

Processi di subsidenza nei depositi alluvionali olocenici nella città di Roma: caratteristiche stratigrafiche e geotecniche

Settlement phenomena in Rome's holocenic alluvial deposits: a geotechnical and stratigraphical study

M.P. CAMPOLUNGHİ*, G. CAPELLI*,
R. FUNICIELLO*, M. LANZINI**

RIASSUNTO - La città di Roma sorge su un'area nella quale si avverte la lunga residenza delle attività umane e la continua trasformazione delle caratteristiche originarie del territorio.

Il reticolo idrografico che delineò la morfologia dei rilievi in destra e sinistra idrografica del Tevere è stato, a più riprese nel corso della storia, modificato e in alcuni casi obliterato per lasciare il posto al tessuto urbano tanto che nella Roma dei giorni nostri è molto difficile, almeno per ciò che riguarda il centro storico, riconoscere l'antica morfologia del territorio.

Così molte strade ripercorrono l'antico tracciato dei vecchi tributari del Tevere (Via Labicana sul Fosso Labicano, Via Gregorio VII sul Fosso del Gelsomino, Via Giustiniano Imperatore sul Fosso di Grotta Perfetta e così via) e molti edifici sorgono sui depositi alluvionali degli antichi corsi d'acqua ormai sepolti.

La conseguenza è che molte strutture hanno subito, nel corso dei secoli, danni riconducibili a fenomeni di subsidenza.

Solo negli ultimi anni si è fatto più vivo l'interesse riguardo queste formazioni sedimentarie recenti che sono state sempre considerate come corpi unici ed indistinti costituiti da sedimenti argillo-limosi a luoghi sabbiosi.

Tali formazioni, invece, si presentano sostanzialmente eterogenee e, come si osserverà nel corso del presente studio, organizzate in unità distinte (Kiersch, G.A. 1995) la cui caratterizzazione geotecnica è indispensabile per la valutazione della pericolosità intrinseca dell'ambiente geologico negli ambiti urbani dove il "rischio" assume valori molto alti.

Il presente studio è stato condotto attraverso l'analisi di dati di sondaggio e geotecnici relativi a tre tributari in sinistra idrografica del Tevere (Fosso del Velabro, Marrana della Caffarella, Fosso di Grotta Perfetta), tre in destra idrografica (Valle dell'Inferno, un tributario del Fosso dei Tiradiavoli e il Fosso della Maglianella) e il deposito alluvionale del Tevere in varie parti della città. Sulla base delle analisi geotecniche si è definita, per ogni deposito, una suddivisione in unità litotecniche al fine di effettuare i confronti e le correlazioni tra i diversi depositi. Non è stato possibile operare, per tutti i corsi d'acqua in esame, con lo stesso grado di dettaglio in quanto non sempre è possibile disporre dei dati inerenti alle prove geotecniche ma è stato sempre possibile definire una serie stratigrafica rappresentativa del deposito in esame con una suddivisione in unità almeno sulla base di osservazioni di tipo stratigrafico - sedimentologico.

PAROLE CHIAVE: depositi alluvionali olocenici, cedimenti, unità litotecniche, consolidazione, pericolo, Roma.

ABSTRACT - The city of Rome is located in an area where long human activity and continuous transformation of the original terrain are tangible. The hydrographic networks of the Tiber's right and left banks have been modified more than once during historical times. Sometimes it has even been covered by urban growth, so that today it is very hard, at least in the historical centre's area, to recognize the original terrain. Many of Rome's streets run along the ancient courses of the Tiber's tributaries and many buildings lie upon alluvial deposits now buried by anthropogenic debris. Many structures overlying alluvium and debris have been damaged by subsidence and effects are visible in the buildings' uniform or differential settlement.

In past, the alluvial deposits were considered as continuous bodies made of clayey-silty, sometimes sandy sediments. Instead, the formations are mainly heterogeneous and, as it will be made clear in this paper, consist of many facies (Kiersch, G.A. 1995). The geotechnical characterization of those units is mandatory for evaluating the geological environment's intrinsic hazard in urban areas, where the risk can reach very high values. This study has been carried out through the analysis of borehole and geotechnical data from three left-bank tributaries of the Tiber River the "Fosso del Velabro", "Marrana della Caffarella", "Fosso di Grotta Perfetta" and three right-bank tributaries ("Valle dell'Inferno", a tributary stream of the "Fosso dei Tiradiavoli", and the "Fosso della Maglianella"). Data about the Tiber's

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

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

alluvial deposit from various parts of the city were also included. Based on the geotechnical analysis, we created, for each deposit, a subdivision into lithotechnical units to make correlations and comparisons among the different deposits. The same level of detail has not been possible for all the stream valleys, since it is not always possible to obtain geotechnical data. Nonetheless, it is always been possible to define a stratigraphic series that would represent the examined deposit by subdividing it into units after stratigraphical and sedimentological observations.

KEY WORDS: *holocene alluvial deposits, settlement, lithotechnical units, consolidation, hazard, Rome.*

1 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il motivo morfologico dominante in riva destra del Fiume Tevere è la dorsale di Monte Mario che, estendendosi parallelamente alla Valle del Tevere, raggiunge una quota massima di circa 140 m s.l.m. scendendo, verso sud, fino ai 60 m s.l.m.

Tale dorsale è costituita prevalentemente dai depositi marini plio-pleistocenici riferibili alla Formazione di Monte Vaticano e alla Formazione di Monte Mario.

La formazione di Monte Vaticano, definisce l'intero assetto geostrutturale della città di Roma: presenta notevoli spessori (800 m stimati nell'area del Circo Massimo), un elevato grado di preconsolidazione e costituisce l'aquicludibile delle unità idrogeologiche del territorio romano. Questi depositi marini sono affioranti alla base della dorsale di Monte Mario mentre ad ovest e ad est di questa sono presenti a varie profondità con un bed-rock sostanzialmente condizionato dalla tettonica.

Al di sopra di queste sequenze marine, in relazione al sollevamento dell'Appennino e del suo margine tirrenico, si riscontrano gli effetti di una sedimentazione che da marina passò ad una di tipo costiero fino all'impostarsi di una sedimentazione di tipo continentale relativa alla presenza del Paleotevere che scorreva inizialmente da Nord verso Ovest e successivamente, in relazione al sollevamento della dorsale di Monte Mario, da Nord a Sud. Successivamente all'inversione magnetica Matuyama-Brunhes si sviluppa una intensa attività vulcanica i cui prodotti, derivanti dal distretto vulcanico dei Sabatini e degli Albani, interessano l'area romana. L'assetto geomorfologico ed idrogeologico dell'area viene, così, profondamente modificato; in particolare il Paleotevere subisce una sostanziale deviazione assumendo l'attuale andamento andando ad occupare il limite tra i prodotti del domino albano e quello sabatino.

Successivamente l'ultimo "low stand" glaciale produce un abbassamento del livello marino fino ad oltre 120 m rispetto all'attuale producendo un approfondimento del Tevere e dei suoi affluenti incidendo prima i depositi vulcanici, poi ove pre-

senti, quelli continentali del Paleotevere e dei suoi affluenti ed infine arrivando ad incidere profondamente il substrato pliocenico costituito dalle argille sovraconsolidate della Formazione di Monte Vaticano.

Con la risalita del livello del mare le profonde valli precedentemente incise prendono a colmarsi di depositi alluvionali oggetto del presente studio.

Il succedersi di questi eventi ha prodotto l'attuale morfologia della Città di Roma, costituita da un'area centrale piaggiante relativa alla piana alluvionale del Tevere, ad un rilievo in destra idrografica costituito dall'alto strutturale di Monte Mario - Monte Vaticano e ad un'area collinare più articolata in sinistra del Tevere che, nel centro, storico è riferibile ai "Sette Colli".

La distribuzione degli affioramenti dei depositi alluvionali e l'ubicazione di quelli esaminati nel presente lavoro è rappresentata in fig.1.

2 - METODOLOGIA DI STUDIO

Solo negli ultimi anni la letteratura scientifica si è occupata di fornire dati di dettaglio relativi alle caratteristiche fisico-meccaniche delle alluvioni Tiberine e ad oggi non sono mai stati effettuati confronti estesi tra le alluvioni del Tevere ed i depositi alluvionali dei suoi tributari se non in alcuni studi ristretti all'area del Centro Storico.

Il presente lavoro intende affrontare il problema in modo esteso sull'intera città prendendo a campione diversi tributari e diverse aree all'interno del deposito del Tevere, anche dove l'urbanizzazione è ancora in fase di sviluppo al fine di fornire un importante contributo alla pianificazione oltre che al monitoraggio delle aree già urbanizzate.

Si tratteranno prima i tributari in sinistra idrografica del Tevere, di seguito quelli in destra e infine il deposito alluvionale del Tevere in alcune aree della città di Roma.

Come già accennato nell'introduzione, il dettaglio con il quale con il quale sono state effettuate le analisi non è stato lo stesso per tutti i depositi studiati; in alcuni casi è stata possibile la ricostruzione di una serie rappresentativa del deposito elaborata



solo su basi geologico – stratigrafiche.

I dati reperiti sono relativi ad indagini geologico – tecniche condotte direttamente dagli scriventi, a dati cortesemente forniti da ditte di perforazione e a stratigrafie estratte da test di archiviazione (VENTRIGLIA U., 1971, VENTRIGLIA U., 2003).

Per ognuno dei depositi alluvionali presi in esame si è prima definita una suddivisione in unità sulla base delle evidenze fisiche (colore, caratteri sedimentologici, contenuto di sostanza organica e consistenza) estratte dalle descrizioni stratigrafiche.

Quindi a tale suddivisione sono state poi associati, quando presenti, i parametri fisico-meccanici ricavati da prove di laboratorio e in situ.

Questo procedimento ha condotto alla stesura di una serie rappresentativa per ogni deposito alluvionale attraverso una distinzione in “unità deposi-

zionali” con lo scopo di individuare come le diverse condizioni paleoambientali al momento della sedimentazione abbiano influito sulle caratteristiche chimico – fisiche e geotecniche del deposito e sulla sua storia tensionale, determinando l’attuale comportamento geomeccanico, soprattutto in riferimento alla sua deformabilità.

Di seguito si riportano, per ogni deposito analizzato, le descrizioni delle unità deposizionali ed i principali parametri fisico-meccanici. Allegata alla memoria è anche presentata una carta con i profili rappresentativi di ogni deposito alluvionale studiato derivata dagli studi di seguito descritti; nella “Carta dei Profili Stratigrafici Rappresentativi del Deposito Alluvionale del Fiume Tevere e di Alcuni suoi Tributari” è possibile individuare anche quelle unità stratigrafiche per le quali non è stato possibi-

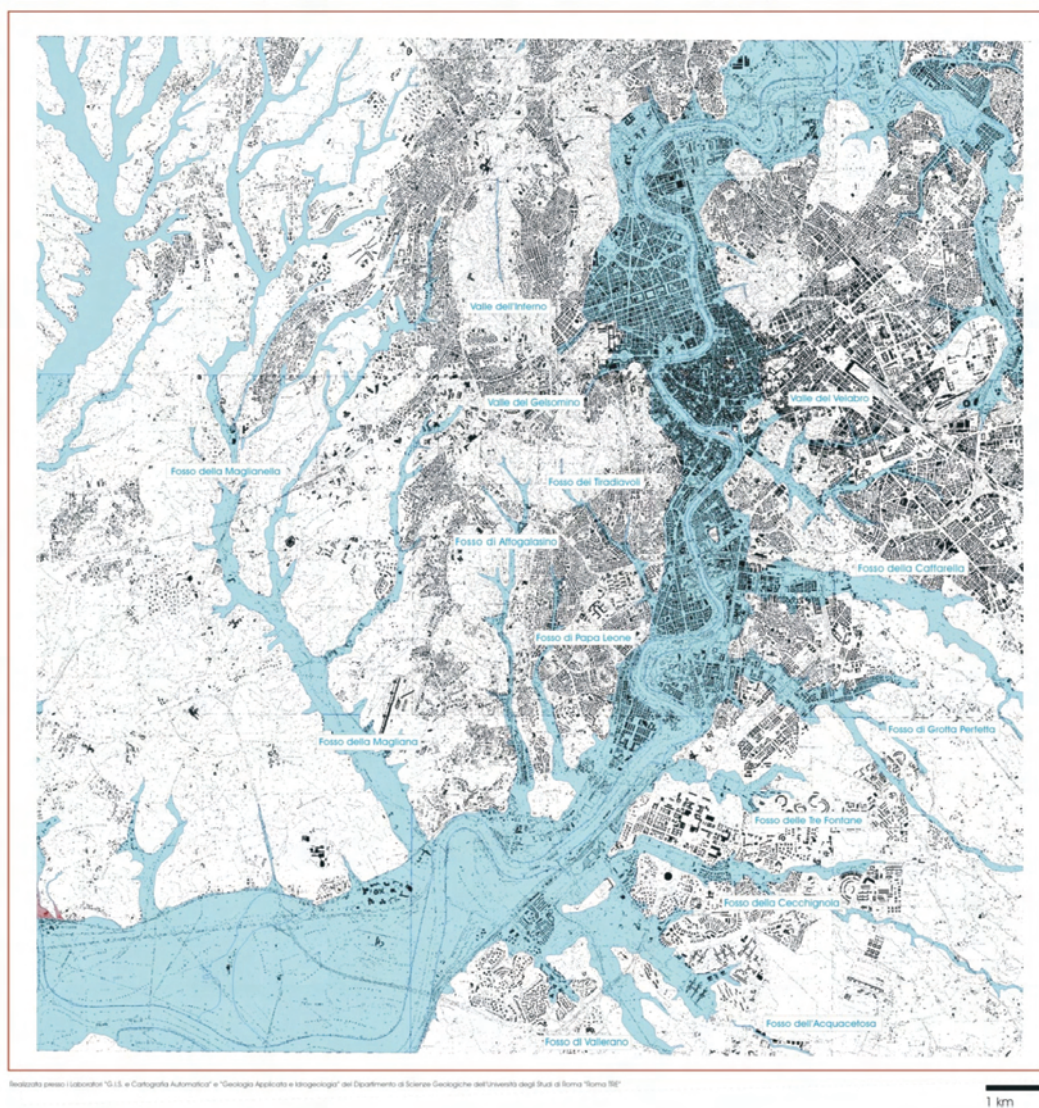


Fig.1 – Affioramenti dei principali depositi alluvionali olocenici nella Città di Roma”. - Rome's water stream location map

le effettuare determinazioni geotecniche ma che sono state riconosciute attraverso l'osservazione delle caratteristiche fisiche.

Si sottolinea, infine, che ogni volta che nel corso del presente studio quando parlerà di "argille" non si farà riferimento all'accezione mineralogica bensì a quella mineralogica sedimentologica.

3 - CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEI DEPOSITI ALLUVIONALI IN SINISTRA IDROGRAFICA DEL FIUME TEVERE

3.1 - IL DEPOSITO ALLUVIONALE DEL FOSSO DI GROTTA PERFETTA

3.1.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il Fosso di Grotta Perfetta occupa una valle secondaria affluente in sinistra idrografica del Tevere. Tale corso d'acqua anche definito in passato "marrana" per le sue caratteristiche di corso d'acqua a bassa energia in ambiente quasi palustre, è la porzione terminale del Fosso di Tor Carbone che ha inizio in Tenuta Torricola, a 70 m s.l.m., poco ad Ovest della Via Appia Antica all'altezza dell'ippodromo delle Campanelle. Dal suo inizio il fosso scende a valle verso Nord Ovest senza ricevere alcun affluente importante fino all'antica confluenza con il Tevere assumendo prima il nome di Fosso del Grottone e poi di Fosso di Grotta Perfetta. Ha forma allungata in direzione da Sud Est a Nord ovest. La sua lunghezza è di otto chilometri e mezzo e la sua larghezza massima è di due chilometri. Esso occupa una zona di colline dolcemente ondulate con quote massime molto basse. Il basso bacino oramai è in gran parte urbanizzato; su di esso si estendono i quartieri di Garbatella e Tor Marancia e le borgate di Tor Carbone e Laurentina.

Il suo tratto terminale è stato, in epoche storiche, oggetto prima di canalizzazioni e poi, a partire dagli anni '50 la valle è stata fortemente modificata dall'edificazione che, a tratti successivi, ha determinato l'incanalamento del corso d'acqua nel collettore fognario principale di Via Giustiniano Imperatore e il colmamento delle superfici con terreni di riporto.

Ad oggi questa area è nota per i gravi fenomeni di dissesto, che interessano molti edifici, relativi prevalentemente a cedimenti e rotazioni rigide delle strutture, imputabili alle scadenti caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione ed a carenze fondazionali.

L'area esaminata si estende per circa 3 km ed è localizzata a circa 1km dalla valle tiberina.

3.1.2 - SUDDIVISIONE IN UNITÀ DEPOSIZIONALI

Sulla base delle caratteristiche fisiche dei terreni in esame, sono state individuate, all'interno del corpo alluvionale in questione ed inferiormente ai riporti antropici, 6 unità principali riferibili alla porzione centrale della valle; tale suddivisione è stata poi affiancata ai dati relativi alle analisi geotecniche di laboratorio condotte su circa 218 campioni indisturbati. Sono state, inoltre, effettuate circa un centinaio di prove geotecniche in situ.

Di seguito sono riportate le descrizioni delle unità in questione e la loro parametrizzazione fisico-meccanica.

Dal termine più recente al più antico si individuano inferiormente ai terreni di riporto per uno spessore di circa 3-4 m i depositi relativi alle ultime alluvioni storiche (All. Stor.) caratterizzate da sabbie limo-argillose con inclusi elementi antropici fluitati; i terreni sono prevalentemente di origine piroclastica con frequenti elementi di tufo. Localmente si rinvencono orizzonti pedogenizzati e/o torbosi con frustoli vegetali. Il comportamento geomeccanico è decisamente frizionale, a coesione pressoché nulla; rispetto ai riporti antropici sovrastanti risulta una maggiore percentuale della frazione ghiaio-sabbiosa.

Al letto delle alluvioni storiche si rinvencono le Argille Marroni (AM); trattasi di argille limose e limi argillosi dotate, al tetto, di una media consistenza che diminuisce via via in profondità; tale caratteristica è legata a fenomeni di consolidazione per essiccamento. 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*.

Più in profondità si individua la prima unità bruno-nerastra per l'elevato contenuto in sostanza organica (AO1); localmente sono presenti screziature grigiastre, marroni e/o verdastre. Le analisi geotecniche hanno messo in evidenza parametri del tutto particolari che 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 15-25% in peso. Le densità sono particolarmente basse, con indici dei vuoti che arrivano a valori maggiori di 4.00. Sovente si è misurato un conte-





nuto di umidità superiore al limite liquido e di conseguenza si realizzano indici di consistenza < 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 tensione di confinamento), ma qualora vengano disturbati da tensioni sia statiche che dinamiche possono perdere la loro coesione; in particolare sottoposti a tensioni dinamiche possono produrre fenomeni locali 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, mentre da numerose prove di compressione edometrica risulta una elevata compressibilità; tra l'altro le curve $e/\log \varphi$ 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 fenomeni di deformazione visco-plastica e di *aging* probabilmente ancora in atto.

Intorno ai -5 m s.l.m. si nota una variazione consistente in una diminuzione del contenuto di sostanza organica che individua il tetto di argille verdastre (AV) i cui valori di umidità, Limiti di Atterberg e relativi indici, pur essendo ancora elevati, denotano un certo miglioramento rispetto alle argille organiche sovrastanti. In particolare ciò è dovuto all'assenza o minore presenza di sostanza organica (valori inferiori al 10 % e riferiti a particolari orizzonti). Tuttavia permangono bassi i valori dell'indice di consistenza e bassa la 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.

Infine si individua nuovamente una unità ricca di sostanza organica caratterizzata da parametri fisico-meccanici simili a quelle nerastre ed organiche precedentemente descritte (AO1), ma si individua a profondità maggiori di 35-40 m dal piano campagna una colorazione grigiastra e non più nerastra (diminuzione di sostanza organica) ed un

relativo aumento di coesione, in compresenza 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".

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.

L'unità AO2" è invece dotata da parametri fisico-meccanici relativamente migliori e dalla presenza di diffusi orizzonti e strati pozzolanacei fluitati, 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 di questa unità argillosa soprattutto in vicinanza dei suddetti orizzonti, i quali, caratterizzati da maggiore permeabilità, hanno permesso locali e discontinui fenomeni di consolidazione delle argille organiche.

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

3.1.3 - I PARAMETRI GEOTECNICI RAPPRESENTATIVI DI OGNI UNITÀ E LA SERIE STRATIGRAFICA RAPPRESENTATIVA DEL DEPOSITO

Alla luce di quanto discusso precedentemente si definiscono qui di seguito i parametri geotecnici (tav. 1) rappresentativi delle varie unità litotecniche delle alluvioni oloceniche del Fosso di Grotta Perfetta sulla base dei quali è stato possibile definire la serie stratigrafica rappresentativa riferita alla porzione centrale del deposito sezione U-V nella Carta dei Profili allegata ove si realizzano i maggiori spessori delle alluvioni, circa 45/50 m.

3.2 - IL DEPOSITO ALLUVIONALE DELLA VALLE DELLA CAFFARELLA (FIUME ALMONE)

3.2.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'Almone nasce dalle pendici dei Colli Albani e assume un percorso a direzione nord, mentre nell'ultimo tratto volge ad Ovest per confluire al Tevere. Il corso d'acqua ha assunto nei secoli nomi diversi tra i quali il nome di Marrana della Caffarella. La superficie del bacino dell'Almone è di 54 km² con una lunghezza d'asta di 21 km. Le portate massime, stimate negli anni '60, variano tra

300 e 390 m³/s con tempi di ritorno tra 20 e 100 anni. Oggi le captazioni e cementazioni del territorio hanno notevolmente modificato l'idrologia del corso d'acqua che ha portate di magra bassissime e portate di massime legate solo alla pioggia.

Il tratto terminale del fosso è completamente intubato ma il suo letto era ancora visibile in carte topografiche del 1910. Oggi è tutto in sotterraneo e si immette nel collettore che corre sotto la Via Ostiense.

L'area esaminata si estende per circa 5 km lungo la valle nel suo settore centrale e terminale.

3.2.2 -SUDDIVISIONE IN UNITÀ DEPOSIZIONALI

La potenza totale del pacco alluvionale è di circa 30 m. Al letto dei riporti antropici si individua uno strato di alluvioni storiche (ALL Stor) e quindi spessori notevoli di limi argillosi di colore grigio-nerastro dovuto ad elevato contenuto in sostanza organica (AO).

Le alluvioni storiche sono caratterizzate da granulometrie sabbiose-ghiaiose, con livelli argillosi e presenza di elementi di origine antropica fluitati; il comportamento è prevalentemente frizionale, con parametri fisico-meccanici simili a quelli individuati nella unità corrispondente nel Fosso di Grotta Perfetta.

Di seguito si individuano argille limose organiche che rappresentano il corpo principale all'interno del deposito alluvionale e sono costituite da argille, limi, limi argillosi, di colore grigio-scuro, con presenza organica, saturi. Il complesso limo-argilloso è in stato di normalconsolidazione, con bassa resistenza al taglio ed elevata deformabilità. Nelle zone a maggiore presenza organica si riscontrano

bassi valori del peso di volume, mentre i valori di umidità e dei Limiti di Atterberg raggiungono a volte termini elevati, simili a quelli riscontrati nel Fosso di Grotta Perfetta.

3.2.3 - I PARAMETRI GEOTECNICI RAPPRESENTATIVI DI OGNI UNITÀ E LA SERIE STRATIGRAFICA RAPPRESENTATIVA DEL DEPOSITO

L'assetto geologico dell'area che ospita il deposito alluvionale della Valle dell'Almone è del tutto assimilabile a quella del Fosso di Grotta Perfetta.

La differenziazione in unità consente di identificare, anche in questo caso, termini pelitici più ricchi di sostanza organica (AO) da quelli con minor contenuto organico a granulometria più grossolana (SL). Gli intervalli deposizionali di queste unità sembrano essere coerenti a quelli riscontrati nella Valle di Grotta Perfetta, ma da un punto di vista puramente geomeccanico, le unità più organiche non raggiungono mai i valori limite di densità o umidità naturale riscontrati nel deposito di Grotta Perfetta.

L'indice di attività varia da 0,18 a 1,48 con valori molto dispersi: ciò è da imputare alle diverse caratteristiche del bacino della Valle della Caffarella, molto più ampio ed importante di quello di Grotta Perfetta, caratterizzato da una maggiore variabilità delle dinamiche idrauliche e da un diverso assetto geomorfologico alla confluenza con il Tevere. In tale contesto si sottolinea che mentre la confluenza del Fosso di Grotta Perfetta era parzialmente ostacolata da alcuni rilievi il Fosso della Caffarella presentava un'ampia apertura alla Valle Tiberina.

Da quanto sopra detto emerge che, mentre nel

Tav. 1 - Tavola riassuntiva dei parametri geotecnici relativi alle unità litotecniche identificate nel deposito di Grotta Perfetta

- *Geotechnical parameters summary table of the lithotechnical units identified in the "Grotta Perfetta" deposit.*

	Unità	γ (kN/m ³)	Wn (%)	LL (%)	IP (%)	φ'	C' (kPa)	Cu (kPa)	Eed (MPa)
All Stor	Alluvioni Storiche	16-19	32-65	ND-78	NP-23	30-47	0-38	-	3,6
AM	Argille Marroni	15-19	30-93	43-123	17-58	23-30	5-35	21-74	2,4-6,3
AO1	Argille Organiche	12-15	91-186	102-171	33-93	13-22	9-25	16-55	1,0-1,3
AV	Argille Verdi	12-17	49-154	84-151	24-79	17-29	3-15	7-19	1,2-1,8
AO2'	Argille Organiche	14-16	42-184	63-164	18-76	13-26	5-25	15-33	2,6-3,3
AO2''	Argille Organiche	16-19	28-84	46-104	17-65	25-30	0-0,3	15-30	3,1-7,6



Fosso di Grotta Perfetta le unità ricche di sostanza organica sono distribuite uniformemente per spessori di molti metri, nel fosso in esame le unità ricche in sostanza organica si ritrovano prevalentemente al centro della valle e si vanno a rastremare in corrispondenza dei fianchi vallivi assumendo una geometria di tipo lenticolare. Inoltre verso la confluenza col Tevere si ha, entro la serie alluvionale, un netto aumento della frazione sabbiosa; la serie indica chiaramente le influenze dei materiali trasportati dal Tevere.

Lungo i fianchi vallivi prevalgono sedimenti a granulometria grossolana e costituiti per lo più da frammenti di tufo e pozzolane rimaneggiate ascrivibili ai “detriti di versante” (DV) già individuati nel Fosso di Grotta Perfetta ma caratterizzati, in questo caso, da una maggiore estensione e spessore.

La sezione S-T nella Carta dei Profili allegata, definisce l'assetto stratigrafico rappresentativo del deposito in esame e in tavola 2 sono riassunti alcuni dei parametri geotecnici delle unità individuate.

Dal punto di vista geotecnico si individuano pur con una maggior variabilità rispetto al Fosso di Grotta Perfetta, terreni pelitici organici con densità molto basse, elevata plasticità, bassa resistenza al taglio ed elevata compressibilità.

3.3 - IL DEPOSITO ALLUVIONALE DEL VELABRO MINORE

3.3.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il Fosso del Velabro Minore si ubicava in un'area sede di intense trasformazioni antropiche già in epoca romana.

L'area esaminata è localizzata tra il Campidoglio e il Palatino nella quale confluivano le valli visibili in prossimità dei colli Esquilino e Viminale; il fosso confluiva nel basso corso del Velabro Maggiore, che scorreva tra il Palatino e l'Aventino.

Questi corsi d'acqua, insieme al Fosso Labicano, hanno definito la morfologia dei “Sette Colli” di Roma che hanno costituito la zona centrale della

città sin dalle prime fasi dello sviluppo urbano; l'entità delle modifiche antropiche della morfologia naturale può essere compresa se si considera che fin dall'antichità questo territorio sia stato interessato da interventi quali la bonifica di alcune paludi, l'incanalamento dei corsi d'acqua nei sistemi delle cloache o l'eliminazione di interi rilievi (come, per esempio, la sella della Velia in corrispondenza alla terminazione nord-orientale del Palatino che è stata asportata nella prima metà del ventesimo secolo) il cui materiale prodotto è stato utilizzato per apportare ulteriori modifiche di “ritombamento” specialmente all'interno delle valli (riporti con spessori locali fino a 15-20 m).

3.3.2 - LA SERIE STRATIGRAFICA RAPPRESENTATIVA DEL DEPOSITO

L'insufficienza di dati geotecnici ha permesso la ricostruzione di una serie rappresentativa del deposito del Velabro solo su basi geologico - stratigrafiche attraverso l'analisi e l'interpretazione di 30 log stratigrafici. Anche in questo caso la serie rappresentativa fa riferimento all'area centrale della valle; settore nel quale si ha il massimo spessore delle diverse unità.

Come per le alluvioni dei Fossi di Grotta Perfetta e della Caffarella già descritte, si riscontra la presenza di spessori notevoli (più di 20 metri) di limi argillosi e argille limose di colore grigio-scuro e nerastro dovuto ad elevato contenuto in sostanza organica (AO); localmente questa serie deposizionale pelitica organica è interrotta da orizzonti più grossolani e/o con strati privi di sostanza organica (ALS, AV, SLG).

Pur nell'ambito di depositi normalconsolidati, si individuano parametri fisico-meccanici particolarmente scadenti in corrispondenza dei limi organici, soprattutto con riferimento alla elevata deformabilità.

All'interno del deposito si sono individuate, nella porzione più superficiale, le “Alluvioni Storiche” costituite prevalentemente da limi argillosi - sabbiosi con inclusioni di reperti antropici e

Tav. 2 - Tavola riassuntiva i parametri geomeccanici individuati per ogni unità litotecnica nel deposito della Caffarella.

- *Geotechnical parameters summary table of the lithotechnical units identified in the "Caffarella" deposit.*

	Unità	γ (kN/m ³)	Wn (%)	LL (%)	IP (%)	φ'	C' (kPa)	Eed (MPa)
All Stor	All Storiche	17,5	-	-	-	33.5	25	2,9-5,8
AO	Argille limose organiche	12,4-16,2	45-130	51-173	12-62	18-20	0-5	2,5-2,8

residui tufacei e in alcuni casi ghiaie di natura variabile. L'unità è in contatto con argille limose debolmente sabbiose che presentano, al loro interno, concrezioni di natura calcarea (ALS). Con la profondità tali argille perdono la frazione sabbiosa assumendo un contenuto di sostanza organica progressivamente maggiore (AO).

Tale unità è interrotta da una diminuzione del contenuto organico assumendo le caratteristiche di un'argilla limosa grigio-verdastra (AV) in eteropia con sabbia fine limosa nerastra e clasti di ghiaia evoluti (SLG).

Intorno ai -15 m s.l.m. riprende la sedimentazione di argille limose ricche in sostanza organica individuabile in livelli torbosi e lignitici (AO).

La serie alluvionale si chiude intorno ai -25 m s.l.m. con le ghiaie di base relative alla fase erosiva del corso d'acqua.

L'assetto stratigrafico del deposito è rappresentato nella Carta dei Profili Stratigrafici allegata (sezione Q-R).

4. - CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEI DEPOSITI ALLUVIONALI IN DESTRA IDROGRAFICA DEL FIUME TEVERE.

4.1 - IL DEPOSITO ALLUVIONALE DELLA VALLE DELL'INFERNO

4.1.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La Valle dell'Inferno delimita a nord-ovest il Colle Vaticano, originandosi in prossimità del Forte Trionfale. L'area in esame, localizzata a circa 1,5 km dallo sbocco nella valle tiberina, è stata oggetto in passato e fino ai primi decenni del secolo scorso, di attività di cava delle argille plioceniche che alimentavano numerose fornaci e fabbriche di laterizi. Queste attività di cava hanno profondamente modificato l'antica morfologia di questo settore della Valle dell'Inferno, con enormi sbancamenti, riporti antropici e modifiche dell'originario reticolo idrografico, fino ad arrivare alle modificazioni più recenti, legate all'urbanizzazione dell'area.

Lo spessore complessivo del pacco alluvionale è di circa 25 m.

4.1.2 (PG.7) SUDDIVISIONE IN UNITÀ DEPOSIZIONALI

Attualmente il fosso è visibile in superficie più solo nella zona di monte essendo stato ricoperto da

coltri di terreni di riporto relative alla intensa urbanizzazione che ha subito l'area.

Ad oggi non è dato di sapere se il fosso è stato intubato o è semplicemente coperto dai riporti.

In assenza del fosso, la Valle dell'Inferno funge ancora da linea drenante delle acque piovane del bacino idrografico.

Il flusso di subalveo drena le sabbie limose presenti nel deposito dotate di media/bassa permeabilità, le quali sono confinate dalle argille plioceniche sepolte, impermeabili.

In base ai dati di sondaggio che individuano le quote relative al bedrock pliocenico si definisce l'andamento del talweg principale e anche della vallecola confluyente da Sud Ovest in corrispondenza di Via Baldo degli Ubaldi, che determina la seconda linea drenante della circolazione idrica sotterranea. In corrispondenza di questa vallecola secondaria i terreni drenanti sono costruiti fondamentalmente da sabbie con ghiaietto e dai riporti.

I limi argillosi (LA) sovrastanti i limi sabbiosi (SL) che si riscontrano al di sotto dei riporti, essendo mediamente impermeabili, determinano un locale tamponamento della falda di subalveo, ma tale confinamento appare comunque interrotto sul lato occidentale, verso Viale di Valle Aurelia, per la presenza di terreni più permeabili (SLG e SLV) che mettono idraulicamente in comunicazione i riporti con le sottostanti sabbie limose.

4.1.3 - I PARAMETRI GEOTECNICI RAPPRESENTATIVI DI OGNI UNITÀ E LA SERIE STRATIGRAFICA RAPPRESENTATIVA DEL DEPOSITO

La tavola 3 riassume in modo sintetico i parametri geotecnici relativi alle unità alluvionali individuate nel deposito della Valle dell'Inferno.

Si evidenzia come tale deposito sia sostanzialmente caratterizzato da migliori caratteristiche geotecniche rispetto ai terreni dei depositi alluvionali in sinistra idrografica del Tevere; ciò con particolare riferimento ai più elevati valori di densità, ai valori medi di Umidità e dei limiti di Atterberg e ad una deformabilità che non raggiunge i termini estremi dei fossi in sinistra idrografica già descritti.

Inoltre non si evidenzia presenza di sostanza organica se non per limitati e sottili intervalli distribuiti in modo disomogeneo all'interno del corpo alluvionale.

Le analisi fino a qui riassunte hanno permesso di definire la serie rappresentativa del deposito alluvionale della Valle dell'Inferno (profilo A-B



nella Carta dei Profili).

4.2 - IL DEPOSITO ALLUVIONALE DEL FOSSO DEI TIRADIIVOLI

4.2.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Come già accennato, non si dispone dello stesso grado di dettaglio per tutti i corsi d'acqua considerati. Nel caso del Fosso dei Tiradiavoli i dati da sondaggio sono pochi e tali da non permettere la definizione delle unità alluvionali all'interno del deposito.

Sono stati, invece, reperiti dati da sondaggio relativi al corso d'acqua affluente di destra del Fosso dei Tiradiavoli ora ritombato a seguito della realizzazione dell'odierna Via dei Quattro Venti.

Lo spessore complessivo delle alluvioni, a 300 m dalla confluenza nel Fosso Tiradiavoli, è di circa 20 m.

4.2.2 - SUDDIVISIONE IN UNITÀ DEPOSIZIONALI

Sulla base di dati stratigrafici ricavati da indagini geognostiche, è stata definita la successione delle unità deposizionali individuate all'interno del corpo alluvionale del Fosso dei Tiradiavoli (rappresentata nella sezione C-D nella Carta dei Profili); dalla più recente alla più antica individuiamo prima sabbie fini limose a tratti debolmente argillosi con elementi di ghiaia eterometrica (SLG). Tale unità risulta essere da moderatamente addensata ad addensata.

Di seguito, scendendo in profondità, si giunge a limi argillosi marroni, con livelli sabbiosi che, insieme all'unità sopra descritta, costituiscono il corpo

principale del deposito alluvionale (LA).

Il deposito alluvionale considerato presenta un esiguo spessore essendo relativo ad una linea di impluvio affluente al Fosso dei Tiradiavoli.

Si rivela, quindi, parzialmente rappresentativo della realtà fluviale del bacino ma fornisce, comunque, indicazioni sull'energia dell'ambiente attraverso le sue caratteristiche sedimentologiche.

Anche in questo caso, come in quello precedentemente analizzato, si tratta di sedimenti a granulometria mediamente più grossolana rispetto ai depositi in sinistra idrografica e privi di componente organica.

4.2.3- I PARAMETRI GEOTECNICI RAPPRESENTATIVI DI OGNI UNITÀ E LA SERIE STRATIGRAFICA RAPPRESENTATIVA DEL DEPOSITO

Nella tavola 4 sono riassunti in modo sintetico i parametri geotecnici relativi alla unità alluvionale pelitica LA individuata nel deposito in esame.

Anche in questo caso si individuano parametri geotecnici tipici di depositi normal consolidati senza raggiungere i valori critici di depositi in sinistra idrografica.

4.3 - IL DEPOSITO ALLUVIONALE DEL FOSSO DELLA MAGLIANELLA

4.3.1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il bacino del Fosso della Maglianella è caratterizzato da una lunghezza complessiva di circa 16 km con quote alla testata di circa 110 m s.l.m. (Fosso di Palmarola) e confluenza nella valle tiberina.

Tav. 3 – Tavola riassuntiva i principali parametri geomeccanici delle unità litotecniche individuate nel deposito della Valle dell'Inferno.

– *Geotechnical parameters summary table of the lithotechnical units identified in the "Valle dell'Inferno" deposit.*

	Unità	γ (kN/m ³)	Wn (%)	LL (%)	IP (%)	φ'	C' (kPa)	Cu (kPa)	Eed (MPa)
LA	Limi argillosi	8,8-19,8	21-33	29-48	14-25	18-26	5-12	80-90	4,0-8,0
AO	Sabbie limose	9,8-20,8	20-27	ND-34	NP-18	24-33	0-7	-	9,0

Tav. 4 - Tavola riassuntiva i principali parametri geomeccanici delle unità litotecniche individuate nel deposito del Fosso dei Tiradiavoli.

– *Geotechnical parameters summary table of the lithotechnical units identified in the "Tiradiavoli" deposit.*

	Unità	γ (kN/m ³)	Wn (%)	LL (%)	IP (%)	φ'	C' (kPa)	Cu (kPa)	Eed (MPa)
LA	Limi argillosi	18,2-20,1	21-40	38-58	14-19	21-30	18-47	36-90	3,7-7,8

na a quota intorno ai 14 m s.l.m.; la sua lunghezza d'asta è di circa 18 km con una pendenza totale di circa 0.55%.

Una serie di prove geotecniche condotte in situ e in laboratorio effettuate sui campioni prelevati in circa una cinquantina di sondaggi ha permesso di suddividere il deposito alluvionale in unità distinte prevalentemente sulla base del comportamento geomeccanico.

L'area esaminata è localizzata a circa 2 km dallo sbocco nella valle tiberina

4.3.2 -SUDDIVISIONE IN UNITÀ DEPOSIZIONALI

Inferiormente a una coltre di riporto e di terreno vegetale di circa 1-2 metri si individuano dapprima limi argillosi e argille limose marroni e avana con locali livelli sabbiosi, molto frequenti al letto dello strato. Si presentano poco o mediamente consistenti (LAM).

Di seguito si riscontrano sabbie limose e limi sabbiosi con locali livelli di ghiaietto (S); la frazione sabbiosa è comunque prevalente e condiziona il comportamento geomeccanico generale. Il colore localmente nerastro e/o grigiastro evidenzia un variabile ma limitato contenuto in sostanza organica presente in sottili livelli.

Seguono, quindi, ghiaie sabbiose e sabbia con ghiaia (G) con distribuzione discontinua, anche in questo caso presenti soprattutto nei settori più a monte della valle. Le caratteristiche granulometriche tipicamente sciolte e grossolane non hanno permesso il campionamento indisturbato e pertanto la parametrizzazione geomeccanica è stata sviluppata attraverso le penetrometrie dinamiche SPT di cui si presentano più avanti i parametri fisico - meccanici

ci stimati.

Infine si giunge ad argille limose e limi sabbiosi grigiastri (AG), con frequenti livelli sabbiosi e con locali livelli organici centimetrici il cui comportamento geomeccanico è decisamente coesivo, con una media consistenza che aumenta con la profondità (profilo E-F nella Carta dei Profili).

4.3.3 - LA SERIE STRATIGRAFICA RAPPRESENTATIVA DEL DEPOSITO E I PARAMETRI GEOMECCANICI

La tavola 5 riassume in modo sintetico i parametri geotecnici relativi alle unità alluvionali individuate nel deposito del Fosso della Maglianella.

I parametri fisico-meccanici sono coerenti a quelli individuati per gli altri due fossi in destra idrografica sia dal punto di vista geotecnico che granulometrico.

Le unità S e AG presentano sottili livelli di sostanza organica decisamente subordinati e tali da non condizionare il comportamento geotecnico generale che risulta relativamente migliore rispetto alle alluvioni dei fossi in sinistra idrografica.

5. - CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEL DEPOSITO ALLUVIONALE DEL FIUME TEVERE

5.1 - INTRODUZIONE

Gli studi condotti sul deposito alluvionale del Tevere risultano essere più numerosi rispetto a quelli effettuati sui depositi dei tributari ma, vista la sua estensione areale, fanno riferimento ad alcune zone specifiche.

A questo proposito si ricordano i lavori di

Tav. 5 – Tavola riassuntiva i principali parametri geomeccanici relativi alle diverse unità litotecniche individuate nel Fosso della Maglianella.

– *Geotechnical parameters summary table of the lithotechnical units identified in the "Maglianella" deposit.*

	Unità	γ (kN/m ³)	Wn (%)	LL (%)	IP (%)	φ'	C' (kPa)	Cu (kPa)	Eed (MPa)
LAM	Limi argillosi marroni	18-20	18-20	18-20	18-20	20-29	10-30	70-150	7-12
S	Sabbie fini limose	18-20	18-20	18-20	18-20	23-35	0-20	-	9,5-15
G	Ghiaie sabbiose	19	-	-	-	35-40	0	-	20-40
AG	Argille grigie	18-20	18-20	18-20	18-20	20-25	10-50	60-110	6-10



PAROTTO *et alii* (1997); CORAZZA *et alii* (1999); BOZZANO *et alii* (1999).

Questi lavori, che risultano essere indispensabili al fine di individuare i rapporti stratigrafici ed evolutivi tra il Tevere ed i suoi tributari, sono stati messi a confronto al fine di giungere a considerazioni di carattere geologico-tecnico.

5.2 - LA SUCCESSIONE STRATIGRAFICA RAPPRESENTATIVA DEL DEPOSITO ALLUVIONALE DEL FIUME TEVERE E I PARAMETRI GEOMECCANICI

Tutti gli studi prodotti sulle alluvioni tiberine all'interno della città di Roma si trovano pressoché concordi sia nella suddivisione e nella caratterizzazione geomeccanica delle suddette e sia nella ricostruzione dell'evoluzione dell'iter deposizionale del Tevere nel corso dell'Olocene.

Gli autori sono concordi nell'identificare dal termine più recente al più antico, con riferimento al settore del Centro Storico le seguenti unità stratigrafiche:

All Stor: limi sabbiosi e limi argillosi grigio verdastri; alcuni autori suddividono questa unità in due unità distinte, una limo-argillosa (LAV) ed una più sabbiosa (SLV).

S: sabbie grossolane che costituiscono il riempimento di approfondimenti relativi ad una fase erosiva del Fiume Tevere.

AG: argille limose e limi argillosi grigiastri con sottili livelli organici, relativamente più frequenti intorno alla quota di -15 m slm.

SLG: sabbie limose, limi sabbiosi grigi e sabbie

grossolane.

G: ghiaie di base: prevalentemente costituite da clasti carbonatici relative alla fase erosiva.

Il confronto tra i dati geotecnici relativi alle tabelle riassuntive di ogni lavoro considerato confermano la congruenza delle analisi effettuate anche se relative a diverse aree e possono essere riassunti nella tabella 6.

6 - CONFRONTO DEI PRINCIPALI CARATTERI FISICO-MECCANICI DELLE ALLUVIONI

Sulla base di quanto analizzato precedentemente risulta che i depositi in sinistra idrografica sono caratterizzati da parametri fisico-meccanici notevolmente più scadenti rispetto ai depositi dei fossi in destra idrografica e dei depositi delle alluvioni tiberine. Le differenze di resistenza al taglio fra i depositi dei fossi in sinistra ed in destra idrografica e della Valle Tiberina sono leggibili sinteticamente nella figura 2 ove si confrontano 3 penetrometrie statiche CPT rappresentative delle situazioni qui esaminate.

Le condizioni fisiche di plasticità sono confrontabili esaminando la Carta di Plasticità di Casagrande che evidenzia la elevata plasticità delle alluvioni limose organiche del deposito di Grotta Perfetta (fig. 3).

Al fine di effettuare una prima valutazione circa i caratteri mineralogici e la sensibilità dei depositi pelitici si mostra un grafico che illustra l'Attività Colloidale delle argille nei fossi in destra, in sinistra

Tav. 6 - Tavola riassuntiva i principali parametri rappresentativi delle unità individuate nel deposito alluvionale tiberino.

- *Geotechnical parameters summary table of the lithotechnical units identified in the "Tiber" deposit.*

	Unità litotecnica	γ (kN/m ³)	Wn (%)	LL (%)	IP (%)	φ'	C' (kPa)	Eed (MPa)
LAM	Limi argillosi marroni	18-20	20-0	43-71	12-41	18-25	15-30	3-14
S	Sabbie limose verdastre	17-20	20-40	26-65	8-26	27-35	0-20	10-20
G	Sabbie medie	17-20	20-30	ND-27	NP	30-40	0-10	15-31
AG	Argille limose grigiastre	15-20	20-60	34-93	11-59	15-26	5-25	3-12
SLG	Sabbie limose grigiastre	18,5-20	20-30	24-46	NP-22	25-35	0-15	8

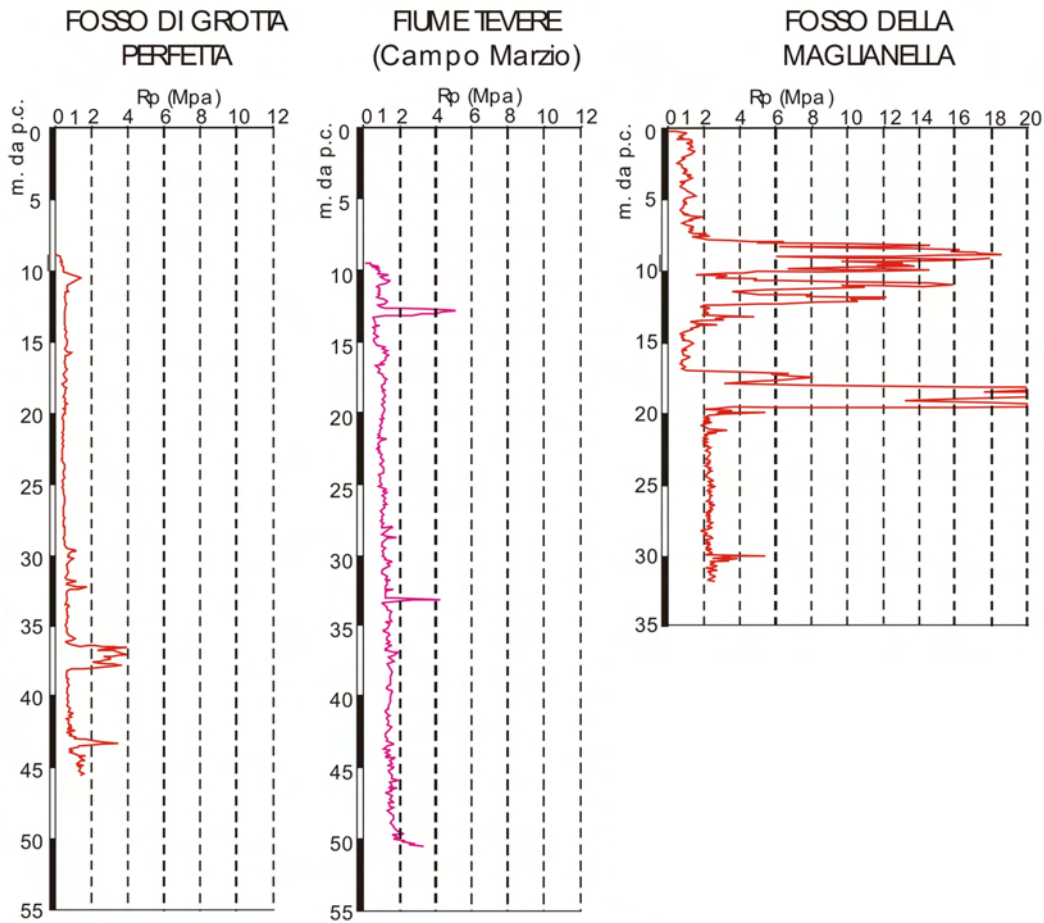


Fig. 2 - Confronto fra 3 prove penetrometriche statiche in un fosso in sinistra, in destra idrografica del Tevere e nelle alluvioni tiberine (CAMPOLUNGI *et alii*, 2007).

- Comparing three static penetration test on right-bank, left bank, and Tiber's alluvial deposits (CAMPOLUNGI *et alii*, 2007).

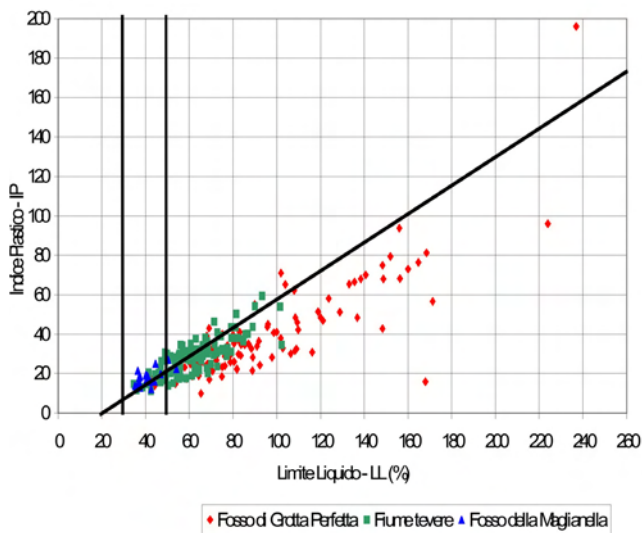


Fig. 3 - Confronto fra le caratteristiche di plasticità nelle alluvioni nei fossi in sinistra, in destra e nelle alluvioni tiberine (CAMPOLUNGI *et alii*, 2007).

- Comparison between the plasticity features of right bank, left bank and Tiber's alluvial deposit (CAMPOLUNGI *et alii*, 2007).

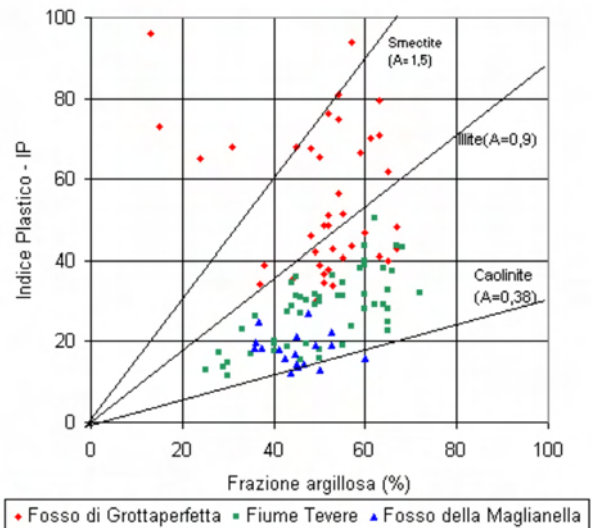


Fig. 4 - Confronto dei caratteri mineralogici prevalenti, in base all'indice di Attività colloidale, fra i depositi alluvionali nei fossi in sinistra, in destra e nelle alluvioni tiberine (CAMPOLUNGI *et alii*, 2007).

- Comparing the main mineralogical features based on the Colloidal Activity Index, among right-bank, left bank, and Tiber's alluvial deposits (CAMPOLUNGI *et alii*, 2007).



e nelle alluvioni del Tevere (fig. 4). Si individuano normali Indici di Attività per le alluvioni tiberine e dei fossi in destra idrografica ($A = 0,4 - 0,8$), mentre nei fossi in sinistra idrografica, si individuano valori di Attività più elevati ($A = 0,8 - 2$) che definiscono terreni "ad elevata Attività".

Di particolare importanza per il tema qui trattato risulta inoltre la notevole deformabilità dei depositi dei fossi in sinistra rispetto agli altri depositi analizzati; i caratteri deformazionali sono qui confrontati esaminando 3 curve edometriche rappresentative (Figura 5); si nota la notevole compressibilità dei depositi pelitico-siltosi organici del Fosso di Grotta Perfetta, i cui Indici dei Vuoti naturali raggiungono valori molto elevati ($e_0 = 1,5 - 2,5$).

Emerge pertanto che i depositi alluvionali descritti, con particolare riferimento agli strati pelitico-siltosi, pur trattandosi sempre di alluvioni olo-

ceniche normalconsolidate e soggette potenzialmente a fenomeni di subsidenza e cedimento qualora sovraccaricati da riporti e/o infrastrutture, presentano una relativa maggiore deformabilità in corrispondenza delle alluvioni organiche presenti in varia misura nei depositi alluvionali dei fossi in sinistra, mentre le alluvioni tiberine ed i depositi in sinistra sono caratterizzati da parametri di deformabilità abbastanza simili e confrontabili.

7 - DISCUSSIONE

I corpi alluvionali sono stati divisi in unità deposizionali caratterizzate da un comune comportamento geomeccanico.

L'attenzione è prevalentemente concentrata sulle unità caratterizzate dai parametri fisico-mecanici più scadenti soprattutto in relazione alla loro deformabilità e quindi più problematiche in un ambiente urbano.

Una prima evidenza è la differenza nella composizione granulometrica tra depositi in destra e depositi in sinistra idrografica del Fiume Tevere.

I depositi in destra sono perlopiù costituiti da sabbie, limi e ghiaie in percentuali variabili ma tendenzialmente sempre di tipo grossolano, pressoché privi di contenuto significativo di sostanza organica; i parametri geotecnici sono caratteristici di depositi normalconsolidati a media deformabilità.

I depositi di sinistra sono, invece, caratterizzati da una minore variabilità granulometrica che vede una preponderanza dei sedimenti argillosi-limosi direttamente connessi all'alterazione dei minerali contenuti nei depositi vulcanici e presenti, prevalentemente con i prodotti del distretto albano. Tali depositi sono, inoltre, caratterizzati da una costante presenza di sostanza organica, che fa assumere ai depositi pelitici un colore da grigio-scuro a nero, probabilmente correlata anche ad un'alta fertilità dei suoli vulcanici, intervallata, nella maggior parte dei casi, da episodi in cui si ha una netta diminuzione del contenuto organico.

Tetto e letto di queste unità pelitiche organiche, nei limiti delle variazioni altimetriche relative alle diverse aree di misura, sono correlabili e risultano essere confrontabili anche da un punto di vista cronologico.

Le unità ricche di sostanza organica non sono state rilevate in alcun deposito di destra se non localmente nel Fosso della Maglianella dove si ha una scarsa presenza di componente organica riferibile a frustoli vegetali e torbe distribuiti i livelletti

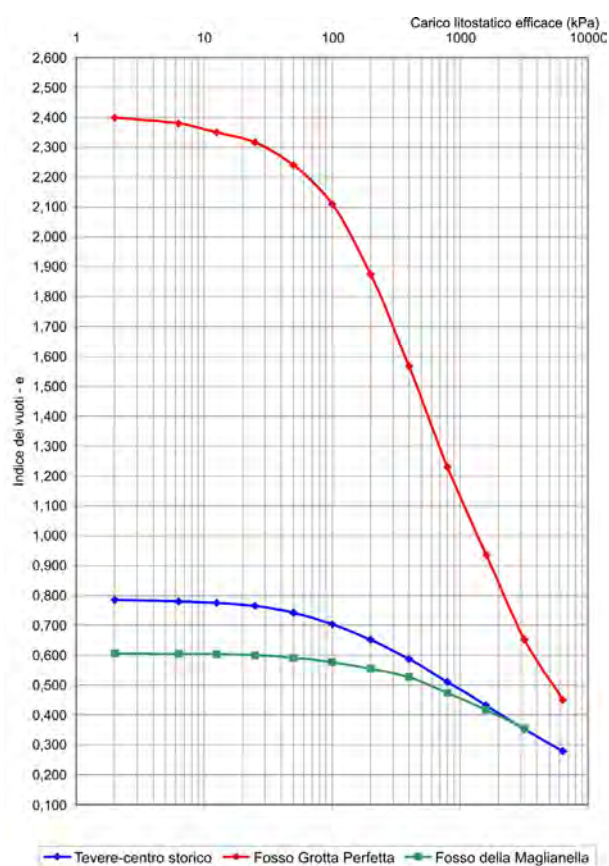


Fig.5 – Confronto fra curve edometriche rappresentative dei depositi alluvionali del Fosso di Grotta Perfetta, del Fosso della Maglianella e della Valle Tiberina nell'area di Campo Marzio (CAMPOLUNGH *et alii*, 2007)

- Comparing the oedometer graphs from the "Grotta Perfetta", "Fosso della Maglianella" and Tiber's valley's deposits in the "Campo Marzio" area (CAMPOLUNGH *et alii*, 2007).

di piccolo spessore.

La difformità tra depositi di destra e di sinistra sono fondamentalmente dovute da due fattori: il diverso assetto geologico e ai caratteri litologici e i caratteri litologici e paleogeografici dei terreni interessati dai corsi d'acqua.

Le aree in destra idrografica sono interessate dall'alto strutturale di Monte Mario, Monte Vaticano e Gianicolo; i corsi d'acqua sono sostenuti prevalentemente dalle precipitazioni e la loro energia è data dal dislivello tra sorgenti e livello di base; prevale, rispetto ai corsi in sinistra, l'azione erosiva rispetto alle deposizione ed una maggiore energia dei corsi d'acqua.

I tributari di sinistra del Tevere, al contrario, interessavano morfologie definite da rilievi collinari poco o mediamente acclivi; caratterizzati da un flusso perenne, anche se modesto, con numerose sorgenti di subalveo tali da creare aree umide. Si ipotizza che tributari come il Fosso di Grotta Perfetta, caratterizzati da unità ricche di sostanza organica con percentuali fino al 20% e per unità deposizionali della potenza media di circa 5m, fossero quasi costantemente interessati da ambienti fluvio palustri ed a bassa e bassissima energia.

Riguardo alle geologia delle aree interessate dallo scorrimento dei tributari fino ad ora studiati, in destra idrografica prevalgono i depositi sedimentari relativi alle formazioni di Monte Mario e Monte Vaticano, e secondariamente, i prodotti vulcanici del distretto sabatino e, in minor misura, albano. Si tratta di formazioni caratterizzate da una granulometria mediamente grossolana (ghiaie, sabbie e limi) o particolarmente coerenti che i processi di erosione e di breve trasporto alterano in misura minore.

In sinistra idrografica invece le formazioni fortemente interessate dall'attività erosiva dei tributari sono prevalentemente piroclastici e pozzolanacee che, una volta erose, danno luogo per alterazione a sedimenti argillosi.

Le difformità tra depositi dei corsi d'acqua in sinistra e in destra si palesa anche attraverso un diverso comportamento geomeccanico dei terreni che diventa importante quando si confrontano terreni organici con terreni che ne risultano privi: MALKAWI A. *et alii.*, (1999) identifica nella presenza di sostanza organica nei terreni di tipo argilloso la ragione delle scadimenti caratteristiche geotecniche dei terreni con particolare riferimento alla deformabilità.

Ciò è confermato dalle analisi geotecniche che

evidenziano, a parità di composizione granulometrica, per le unità ricche di sostanza organica, valori di resistenza al taglio e di deformabilità molto bassi; tali valori migliorano notevolmente nelle unità con scarsa sostanza organica fino a valori confrontabili con i sedimenti completamente privi (destra del Tevere).

Si sottolinea che la distribuzione di queste unità ricche di sostanza organica interessa prevalentemente le porzioni terminali dei corsi d'acqua in prossimità della confluenza con il Tevere ove la pendenza assume i valori più bassi. Sedimenti ricchi di sostanza organica che risulta, però, distribuita meno uniformemente e in quantità minori rispetto ai tributari di sinistra, si riscontrano, come abbiamo potuto vedere, anche nel deposito alluvionale del Tevere all'interno della città di Roma nelle zone bordiere della valle e lontane dal letto del Fiume Tevere.

Condizioni di significativa presenza di sostanza organica sono segnalate anche alla confluenza con il Tevere dei Fossi della Cecchignola, di Vallerano e del Fosso di Malafede.

L'influenza della componente organica dei terreni interessati (AO) si riflette sul comportamento geomeccanico delle terre; nel caso dei depositi organici del Fosso di Grotta Perfetta, la elevata deformabilità è conseguenza soprattutto dei bassi indici di consistenza e degli elevati valori dell'indice dei vuoti, ma anche dei valori medio-elevati della "sensitività" di questi terreni (Umidità Naturale superiore al Limite Liquido); questo ultimo aspetto è di una certa importanza in quanto può essere indice di fenomeni di deformazione visco-plastica e di possibili scadimenti della resistenza fino al collasso a seguito di tensionamenti statici e/o dinamici e/o di terremoti.

Gli aspetti litotecnici fin qui descritti condizionano la stabilità delle infrastrutture urbane in quanto i sovraccarichi costituiti dai fabbricati e dai terreni di riporto possono causare fenomeni di cedimento e subsidenza più o meno accentuati.

Per quanto riguarda le alluvioni molto compressibili del Fosso di Grotta Perfetta si sottolineano, per esempio, i diffusi dissesti di molti edifici che hanno evidenziato cedimenti dell'ordine di molti decimetri dall'inizio delle fasi urbanistiche, vale a dire negli ultimi 50-55 anni.

Per quanto riguarda, invece, le alluvioni tiberine del centro storico emerge che i terreni alluvionali hanno subito, nel corso di due millenni, un cedimento dell'ordine di 70-130 cm e che tale subsi-



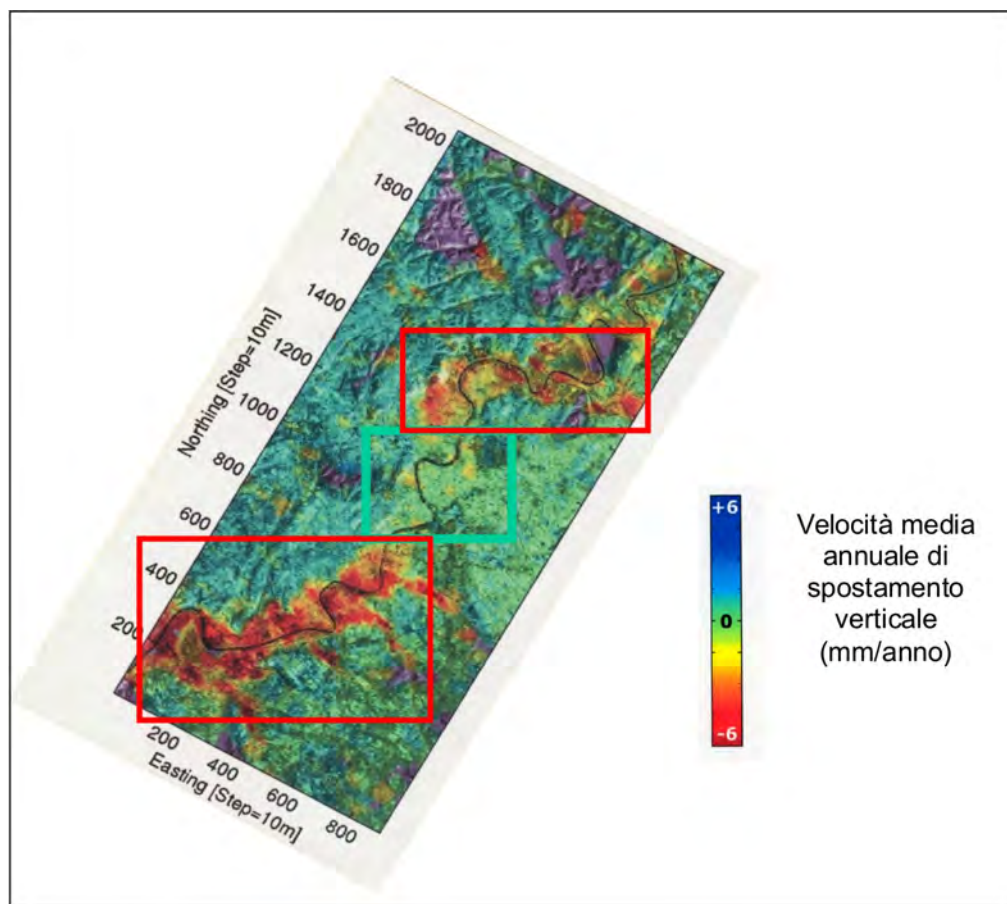


Fig. 6 - Rilievi interferometrici dell'intervallo 1991-2000 dai satelliti ERTS1 – ERTS2. Dati cortesemente forniti dalla Agenzia Spaziale Europea.
- Interferometric survey in the 1991-2000 time span from ERTS1 - ERTS2 satellites. Courtesy of the European Space Agency, for the "Politecnico di Milano", Prof. Rocca. (CAMPOLUNGI et alii, 2007).

denza è attualmente in gran parte esaurita, in quanto le varie fasi urbanistiche si sono succedute sin dall'età romana (FUNICIELLO *et alii*, 2004). Nelle aree alluvionali tiberine esterne al centro storico e di più recente urbanizzazione sono invece potenzialmente presenti fenomeni di subsidenza e cedimento.

L'analisi dell'immagine presentata in figura 6 e realizzata tramite tecniche di telerilevamento spaziale individua, in rosso e in giallo, le aree del territorio limitrofo al corso del Fiume Tevere all'interno della Città di Roma, interessate da fenomeni di subsidenza, confermando le considerazioni sin qui svolte. Si individuano aree identificabili con i depositi alluvionali tiberini esterni al centro storico di Roma, in cui la subsidenza è alta e, in basso a destra, i depositi alluvionali dei tributari minori di sinistra.

La zona del centro storico e le aree interessate dai depositi alluvionali in destra idrografica al Tevere risultano pressoché stabili.

8 - CONCLUSIONI

L'analisi di circa 800 log stratigrafici e l'esecuzione di svariate prove di laboratorio ha permesso di suddividere i depositi alluvionali in unità deposizionali e di definire la loro caratterizzazione geomeccanica.

Ai fini applicativi la localizzazione di queste unità rappresenta un importante indizio per la valutazione della pericolosità propria delle varie parti del territorio nei confronti del tessuto urbano: i depositi alluvionali risultano sede di amplificazioni sismica e unità ricche di sostanza organica, caratterizzate da una struttura "sensitiva", possono essere interessati da fenomeni simili a quelli di liquefazione nelle sabbie limose in falda (MALKAWI, 1999).

Tali sedimenti, inoltre, risultano perlopiù sottoconsolidati e quindi ancora soggetti a cedimento.

Lo studio, attraverso i dati disponibili su alcuni depositi alluvionali nella città di Roma compreso il

deposito alluvionale del Tevere, ha consentito di individuare situazione di potenziale pericolo indotto dalla probabile presenza di unità organiche anche laddove l'insufficienza dei dati non lo permetta sulla base delle considerazioni effettuate sulle possibili cause che hanno regolato il trend deposizionale dei corsi d'acqua:

- Le unità ricche di sostanza organica omogeneamente diffusa e per spessori di molti metri si ritrovano prevalentemente nella porzione terminale e più pianeggiante dei corsi d'acqua in sinistra

idrografica in prossimità della confluenza con il Tevere.

- I depositi tiberini risultano essere interessati soltanto dalla presenza di sottili livelletti di sostanza organica ma, globalmente godono di caratteri geotecnici migliori rispetto ai tributari di sinistra.

- Tutti i depositi interessati dal carico millenario di riporti e strutture del centro storico risultano aver esaurito i processi di consolidazione e quindi di non essere più soggetti a fenomeni di cedimento.

- Le zone con significativa presenza di sostanza

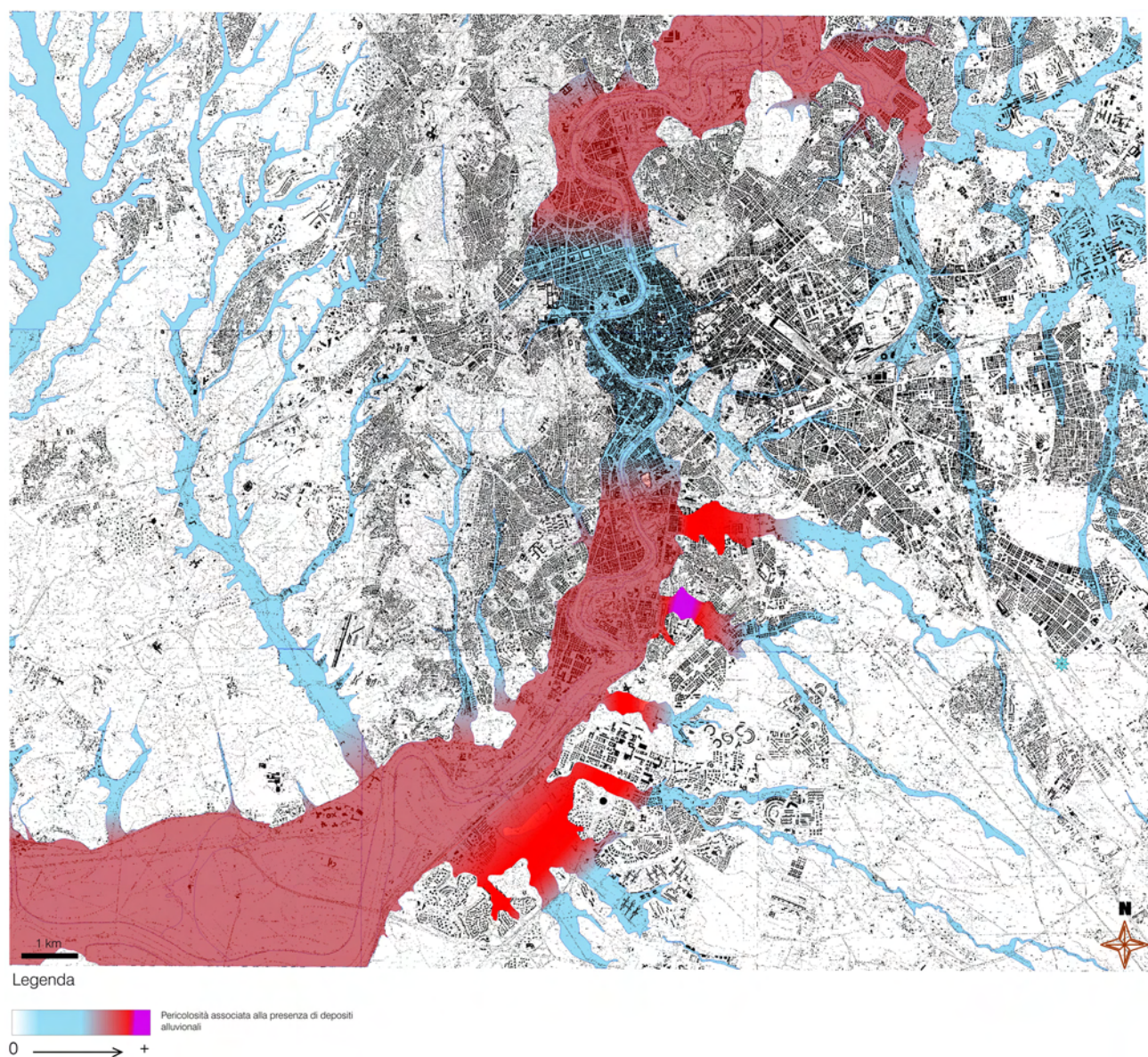


Fig.7 - Zonizzazione del pericolo connesso alle aree occupate da depositi alluvionali nella città di Roma (CAMPOLUNGH *et alii*, 2007).
- Zoning of hazard in areas with alluvial deposits in the city of Rome (CAMPOLUNGH *et alii*, 2007).



organica in corrispondenza dei fossi in sinistra idrografica risultano attualmente in subsidenza, mentre le alluvioni dei fossi in destra sono pressochè privi di fenomeni di subsidenza.

Quanto fin qui affermato è riassunto in figura 7 e risulta coerente con altre segnalazioni di dissesto nelle strutture edili edificate sulla superficie dei

depositi alluvionali.

La rappresentazione in oggetto non contempla i pericoli connessi alle amplificazioni sismiche correlate ai depositi alluvionali; lo studio condotto in questa sede può, comunque, rappresentare una base di partenza sulla quale impostare eventuali studi di microzonazione sismica.

BIBLIOGRAFIA

- BALZERANO L. (A.A. 2001 – 2002) - *Caratteri geologici dell'area del centro storico di Roma e valutazione della problematica sismica* relatore. Tesi di Laurea inedita – Dip. di Scienze Geologiche – Università degli Studi “Roma TRE”
- BOZZANO F., ANDREUCCI A., GAETA M., SALUCCI R., (2000): *A geological model of the buried Tiber River valley beneath the historical centre of Rome*. Bull. Eng. Geol. Env. **59**, 1-21.
- BOSCHI E., CASETA A., CONTI C., DI BONA M., FUNICIELLO R., MALAGNINI L., MARRA F., MARTINES G., ROVELLI A. & SALVI S., (1995) *Resonance of subsurface sediments: an unforeseen complication for designers of Roman Columns*. Bulletin of the Seismological Society of America, vol. **85**, n. 1, pp.320-324.
- CARBONI G., FUNICIELLO R., PAROTTO M., MARRA F., SALVI S., CORAZZA A., LOMBARDI L. & FEROCI M. (1990). “*Geologia e Idrogeologia del Centro Storico di Roma*” in “*Fotoplanimetria del Centro storico della Città di Roma*” a cura del CNR. NUM PAGINE
- CAMPOLUNGH M.P., CECILI A., CAPELLI G. & CONSIGLIO E. (2003) *Impiego della cartografia storica in G.I.S. per la valutazione dei pericoli connessi ad un deposito alluvionale nella città di Roma*. Atti IV Forum Italiano di Scienze della Terra – F.I.S.T. Geoitalia 2003, 322-323
- CAMPOLUNGH M.P., CAPELLI G., FUNICIELLO R. & LANZINI M. (2004) *Sedimentation dynamics in a holocene alluvial deposit in Roma, Italy*. Atti 32° I.G.C. Firenze Agosto 20-28 NUM PAGINE
- CAMPOLUNGH M.P., MAGRI D., CAPELLI G., BELLOTTI P. & LANZINI M. (2007) *Geotechnical studies for foundation settlement in Holocene deposits in the City of Rome (Italy)*, Engineering Geology **89** (2007), 9-35
- CAPELLI G. (1999): *Rapporti tra falda, reticolo idrografico e fognario nella Città di Roma*. Giornata Mondiale dell'Ambiente, Roma-Natura. Riserva Naturale di Decima-Malafede, 5 Giugno 1999-Relazione orale e poster.
- CAPELLI G., MAZZA R., SALVATI R. & DE FILIPPIS L. (2001): *Studi di geologia ambientale: caratterizzazione idrogeologica delle aree protette di Roma Natura in: Ricerche di base per i piani delle aree naturali protette di Roma Natura*. – Informatore Botanico Italiano, Vol **33**, suppl. 1 maggio 2001. NUM PAGINE
- CIFELLI F., DONATI S., FUNICIELLO F. & TERTULIANI A.

- (1999) *Hight density macroseismic survey in urban areas – Part 2, result for the city of Rome, Italy*. Bulletin of the seismological society of America. Vol **90**, number 2 April 2000, 99-114
- 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., FACCENNA 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
- DE RITA D., FUNICIELLO R., PANTOSTI D., (1988) *Dynamics and evolution of alban 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.
- DONATI S., FUNICIELLO R. & ROVELLI A. (2000) *Seismic response of historical centre of Rome*. Mem. Descr. della Carta Geol. d'Italia, vol. LIV - Servizio Geologico Nazionale, 237-246.
- FRUTAZ A. P., (1962) *Le Piante di Roma*, Istituto di Studi Romani.
- FUNICIELLO R. & GIORDANO G., questo volume: *La nuova Carta Geologica di Roma* (scala 1:10.000)
- FUNICIELLO R., LOMBARDI L., MARRA F. & PAROTTO M. (1995) *Seismic damage and geological Heterogeneity in Rome's Colosseum area: are they related?* Annali di Geofisica, Vol. **38**, n. 5-6, Novembre – December 1995 NUM PAGINE
- FUNICIELLO R., TESTA O., CAMPOLUNGH M.P., LANZINI M., CECILI A. (2004) – *La struttura geologica dell'area romana e il Tevere* – Atti dei convegni Lincei 218-Convegno “Ecosistema Roma” 14/16 aprile 2004- Accademia Nazionale dei Lincei, 149-208
- FUNICIELLO R. ET ALII, (1995) *La geologia di Roma. Il centro storico*. Mem. Descr. della Carta Geol. d'Italia, vol. L - Servizio Geologico Nazionale
- KIERSCH A.G. (1995) - *Environmental/engineering geology of alluvial*

- setting*. Engineering Geology 45 (1996), 325-346
- LILLESAND T.M. & KIEFER R.W. (1994) - Remote sensing and image interpretation. 3th 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
- MONGE O., CHASSAGNEUX D. & MOUROUX P. (1998) - *Methodology for liquefaction hazard studies: new tool and recent applications* - Soil Dynamics and Earthquake Engineering 17 (1998), 415-425
- PAROTTO M., PRATURLON A., CALDERONI G., IORIO D. & LOMBARDO M. (1997), *Stratigrafia della piana alluvionale del Tevere nell'area di Valco San Paolo – Ostiense (Roma)*. I Forum Italiano di Scienze della Terra – Geoitalia 1997 Vol. 2, 256-257
- VENTRIGLIA U. (2003), *Geologia del Territorio del Comune di Roma, Amministrazione Provinciale di Roma – Difesa del Suolo*.
- VENTRIGLIA U. (1971), *Geologia della Città di Roma*, Amministrazione Provinciale di Roma.
- VENTRIGLIA U., (1989) *Idrogeologia della Provincia di Roma*, Amministrazione Provinciale di Roma.
- VITRONE C. (A.A. 2002 – 2003) – *Studio geologico e geotecnica dei depositi alluvionali del fiume Tevere nel settore di Roma Nord compreso tra Castel giubileo e Piazza Mazzini*. Tesi di Laurea inedita – Dip. di Scienze Geologiche – Università degli Studi “Roma TRE”.

