di possibili scadimenti della resistenza a seguito di tensionamenti statici e/o dinamici (vedi capitolo riguardante l'amplificazione delle onde sismiche).

5.3 - DEFORMABILITÀ

I parametri di deformabilità, espressi con i Moduli Edometrici corrispondenti ai livelli tensionali attualmente agenti in sito, danno valori variabili da 1000 a 3000 kPa, con valori minimi alle quote comprese fra 0 e -15 m slm. I Coefficienti di compressibilità relativi alla curva vergine sono intorno a $C_c = 0.4-1.5$ fino a $C_c = 2.3$. Nell'ambito della deformabilità, oltre che alla compressibilità per consolidazione, si sono evidenziati dai grafici edometrici ($e/\log\sigma^1$) indizi di comportamenti deformativi viscosi con andamento non rettilineo della curva di compressione vergine. I parametri edometrici ora descritti fanno supporre che i processi di consolidazione, esplicitati attraverso la dissipazione delle pressioni interstiziali per carichi geostatici, non hanno fatto assumere, nel corso del tempo, minori valori di umidità e densità più elevate, ma si è mantenuto uno stato di sottoconsolidazione. Questa situazione non è generalizzabile a tutti i depositi alluvionali olocenici dell'area romana; per esempio i depositi alluvionali argilloso-limosi della piena valle tiberinga, nonostante si siano deposte in epoche coeve da quelle del fosso in esame, sono caratterizzati da parametri relativamente migliori e da stati normalconsolidati (vedi figura 12).

La ragione per la quale i depositi olocenici in esame non abbiano potuto dissipare le pressioni interstiziali nel corso della loro storia tensionale può essere dovuto in prima approssimazione a:

- 1) - mineralogia della frazione argillosa (p.es. presenza di smectite)
- 2) - contenuto in sostanza organica
- 3) - condizioni al contorno che impediscono la dissipazione delle pressioni interstiziali.

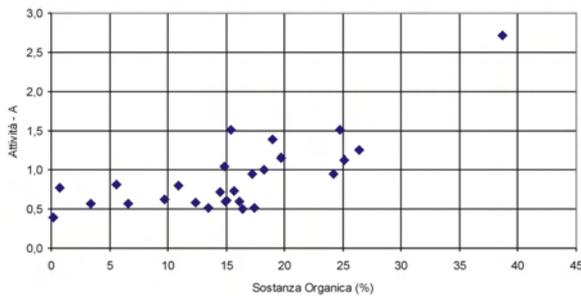


Fig. 9 - Variazione dell'Attività rispetto al contenuto di SO.
- Variation of the Activity compared with OM content.

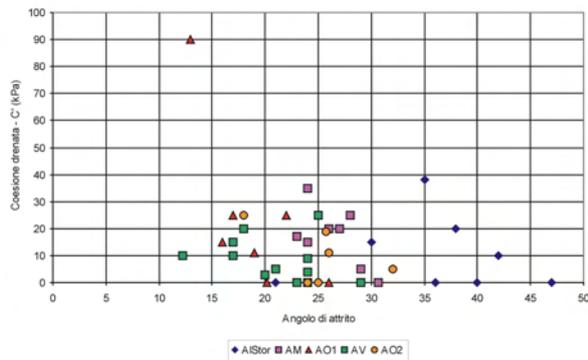


Fig. 10 - Correlazione fra Angolo di Attrito e coesione drenata per le diverse unità del deposito.
- Friction Angle vs. drained cohesion for the different depositional units.

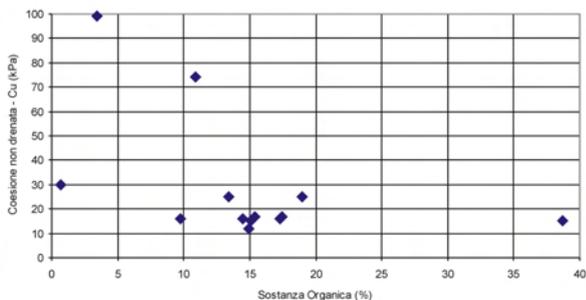


Fig. 11 - Correlazione fra coesione non drenata C_u e contenuto in sostanza organica.
- Undrained cohesion vs. organic matter content.

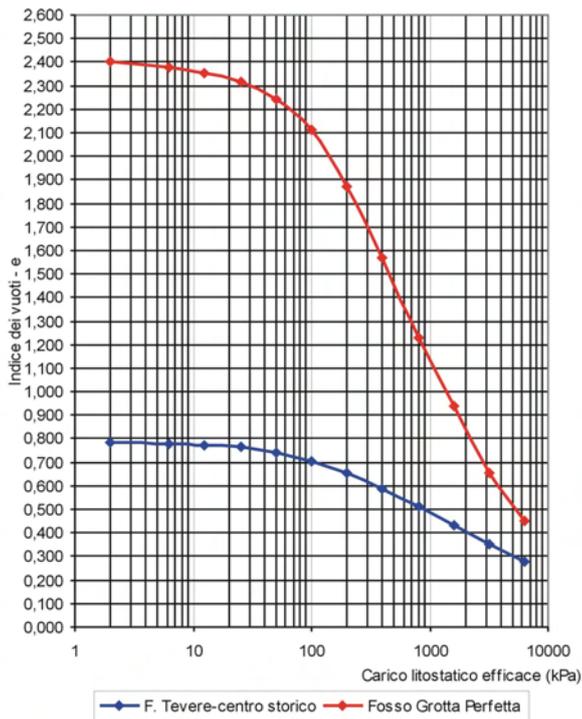


Fig. 12 - Confronto fra le curve edometriche delle alluvioni del Fosso di Grotta Perfetta e della Valle Tiberina.

- Comparison between oedometric curves of the alluvial deposits in the Fosso di Grotta Perfetta stream and valley.

Le cause dei punti 1) e 2) sono intrinseche ai terreni e determinano valori bassi della permeabilità e dei coefficienti di consolidazione. La causa del punto 3) invece potrebbe aver determinato condizioni al contorno che hanno limitato e/o impedito la dissipazione delle pressioni interstiziali dei depositi olocenici. L'elevato contenuto di sostanza organica influenza le caratteristiche fisiche e meccaniche dei depositi limo-argillosi attraverso i seguenti meccanismi (MALKAWI A.I *et alii*, 1999):

- bassi contenuti in sostanza organica (1-5%) tendono a facilitare i fenomeni di flocculazione, mentre con contenuti più elevati (S.O. > 10-15%) i minerali argillosi tendono ad una struttura dispersa, che rende più difficoltosa e lunga la dissipazione delle pressioni interstiziali

- la sostanza organica fa aumentare il contenuto in acqua ed i valori dei Limiti di Atterberg e pertanto la plasticità dei terreni con conseguente scaldamento della resistenza al taglio ed aumento della deformabilità

Dalle prove edometriche si sono misurati coefficienti di permeabilità $k = 1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-10}$ cm/s, mentre in base alle prove di permeabilità in sito si

sono ottenuti valori relativamente più elevate ed intorno a $k = 1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-7}$ cm/s; tale differenza può essere dovuta al fatto che le permeabilità di laboratorio sono misurate su campioni di dimensioni centimetriche, mentre le prove Lefranc in sito coinvolgono volumi di terreno maggiore. I parametri edometrici individuano sempre terreni ad elevata deformabilità soprattutto in corrispondenza degli strati AO1, AV e AO2; l'unica eccezione è rappresentata dalla Unità litotecnica AV ove si riscontra una elevata deformabilità in assenza di sostanza organica. La elevata deformabilità accompagnata da bassa permeabilità individua tempi di consolidazione tendenzialmente lunghi: in laboratorio si sono valutati valori del Coefficiente di Consolidazione intorno a $C_v = 1 \times 10^{-4}$ cm²/s. Dai grafici cedimento-tempo delle edometrie si sono stimati Coefficienti di Consolidazione Secondaria $C_{\alpha} = 0.01-0.03$, che individuano una non trascurabile componente di deformazione intergranulare viscosa.

La figura 13 mostra l'andamento dei valori del Modulo Edometrico con la profondità, mentre la figura 14 mostra alcune curve edometriche tipiche delle varie unità litologiche delle alluvioni del fosso.

Dall'analisi dei dati sin qui analizzati si può pertanto asserire che i terreni olocenici appaiono in genere da normalconsolidati e, in corrispondenza degli strati compresi fra 15 e 30 m dal piano campagna sottoconsolidati; ciò porta a ipotizzare che, prescindendo dai carichi indotti dalle urbanizzazioni (edifici, rilevati stradali), i depositi sono ancora in via di consolidazione e pertanto soggetti a una generale subsidenza. Un aspetto particolarmente importante riguarda la possibilità di amplificazione sismica di tali terreni: infatti nell'area in studio siamo in presenza di depositi plastici, a bassa densità, contenuti entro le formazioni plio-pleistoceniche più rigide. Tale differenza di impedenza sismica determina una amplificazione delle accelerazioni sismiche ed una maggiore "scuotibilità" dei depositi olocenici.

5.4 - LIVELLI TENSIONALI IN SITO

Dal punto di vista geostatico, e nelle condizioni stratigrafiche attuali, si individua una tensione litostatica che raggiunge circa 330 kPa al letto dei depositi olocenici (-35 m slm). Per verificare l'evoluzione tensionale dopo gli interventi di urbanizzazione degli anni '50 e '60 si è calcolato anche l'an-



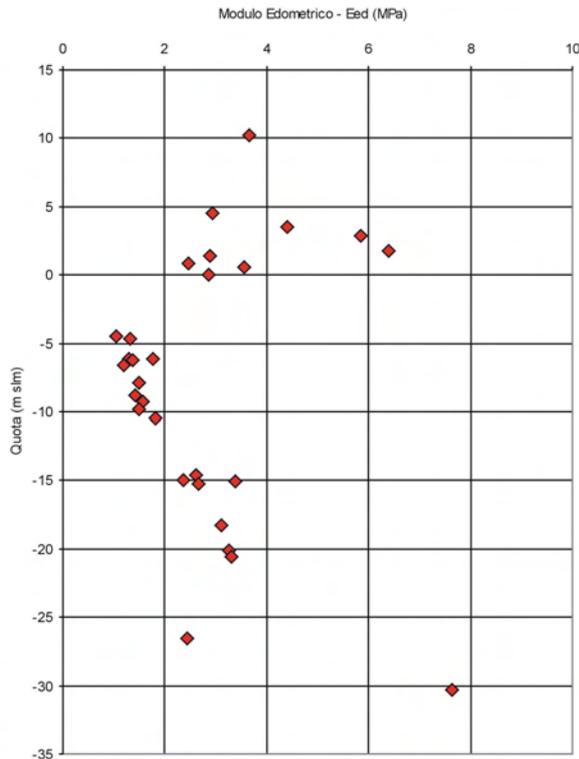


Fig. 13 - Andamento del Modulo Edometrico con la profondità.
- Variation of Oedometric Modulus with depth.

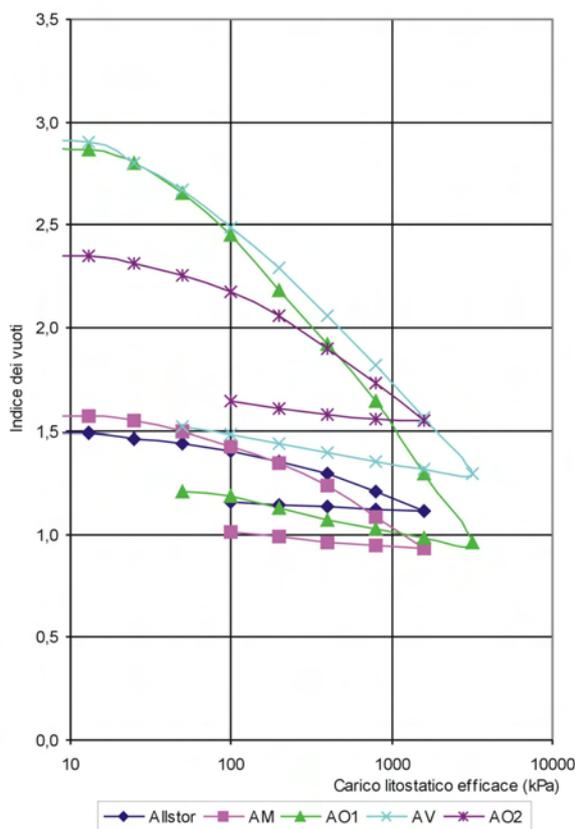


Fig. 14 - Alcune tipiche curve edometriche delle alluvioni oloceniche del Fosso di Grotta Perfetta.
- Some typical oedometric curves of the Olocenic alluvial deposits of the Fosso di Grotta Perfetta water stream.

damento delle tensioni geostatiche partendo dal tetto delle alluvioni storiche e relative alla fase di pre urbanizzazione, anteriore al 1950 circa; in tale contesto si individua un massimo tensionale al letto delle alluvioni oloceniche di circa 270 kPa (la differenza di 60 kPa è infatti da attribuire al carico dei rilevati stradali che hanno innalzato la quota generale dell'area di un valore medio compreso tra 4.5-5.0 m).

Gli andamenti di tali curve tensionali sono mostrate nella figura 16. E' utile a questo punto confrontare tali livelli geostatici in sito con lo stato tensionale valutato sulle curve edometriche attraverso la stima del carico di preconsolidazione. Dalla figura 15 risulta che fino a circa 10-15 m di profondità i terreni in sito hanno un carico di snervamento (preconsolidazione) superiore a quello geostatico in sito: tale realtà è del tutto normale in quanto fa riferimento alla consolidazione delle "argille" limose superiori, oltre che per carico geostatico, anche per fenomeni di essiccazione superficiale; siamo perciò in presenza di terreni tendenzialmente sovraconsolidati rappresentati dalle "argille" AM.

Inferiormente a tale quota i valori di preconsolidazione valutati in laboratorio sono invece inferiori a quelli geostatici in sito fino a circa 35 m di profondità (-20 m slm) e ciò indica che i terreni sono attualmente sottoposti a carichi geostatici superiori a quelli effettivamente misurati in laboratorio e vale a dire che i terreni sono sottoconsolidati (ed attualmente in fase di consolidazione).

I terreni sottoconsolidati sono riferibili alle unità AO1, AV e AO2' e per uno spessore totale di circa 20m; in questo settore delle alluvioni si nota che confrontando i carichi di preconsolidazione dei terreni e l'andamento dei carichi geostatici relativi alle alluvioni storiche (tempi precedenti l'urbanizzazione) i terreni sono in stato di normalconsolidazione o di leggera sottoconsolidazione (*Over Consolidation Ratio* = 0.6-1.0), mentre se il confronto è con l'andamento delle tensioni geostatiche attuali si individua un grado di consolidazione ancora più basso e decisamente sottoconsolidato ($OCR = 0.2-0.5$).

Ciò significa che, soprattutto nel settore centrale, ove gli spessori delle alluvioni sono maggiori ed ove è più difficile la dissipazione delle pressioni interstiziali, i terreni sono ancora in fase di consolidazione per equilibrarsi alle tensioni geostatiche esistenti dopo le fasi di urbanizzazione.

6 - DESCRIZIONE DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DELL'AREA

Dagli studi pregressi è emerso che solo gli edifici ricadenti sul deposito alluvionale mostrano evidenti segni di dissesto. La caratterizzazione geotecnica dei depositi alluvionali ha permesso di stabilire che questi terreni presentano una elevata deformabilità ed una bassa resistenza al taglio prevalentemente dovuta all'alto valore di umidità conseguente all'alto contenuto di sostanza organica presente nelle due unità AO2' e AO1 che sono presenti senza soluzione di continuità su due livelli nel deposito ognuna con uno spessore medio di circa 5m. Per semplicità si può affermare che l'intero corpo alluvionale, seppur siano presenti al suo interno difformità relative a differenti gradi di consolidazione, sia complessivamente sottoposto a cedimenti che coinvolgono non solo gli edifici ma anche le opere sotterranee di canalizzazione delle acque. Tali cedimenti si esplicano non in modo uniforme in quanto dipendenti da diverse variabili; non ultima quella inerente allo spessore del deposito che nell'area in esame è variabile: presenta uno spessore massimo di circa 45-50 m che si riduce verso i rilievi collinari che delimitano il fosso stes-

so. Il problema dei cedimenti, pur essendo la principale causa dei dissesti verificatisi nelle costruzioni edificate sul deposito, risulta non essere l'unico; i depositi alluvionali risultano, essere sede di amplificazione delle onde sismiche in caso di eventi tellurici (CIFELLI F. *et alii*, 2000). Un altro aspetto da considerare è l'elevato contenuto di umidità sovente superiore al limite liquido con conseguenti indici di consistenza < 1 , relativi a stati fisici inconsistenti ed allo stato semifluido che, se sottoposti a disturbi sia statici che dinamici, possono perdere la loro coesione dovuta unicamente a tensioni di confinamento e presentare fenomeni di deformazione viscosa e/o collasso. Il particolare assetto idrogeologico dell'area e l'assenza di opere di drenaggio delle acque provenienti dalle vallecole relative alle aste di impluvio, congiuntamente all'assenza di opere di convogliamento delle acque derivanti da risorgive lungo i versanti della valle, contribuiscono all'alimentazione della falda acquifera presente nei terreni di riporto. La circolazione idrica in questi terreni è causa di fenomeni di *piping* (erosione interna e trasporto nei sedimenti delle frazioni a granulometria minore) che si concentra intorno ad opere solide circondate da terreni incoerenti. L'effetto è quello di scalzamenti e relativi cedimenti dei manufatti.

6.1 - I CEDIMENTI

Verificata la tendenza dell'intero deposito alluvionale al cedimento, assume una particolare importanza la definizione della sua geometria. Il deposito alluvionale presenta spessori che si vanno rastremando verso i versanti della valle sepolta; in corrispondenza di Via Alessandro Severo e Via Costantino si possono individuare le direttrici bordiere dove le alluvioni oloceniche sono assenti o di spessore trascurabile, mentre lungo una fascia centrale immediatamente a sud dell'asse viario di Via Giustiniano Imperatore si realizzano i maggiori spessori delle alluvioni. Questa suddivisione della distribuzione degli spessori delle alluvioni, dal centro verso i bordi della valle, è ovviamente schematica, in quanto anche nelle zone bordiere si possono avere locali aumenti degli spessori dei terreni compressibili in corrispondenza di vallecole, impluvi e variazioni morfologiche dei versanti plio-pleistocenici sepolti. A questo proposito è di estrema importanza sottolineare come la precisa definizione tridimensionale dell'assetto del *bedrock* e quindi del corpo alluvionale sia indispensabile alla

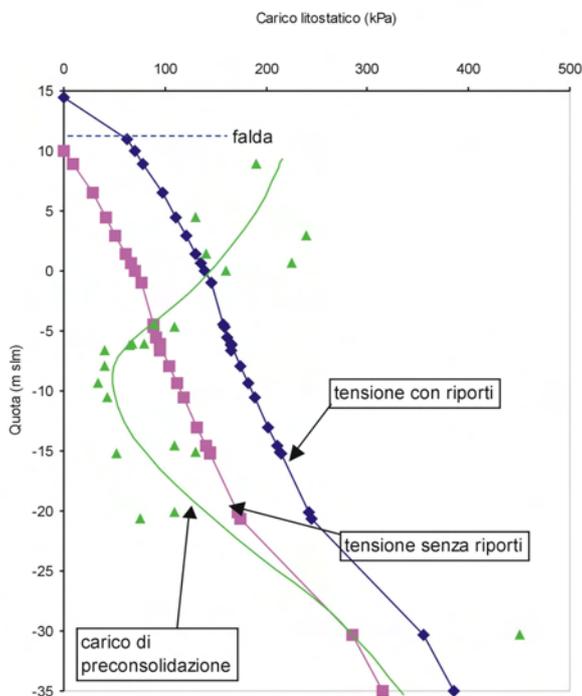


Fig. 15 - Andamento della tensione geostatica senza riporti, con riporti e valori del carico di preconsolidazione.

- Variation of geostatic tension without landfill cover, with landfill cover, and preconsolidation load values.



corretta quantificazione della pericolosità geologica del sito. In fig. 16 si presenta un modello relativo alle dinamiche dei cedimenti per una sezione "tipo".

A seconda della profondità del *bedrock* dal piano campagna (e quindi dello spessore del deposito alluvionale) è possibile identificare una "zona marginale", una "zona intermedia" e una "zona centrale". Nella zona marginale, ubicabile nelle parti bordiere della valle e relativa alla zona dove i versanti della valle sepolta sono più acclivi, si possono presentare rotazioni e/o cedimenti differenziali dei corpi di fabbrica. Tali rotazioni hanno condotto, nel 2005, alla demolizione del corpo di fabbrica indicato con 15B nella figura 17.

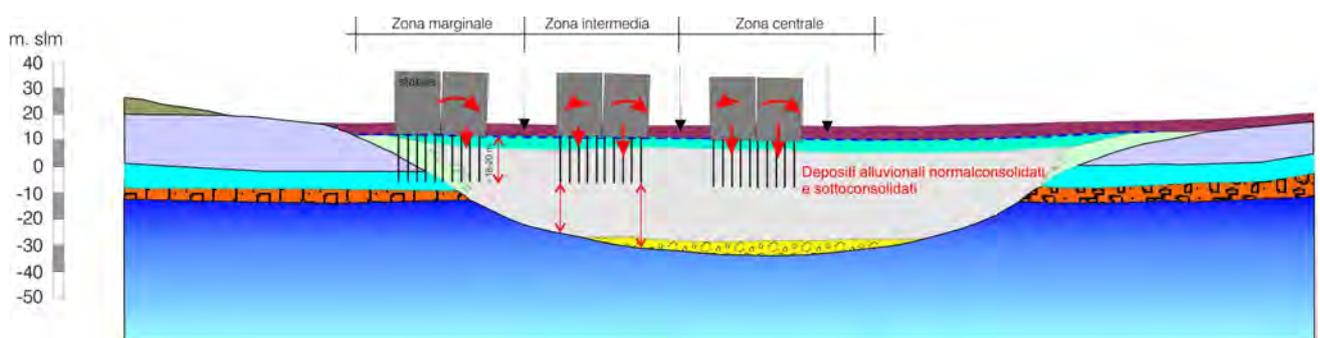
Questi cedimenti si possono verificare sia in edifici costruiti su pali che non raggiungano e oltrepassino il *bedrock* e su platee. Nel caso in cui solo i pali più esterni riescano ad attestarsi nel *bedrock* si possono verificare rotazioni dovute al cedimento della porzione del fabbricato che non si attesta nel substrato. Nel caso di edifici su platee, la consolidazione del terreno dovuta al carico imposto si verifica con tempi diversi a seconda dello spessore del deposito alluvionale provocando, anche in questo caso cedimenti differenziali e/o rotazioni. Nella

zona intermedia si risente degli effetti del diverso spessore del deposito alluvionale secondo gli stessi meccanismi della zona marginale ma in forma meno importante. Anche nella zona centrale si verificano cedimenti ma sono pressoché uniformi in quanto la profondità del *bedrock* è perlopiù costante lungo l'asse vallivo.

Gli stessi meccanismi fin qui descritti per i corpi di fabbrica valgono anche per le opere sotterranee quali, per esempio, i collettori fognari. Anch'essi esplicano un carico e quindi sono causa di cedimenti del terreno di posa. Quando i cedimenti sono di tipo differenziale l'eventualità di danneggiamento delle strutture è alta, specialmente per corpi lineari e rigidi quali le grandi condotte fognarie.

6.2 - I RILEVATI STRADALI E IL RAPPORTO CON I DISSESTI

Anche i rilevati stradali e i colmamenti del fondovalle, rialzando la quota generale di circa 4-5 m, esplicano un carico sui terreni alluvionali provocandone la consolidazione e quindi il cedimento. Questi interventi hanno determinato un incremento di carico di circa 60 kPa arealmente diffuso in caso di riempimenti e distribuito linearmente in



ZONAZIONE SCHEMATICA DEI MECCANISMI DI DISSESTO

ZONA MARGINALE: Rotazioni e cedimenti differenziali tra corpi di fabbrica

ZONA INTERMEDIA: Rotazioni e cedimenti differenziali tra corpi di fabbrica instabili (fondazioni su pali sospesi); i cedimenti differenziali sono dovuti ad una differenza significativa di spessore dei terreni compressibili e/o ad una

ZONA CENTRALE: Rotazioni e cedimenti differenziali tra corpi di fabbrica instabili (fondazioni su pali sospesi); i cedimenti differenziali sono dovuti ad una disomogeneità della distribuzione dei carichi degli edifici e/o a locali tensioni

Fig. 16 - Schema dei meccanismi di dissesto su una sezione rappresentativa del Fosso di Grotta Perfetta.
- Damage mechanisms diagram in a typical section of the Fosso di Grotta Perfetta water stream.

EDIFICIO n°15 - sezione stratigrafica 1

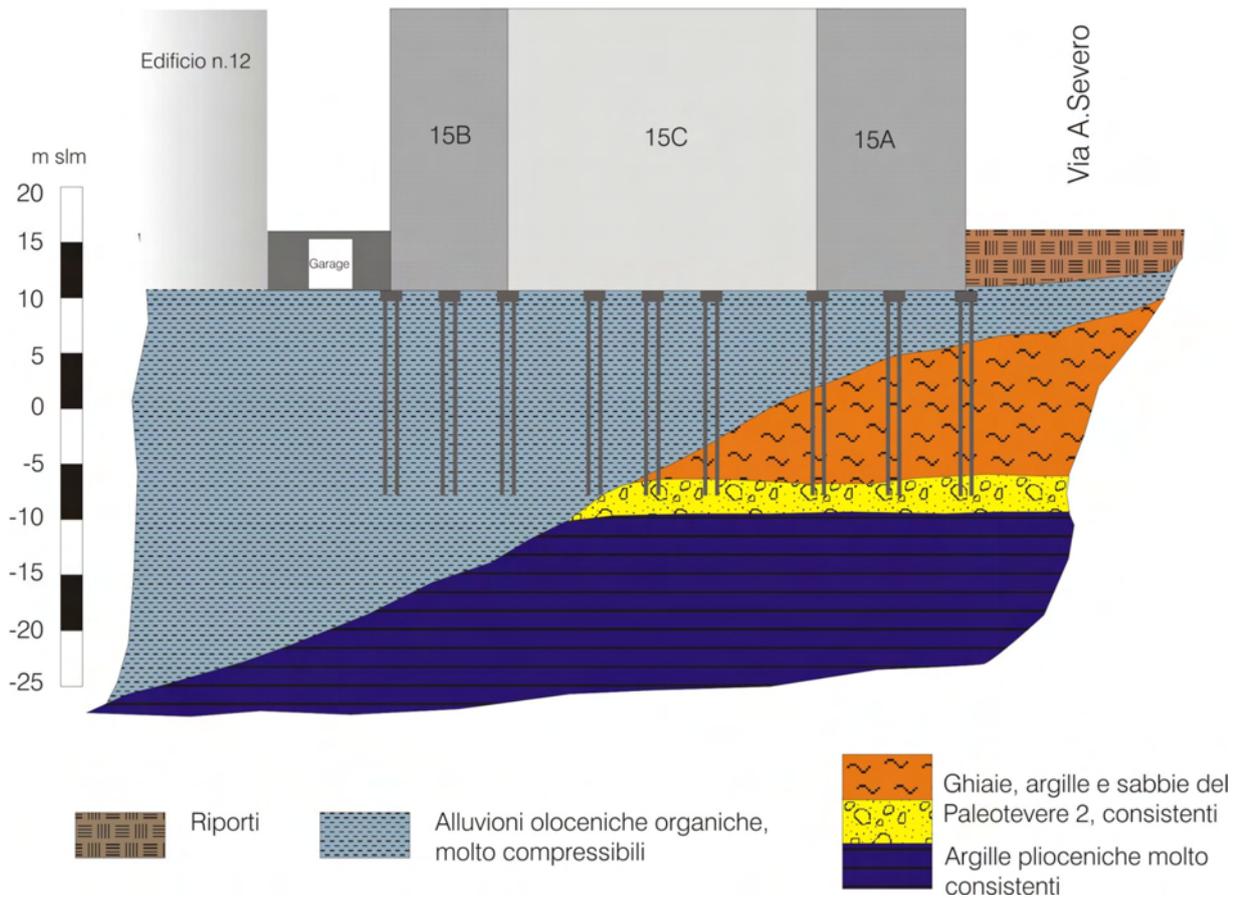


Fig.17 - Modello esemplificativo della relazione fondazioni – substrato geologico nella “zona marginale”.
 - Simplified model of the foundations-to-bedrock relationship in the “marginal zone”.

caso di rilevati stradali. Questi incrementi di carico possono localmente aver indotto sugli edifici adiacenti ulteriori deformazioni; l’entità di queste deformazioni non appare comunque come la causa dei dissesti, anche perché ci sono edifici con inclinazioni di verso opposto ai rilevati stradali. Per verificare l’entità dei cedimenti dovuti alla realizzazione dei riempimenti per realizzare la rete viaria, si sono eseguiti alcuni calcoli ipotizzando un riempimento arealmente esteso ($100 \times 100 \text{ m} = 10.000 \text{ m}^2$) e di un rilevato stradale largo circa 20m; il calcolo è stato eseguito in accordo con la teoria della consolidazione monodimensionale, assumendo una tensione indotta di 60 kPa e in relazione al massimo spessore dei depositi olocenici, ottenendo i seguenti valori:

- area estesa: cedimento teorico massimo di 103 cm
- rilevato stradale: cedimento teorico massimo di 66 cm.

La differenza dei cedimenti, a parità di carico indotto, dipende dalle diverse geometrie considerate che determinano un diverso andamento delle tensioni indotte nel sottosuolo. Con riferimento al cedimento dei riempimenti estesi, si è valutato l’andamento dei cedimenti nel tempo (funzione del Coefficiente di Consolidazione - C_v) e si è ottenuta la curva riportata in fig.18.

Risulta che il cedimento teorico massimo (95-98% della consolidazione) si esaurisce in circa 120-140 anni e che ad oggi si è realizzato l’85% dei cedimenti; si dovrà realizzare, perciò, un ulteriore cedimento di circa 15-18 cm. E’ evidente l’andamento asintotico della curva che porta a velocità di subsidenza minori.

Dal 1955 al 2000 si calcola una velocità media di cedimento dell’ordine di circa 1,8 cm/anno, mentre nell’ultimo decennio (1990-2000) si valuta una velocità di 0.8-0.9 cm/anno; tali ultimi valori sono



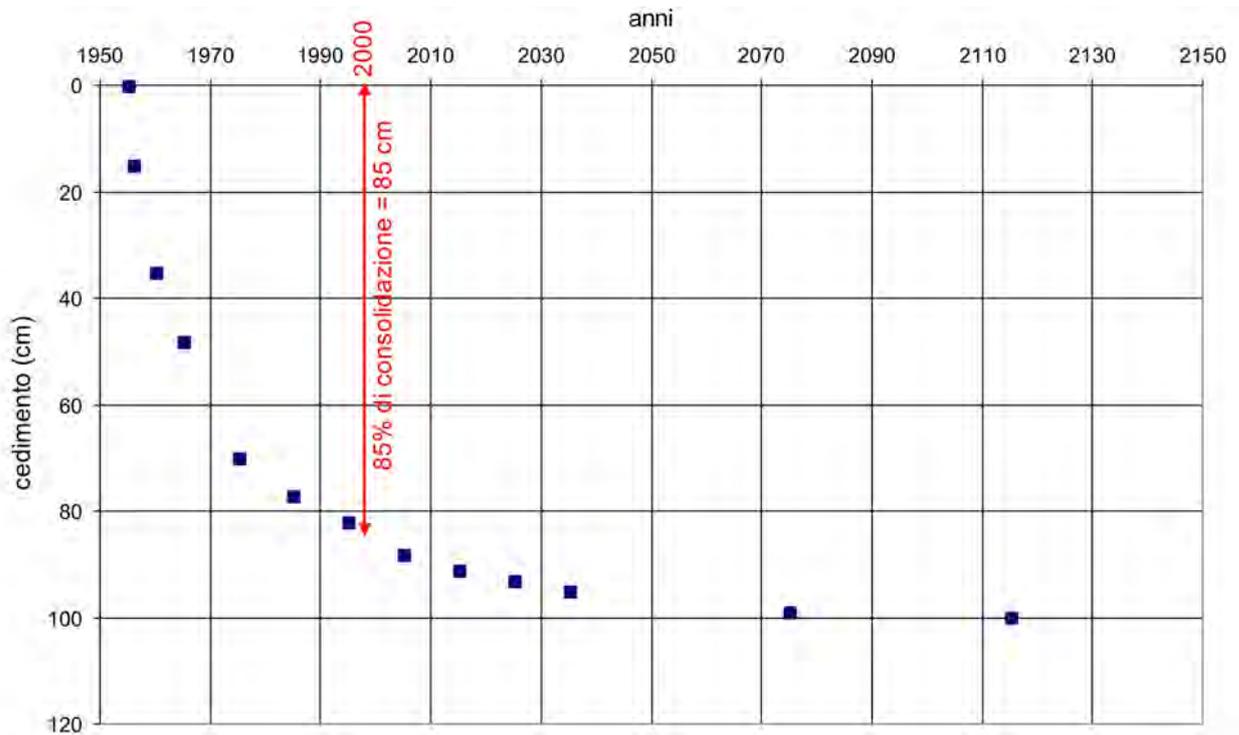


Fig. 18 - Andamento dei cedimenti nel tempo in relazione al solo carico dei terreni di riporto.
- Variation of settlements with time regarding the landfill cover load only.

in sostanziale accordo con quelli stimati negli studi effettuati con le tecniche di telerilevamento descritti nel capitolo seguente. I cedimenti ora calcolati sono riferiti allo spessore massimo dei terreni compressibili e vanno considerati come ordine di grandezza in quanto i cedimenti stessi possono variare localmente in funzione di diversi spessori dei riporti e dei terreni compressibili; inoltre il calcolo non considera le deformazioni secondarie visco-plastiche.

Se si considerano i carichi indotti da singoli rilevati stradali (carichi lineari) i cedimenti sono minori (vedi sopra). Tutte le valutazioni sui cedimenti ora sviluppate fanno riferimento a cedimenti dovuti a riempimenti e ricariche per la realizzazione dei rilevati stradali e per livellare la morfologia, e prescindono dalla presenza o meno degli edifici.

I cedimenti dei fabbricati possono evidentemente essere stati influenzati dai cedimenti indotti dai riporti, ma dall'analisi di tutti i dati sembra che la loro influenza sui dissesti degli edifici sia stata secondaria; si riscontrano inclinazioni di edifici di verso opposto ai rilevati stradali e frequentemente i rilevati sono stati eseguiti precedentemente alla realizzazione degli edifici dissestati.

7. - USO DELLE TECNICHE DI TELERILEVAMENTO PER LO STUDIO DELLA SUBSIDENZA

Nell'ambito delle tecniche di telerilevamento satellitare, risultati particolarmente interessanti sono stati ottenuti utilizzando dati acquisiti con sensori radar per lo studio delle aree urbane. Dalla messa in orbita dei satelliti europei ERS-1 ed ERS-2, avvenuta all'inizio degli anni '90, ha avuto inizio un'intensa fase di sperimentazione delle potenzialità dei sensori radar che operano nell'intervallo di lunghezza d'onda delle microonde e che a differenza dei dati ottici (ripresi negli intervalli di lunghezza d'onda del visibile e dell'infrarosso), possono acquisire dati significativi anche in condizioni meteorologiche sfavorevoli e di scarsa luminosità.

I sensori installati a bordo dei satelliti ERS e successivamente, del satellite ENVISAT, acquisiscono dati radar ad apertura sintetica (SAR) che hanno dimostrato di essere un valido strumento per il controllo del territorio, per misurare le deformazioni della superficie terrestre, per il monitoraggio del dissesto idrogeologico e per lo studio dei fenomeni di subsidenza in ambiente urbano. In questo paragrafo sono descritte le principali

caratteristiche della tecnica di Telerilevamento radar, nonché alcuni dei risultati ottenuti utilizzando la tecnica di interferometria differenziale per individuare aree soggette a subsidenza nel territorio della Città di Roma. A tal fine sono state elaborate immagini multitemporali riprese dai sensori ERS ed ENVISAT dal 1992 al 2005; i risultati di queste elaborazioni, costituiti da mappe degli spostamenti, sono stati analizzati in funzione delle conoscenze geologiche dell'area romana.

7.1 - CARATTERISTICHE DELLA TECNICA SAR

Un trasmettitore irradia periodicamente energia sotto forma di impulsi di microonde di grande potenza, ma di durata molto breve, verso la superficie osservata. Il sistema radar registra coerentemente il segnale retrodiffuso e deriva l'informazione, sulla distanza dei diversi retrodiffusori nella scena, dal calcolo del ritardo temporale tra segnale inviato ed eco ricevute. Se gli impulsi trasmessi non incontrano alcun ostacolo, non tornano più indietro, mentre se incontrano un'oggetto quale un edificio, una superficie rocciosa, un campo coltivato, una piccola parte dell'energia irradiata ritorna all'antenna trasmittente sotto forma di eco ed è visualizzata sotto forma di *spot* luminoso. I molteplici segnali inviati sono di frequenza costante, mentre i segnali di risposta hanno una frequenza variabile poiché antenna e superficie-bersaglio sono in moto relativo tra loro (effetto *doppler*). Pertanto, poiché la velocità di propagazione degli impulsi radar è perfettamente nota, dal tempo impiegato dal segnale a raggiungere il bersaglio e a tornare indietro, si ricava la distanza dello stesso.

Tra le possibilità di utilizzo delle immagini radar di particolare interesse sono le tecniche note come interferometria ed interferometria differenziale.

L'interferometria SAR (InSAR) consiste nell'utilizzare i dati acquisiti da due antenne separate da una distanza fissa, o base di presa (*baseline*), ovvero si utilizzano le osservazioni di una stessa scena da 2 orbite parallele e non coincidenti: in questo modo è possibile generare un modello digitale della superficie come differenza delle distanze tra le due posizioni del satellite e ogni punto a terra, con una precisione di circa 10 m.

L'interferometria differenziale utilizza le osservazioni acquisite su una stessa scena in orbite successive e consente di generare mappe degli spostamenti relativi dei punti osservati come differenza

delle distanze dal satellite, con una precisione verticale prossima al mm e orizzontale di circa 1 cm.

In definitiva l'interferometria SAR si basa sul confronto dei termini di fase di due immagini relative alla stessa area, ma acquisite in tempi diversi, per fornire stime di quota topografica (InSAR) o movimento (Interferometria Differenziale SAR - DInSAR). Questo è realizzato tramite la generazione di un interferogramma, ovvero di un'immagine che contiene le differenze delle fasi dei *pixel* omologhi. Per sfruttare appieno il potenziale di un *dataset* SAR sono state sviluppate delle tecniche basate sull'impiego di lunghe serie temporali di immagini.

Usando lunghe serie temporali di immagini SAR (almeno 20) è possibile stimare con estrema precisione i vari contributi alla fase interferometrica e isolare la velocità di spostamento del singolo *pixel*.

Nel 2006 è stato effettuato uno studio (DESIDERATI S., 2005) per il quale sono state usate 29 immagini SAR ERS-1/2 e 12 immagini ENVISAT, acquisite tra giugno 1992 e aprile 2005 su un'area che comprende l'intera città di Roma e la parte orientale della sua periferia.

Le immagini sono state corrette geometricamente (coregistrate) in modo da poter sovrapporre i *pixel* corrispondenti agli stessi elementi territoriali di ciascuna immagine e sono state prodotte 34 coppie interferometriche: per ogni coppia è stata calcolata la differenza di fase; in base a questa è stato calcolato il grado di correlabilità nel tempo e sono stati scelti i punti su cui è stato in seguito effettuato il calcolo dello spostamento.

Successivamente la fase è stata "srotolata" al fine di ottenere una carta tematica che individua zone in subsidenza con velocità di spostamento relative calcolate sulle medie annuali.

Si è evidenziato che le zone che hanno subito degli spostamenti sono localizzate lungo il corso del Tevere e nella parte orientale della città, e sono costituite principalmente dalle alluvioni oloceniche del Tevere e dei suoi tributari.

I depositi alluvionali dei tributari minori del Tevere presentano caratteristiche diverse a seconda della loro posizione: si è verificato che le maggiori velocità di spostamento si rilevano nelle valli in sinistra idrografica del Tevere. L'unico settore in cui gli spostamenti verticali non sono associati alle a tali depositi è il quartiere Appio-Latino (VI Municipio), costituito prevalentemente da depositi piroclastici, che presentano un'alta concentrazione di cavità sotterranee le cui volte, sotto il peso delle



strutture, subiscono deformazioni.

E' stato inoltre osservato che le aree maggiormente soggette a fenomeni di subsidenza sono quelle su terreni alluvionali edificati negli anni '50 mentre le aree frequentate sin dall'epoca romana risultano staili.

Questa diversa risposta allo sforzo da parte dei sedimenti, è dovuta alla differenza temporale in cui la spinta degli edifici agisce su di essi.

Spostamenti verticali significativi sono stati

inoltre rilevati nella zona Giustiniano Imperatore - San Paolo (fig. 19): questo dato è estremamente interessante poiché conferma quanto già noto in questa area.

In figura 20 sono riportati i dati relativi alla zona di San Paolo, che comprendono gli spostamenti verticali misurati con la metodologia interferometrica riportati sulla carta al 10.000 in cui sono state evidenziate le zone e gli edifici più a rischio (A), i grafici che consentono di valutare l'evoluzio-

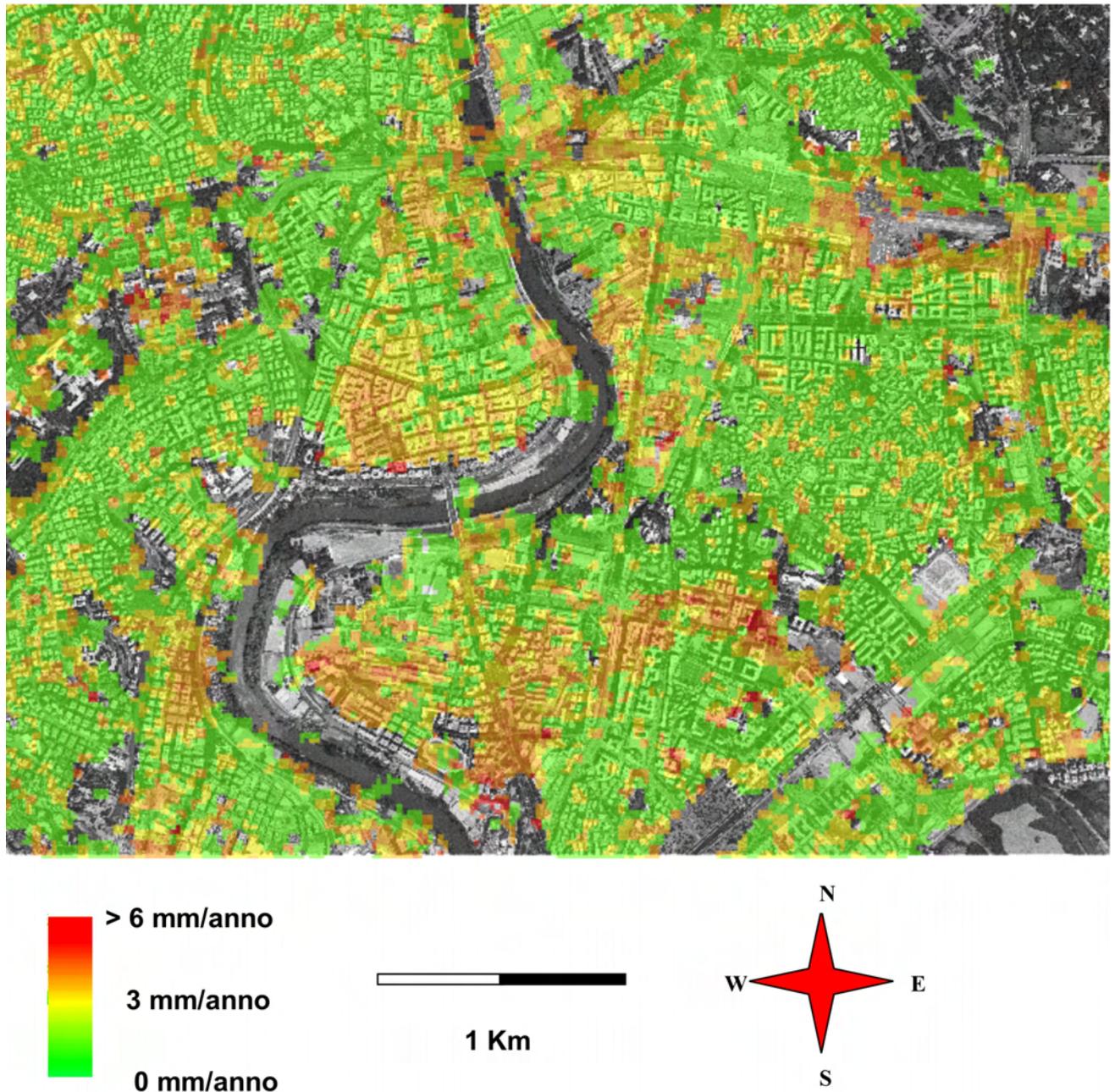


Fig. 19 - Spostamenti verticali nell'area San Paolo Basilica - Giustiniano Imperatore in relazione ai dati raccolti dal 11/06/1992 al 03/04/2005.
- Vertical displacements in St. Paul's Basilica - Giustiniano Imperatore area regarding data collected from 11 June 1992 to 03 April 2005.

ne dello spostamento di due punti campione (B) e le caratteristiche dei terreni dell'area riportata in figura 20A.

Dall'esame dei grafici di figura 20B risulta evidente che il fenomeno di subsidenza nella zona 1 sia stato costante in quasi tutto il periodo di tempo considerato, per raggiungere una relativa quiescenza solo negli ultimi tre anni. Lo spostamento del punto 2 ha avuto caratteristiche molto simili a quello del punto 1 negli anni '90, e sembra avere subito un rallentamento dall'anno 2000 in poi. Entrambe le aree selezionate sono collocate su depositi alluvionali.

8 - IL TESSUTO URBANO NELL'AREA DI VIA GIUSTINIANO IMPERATORE: PASSATO E FUTURO

8.1 - I PROBLEMI DI URBANIZZAZIONE DEL PASSATO

L'analisi di carte storiche e foto aeree a partire dal 1907 ha permesso di individuare lo sviluppo urbano dell'area nel corso degli ultimi cento anni. L'analisi dell'evoluzione dell'abitativo nel settore d'interesse ha messo in evidenza che la maggior parte degli stabili lesionati risulta essere stata edificata nel periodo tra il 1949 e il 1960. Si segnalano

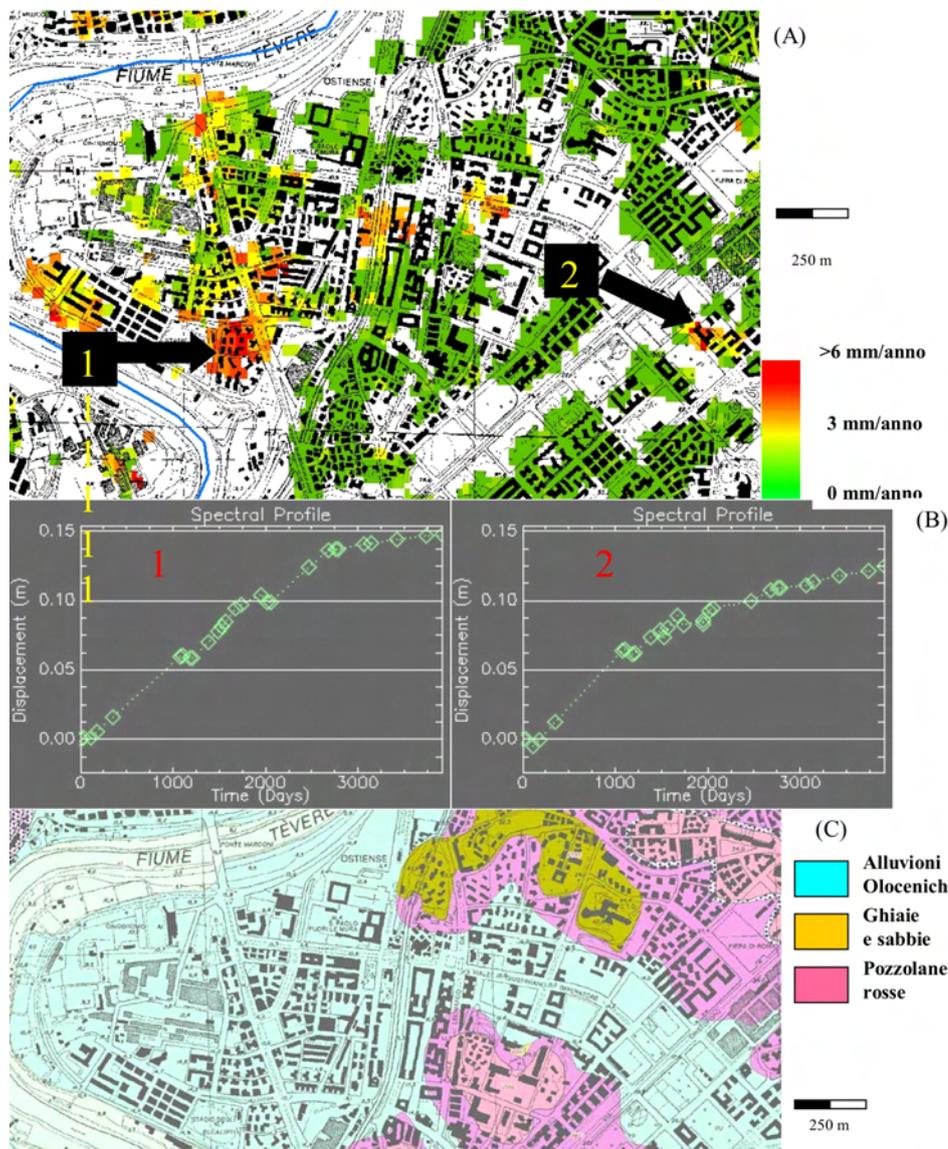


Fig. 20 - (A) estratto dalla cartografia (Carta Tecnica Regionale) in scala 1:10.000 su cui sono sovrapposti i dati ottenuti dall'elaborazione di immagini SAR multitemporali; (B) profili degli spostamenti misurati per i punti 1 e 2 della figura 2°; (C) descrizione dei depositi dell'area in esame.

- (A) data from the elaboration of SAR multitemporal images mapped on a 1:10.000-scale topography (from Carta Tecnica Regionale); (B) displacement profiles measured in points 1 and 2 of figure 2°; (c) description of the deposits in the examined area.





casi di palazzine che nel corso degli anni sono state abbattute; in alcuni casi tale demolizione è dovuta ad ampliamenti o alla realizzazione di edifici di nuova generazione, in altri casi si ipotizza che le cause di tale scomparsa siano dovute all'abbattimento di edifici pericolanti. In tale situazione rientrano le palazzine sorte prima del 1949 e abbattute nel periodo tra il '60-'67 che si trovavano in quella che attualmente è adibita ad area a verde pubblico lungo Via Giustiniano Imperatore (altezza incrocio con Via C. Severo).

Analogamente nel settore a nordovest dell'area degli edifici lesionati, tratto terminale di Via G. Imperatore, si sono riconosciute due palazzine sorte nel 1960 e demolite nel 1967. I costruttori che hanno realizzato l'urbanizzazione dell'area (PRG del 1931), dopo i primi scavi, hanno riscontrato la presenza di terreni instabili ed hanno in genere adottato fondazioni su pali, ma le tecnologie usuali ai primi anni '50 non permettevano la realizzazione di pali di diametro superiore a 400-500 mm e di profondità superiore a 15-20 m.

Le imprese di costruzione hanno pertanto eseguito fondazioni profonde, con i limiti tecnologici appena citati, con l'obiettivo di assicurare le condizioni di stabilità degli edifici confidando in una portanza basata sulla resistenza laterale dei pali ("pali sospesi"), senza apporto di resistenza alla punta.

Si segnalano informazioni relative a pali "inghiottiti" in fase di getto e di interventi di consolidamento strutturale per cedimenti verificatesi in fase di costruzione o immediatamente dopo; è segnalata anche la presenza di edifici demoliti durante le fasi di realizzazione e fenomeni di crolli. In tale contesto è evidente che qualunque manufatto caratterizzato da tensioni indotte significative e senza l'adozione di idonee fondazioni profonde intestate sino al *bedrock* plio-pleistocenico rigido, può subire fenomeni di cedimenti e/o deformazioni di entità non trascurabile.

8.2 - IL PROGETTO DI SOSTITUZIONE EDILIZIA

L'ambito Giustiniano Imperatore rappresenta un caso emblematico; un'area che necessita di significativi provvedimenti di riqualificazione urbana che non si limitino ad una generale riorganizzazione e migliore dotazione delle aree e servizi pubblici, ma che contemplino anche la possibilità di intervenire sistematicamente con processi di sostituzione edilizia sull'intero sistema insediativo.

Gli studi effettuati in questi anni e fin qui descritti, hanno fornito un importante contributo al tema della sostituzione edilizia e della riqualificazione urbana dell'area.

Nel 2006 l'Amministrazione Comunale di Roma ha bandito un concorso per la riqualificazione urbana dell'area in esame. Il progetto vincitore è articolato in due perimetri: il primo più ampio, corrispondente prevalentemente al perimetro individuato dal Nuovo Piano Regolatore Generale quale centralità locale, dove sono previste misure di riqualificazione ambientale, riorganizzazione degli spazi e servizi pubblici in attuazione anche degli strumenti di programmazione definiti, e il secondo corrispondente all'area di intervento all'interno della quale sono previsti i comparti di sostituzione edilizia e altri interventi di completamento.

Lo schema d'assetto del progetto si colloca nel contesto geologico del sito definendo gli indirizzi di nuova configurazione morfologica e verifica le condizioni dimensionali dell'edificato e, soprattutto, delle aree destinate ai servizi pubblici. Prevede il completamento del quartiere attraverso un nuovo assetto urbano che mediante un'ampia e qualificata dotazione, potenzia il sistema delle aree attrezzate a verde quale nuova armatura centrale del disegno urbano, introducendo un sistema di spazi aperti e di relazione, nonché una migliore articolazione dei servizi pubblici e un più razionale assetto della viabilità locale.

Nel ridisegnare l'ambito, lo Schema d'Assetto disegna un parco urbano a forma sinusoidale che richiama la forma delle quattro ali di una farfalla: i margini del parco sono definiti dalle parti edificate articolate linearmente, mentre l'impianto è completato da parti costruite allineate lungo i tracciati paralleli a Viale Giustiniano Imperatore. L'organizzazione di spazi verdi definisce una serie di corti aperte, che alterna spazi aperti e costruiti (con una configurazione che schematicamente possiamo definire pettini) e che segue il naturale andamento lineare della Valle di Grotta Perfetta. In questa cornice generale lo strumento attuativo in variante urbanistica è il comparto A con valore di Piano particolareggiato. Il comparto A, conforma una parte dell'ambito più ampia di quanto richiesto dalla risposta all'emergenza abitativa in atto.

Lo strumento consentirà quindi di dare risposta anche ad altri condomini che aderiranno successivamente al Programma di Riqualificazione.

9 - CONCLUSIONI

L'assetto geomorfologico in riva sinistra del Tevere nell'area urbana di Roma è legato alla influenza del *plateau* ignimbrico del fianco settentrionale del grande edificio vulcanico dei Colli Albani, che verso l'area urbana si presenta ancora come una superficie molto regolare confinata a nord-ovest dal corso del fiume principale. Le piccole incisioni vallive sono state di recente colmate nella ultima fase postglaciale e definitivamente riempite nei tratti urbani compresi tra il fosso delle Acque Mariane al fosso della Cecchignola e di Malafede nella periferia occidentale della città. La natura dei riempimenti finali è quindi caratterizzata dal contributo di un ambiente fluviale a bassissima energia e dal riempimento di prodotti vulcanosedimentari dovuti alle fasi più recenti dell'attività albanica (colate di fango, lahar).

Risulta infine evidente la scelta errata effettuata nell'affrettato e poco consapevole progetto di ricostruzione e nuovo sviluppo urbano dell'ultimo dopoguerra, quando si è costruito senza tenere in alcun conto le vocazioni naturali dei siti ove lo sviluppo urbano avveniva. Fra questi il Fosso di Grotta Perfetta costituisce un esempio negativo molto significativo del quale vengono in questo lavoro messe in luce i caratteri e gli evidenti limiti.

Gli studi precedentemente descritti (*remote sensing*, idrogeologici, geologico-stratigrafici, geologici – tecnici e storico-bibliografici) hanno definito le basi per la conoscenza del territorio *ante* e *post* urbanizzazione con una particolare attenzione alla struttura “sottosuolo” al fine di giungere alla corretta gestione di un'area così “sensibile”. La gestione si configura attraverso la riqualificazione preservando, ove sia possibile, l'attuale assetto urbanistico e invertendo, ove sia necessario, il processo di dissesto urbano e strutturale attraverso un processo di sostituzione edilizia. Tale processo non prescinde dalla valutazione e dal controllo delle trasformazioni alle quali il complesso costituito dal substrato e dal tessuto urbano potrebbe essere sottoposto. Agli studi conoscitivi e propedeutici alla fattibilità di qualsiasi progetto si aggiungono, così, gli studi mirati alla realizzazione delle reti di monitoraggio destinate a valutare e a minimizzare l'impatto delle opere sul sistema preesistente. La metodologia di analisi adottata può essere inserita all'interno di un più generale ed ampio studio di fattibilità, divenendo strumento indispensabile per la creazione di un modello strategico e normativo per la formulazione di una procedure generali condivise, ripetibili ed estendibili alle problematiche generali della trasformazione urbana e metropolitana.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Comune di Roma, Dip. VI - U.O. - Interventi di Qualità nella persona dell'Architetto Gabriella RAGGI.

Si ringrazia il dott. Simone DESIDERATI.

BIBLIOGRAFIA

- AMBROSINI S., CASTENETTO S., CEVOLANI F., DI LORETO E., FUNICIELLO R., LIPERI R. & MOLIN D. (1986) - *Risposta sismica dell'area urbana di Roma in occasione del terremoto del Fucino del 13 gennaio 1915*. Risultati preliminari, Memorie della Società Geologica Italiana, Vol.35/1, p. 445-452
- AA.VV. (1994) - *Carta Geomorfologica d'Italia - 1:50.000*. Guida al Rilevamento. Quad. Serv. Geol. Naz., III, 4: 47 pp.
- BOSCHI E., CONTI C., DI BONA M., FUNICIELLO R., MALAGNINI L., MARRA F., MARTINES G., ROVELLI A. & SALVI S. (1993) - *Risonanza dei sedimenti del Tevere e danneggiamento dei monumenti nel Centro Storico di Roma: il caso della Colonna Antonina*. Ricerche nel campo della sismologia e geodinamica negli anni 1990-1991., I.N.G., Roma, 357-370
- BIGI G. & CIPOLLONI C. (2001) - *Studi di Geologia ambientale: carat-*

terizzazione geomorfologia delle aree protette di RomaNatura. In: *Informatore Botanico Italiano*, Boll. Soc. Bot. It., 33 (suppl. 1), p. 30-31, Firenze.

- BISCI C., DRAMIS F., FARABOLLINI P., GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1990) - *Proposta di un sistema di classificazione territoriale di tipo gerarchico su basi fisiografiche per la realizzazione di carte a piccola e media scala finalizzate alla zonazione sismica: l'esempio della Regione Marche*. Atti Convegno G.N.D.T., Pisa, 1990, vol. 1: 361-379.
- CAPELLI G., CECILI A., DE RITA D., GIORDANO G. & MAZZA R. (1998) - *Conoscenza idrogeologica del territorio quale presupposto alla gestione delle risorse idriche: il caso dei Colli Albani* In: *Uso e tutela delle acque sotterranee - Giornata di studio per l'approfondimento dei temi di attuazione della Legge Galli*, Viterbo 3 aprile 1998.
- CAPELLI G., MAZZA R., SALVATI R. & DE FILIPPIS L. (2001) - *Studi di geologia ambientale: caratterizzazione idrogeologica delle aeree protette di RomaNatura in: Ricerche di base per i piani delle aeree naturali protette di RomaNatura*. - *Informatore Botanico Italiano*, Vol 33, suppl. 1 maggio 2001.
- CIFELLI F., DONATI S., FUNICIELLO F. & TERTULLIANI A. (2000) - *High-density macroseismic survey in urban areas. Part 2: results for the city of Rome, Italy*. *Bulletin of the Seismological*





- Society of America, 90, 2: 298-311.
- CORAZZA A., LANZINI M., ROSA C. & SALUCCI R., (1999) - *Caratteri stratigrafici, idrogeologici e geotecnici delle alluvioni tiberine nel settore del Centro Storico di Roma*, Il Quaternario, 12(2), 215-235
- CORAZZA A., LEONE F. & MAZZA R. (2002) - *Il quartiere di Monteverde a Roma: sviluppo urbanistico e dissesti in un'area urbana*. Geologia dell'Ambiente, periodico SIGEA anno X n. 1/2002, 8-18
- DE RITA D., FACENNA C., FUNICIELLO R. & ROSA C. (1995) - "The volcano of the Alban Hills" Stratigraphy and Volcano - tectonics. In: R. Trigila (ed.). Tipografia S.G.S. Roma, p. 243-263
- DE RITA D., FUNICIELLO R. & PANTOSTI D. (1988) - *Dynamics and evolution of albano crater (south of Rome)*. Proceedings della "Kagoshima International Conference on Volcanoes", 502 - 505.
- DE RITA D., FUNICIELLO R. & ROSA C., (1992) *Volcanic activity and drainage network evolution of the Colli Albani area*. (Rome, Italy). Acta Vulcanologica, 2: 185 - 198.
- DESIDERATI S. (2005) - *Dati interferometrici satellitari e condizioni di stabilità nell'area romana - tesi inedita - Università degli Studi "Roma TRE" Dip. di Scienze Geologiche*
- DONATI S., FUNICIELLO R. & ROVELLI A. (1999) - *Seismic response of historical centre of Rome*. Mem. Descr. della Carta Geol. d'Italia, 54 - Servizio Geologico Nazionale, 229-239.
- DRAMIS F & BISCI C. (1998) - *La cartografia geomorfologica*. Ed. Pitagora, Bologna, p. 215
- FACCENNA C., FUNICIELLO R. & MARRA F. (1995) - *Inquadramento geologico strutturale dell'area romana*. Mem. Descr. della Carta Geol. d'Italia, 50 - "La Geologia di Roma: il Centro Storico", 31-47.
- FRUTAZ A.P. (1962) - *Le Piante di Roma*, Istituto di Studi Romani.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G. (2005) - *Carta Geologica del comune di Roma*, vol. I, www.protezionecivilecomunero-ma.it
- FUNICIELLO R. et alii (1995) - *La geologia di Roma. Il centro storico*. Mem. Descr. della Carta Geol. d'Italia, 50 - Servizio Geologico d'Italia, IPZS.
- CARBONI M.G. et alii (1991) - *Geologia e idrogeologia del Centro Storico di Roma*, Progetto Strategico Roma Capitale, Università Degli Studi di Roma, Monografia allegata al Fotopiano del Centro Storico della Città di Roma, 1-56.
- LILLESAND T.M. & KIEFER R.W. (1994) - *Remote sensing and image interpretation*. 3rd Edition. J. Wiley & Sons, Inc., New York.
- MALKAWI I. A. et alii (1999) - *Effects of organics matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil*, Applied Clay Science, 14 (1999): 257-278
- MANTOVANI F. & MARCOLONGO B. (1992) - *Fotogeologia*. NIS, Nuova Italia Scientifica, Roma.
- MONGE O., CHASSAGNEUX D. & MOURoux P. (1998) - *Methodology for liquefaction hazard studies: new tool and recent applications* - Soil Dynamics and Earthquake Engineering 17 (1998) pp. 415-425
- MARRA F. & ROSA C. (1995) - *Stratigrafia e assetto geologico dell'area romana*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 50 - "La Geologia di Roma: il Centro Storico"; pp. 49 -118
- OLLIER C.D. (1977) - *Terrain classification - methods, applications and principles*. In: J.R. HAILS (ed.) - Applied geomorphology. Elsevier, Amsterdam, p. 277-316.
- PELLEGRINI G.B., CARTON A., CASTALDINI D., CAVALLIN A., D'ALESSANDRO L., DRAMIS F., GENTILI B., LAURENTI L., PRESTINIZI A., RODOLFI G., SAURO U., SORRISO VALVO M. & SPAGNA V. (1993) - *Proposta di legenda geomorfologica ad indirizzo applicativo*. Geogr. Fis. Din. Quat., 16 (2), p.129-152.
- ROVELLI A. et alii (1995) - *Previsione del moto del suolo e modellazione degli effetti locali*. In La geologia di Roma. Il Centro Storico. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 50 - Servizio Geologico d'Italia, IPZS, 415 - 432
- VENTRIGLIA U. (1971) - *Geologia della Città di Roma*, Amministrazione Provinciale di Roma.
- VENTRIGLIA U. (1989) - *Idrogeologia della Provincia di Roma*, Amministrazione Provinciale di Roma.
- VOZNESENSKI E.A. et alii (1999) - *Dynamic instability of clays: an energy approach*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 18: 125-133, Elsevier Ed.
- VAN ZUIDAM R. & VAN ZUIDAM CANCELADO F.I. (1978) - *Terrain analysis and classification using aerial photographs*. ITC Textbook, VIII-6, 348 pp.
- WEBSTER R. (1963) - *The use of basic physiographic units in air photo interpretation*. Archives Intern. Photogrammetry, 14: 143-148.