COMUNE DI VOLTERRA

INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE PER L'ANALISI DELL'ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL VERSANTE SUD DI VOLTERRA

GEOPROGETTI
studio associato
Via Venezia, 77
Tel. e Fax 0587-54001
56038 PONSACCO (PI)

Dott. Geol. Francesca Franchi

Dott. Geol. Emilio Pistilli

GEOSER s.c.r.l.

Dott. Geol. Luciano Giuntini

RELAZIONE TECNICA

Aggiornamento novembre 2016

INDICE

PREMESSA 1

1 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO 5

2 - ZONA LE COLOMBAIE – IL CIPRESSO 8

3 - ZONA FONTECORRENTI - CAPPUCCINI-STADIO 23

4 - ZONA SAN LAZZARO 35

5 - SINTESI DELLE CONOSCENZE ACQUISITE 42

5.1 - Le colombaie, il Cipresso 42

5.2 - Fontecorrenti, Cappuccini, Stadio 43

5.3 - San Lazzaro 44

6 - SISTEMA FOGNARIO 45

CONCLUSIONI 47

TAVOLE ALLEGATE ALLA RELAZIONE

Tavola 1 Carta geologica e dei dati di base Aggiornamento 2016

Tavola 2 Carta dei principali elementi geomorfologici Aggiornamento 2016

Tavola 3 Sezioni geologiche Aggiornamento 2016

Tavola 4 Emergenze idriche naturali e da reticolo fognario Giugno 2010

ALLEGATI

Allegato 1 indagini geognostiche eseguite nella presente indagine Giugno 2010

Allegato 2 indagine geofisica Giugno 2010

Allegato 3 indagini geognostiche e sismiche a disposizione Aggiornamento 2016

Allegato 4 dati inclinometrici Aggiornamento 2016

Allegato 5 analisi e prove geotecniche di laboratorio Giugno 2010

Allegato 6 indagini geognostiche 2013 Via Dei Cappuccini Aggiornamento 2016

INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE PER L'ANALISI DELL'ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL VERSANTE SUD DI VOLTERRA

AGGIORNAMENTO NOVEMBRE 2016

PREMESSA

La presente relazione fa riferimento alle indagini ed agli studi eseguiti lungo il versante sud della pendice collinare su cui si estende l'abitato di Volterra ed aggiorna quella presentata nel giugno 2010.
I limiti fisiografici della zona studiata corrispondono verso nord allo spartiacque Fiume Cecina-Fiume Arno (che rappresenta anche il limite tra le due Autorità di Bacino Fiume Arno e Bacino Toscana Costa), verso ovest alla strada Regionale 16 del Monte Volterrano, verso est al Botro del Pagliaio, e verso sud alla isoipsa dei 200 m circa s.l.m, al di sotto della quale gli spessori della coltre detritica appaiono contenuti e non sono evidenti fenomeni gravitativi e/o erosivi.

Il tratto di versante studiato è stato intensamente antropizzato a partire dagli anni ’70 quando cominciò la costruzione, a ridosso del nucleo storico che si erge sulla sommità, di interi quartieri quali “Le Colombaie” “Fontecorrenti-i Cappuccini” e “San Lazzaro”, oltre ad alcuni fabbricati artigianali principalmente utilizzati per la lavorazione dell'alabastro.
Nel tempo si sono manifestati processi di lesionamento a carico di numerosi edifici ubicati in modo diffuso sul versante ed in taluni casi l’entità delle lesioni alle strutture è stata tale da rendere necessaria l'evacuazione degli stabili (ad esempio Case popolari di Via di Fontanella e fabbricato APES di Via Sacco e Vanzetti). Tali processi, riconducibili a fenomeni gravitativi e/o di assestamento del sottosuolo, non hanno risparmiato le infrastrutture stradali ed i sottoservizi.
Molto spesso gli interventi di sottofondazione, realizzati per mettere in sicurezza le strutture lesionate, si sono dimostrati solo parzialmente efficaci ed in taluni casi totalmente inefficaci, sia che fossero costituiti da rinforzi superficiali o da sottofondazioni profonde del tipo a pali. Il fallimento di alcuni interventi di consolidamento è in parte dovuto alla

insufficiente conoscenza del contesto stratigrafico e litotecnico locale e più in generale ad una non sufficiente conoscenza del contesto geomorfologico ed idrogeologico dell'intero versante.

La stesura del Piano Strutturale e successivamente del Regolamento Urbanistico è stata l'occasione per meditare sulla necessità di effettuare uno studio approfondito sulle problematiche che affliggono il versante Sud di Volterra, che consentisse la ricostruzione di un dettagliato quadro stratigrafico del sottosuolo da cui trarre indicazioni per un più consapevole utilizzo del suolo.

Lo studio del 2010 si è articolato attraverso una consistente campagna di indagini in sito ed analisi di laboratorio, che ha visto l'esecuzione di 12 sondaggi a carotaggio continuo e di 5 prove penetrometriche statiche. Durante i sondaggi sono stati prelevati 28 campioni indisturbati ed eseguite numerose prove in foro del tipo S.P.T.
In corrispondenza di 7 dei fori di sondaggio sono stati installati altrettanti tubi inclinometrici mentre in altri 4 fori sono stati installati tubi piezometrici.
Le indagini hanno affrontato anche gli aspetti sismici mediante l'esecuzione di 20 profili, con acquisizione delle onde P ed Sh, di lunghezza pari a 120 m, dei quali 10 a 24 canali e 10 a 48 canali.
Parallelamente è stata esaminata la distribuzione del sistema fognario gestito da ASAV-ASA e l'ubicazione delle sorgenti nella convinzione che in più casi i dissesti fossero riconducibili non solo al contesto idrogeologico naturale ma anche alle interferenze su di esso della circolazione delle acque disperse dal sistema fognario.

Successivamente, utilizzando il ribasso d'asta effettuato dalle ditte vincitrici dell'appalto per l'esecuzione delle indagini geognostiche, è stato condotto un approfondimento di studio delle tematiche di fragilità geomorfologica che affliggono il versante ad est dell'incrocio tra la via Landini, la via Mazzini e la via dei Cappuccini, i cui risultati sono andati ad integrare quelli acquisiti con lo studio del 2010.
In questa zona, infatti, la sede stradale della via dei Cappuccini manifesta continue lesioni lungo il lato valle, immediatamente al di sopra di una gabbionata in pietrame posta in opera dalla Provincia diversi anni fa.

Le nuove indagini sono state svolte tra settembre ed ottobre 2013, ed i dati derivati (prove penetrometriche, sondaggio a carotaggio continuo, analisi di laboratorio ed indagini sismiche) sono stati consegnati in bozza all'Amministrazione comunale nell'Aprile del 2014.
Il crollo delle mura storiche avvenuto il 31 gennaio 2014 a carico della cinta medievale a Sud-Ovest del centro (lungomura dei Pratini), ed il 3 marzo 2014 a carico delle mura prospiciente piazza Martiri della Libertà ha introdotto nuovi elementi di valutazione per cui è stato deciso di procrastinare la conclusione del lavoro per aver modo di esaminare anche i risultati degli studi nel frattempo avviati dal Prof. Nicola Casagli dell'Università di Firenze e che riguardavano parti del territorio studiate dai sottoscritti.

E' stata quindi avviata una fase di collaborazione con il Prof. Casagli che ha visto lo scambio dei dati elaborati da entrambe le parti e la conduzione di alcuni sopralluoghi in campagna per esaminare le situazioni considerate maggiormente critiche.
Le nuove analisi eseguite dall'Università, hanno di fatto confermato gli esiti degli studi da noi già eseguiti, apportando un ulteriore bagaglio di conoscenze attraverso l'analisi dei dati satellitari.

Giungendo ora alla conclusione del lavoro avviato nel 2010 ed integrato a partire dal 2013, abbiamo colto l'occasione per aggiornare il DataBase delle prove a disposizione con quelle nel frattempo eseguite. Le indagini in sito hanno infatti visto un netto incremento a partire dall'entrata in vigore del DPGR 36/R, avvenuta nel 2009.
Difatti sono stati acquisiti circa 20 profili tipo MASW, 2 Down Hole, numerosi sondaggi in sismica passiva (tromometrie) e diversi sondaggi a carotaggio continuo, eseguiti peraltro nella zona di contatto tra le sabbie e calcari superiori e le sottostanti argille plioceniche.

Per tener conto dei suddetti aggiornamenti, sono state quindi rielaborate tre delle quattro tavole consegnate nel 2010:

- Tavola 1 Carta geologica e dei dati di base
- Tavola 2 Carta dei principali elementi geomorfologici
- Tavola 3 Sezioni geologiche

ora identificate con la sigla “aggiornamento 2016”.

Non è stata invece modificata la

- Tavola 4 Emergenze idriche naturali e da reticolo fognario

per la quale resta valida quella consegnata nel giugno 2010.

Relativamente agli elaborati, alcuni sono stati aggiornati per tener conto delle nuove indagini, sia eseguite a supporto del presente studio, che raccolte nell'archivio comunale. In particolare sono stati aggiornati:

- Allegato 3 indagini geognostiche e sismiche a disposizione
- Allegato 4 dati inclinometrici

ed è stato redatto un nuovo allegato con incluse le indagini eseguite lungo la Via dei cappuccini

- Allegato 6 indagini geognostiche 2013 Via Dei Cappuccini

i suddetti allegati sono identificati con la sigla “aggiornamento 2016”.

Non sono stati modificati gli allegati:

- Allegato 1 indagini geognostiche eseguite nella presente indagine (giugno 2010)
- Allegato 2 indagine geofisica (giugno 2010)
- Allegato 5 analisi e prove geotecniche di laboratorio (giugno 2010)

per i quali sono validi quelli consegnati nel 2010.

1 -INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

L'assetto geologico dell'area è conosciuto ormai da tempo e, partendo dal tetto, è rappresentato da una successione costituita da calcari (noti in letteratura con il nome di Calcari di Volterra) sui quali si sviluppa la parte più antica dell'edificato.
Al di sotto di questi si sviluppa una sequenza di sabbie da addensate a cementate che affiorano fino alle quote inferiori di 440-460 m.sl.m. Tali sabbie poggiano su un potente spessore di argille ed argille sabbiose di età pliocenica, conosciute con il termine di "Mattaione".
Sparse all'interno di tali argille si ritrovano alcuni livelli e banchi di sabbie, il più consistente dei quali (cartografato anche nelle carta geologica) sembra avere una discreta continuità laterale dalla località il Coloreto (subito a nord del Centro Studi Sant'Anna) dove è stato intercettato nel sondaggio S9_08 alla quota massima di 345 m.sl.m. fino al Podere i Querci, ubicato più a Nord, al termine della Strada vicinale di Fraggina, dove è stato osservato a quote simili, all'interno di uno scavo eseguito per la realizzazione di un interrato.
Sebbene l'assetto geologico sia relativamente semplice, gli aspetti geomorfologici dell'area appaiono molto complessi e di difficile interpretazione.
Non a caso, le varie cartografie a disposizione (Carta Gemorfologica della provincia di Pisa redatta a supporto del P.T.C., carta geologica C.A.R.G., Carta geomorfologica del Piano Strutturale Comunale, Carta Geomorfologica redatta dal Dott. Mazzantini nel 1990, Carta Geomorfologica redatta dall'ASAV) non concordano univocamente sui dissesti presenti, fatta eccezione per quelli più evidenti quali i calanchi.

In effetti nel corso del presente lavoro, e nonostante la gran mole di dati geotecnici e sismici a disposizione, abbiamo avuto modo di comprendere la reale difficoltà di perimetrare e definire lo stato di attività dei fenomeni gravitativi in mancanza di cigli netti di distacco e/o superfici di scivolamento, ed al contrario in presenza di diffusi interventi antropici che hanno obliterato le originarie morfologie.

La gran parte dei fenomeni geomorfologici che si osservano lungo il versante sono dovuti alla presenza di estese zone nelle quali il substrato consistente plio-pleistocenico, sia esso

costituito dalle argille o dalle sabbie, è sormontato e mascherato da una coltre detritica che ricopre diffusamente le pendici collinari.
La composizione di tale coltre è prevalentemente sabbioso-limosa, derivando in gran parte dal disfacimento delle sabbie sommitali; la granulometria del deposito è comunque eterogenea potendosi ritrovare anche blocchi e grossi frammenti di “panchino” inglobati nella matrice sottile, che a sua volta può essere costituita da sabbie limose (assumendo in questo caso la tipica colorazione giallastra) o da limi argillosi (assumendo una colorazione grigia).
La coltre detritica (o deposito colluviale) poggia sul substrato plio-pleistocenico colmando depressioni ed antiche incisioni realizzatesi durante l'ultimo episodio glaciale (Wurm con termine a circa 10.000 anni fa). Per questo motivo il suo spessore è estremamente variabile anche su brevi distanze, al pari del suo grado di addensamento che può variare da sciolto a poco addensato fino a mediamente addensato.

Generalmente, all'interno delle valli dei principali impluvi, la coltre detritica si assottiglia fino a sparire: ne sono un esempio le valli del Botro del Pagliaio, del Botro Rioddi e del Botro del Marmaio, dove la forte erosione non solo non ha consentito la deposizione delle coltri detritiche, ma ha inciso anche le argille plioceniche fino a creare nel tempo morfologie calanchive o pseudotali.
Fanno eccezione il Botro dello Sgricciolo ed il Botro del Lenzo, ubicati nel settore più ad Ovest dell'area in studio, dove solo in piccoli settori dell'alveo si riesce ad osservare il substrato pliocenico, altrimenti sempre mascherato da una spessa coltre detritica.

La presenza della coltre detritica è causa della gran parte dei dissesti osservabili in campagna, sia perché è soggetta ad un continuo lento scivolamento verso valle, e sia perché presenta caratteristiche geotecniche mediocri, molto inferiori rispetto al substrato consistente.
E' chiaro quindi che per potere intervenire correttamente su una data area è molto importante conoscere gli spessori della coltre, per cui già nell'indagine del 2010 erano state definite le isopache del detrito per l'intero versante sud.

Le informazioni derivate dalle nuove indagini acquisite, quali ad esempio quelle ottenute

dalle indagini sismiche eseguite negli ultimi anni, ci hanno permesso di integrare i dati già elaborati nel precedente studio, pervenendo ad una più precisa identificazione degli spessori della coltre detritica rispetto a quanto già definito nel 2010.
Nella Tavola 2 allegata, proponiamo quindi le nuove isopache del detrito, mentre come elemento di novità, nella Tavola 1 il detrito è stato suddiviso in tre classi in base allo spessore (minore di 6 metri, tra 6 e 12 metri e maggiore di 12 metri).

In alcuni casi, gli scivolamenti coinvolgono oltre alla coltre detritica, anche la prima porzione del substrato, particolarmente per quanto riguarda le argille plioceniche.

Relativamente alle velocità di movimento dei dissesti, i dati derivati dagli inclinometri posti in opera, concordano con i dati satellitari elaborati dell'Università di Firenze, nel definire velocità relativamente lente.
In particolare l'Università di Firenze ha definito alcune aree di attenzione con velocità comprese tra 2 e 5 mm/anno (aree di tipo 1) e velocità superiori a 5 mm/anno (aree di tipo 2).

Gli aspetti geomorfologici saranno trattati nel dettaglio nei paragrafi successivi, distintamente per i tre settori in cui è stato suddiviso il Versante Sud, per avere diversi connotati morfologici e stratigrafici:

1) Le Colombaie-Il Cipresso – zona compresa tra il crinale subito a nord del Botro del Lenzo (che rappresenta anche il limite amministrativo del BacinoToscana Costa) ed il Botro dello Sgricciolo
2) Fontecorrenti-Cappuccini-Stadio – zona compresa tra il Botro dello Sgricciolo ed il crinale subito ad Ovest del Botro del Pagliaio
3) San Lazzaro – zona compresa tra i crinali dei versanti alla cui base scorre il Botro del Pagliaio.

2 - ZONA LE COLOMBAIE - IL CIPRESSO

Rappresenta la porzione più ad Ovest dell'area studiata. A supporto dell'indagine del 2010, in quest'area sono stati eseguiti 5 sondaggi (S8, S9, S10, S11, S12) con prelievo di 11 campioni indisturbati e posizionamento di 2 tubi inclinometrici (S8 e S11) e di tre piezometri (S9, S10 ed S12). L'indagine sismica ha visto l'esecuzione di 4 profili sismici (L15, L18, L19 ed L20).
Relativamente ai dati a disposizione, oltre alle numerose prove penetrometriche sia statiche che dinamiche, si segnalano i sondaggi eseguiti in corrispondenza del complesso Sant'Anna subito a valle della località il Cipresso, i sondaggi eseguiti per l'indagine di fattibilità della caserma dei Carabinieri in località Casa Piandormanno ed il sondaggio con installazione di tubo inclinometrico in corrispondenza del fabbricato APES di Via Sacco e Vanzetti (227).

Dal punto di vista geomorfologico, questa zona si distingue dalle altre due per l'assenza quasi totale di forme calanchive e per i rilevanti spessori della coltre detritica che sono qui più consistenti che altrove.
Il substrato consistente affiora solo sporadicamente, in corrispondenza dell'alveo del Botro dello Sgricciolo, di una ampia scarpata a monte dei fabbricati de “Il Cipresso” (argille grigie) ed a monte delle case popolari di Via Sacco e Vanzetti (sabbie cementate).
In questa zona intensi fenomeni di erosione rapida di versante sono invece presenti ad ovest di Podere Montarnese ed a Nord del Botro del Lenzo di casa Villa Grande in corrispondenza di netto cambio di direzione del fosso verso Est.

A partire dal centro storico di Volterra e proseguendo verso valle in direzione del centro studi Sant'Anna, la morfologia dei luoghi è caratterizzata da una zona più elevata, “quartiere le Colombaie-supermercato Coop” caratterizzata da un ampio pianoro subpianeggiante, delimitato a monte ed a valle da allineamenti di scarpate più o meno ripide. Tale ripiano, che prosegue verso Sud fino alla località Piandormanno, è stato già interpretato da alcuni geologi (Raggi 1981), come il lembo di un terrazzo alluvionale, modellato da un antica idrografia che era impostata a quote più elevate delle attuali. Tale interpretazione ha trovato conferma nella recente indagine eseguita in corrispondenza di

un fabbricato di proprietà dell'APES, come evidenziato nella sezione A-A' in tavola 3 fuori testo.
In questo settore, gli spessori della coltre detritica (sia essa intesa come depositio colluviale o come deposito alluvionale terrazzato) raggiungono spessori rilevanti: sono stati intercettati circa 30 metri nel sondaggio eseguito subito a valle del fabbricato di proprietà APES (227) e di circa 20 metri nei sondaggi 51, 52, e 128 eseguiti per l'indagine preliminare di fattibilità della nuova caserma dei carabinieri.
Sottolineiamo che l'indagine per l'analisi dei lesionamenti del fabbricato di proprietà APES (eseguita nel 2010) ha rilevato la presenza "*di una parete subverticale (scarpata) in argille, mascherata dai depositi colluviali derivanti dal disfacimento delle stesse argille e delle sovrastanti sabbie....*""*l'edificio in studio si colloca in corrispondenza di una scarpata morfologica di cui emerge in superficie solo una minima porzione. Detta scarpata, alta complessivamente oltre 30 m, è per la maggior parte obliterata da sedimenti che successivamente alla sua formazione, si sono deposti a ridosso...."*
Lo schema stratigrafico ricostruito è quello riportato nella sezione A-A'.

Dalla ricostruzione effettuata, la scarpata sommersa si estende tra le quote di 405 e 435 m.sl.m. ed emerge più ad Est, a partire dalla zona di valle delle case popolari di Via Fontanella, proseguendo verso il campo sportivo lambendo la Via dei Cappuccini. Ancora più ad Est la si ritrova, a quote leggermente più elevate, a monte del campo sportivo ed immediatamente a valle del deposito Autobus CPT.

I potenti spessori detritici intercettati quindi a valle del fabbricato Apes di Via Sacco e Vanzetti, si sarebbero deposti successivamente alla creazione della scarpata, sommergendola e trovando in quest'area una sorta di zona d'ombra per le successive fasi di erosione.
La superficie di contatto tra il substrato consistente e lo spessore di detriti è ben visibile in campagna e si manifesta con una lesione che attraversa il fabbricato in direzione NW-SE, e che prosegue verso Nord intercettando un altro vecchio fabbricato anch'esso interessato da diffuse lesioni ed un vecchio muro di confine che presenta diverse fratture beanti.

Più a valle, al di sotto dell'ampio pianoro delle "Colombaie", il versante degrada con

pendenze medie di circa 15° interrotto a più riprese da piccole scarpate sia antropiche che morfologiche fino ad arrivare ad una scarpata principale, che si sviluppa a monte della località il Cipresso a quote comprese tra 370 e 390 m.sl.m.
In corrispondenza di questa scarpata affiorano in diversi punti le argille grigie plioceniche.

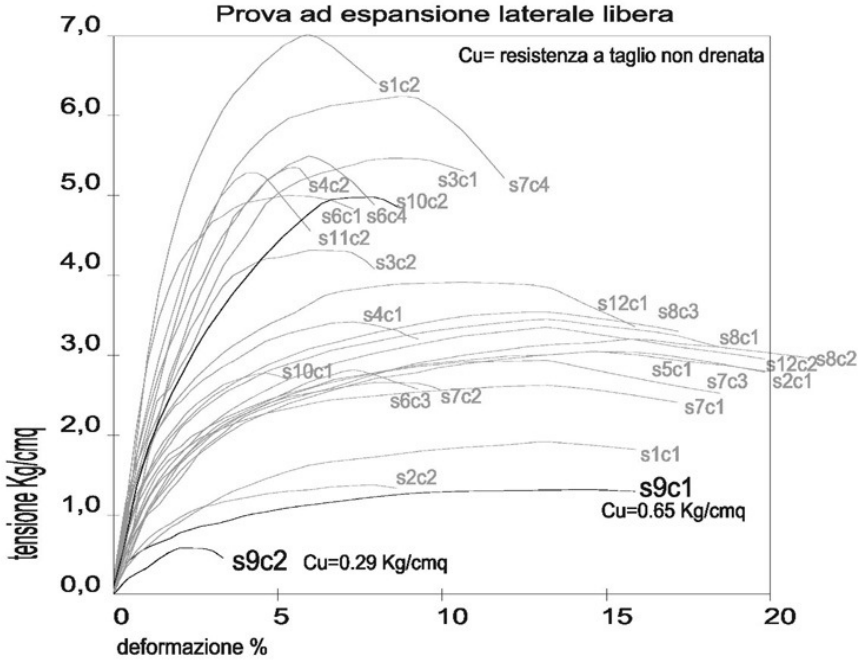
Anche questa scarpata si ritrova più ad Est a valle della località Fontecorrenti dove materializza il ciglio del calanco che si sviluppa nella valle del Botro di Botra.
Ancora più ad Est, in località San Lazzaro questa scarpata tende ad unirsi alla sovrastante nell'impluvio sottostante il deposito Autobus CPT, mentre ne rimane separata in corrispondenza del Botro del Pagliaio dalla zona a minor pendenza in corrispondenza della quale si è sviluppato il quartiere San Lazzaro.

Nella zona de “il Cipresso” a valle della scarpata sopra descritta, all'altezza del centro studi Sant'Anna, la morfologia diventa mediamente meno acclive presentando sia piccoli pianori che scarpate in una conformazione mammellonare tipica della porzione basale scompaginata di depositi colluviali. Verso Nord, a valle della località il Crocifisso, il versante si mantiene invece acclive delineando una sorta di morfologia calanchiva, parzialmente rinverdita, lungo il versante destro del Botro del Lenzo (calanchi tipo B). In questa zona la direzione di immersione della stratificazione forma un angolo di circa 90° con la morfologia del versante e non sono presenti coperture detritiche di versante.

Proprio in questa zona si sviluppano i fenomeni gravitativi più evidenti: a partire dall'impluvio del Botro del Lenzo e di un suo affluente di destra sono state cartografate alcune frane di scivolamento/scorrimento rotazionale con chiari fenomeni di retrogressione del ciglio di frana ed evidenze di continui strappi della coltre superficiale. A valle della Strada provinciale del Monte Volterrano, il materiale spostato assume un aspetto scompaginato tipico del colamento. Esternamente alla zona maggiormente in dissesto, in località il Coloreto, abbiamo eseguito il sondaggio S9, ed il profilo sismico L18. In corrispondenza del sondaggio sono state eseguite tre prove S.P.T. in foro che hanno fornito i seguenti valori:

S.P.T.	SONDAGGIO	PROFONDITA'
15/15/16	S9	3.0-3.45
5/7/9	S9	7,0-7,45
25/rif	S9	17,6-20,05

Durante il sondaggio sono stati prelevati due campioni indisturbati alle profondità di 5,5-6,0 e 12,5-13,0 m dal p.d.c. Le analisi di laboratorio ed in particolare la prova di espasione laterale libera indicano per questi campioni valori molto bassi, dovuti comunque principalmente all'elevata frazione sabbiosa che è del 41% nel campione S9C1 e del 60,4% nel campione S9C2:

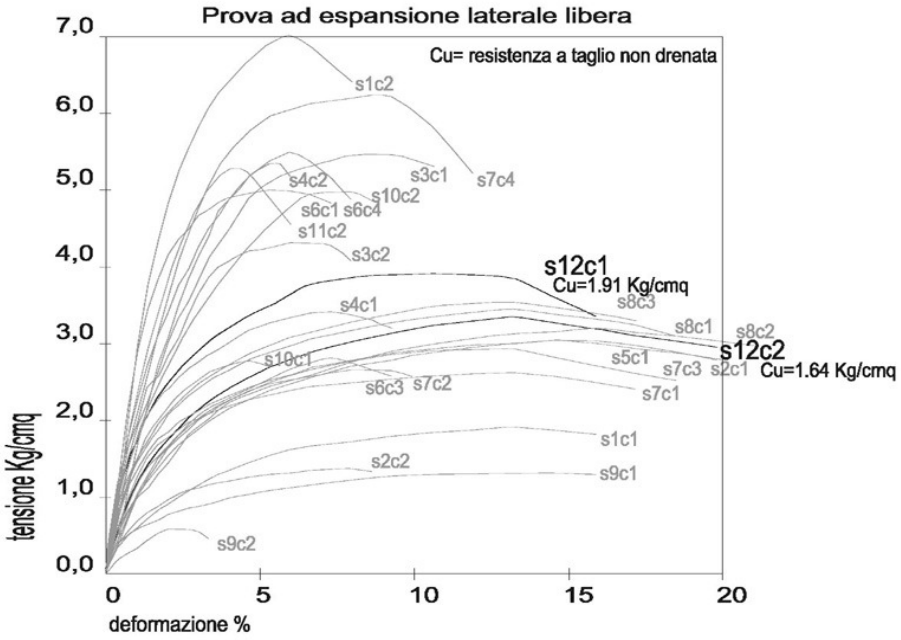


La caratteristica di questo sondaggio è stata quella di aver intercettato un potente spessore di sabbie a partire da 12,5 m dal p.d.c. fino a fondo foro; le argille sovrastanti presentano comunque un notevole tenore in sabbie che si alternano alle argille in livelli centimetrici e raramente decimetrici. In una prima ipotesi, lo spessore di sabbie intercettato era stato attribuito ai depositi colluviali, tuttavia durante successivi sopralluoghi, abbiamo potuto osservare spessori di sabbie affioranti alle stesse quote poco

più a nord all'interno di uno scavo eseguito per la realizzazione di un interrato al Podere i Querci ubicato al termine della Strada vicinale di Fraggina. Inoltre tali bancate di sabbie sono segnalate anche nella cartografia geologica del CARG. In effetti anche il profilo sismico L18 in onde S rileva la presenza di terreni con velocità minori di 200 m/s per spessori di circa 7-10 m. tali spessori sembrano invece aumentare nella zona di valle dove oltrepassano i 15 m coerentemente perlatro con quanto osservato in corrispondenza di alcuni sondaggi eseguiti in corrispondenza del Centro Studi Sant'Anna. A monte del centro studi, in un pianoro compreso tra la Via del Monte Volterrano ed il quartiere de "Il Cipresso" abbiamo eseguito un ulteriore sondaggio, denominato S12, ed il profilo sismico L15. Nel foro del sondaggio abbiamo eseguito due prove S.P.T. che hanno fornito i seguenti valori

S.P.T.	SONDAGGIO	PROFONDITA'
13/15/17	S12	4,5-4,95
13/15/19	S12	10,0-10,45

In corrispondenza del sondaggio S12 sono stati prelevati due campioni indisturbati alle profondità di 4,0-4,5 e 9,5-10,0 m dal p.d.c. Le analisi di laboratorio ed in particolare la prova di espasione laterale libera indicano per questi campioni valori medi:



Il profilo sismico L15 in onde S evidenzia la presenza di terreni con velocità minori di 200 m/s secondo spessori molto variabili e contenuti tra 5 e 15 m.

Anche nelle prove penetrometriche a disposizione ed eseguite in corrispondenza dei fabbricati de “Il Cipresso” (prove 70/71/190 e 204) si evidenzia un primo spessore di terreni dalle basse caratteristiche geotecniche (7m nella 70, 3,5m nella 71, tutti gli 8 m della 190 e 8 m nella 204) sottostanti ai quali si rileva un progressivo e lento aumento dei parametri.

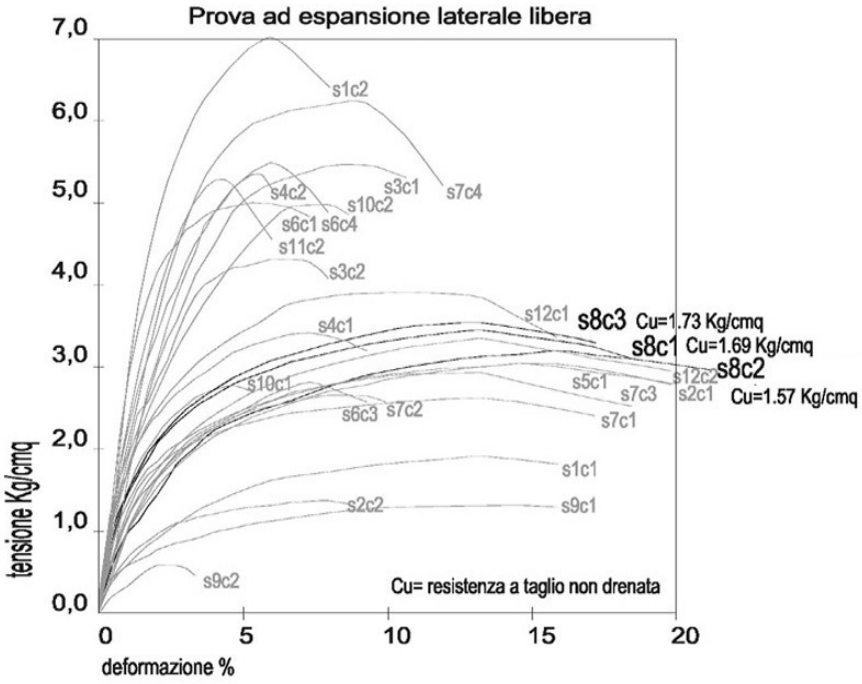
L'area del centro studi Sant'Anna è stata analizzata nel dettaglio all'interno degli studi eseguiti dall'Università di Firenze, attraverso l'analisi dei dati satellitari. E' emerso che I dati PS CSK (Persistent scatter COSMO-Sky-Med) nell'intervallo di tempo compreso tra il 24/02/2010 ed il 15/11/2013 mostrano movimenti con velocità medie annue significative, da un massimo di 15 mm/anno a un minimo di 2,2 mm/anno, con una media tra tutti i PS ricadenti nell'area in esame di 5,4 mm/anno. Peraltro tutti i dati satellitari disponibili mostrano velocità medie rilevanti ed un forte trend di spostamento già dal 1992 (per una analisi completa si rimanda alla relazione redatta dall'Università di Pisa). I pattern di spostamento sono progressivi e lineari, senza accelerazioni.

Durante il sopralluogo eseguito insieme all'Università di Pisa si è rilevato come tutte le strutture non fondate su pali e tutte le sistemazioni esterne abbiano subito forti cedimenti nel corso degli anni. Le strutture principali, fondate su pali presentano invece solo fessure di modesta entità.

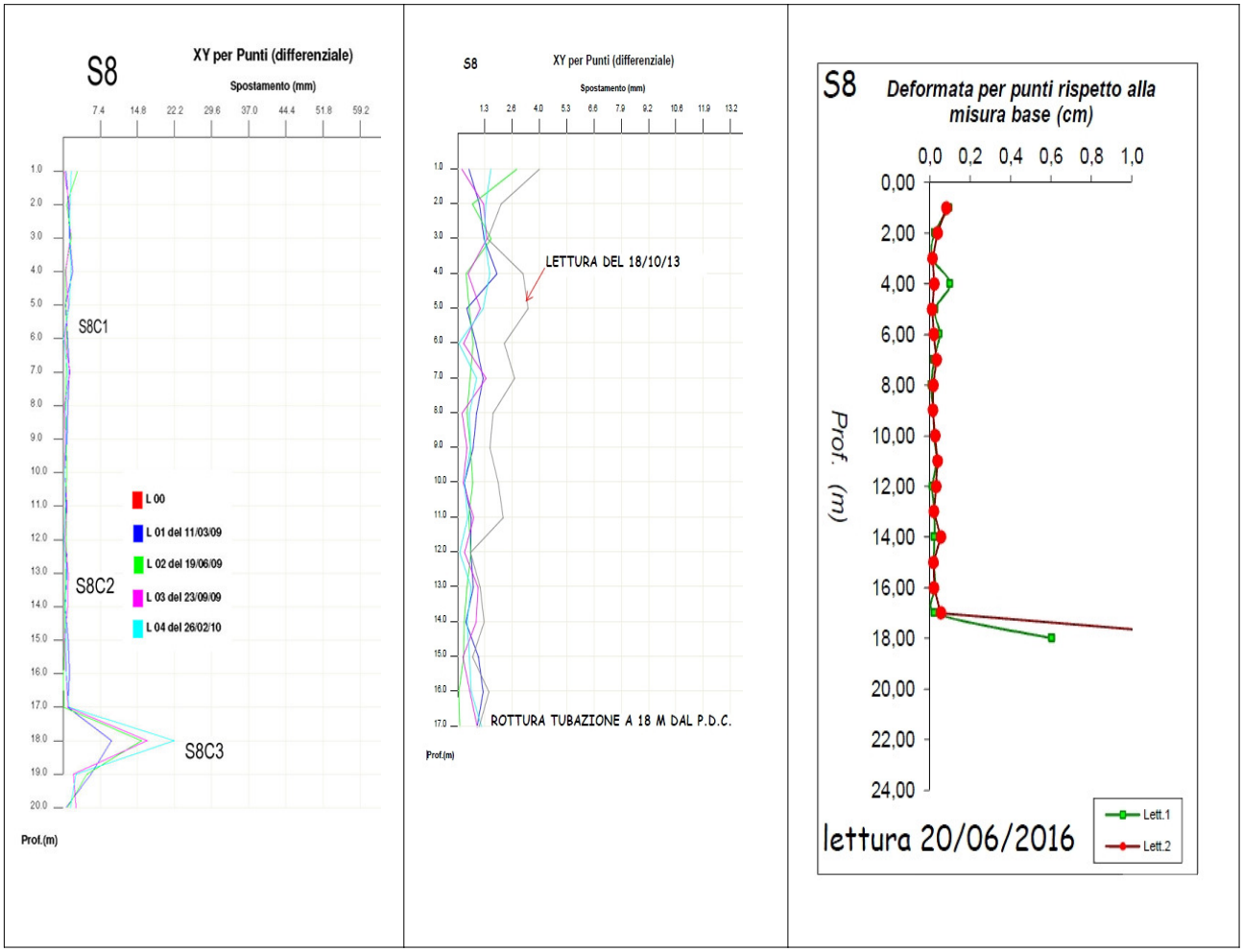
Risalendo lungo la Via del Monte Volterrano, dopo aver attraversato il Botro dello Sgricciolo alla quota di 408 m.s.l.m. si giunge in corrispondenza di alcuni capannoni artigianali per la vendita dell'alabastro dove è stata cartografata un'altra frana di rilevanti dimensioni. In quest'area è stato eseguito il sondaggio S8 durante il quale sono stati prelevati 3 campioni indisturbati tra 5.5 e 6.0, tra 13.0 e 13.5 e tra 18.0 e 18.5 m dal p.d.c. e sono state eseguite 3 prove S.P.T.

S.P.T.	SONDAGGIO	PROFONDITA'
3/7/9	S8	6,0-6,45
4/7/9	S8	13,5-13,95
24/25/28	S8	20-20,45

I risultati delle analisi dei campioni indicano che i terreni prelevati corrispondono ad argille con medie caratteristiche geotecniche e pur essendo stati prelevati a differenti profondità, hanno fornito parametri del tutto simili.

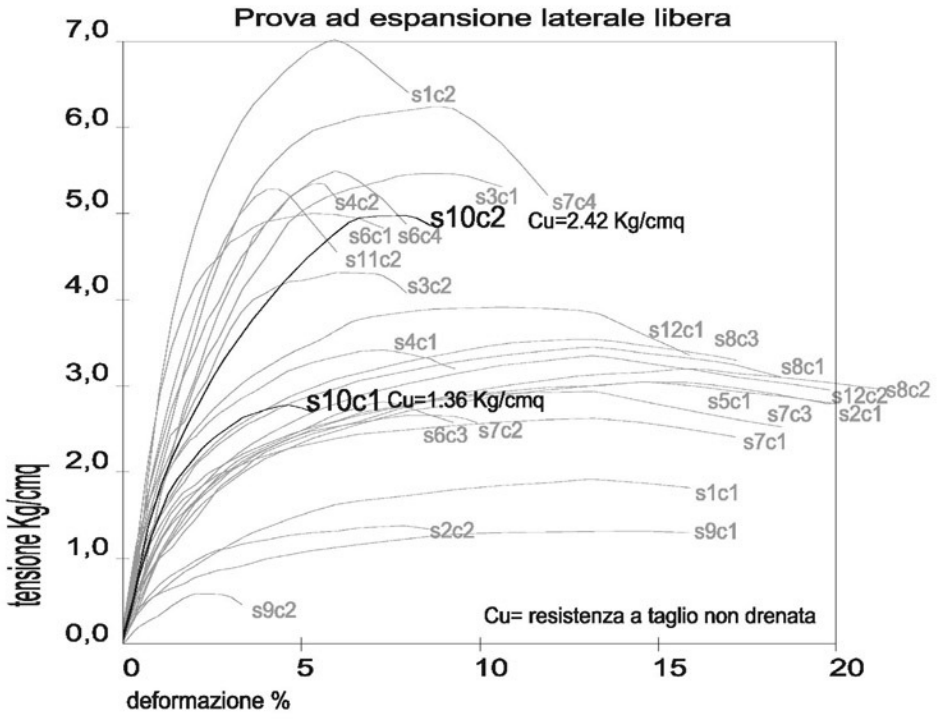


Inoltre il foro del sondaggio è stato attrezzato con inclinometro ed i dati derivati fino al 2010 indicano una netta superficie di scivolamento alla quota di 18 m dal p.d.c., che ha determinato la rottura del tubo inclinometrico a questa profondità, come riscontrato nella letura dell'ottobre 2013. Le successive misure evidenziano ancora spostamenti a fondo foro in corrispondenza del punto di rottura.



A monte di questa zona, alla quota di 444 m.sl.m. Abbiamo eseguito un ulteriore sondaggio (S10), durante il quale sono state eseguite 5 prove S.P.T. e prelevati due campioni indisturbati.

I campioni sono stati prelevati a profondità di 8,0-8,5 e 16,5-17,0 m dal p.d.c. I risultati delle analisi di laboratorio indicano una marcata differenza tra i due campioni:



Così come anche le prove S.P.T. indicano alcune differenze tra gli strati superficiali e quelli più profondi.

S.P.T.	SONDAGGIO	PROFONDITA'
22/48/rif	S10	3,0-3,45
14/18/25	S10	6,0-6,45
6/9/13	S10	8,5-8,95
21/33/47	S10	17,0-17,45
25/38/55	S10	20,0-20,45

Dall'analisi visiva delle carote estratte, si può definire un primo spessore di terreno da poco a mediamente consistente che si estende fino a 9,5 m dal p.d.c.. I risultati delle prime due prove S.P.T. che sembrerebbe riferirsi a terreni di ottima consistenza sono invece dovuti al notevole essiccamento del terreno superficiale (S.P.T. tra 3,0 e 3,45 m dal p.d.c.) e alla granulometria grossolana dei trovanti sparsi nella matrice (S.P.T. tra 6,0 e 6,45 m dal

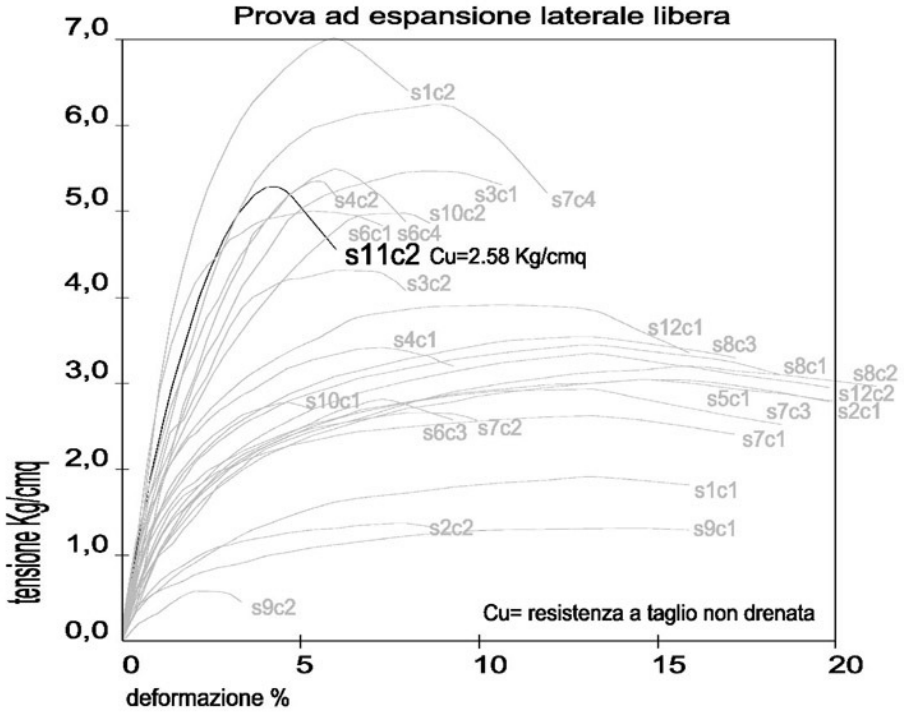
p.d.c.).
La zona dove è stato eseguito il sondaggio è comunque esterna alla sottostante frana, i cui limiti sono facilmente rilevabili anche sull'asfalto della viabilità che la attraversa in più punti.
Anche quest'area è stata analizzata nel dettaglio all'interno degli studi eseguiti dall'Università di Firenze, attraverso l'analisi dei dati satellitari.
In questo caso è emerso che I dati PS CSK (Persistent scatter COSMO-Sky-Med) nell'intervallo di tempo compreso tra il 24/02/2010 ed il 15/11/2013 evidenziano movimenti con velocità medie annue significative, da un massimo di 14 mm/anno a un minimo di 2,8 mm/anno, con una media tra tutti i PS ricadenti nell'area in esame di 5 mm/anno.
In particolare, sul fabbricato per la vendita dell'alabastro che mostra le velocità medie annue più alte dell'area, i dati PS e le relative serie di spostamento indicano un movimento significativo, confermato sia dai dati storici (più di 1 cm nel periodo 1992-2000, dai dati ERS), sia dai dati recenti (fino a 30 mm in 3 anni nel periodo 2010-2013, dai dati CSK).

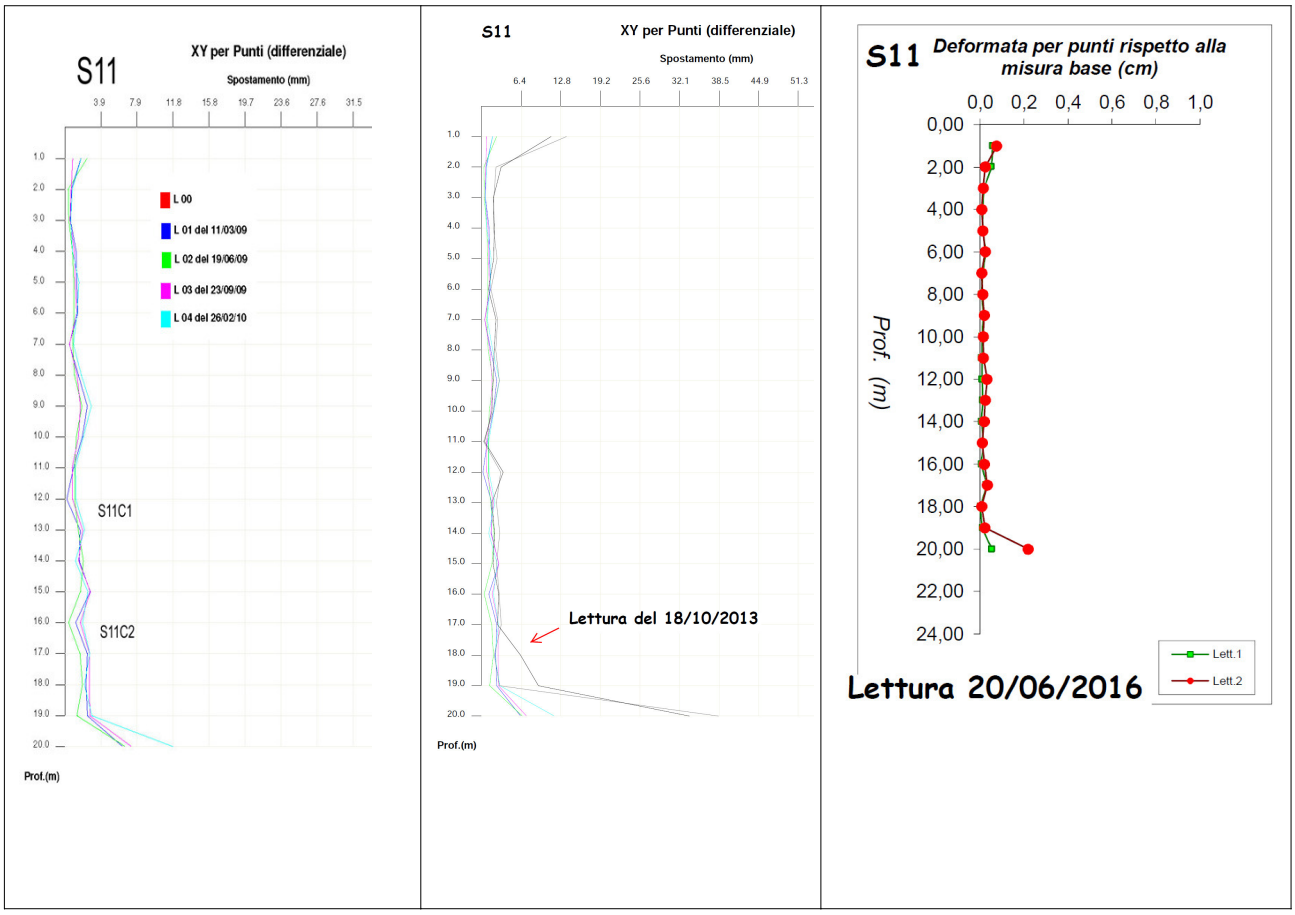
Sempre alle stesse quote, ma addentrandosi verso Nord nella zona immediatamente a Nord-Ovest di casa Piandormanno, i terreni appaiono fortemente scompaginati e in campagna si ritrovano massi e blocchi di sabbie cementate che galleggiano nel detrito colluviale. Nella zona di valle dei fenomeni, si ritrova un'ampia scarpata di forma concava la cui interpretazione risulta molto difficile. Questa scarpata prosegue idealmente il ciglio del calanco del Botro del Lenzo, ma presenta anche alcune contropendenze alla base che fanno ipotizzare movimento di tipo scorrimento rotazionale il cui accumulo al piede si è adagiato sulle argille affioranti nella sottostante scarpata.

Subito a monte del ciglio superiore del corpo di frana è stato eseguito il Sondaggio S11 la cui stratigrafia permette di definire uno spessore di circa 12 m di depositi colluviali sottostanti ai quali si estendono argille grigie consistenti. Le prove S.P.T. hanno fornito i seguenti valori:

S.P.T.	SONDAGGIO	PROFONDITA'
5/6/8	S11	3.0-3.45
3/6/7	S11	5.0-5.45
10/10/07	S11	9.0-9.45
11/15/21	S11	12.5-12.95
21/25/33	S11	16.5-16.95
25/38/55	S11	20.0-20.45

Il campione prelevato alla profondità tra 12.0 e 12.5 m dal p.d.c. è risultato troppo poco consistente per poter eseguire la prova di laboratorio ad espansione laterale libera (ELL), mentre il campione prelevato tra 16.0 e 16.5 ha fornito valori relativi corrispondenti ad argille di ottima consistenza.





Nel ciclo di controlli effettuati sull'inclinometro posizionato nel foro del sondaggio, non sembrano presenti superfici di scivolamento, anche se nelle prime letture era evidente uno spostamento nel tempo di qualche millimetro a fondo foro. Le ultime letture non evidenziano alcun movimento se non una apparente inversione di azimut nella penultima lettura a -8,00 m dal p.d.c. (vedasi allegato misure inclinometriche) non confermata però né nella ultima lettura e né da spostamenti differenziali.

Il fabbricato subito a valle del sondaggio che presentava diffuse lesioni, è stato sottofondato alcuni anni fa con pali di lunghezza pari a 12 m, ed al momento l'intervento sembra essere riuscito.

In definitiva, sembra che il corpo di frana cartografato a valle dei fabbricati non si estenda anche a monte di questi. Tuttavia, in campagna è evidente come siano presenti piccoli

scivolamenti della coltre superficiale diffusi in tutta l'area e più evidenti proseguendo verso Nord, verso la Via Della Penera.
Proseguendo verso la parte alta del versante si giunge all'ampio pianoro sul quale è stato edificato il quartiere de “Le Colombaie”. Poco sopra il pianoro, sono inoltre presenti il supermercato Coop e la Scuola Media. Il pianoro si sviluppa a quote comprese tra 438 e 445 m.sl.m. proprio al contatto tra le sabbie gialle compatte, visibili in affioramento al termine della Via Sacco e Vanzetti, sul retro dell'ultimo fabbricato, e le sottostanti argille plioceniche intercettate in tutti i sondaggi eseguiti nella zona.

Il pianoro è delimitato verso valle da un'ampia scarpata morfologica subverticale che realizza dislivelli medi di circa 6-8 metri. Verso monte è invece interrotto da alcune scarpate minori che preludono alla estesa scarpata che si estende al margine Sud del centro storico di Volterra e che rappresenta il fronte delle sabbie gialle.

La zona più a nord dell'area, che lambisce Via della Penera e che si ricollega verso valle a la zona del Crocifisso appare affetta da diversi scivolamenti superficiali, non organizzati in un unico movimento di massa, ma piuttosto costituiti piccoli scivolamenti della coltre superficiale, richiamata verso valle dalle pendenze mediamente superiori rispetto alle aree circostanti.
Gran parte dei fabbricati ubicati all'interno dell'ampio pianoro “Le Colombaie” presentano sistemi di lesioni e cedimenti differenziali più o meno intensi. Alcuni fabbricati sono stati sottofondati mediante fondazioni del tipo a palo. In alcuni casi questi interventi sono risultati risolutivi, mentre in altri, si è registrata la riattivazione dei fenomeni di lesionamento dopo qualche anno dagli interventi di sottofondazione.

Questo è il caso del fabbricato Apes alla fine di Via Sacco e Vanzetti che dopo esser stato sottofondato nel 1997 mediante pali di lunghezza di circa 11 m ha ripreso a cedere dopo un paio di anni, nella sua porzione di valle. Proprio l'indagine condotta dagli scriventi nel corso del 2009, durante la quale sono stati eseguiti tre sondaggi a carotaggio continuo ed è stato installato un inclinometro nel foro del sondaggio 227 fino alla profondità di 30 m dal p.d.c., ha permesso di definire l'andamento del substrato.
Come scritto a conclusione di quella indagine geologica:

"l'edificio in studio si colloca in corrispondenza di una scarpata morfologica di cui emerge in superficie solo una minima porzione. Detta scarpata, alta complessivamente oltre 30 m, è per la maggior parte obliterata da sedimenti che successivamente alla sua formazione, si sono deposti a ridosso;
ciò significa che l'edificio si dispone a cavallo di un contatto stratigrafico tra litotipi tra loro marcatamente diversi per granulometria e per proprietà geomeccaniche;
l'intervento di sottofondazione con micropali non ha sortito alcun esito in quanto la lunghezza dei micropali è esigua in rapporto allo spessore dei sedimenti soffici e tale che essi non raggiungono il substrato consistente ma rimangono "sospesi" nella coltre detritica;
ad oggi l'edificio scarica il suo peso su volumi di terreno diversamente costituiti in quanto: la porzione più a monte insiste, con fondazioni nastriformi, su una coltre detritica di esiguo spessore, cui sottostà il substrato consistente; la porzione mediana insiste direttamente sul substrato consistente in quanto raggiunto dai micropali di sottofondazione; la porzione più a valle, seppure sottofondata con micropali, insiste invece interamente sulla coltre detritica;
l'andamento delle lesioni rispecchia la diversa consistenza del volume di terreno interessato dai carichi della struttura;
non si può escludere al momento che la coltre detritica sia affetta non solo da fenomeni di consolidamento per effetto dei carichi dell'edificio ma anche da un lento fenomeno di scivolamento della porzione più superficiale della coltre definibile come "creeping". Ciò potrà essere definitivamente stabilito dopo le letture inclinometriche già programmate nell'arco dei prossimi mesi".

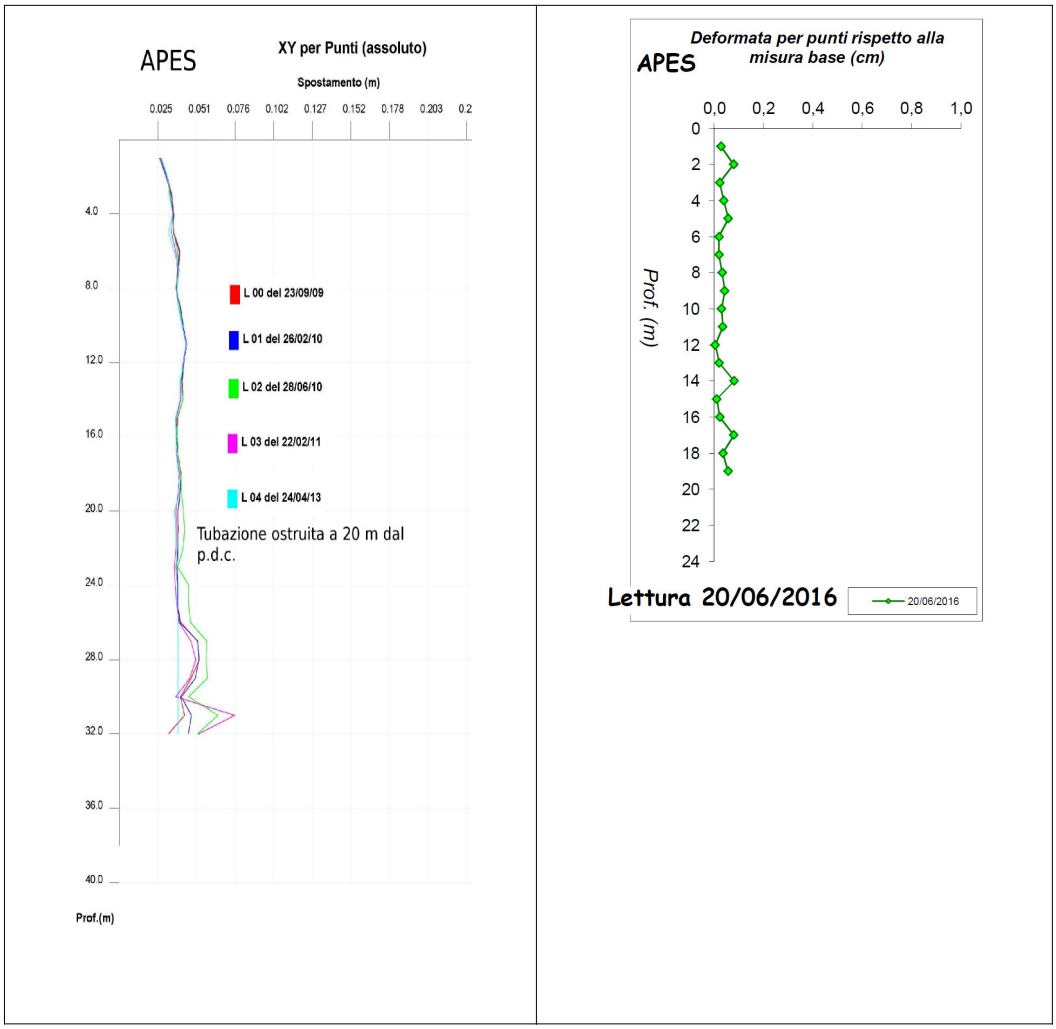
L'indagine concludeva inoltre proponendo l'abbattimento del fabbricato. Contrariamente a quanto suggerito è stato eseguito un secondo intervento di sottofondazione con micropali di lunghezza pari a 32 metri che però non ha bloccato il fenomeno di lesionamento tanto che di recente il fabbricato è stato dichiarato inagibile.

I dati derivati dell'inclinometro posto in opera il 23 settembre 2009 immediatamente a valle del fabbricato, e profondo 32 metri evidenziano alcuni movimenti a partire da 20 m dal

p.d.c. fino alla misura del 24/04/2013 quando il tubo inclinometrico è risultato ostruito a partire dalla quota di 20 m dal p.d.c.

Successivamente sono state effettuate le operazioni di pulizia del tubo inclinometrico, ed il 20 agosto 2014 è stata di nuovo effettuata una misura fino a fondo foro. Tuttavia, in una ulteriore misura del 6 ottobre 2015 il foro risultava di nuovo ostruito a 19 m dal p.d.c. Quest'ultima lettura è stata quindi considerata come lettura 0 per questo inclinometro, l'ultima lettura del 20 giugno del 2016 non evidenzia movimenti significativi.

Escludendo possibili rotture del tubo inclinometrico, dato che inseguito alle operazioni di pulizia la tubazione era di nuovo percorribile in tutta la sua lunghezza, è presumibile che in corrispondenza di qualche giunzione ci sia infiltrazione di detrito sottile all'interno della tubazione.



3 - ZONA FONTECORRENTI - CAPPUCCINI-STADIO.

Rappresenta la porzione centrale dell'area analizzata ed è compresa tra il Botro dello Sgricciolo ed il crinale che si sviluppa subito ad Ovest del Botro del Pagliaio, lungo il quale corre il vecchio tracciato della ferrovia Pisa-Volterra. In quest'area sono stati eseguiti 4 sondaggi (S1, S2, S3, S4,) con prelievo di 9 campioni indisturbati e posizionamento di 3 tubi inclinometrici (S1, S2 ed S4) e di 1 piezometro (S3). L'inclinometro posizionato nel sondaggo S4 è stato purtroppo danneggiato da ignoti e reso inutilizzabile. Nella zona a valle del campo sportivo sono state eseguite anche 3 prove penetrometriche statiche. L'indagine sismica ha visto l'esecuzione di 10 profili sismici.

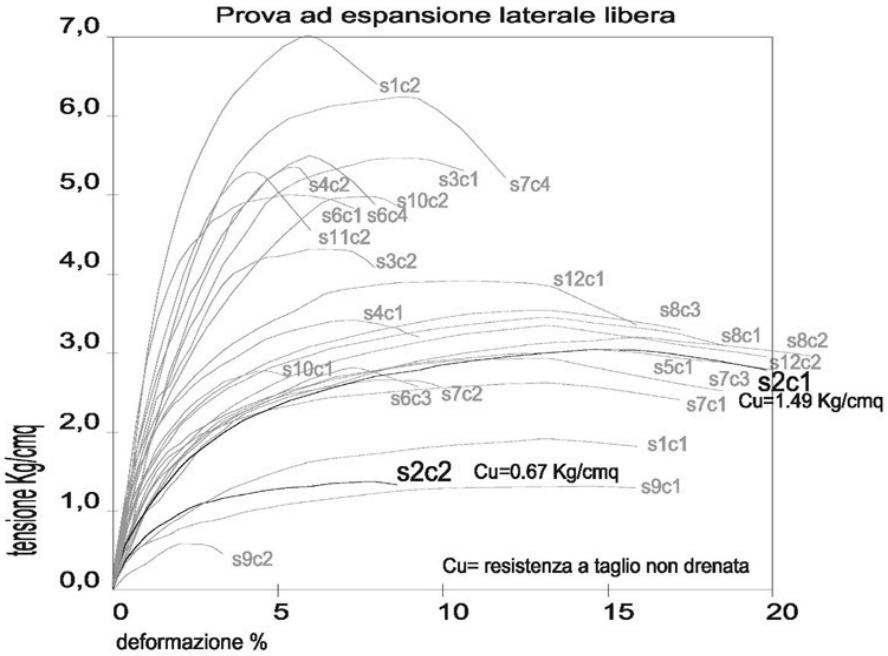
Relativamente ai dati a disposizione, oltre alle numerose prove penetrometriche sia statiche che dinamiche, si segnalano i sondaggi per la realizzazione del nuovo hotel Fontecorrenti nella zona subito a valle di Via del Pino ed i sondaggi eseguiti per conto dell'ASA eseguiti a valle del campo sportivo (entrambi inseriti già dentro il database dei dati estratti dal P.S. Comunale).
Dal punto di vista geomorfologico, questa zona è caratterizzata da un ampio calanco che si sviluppa nella valle del Botro di Botra, risalendone i fianchi fino alla quota di 370-380 m.sl.m. Quest'area è stata oggetto di un'importante opera di risistemazione idraulico-forestale che ha visto la realizzazione di una serie di briglie e di una capillare canalizzazione delle acque associata a risagomature del versante nei tratti più fragili. Come risultato, il calanco oggi appare in gran parte rinverdito e le forme di erosione superficiale sono limitate a pochissime zone distribuite all'interno della valle.
La scarpata che fa da corona al calanco raggiungendo la quota massima di 380 m.s.l.m. sembra proseguire quella che si sviluppa più a ovest in testata del fosso di Rioddi e a valle dell'omonima località alla quota di 320–325 m.s.l.m. e che a sua volta corrisponde in quota al ciglio del calanco che si estende più a Nord sui fianchi del Botro del Lenzo.
Superiormente alla testata del Calanco, si sviluppa un versante con minore acclività e pendenze mediamente comprese entro i 15°con diversi pianori a pendenza anche minori, di circa 5°, all'interno dei quali sono sorti diversi fabbricati ed alcune strutture per uso pubblico quali la piscina comunale, il campo sportivo, il convento dei cappuccini ed il parcheggio a valle di Via del Pino.

Proseguendo ancora verso l'alto questa debole morfologia viene interrotta da un'ulteriore scarpata che si estende tra le quote di 410 e 440 m.s.l.m. nella zona più ad ovest (a valle delle case popolari di Via di Fontanella) innalzandosi fino alle quote comprese tra 430 e 480 m.s.l.m. nella zona a monte del campo sportivo. Tale scarpata similmente a quella sottostante prosegue verso ovest, verso la zona della Colombaie dove termina bruscamente poco oltre il Botro dello Sgricciolo per immergersi al di sotto della coltre detritica. La scarpata prosegue poi nella zona delle Colombaie dove è stata intercettata, come abbiamo già scritto nel precedente paragrafo, al di sotto dell'ultimo fabbricato APES di Via Sacco e Vanzetti, ricoperta da detriti di scarico della falesia Volterranea e dei detriti colluviali.
Nella zona di Fontecorrenti, al di sopra di questa scarpata si sviluppa una piccola zona a minor pendenza, separata dal centro storico da una ulteriore scarpata che si sviluppa a monte del Viale Garibaldi, sul cui fronte affiorano le sabbie gialle calcarenitiche.

Nella zona di Fontecorrenti, a partire dagli anni '70 l'edificazione si è concentrata proprio nella zona a blande pendenze compresa tra il campo sportivo, il vecchio convento dei Cappuccini e la testata del sottostante calanco, delimitata verso valle dal Viale Rosso Fiorentino.
L'originaria morfologia dei luoghi, antecedente alla realizzazione del quartiere, è stata quasi del tutto mascherata. Tuttavia, analizzando le foto aeree del 1965 si può avere un idea di come doveva svilupparsi l'intero versante, che appariva perlopiù coltivato a frutteti ed oliveti con una orditura dei campi molto ben tenuta ed una regimazione idraulica costituita da canalette e capofossi che facevano capo poi al ramo destro del Botro di Botra.
Gli impluvi che oggi hanno inizio immediatamente a valle del Viale Rosso Fiorentino, antecedentemente all'edificazione, proseguivano il loro percorso verso monte andando a radicarsi immediatamente a valle dell'ampia scarpata che delimita verso Nord l'intera zona e che lambisce la Via Landini e la Via del Pino. L'andamento degli impluvi dedotto dalla foto aerea del 1965 è riportato in Tavola 2.
Scendendo ancora in quota, si giunge alla testata del calanco del Botro di Botra. Come già scritto, questo calanco è stato oggetto di una imponente opera di stabilizzazione, che sembra aver ottenuto i risultati attesi.

A monte del calanco, nella zona compresa tra il podere Fonte Correntino ad Est, il Podere del Casato ad Ovest e la Via Corot a Nord, si sviluppano più frane, secondo piani retrogressivi il principale dei quali è ben marcato in campagna da una piccola scarpata che si sviluppa tra il podere del Casato e la Via Corot. Proprio sulla sede di quest'ultima, è evidente una ulteriore superficie di scivolamento.
In quest'area è stato eseguito il sondaggio S2 durante il quale sono stati prelevati 2 campioni indisturbati tra 5.5 e 6.0 e tra 15.0 e 15.5 m dal p.d.c. e sono state eseguite 3 prove S.P.T.

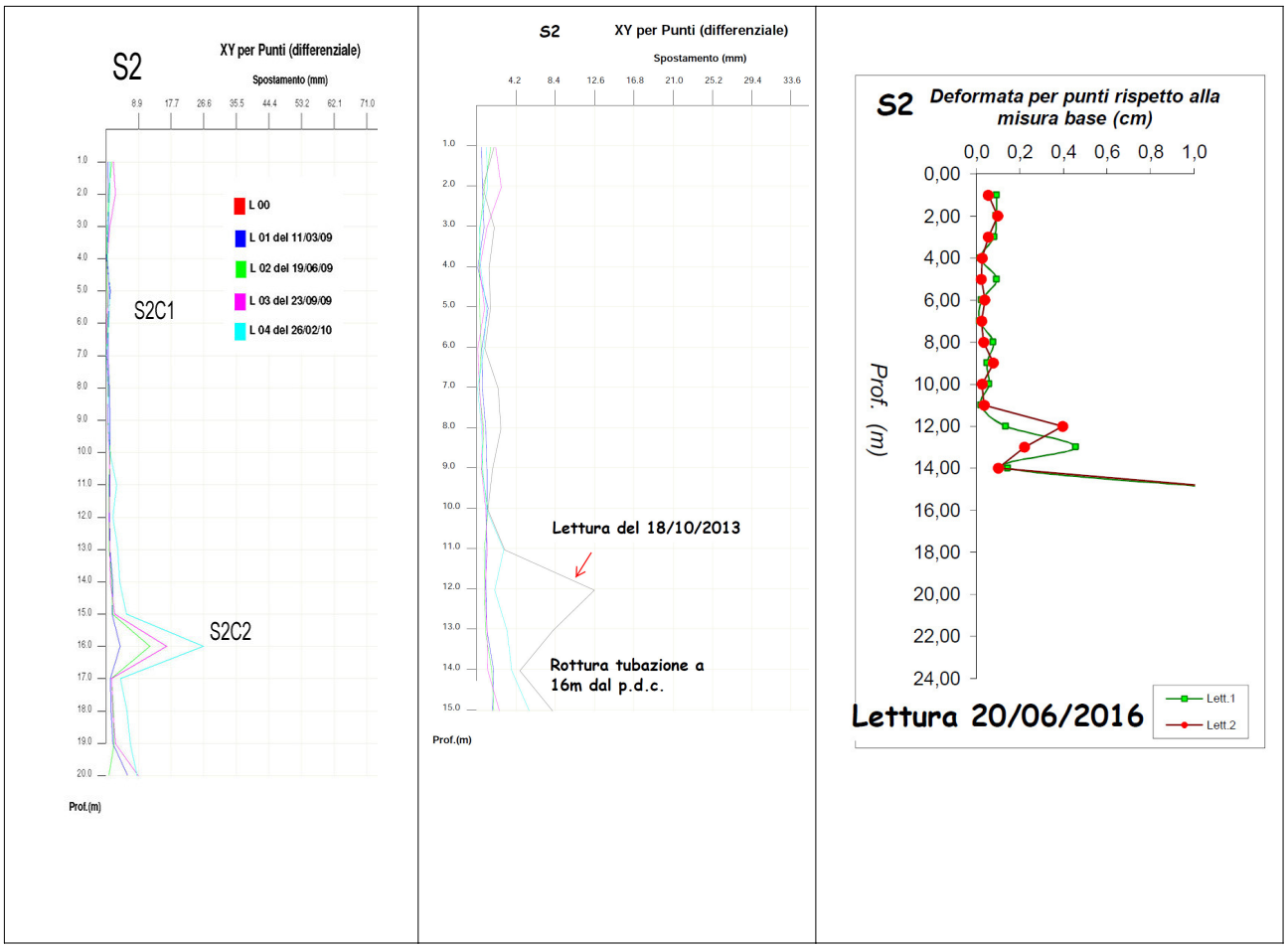
Relativamente ai campioni prelevati durante il sondaggio, le analisi confermano che si tratta di argille di bassa consistenza per il campione S2C1 ed addirittura mediocri per il campioni S2C2 prelevato proprio in corrispondenza della superficie di scivolamento.



Infine le prove S.P.T. confermano quanto sopra descritto fornendo valori molto bassi per le argille sovrastanti la superficie di scivolamento e valori decisamente più alti per le argille sottostanti:

S.P.T.	SONDAGGIO	PROFONDITA'
3/5/6	S2	6,0-6,45
4/4/8	S2	12,0-12,45
18/22/23	S2	20-20,45

Inoltre il foro del sondaggio è stato attrezzato con inclinometro. I dati dell'inclinometro indicano una netta superficie di scivolamento alla quota di 16 m dal p.d.c.
I movimenti, seppur lenti, hanno determinato la rottura del tubo inclinometrico, rilevata nella lettura del 18 ottobre 2013.

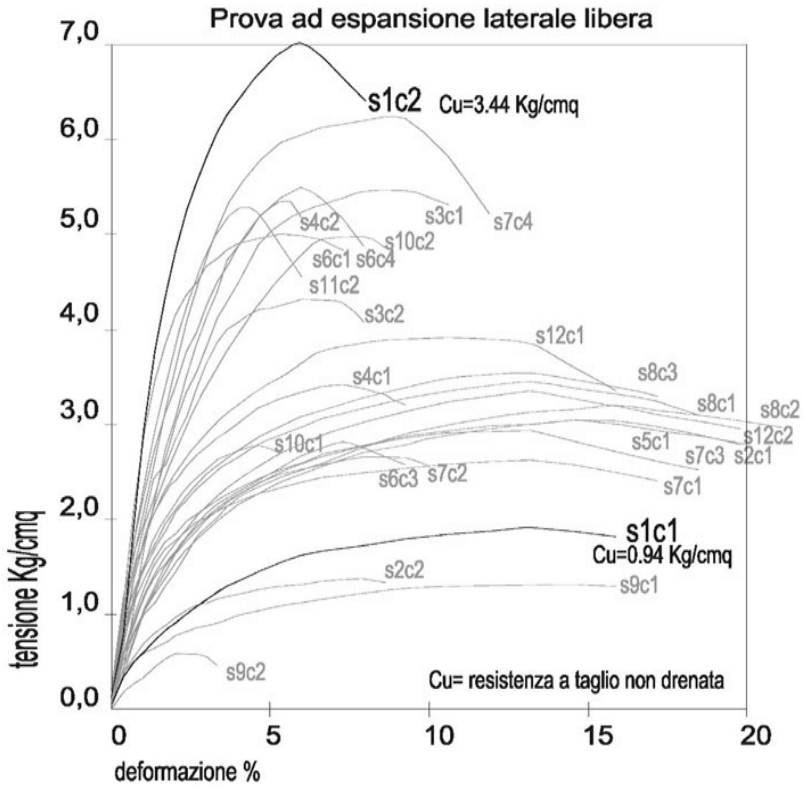


Il profilo sismico L1 fornisce una buona lettura della superficie di scivolamento sia in onde P che in onde S. Anche i profili L6, L8 ed L9 forniscono una buona lettura della coltre detritica superficiale, anche se sembrano indicare spessori compresi entro i primi 10 metri. Proseguendo in asse alla frana verso monte, oltre la via, si giunge all'incrocio tra la Via Landini e la Via dei Cappuccini, dove la scarpata esistente mostra diversi cedimenti del suo fronte. L'arretramento di quest'ultimo ha interessato a più riprese la sede stradale di Via dei Cappuccini nonostante gli interventi di consolidamento già in passato tentati alla base della scarpata della strada evidentemente non efficaci.

Proprio in quest'area nel corso del presente lavoro sono state eseguite le indagini integrative che hanno visto l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo (S13), n.4 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (da DPSH1 a DPSH4) e un profilo di sismica a rifrazione (L17), oltre che 3 misure di rumore con stazione singola (HVSR).
Il sondaggio, al di sotto di circa 2 m di terreno di riporto costituito in prevalenza da massicciata stradale, ha evidenziato uno strato di 4.5 m circa di materiale eterogeneo con agglomerati calcarei; seguono limi, inizialmente sabbiosi, e poi argillosi di media consistenza che si estendono fino a circa 10 m di profondità. Al di sotto si ritrovano argille di media consistenza e poi, da circa 11.5 m, le *argille azzurre* consistenti. Il sondaggio si è spinto fino alla profondità di 22 m, all'interno delle argille azzurre.
I dati del sondaggio sono confermati dal profilo sismico L17 che ha evidenziato nel tratto più a ovest (tra i geofoni 1 e 3) un primo sismostrato dello spessore di 1.5-2.0 m, ed un secondo sismostrato dello spessore di circa 5 m più lento per la presenza di terreno eterogeneo rimaneggiato all'interno del quale non è da escludere la circolazione di acqua.
Proseguendo verso Est, lungo il profilo sismico il substrato appare maggiormente consistente con un trend positivo di incremento delle velocità (Vp e Vs), maggiormente pronunciato a -3 m e -8 m dal p.c.
l'assetto descritto non dando luogo ad importanti contrasti di impedenza, non è stato rilevato dalle prove HVSR effettuate in sito. Gli unici picchi significativi rilevati sono da ricondurre ad un passaggio litologico superficiale (intorno a -1.5 m), riscontrato alla base del rilevato stradale.
Le prove penetrometriche dinamiche, confermano la presenza di uno primo spessore variabile di terreni poco consistenti con spessori maggiori verso ovest compresi tra 9 ed 11

metri e minori verso Est poco meno di 7 metri.
Al di sotto si estende il substrato argilloso compatto.

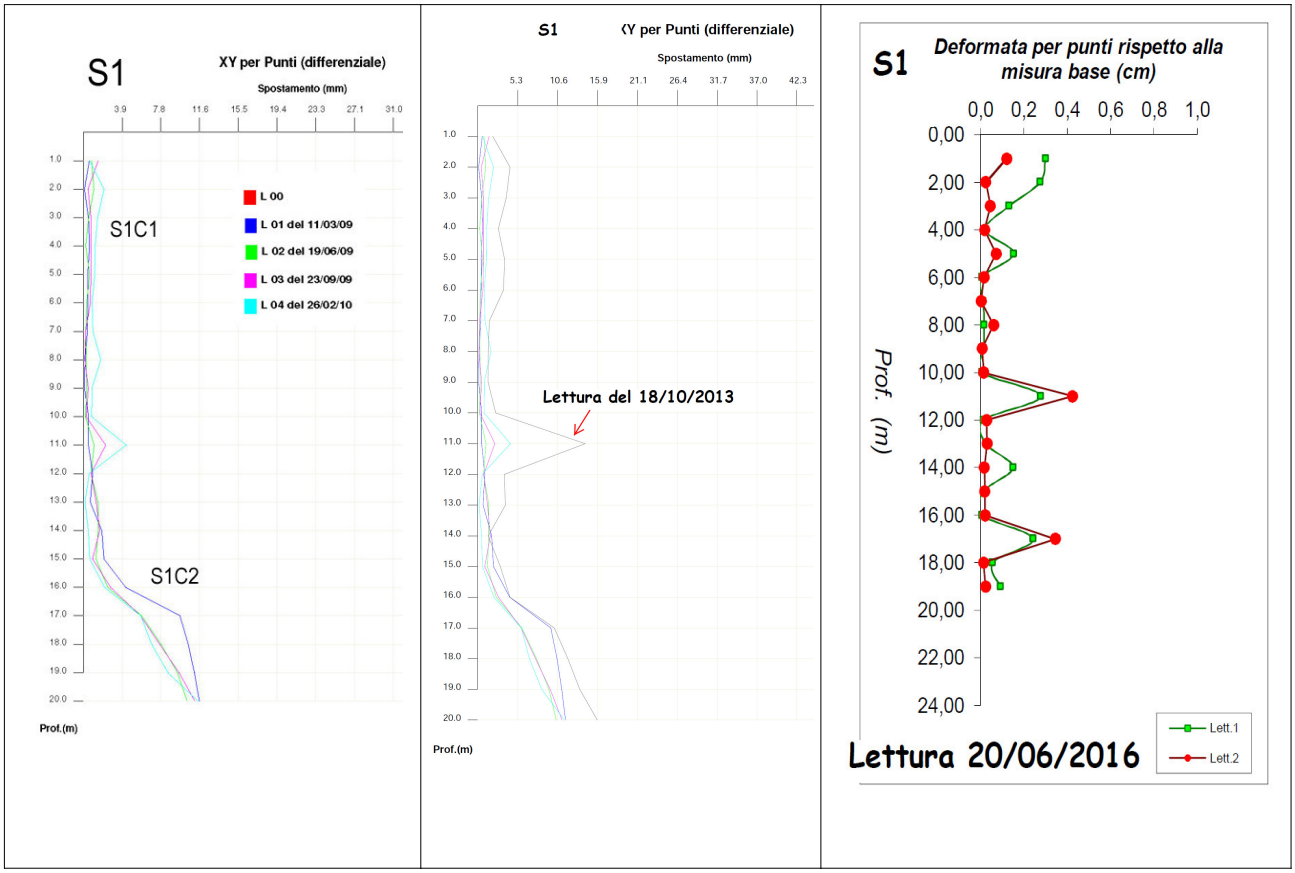
Verso Ovest, la scarpata sottostante la Via dei Cappuccini si estende a valle delle case popolari di Via di Fontanella. Qui, sul fronte della scarpata sono evidenti dissesti riconducibili a decorticamenti della coltre superficiale. In quest'area abbiamo eseguito il sondaggio S1. Le analisi visive delle carote ci hanno permesso di individuare un primo spessore di circa 3 metri di terreni alterati. Al di sotto di essi e fino a 7 m dal p.d.c. le argille presentano diversi livelli di sabbie in aspetto di sequenza stratigrafica. Tra 7 e 12 m dal p.d.c. la componente sabbiosa sparisce e le argille assumono una consistenza media. Al di sotto dei 12 m e fino a fondo foro la consistenza aumenta notevolmente. Durante il sondaggio sono stati prelevati due campioni indisturbati tra 3.5 e 4.0 e tra 15.5 e 16.0 m dal p.d.c. e sono state eseguite 4 prove S.P.T.
I risultati delle analisi forniscono bassi valori per le argille campionate a 3,5-4,0 m dal p.d.c e valori ottimi per le argille campionate tra 15,5 e 16 m dal p.d.c.



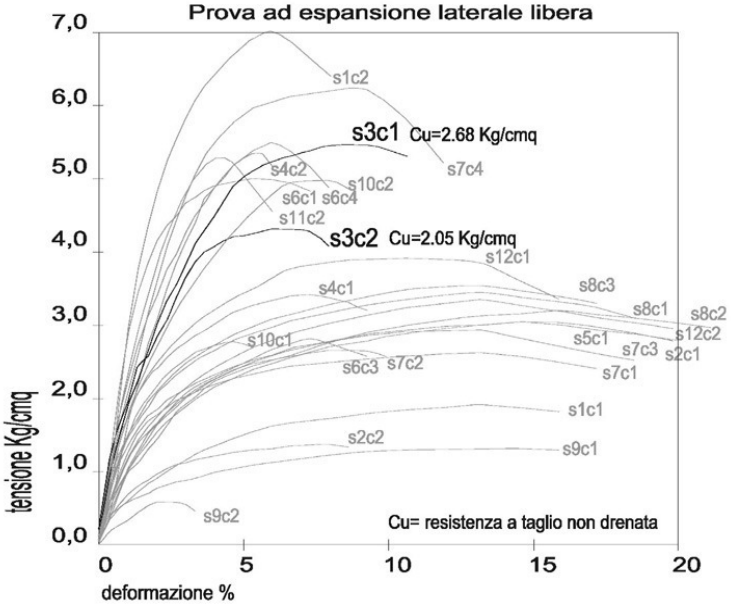
Anche le prove S.P.T. confermano quanto sopra descritto fornendo valori bassi per le argille superiori e valori molto elevati per le argille profonde:

S.P.T.	SONDAGGIO	PROFONDITA'
1/2/3	S1	4,0-4,5
7/7/10	S1	10,5-10,95
20/27/27	S1	14,8-15,25
26/33/33	S1	20-20,45

Inoltre il foro del sondaggio è stato attrezzato con inclinometro. I dati derivati indicano nette superfici di scivolamento alla profondità di 11 metri, alla quale, come abbiamo sopra descritto, cambia la consistenza delle argille, ed alla profondità di 17 metri, all'interno delle argille consistenti. Nella ricostruzione della sezione C in Tavola 3, le superfici evidenziate dall'inclinometro si sviluppano verso valle all'interno del complesso argilloso, andando a ricollegarsi più a valle alla superficie evidenziata dall'inclinometro del sondaggio S2.



Tornando verso valle, nella zona compresa tra il Podere Fonte Correntino, il convento dei cappuccini ed il Viale Rosso Fiorentino è stato eseguito 1 sondaggio a carotaggio continuo denominato S3 e 2 profili sismici L2 ed L3. Tra i dati a disposizione abbiamo indicato 4 prove penetrometriche statiche, eseguite nel 2007 a supporto di una indagine geologica per la valutazione del grado di fragilità geomorfologica dell'area.
Durante il sondaggio sono stati prelevati due campioni indisturbati tra 6.2 e 6.7 e tra 15.0 e 15.5 m dal p.d.c. e sono state eseguite 3 prove S.P.T. Il foro del sondaggio è stato poi attrezzato con piezometro.



S.P.T.	SONDAGGIO	PROFONDITA'
7/7/8	S3	6,7-7,15
13/25/31	S3	12,8-13,25
14/20/20	S3	15,5-15,95

Il dato che più risalta di questo sondaggio è che anche l'argilla campionata più in superficie (6.2-6.7m dal p.d.c.) risulta avere una buon grado di consolidazione non

differendo peraltro dai valori dell'argilla campionato più in profondità. In effetti anche l'analisi visiva delle carote indica che i primi 3 metri risultano essere di terreno rimaneggiato, e l'argilla poco consistente non si spinge oltre i 7 m dal p.d.c.

Anche le prove penetrometriche a disposizione indicano una buona consistenza dei terreni, evidenziando al contempo la presenza di un minimo relativo (vedasi CPT2 e CPT4) a circa 4.5 m dal p.d.c.

Anche il profilo sismico L3 evidenzia la presenza di terreni rimaneggiati per spessori comunque esigui (5 m con Vs<200 m/s). Il profilo L2 eseguito in corrispondenza della sede stradale del Viale Rosso Fiorentino indica invece spessori maggiori comunque da ricondurre alla presenza di materiale di risulta derivante dagli scavi dei fabbricati ubicati più a monte.

In definitiva si ritiene che l'intera area di Fontecorrenti sia stata interessata da fenomeni gravitativi innescati dal richiamo di materiale verso il ciglio del sottostante calanco. Le superfici di scivolamento sembrerebbero comunque superficiali nelle zone immediatamente a monte del calanco, e contenute entro i primi 5 m dal p.d.c., mentre nelle zone più elevate (S1_08 ed S2_08) le superfici di scivolamento sono certamente più profonde e comprese tra 12 e 17 metri.

Al fine di valutare se il richiamo di materiale verso il calanco si è attenuato negli ultimi anni a seguito dell'opera di stabilizzazione eseguita nel 2009 e se tale opera sia risultata efficace, quest'area è stata analizzata nel dettaglio all'interno degli studi eseguiti dall'Università di Firenze, attraverso l'analisi dei dati satellitari disponibili dal 1992 al 2013.

L'analisi dei dati PS storici ERS mostra velocità medie annue di circa 2-5 mm/anno e spostamenti lineari di circa 30-40 mm in 8 anni (1992-2000).

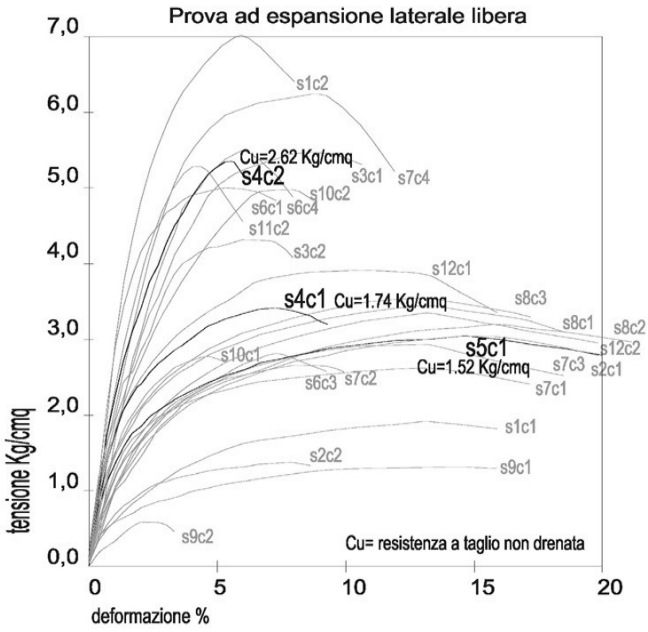
L'analisi dei dati PS storici ENVISAT nell'intervallo successivo (2003-2010) mostra valori di velocità analoghi a quelli precedenti di ERS.

E' stato comunque osservato che nella parte terminale delle serie temporali dei PS ENVISAT, nelle acquisizioni dell'anno 2009 e 2010, è presente una stabilizzazione del movimento e il trend è stazionario. Questo potrebbe dare conferma dell'efficacia dell'opera di sistemazione idraulico-forestale messa a punto sull'area calanchiva a valle dell'edificato .

Tuttavia, l'analisi dei dati PS CSK più recenti (2010-2013) evidenzia come siano presenti ancora *pattern* di spostamento lineare progressivo, con valori di circa 30 mm durante i 3

anni del periodo di acquisizione (2010- 2013), rilevabili dalle serie storiche di deformazione.

Spostandosi ancora verso Est si giunge al vecchio convento dei cappuccini ed al Podere San Matteo. In questa zona sono stati eseguiti due sondaggi a carotaggio continuo S4 ed S5 e due profili sismici L11 ed L12.



Come per la gran parte dei sondaggi effettuati si riscontra che i campioni prelevati in superficie hanno caratteristiche minori rispetto a quelli prelevati in profondità. Anche le prove S.P.T. eseguite nei due fori rispettano questa condizione:

S.P.T.	SONDAGGIO	PROFONDITA'
6/7/8	S4	6,0-6,45
11/11/13	S4	12,7-13,15
9/13/17	S4	15,0-15,45
4/7/9	S5	5,0-5,45
13/18/20	S5	11,0-11,45

L'analisi visiva delle carote dei sondaggi ci permette di determinare che gli spessori di coltre detritica sono poco rilevanti e sono compresi nei primi 3-4 metri a partire dal p.d.c. Per il resto dei due sondaggi abbiamo intercettato argille grigie monotone e dalla buona consistenza.

Poco a nord dei cappuccini è ubicata la piscina comunale, anch'essa interessata da un debole sistema di lesioni.

Tra le prove penetrometriche a disposizione citiamo la 104, prova dinamica, che ha evidenziato un primo spessore di circa 6 metri avente n (numero di colpi per l'avanzamento di 10 cm delle aste) compreso tra 6 e 9, caratteristico di terreni poco consistenti.

Inferiormente si riconosce un ulteriore spessore compreso tra 6 e 10 m dal p.d.c. con n compreso tra 12 e 14. A partire da 10 metri dal p.d.c., il grafico tende costantemente ad aumentare nei valori, come si registra normalmente nelle argille coesive per l'effetto di attrito esercitato sulle aste. Il numero di colpi n si porta quindi a valori compresi tra 20 e 40, caratteristici di un substrato argilloso comunque non eccessivamente sovraconsolidato a testimonianza del fatto che la prova penetrometrica è riuscita a raggiungere i 20 m dal p.d.c.

Il profilo sismico eseguito L11 indica la presenza di esigui spessori di terreni rimaneggiati.

La frana cartografata arriva a lambire il limite Sud del campo sportivo. Il dissesto, presente da moltissimi anni, sembra essersi aggravato negli ultimi tempi forse anche per effetto di perdite d'acqua dal sistema drenante del campo che, essendo interamente collocato sul terreno di riporto, ha subito assestamenti per consolidamento.

Procedendo verso monte e risalendo la scarpata che si estende al di sopra del campo sportivo si giunge in Via delle Ripaie dove i fabbricati che si affacciano sulla scarpata presentano diffusi fenomeni di lesionamento tant'è che la zona era segnalata anche nelle cartografie originarie del PAI B.T.C. come ricadente all'interno della classe P.F.M.E. (Pericolosità da frana molto elevata) in questa zona le prove penetrometriche a disposizione indicano la presenza di terreni poco consistenti per i primi 3 m dal p.d.c., al di sotto dei quali il numero di colpi per unità di avanzamento aumenta leggermente. Solo alla profondità di 8 m dal p.d.c. il grafico inizia gradualmente ad aumentare nei valori, come si registra normalmente nelle argille coesive e consistenti per l'effetto di attrito esercitato sulle aste. Anche il sondaggio 82 indica la presenza di terreni poco consistenti e misti fino

a 8-9 m dal p.d.c.
Il sondaggio 142 eseguito poco più a monte descrive i primi 11 metri dal p.d.c. come costituite da sabbie al di sotto delle quali si estende un limo argilloso grigio probabilmente da ricondurre alle argille grigie.

In sintesi si rileva che la coltre detritica di disfacimento delle sabbie superiori si estende essenzialmente nel tratto compreso tra la Via Landini e il campo sportivo. Nelle zona più a valle, le coltri detritiche a composizione mista sono relegate ai primi 2-3 m dal p.d.c. Al di sotto sono presenti ovunque terreni argillosi a bassa coesione (durante le prove dinamiche non si registra l'aumento del valore del numero di colpi e durante le prove statiche i valori restano contenuti entro i 20-40 Kg/cmq). Queste argille risentono del lento scivolamento innescato da fenomeni lenti di retrogressione in testa al calanco del Botro di Botra.
Nell'area ad oggi sono evidenti alcune situazioni di fragilità quali il dissesto a valle dell'incrocio tra la Via Landini e la Via del Pino che di recente ha interessato anche la sede stradale, il dissesto che interessa la Via Corot subito a monte del Podere Fonte Correntino registrato anche nell'inclinometro posizionato nel sondaggio S2. Inoltre in corrispondenza del fronte della scarpata che si estende dalle case popolari di Via di Fontanella fino ai fabbricati di Via delle Ripaie si registrano alcuni dissesti proprio in corrispondenza delle due località sopra citate. Relativamente alle case popolari di Via di Fontanella, riteniamo che i dissesti osservabili sul fronte della scarpata siano superficiali e dovuti alla pendenza ed all'assenza di una qualsiasi forma di regimazione. Tuttavia l'inclinometro posizionato nel tubo S1 ha fornito ad oggi indicazioni di spostamenti ad 11 e a 17 m dal p.d.c. In questa zona i dati interferometrici indicano spostamenti significativi solo per il fabbricato che è stato abbattuto di recente.
Relativamente ai fabbricati di Via delle Ripaie, si registra invece una marcata eterogeneità nel primo spessore di sottosuolo dove i dati a disposizione indicano sia la presenza di terreni misti (probabili coltri detritiche di disfacimento delle sabbie superiori) che di argille poco consistenti.

4 - ZONA SAN LAZZARO

Rappresenta la porzione più ad Est dell'area analizzata. In quest'area sono stati eseguiti 3 sondaggi (S5,S6 ed S7) con prelievo di 8 campioni indisturbati. I fori dei sondaggi S6-S7 sono stati attrezzati con inclinometro. La campagna geognostica ha previsto anche l'esecuzione di due prove penetrometriche nella zona di valle del quartiere.
L'indagine sismica ha compreso l'esecuzione di 6 profili sismici (L10, L12,L13, L14, L16 ed L17).
I dati a disposizione, sono relativi sia a prove penetrometriche che a sondaggi eseguiti a supporto delle indagini per la realizzazione di alcuni edifici.
Dal punto di vista geomorfologico, questa zona è molto simile al versante immediatamente ad Ovest (Fontecorrenti). Tuttavia in questa zona, gli spessori della coltre detritica sono mediamente inferiori e fortunatamente l'edificazione si è sviluppata in una zona nella quale il substrato consistente è a profondità mediamente contenute.
Al contrario, nelle due vallecole poste ai lati della zona, i pochi dati a disposizione indicano consistenti spessori della coltre detritica.
Proseguendo verso monte, lungo l'affluente di sinistra del Botro del Pagliaio, il ciglio del calanco prosegue senza soluzione di continuità fino a ricongiungersi con la scarpata morfologica superiore che nel suo sviluppo si raccorda e termina in corrispondenza degli edifici del C.P.T. e della vecchia stazione ferroviaria.
Nella zona più ad Est, il ciglio del calanco sembra terminare poco al di sotto del Podere Pagliaio e dei fabbricati più a valle del quartiere San Lazzaro. Tuttavia una vallecola minore prosegue in quota fino quasi a toccare Via Carducci, poco al di sopra della località La Piancana.
Lungo il margine est di questa vallecola, è stata eseguita una indagine MASW (S22) che, a meno di errori in fase di elaborazione, ha fatto registrare valori di Velocità sismiche Vs di circa 200 m/s fino a 30 m dal p.d.c.
Queste velocità sono da attribuire alla coltre detritica, la cui presenza è peraltro confermata fino al fondo delle due prove penetrometriche (276 e 277) che purtroppo sono state spinte fino a soli 8 metri dal p.d.c. In questa zona è quindi ipotizzabile che parte della morfologica del substrato sia mascherata dalla coltre detritica con spessori anche rilevanti.
Tornando verso Ovest, superiormente al Podere Pagliaio, il versante si sviluppa con minori

acclività e pendenze mediamente comprese entro 15° con alcuni pianori a pendenza anche minori di circa 5°, all'interno dei quali sono sorti i fabbricati del quartiere San Lazzaro ed alcuni capannoni per la lavorazione e vendita dell'alabastro.

Proseguendo in alto, si giunge al vecchio tracciato della ferrovia che sale in quota verso l'abitato di Volterra costeggiando il fianco sinistro del calanco del Botro del Pagliaio. Nel tratto compreso tra quota 415 (poco al di sotto del sondaggio S5) e quota 450, la ferrovia intercetta un tratto di versante che presenta le evidenze di dissesti gravitativi.

La zona in esame sale in quota fin verso il campo sportivo giungendo ad intercettare l'ampia scarpata che si estende al di sotto dei fabbricati ubicati a Nord-est del campo stesso.

In questa zona i dati a disposizione erano abbondanti per cui abbiamo deciso di non effettuare un ulteriore sondaggio, ma di limitare le indagini all'esecuzione di due prove penetrometriche e di un profilo sismico.

Similmente alle altre zone descritte in questo paragrafo, durante l'esecuzione delle prove penetrometriche abbiamo registrato la presenza di terreni da poco a mediamente consistenti, con valori di Rp contenuti entro i 20/40 Kg/cmq non certamente da riferirsi alle argille grigie consistenti. Inoltre durante l'esecuzione della prova CPT1 è stata registrata la presenza di un minimo relativo tra 4 e 5 m dal p.d.c.

Anche i sondaggi a disposizione n°213 e 214 descrivono la presenza di coltri detritiche nei primi 6 m dal p.d.c. e di argille comunque poco consistenti più in profondità. Lo spessore dei terreni rimaneggiati sembra aumentare verso la vecchia linea ferroviaria tant'è che in corrispondenza del profilo sismico L10 gli spessori di terreno con valori delle Vs<di 200 m/s superano i 10 metri.

Proseguendo ancora verso l'alto questa debole morfologia viene interrotta da una ulteriore scarpata che si estende tra le quote di 450 e 496 m.s.l.m. nella zona più ad ovest (a valle del deposito autobus C.P.T.). Tale scarpata rappresenta la naturale prosecuzione di quella che più ad Ovest si estende sopra il campo sportivo, ed ancora più ad Ovest sotto la Via Landini per terminare bruscamente poco oltre il Botro dello Sgricciolo dove si immerge al di sotto della coltre detritica. Nella zona delle Colombaie, questa scarpata è stata intercettata al di sotto dell'ultimo fabbricato APES di Via Sacco e Vanzetti.

Anche in questo settore di territorio l'originaria morfologia dei luoghi, antecedente alla realizzazione del quartiere, è stata quasi del tutto mascherata. Tuttavia, analizzando le

foto aeree del 1954 si può avere un idea di come doveva svilupparsi l'intero versante. I fabbricati immediatamente al di sotto della vecchia linea ferroviaria erano già esistenti mentre la zona più a valle di Via Annibale Cinci appariva perlopiù coltivata a frutteti ed oliveti con una orditura dei campi molto ben tenuta ed una regimazione idraulica costituita da canalette e capofossi che facevano capo poi al ramo destro del Botro del Pagliaio. Il sistema di regimazione è stato del tutto cancellato e sostituito dal sistema fognario che convoglia parte delle acque verso il Fondovalle del Botro del Pagliaio e parte verso il depuratore sud.

I dissesti riscontrati in questa zona di territorio sono principalmente da ricondursi alla dinamica erosiva del calanco, ai fenomeni di arretramento del ciglio ed al richiamo di materiale verso il ciglio stesso. Il calanco è in effetti in erosione attiva e lungo i fianchi del versante sono evidenti diverse zone in cui sono presenti decorticamenti superficiali.

Percorrendo la parte mediana del calanco sono bene evidenti importanti superfici di scivolamento che isolano e ribassano intere porzioni di versante (vedasi sezione F-F' in Tavola 3) fino al ciglio che corre all'incirca alla quota di 420 m.s.lm.

Più a monte, a fino al Podere Pagliaio,i terreni appaiono fortemente disarticolati e con diverse contro pendenze ad evidenziare scivolamenti gravitativi rotazionali.

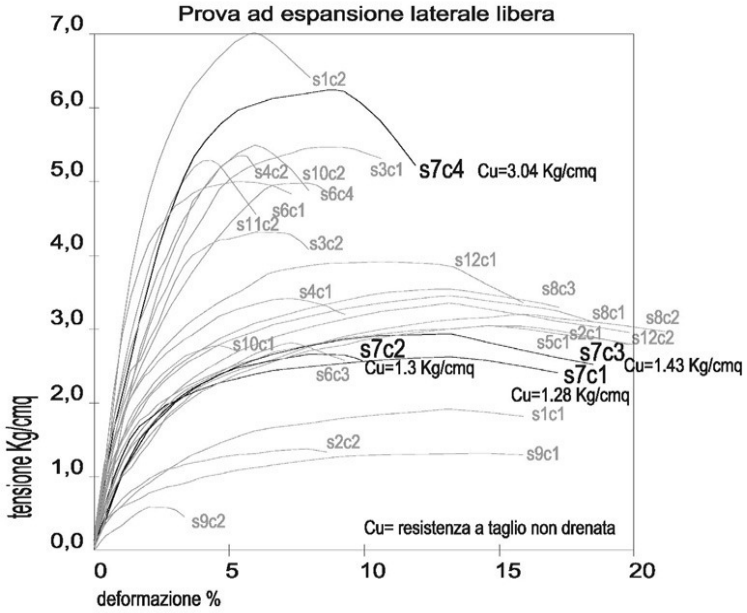
Anche il podere del Pagliaio risente di questi fenomeni di scivolamento tant'è che nonostante sia stato rsottofondato con pali di lunghezza di 12 m circa 20 anni fa, presenta segni di lesionamenti più o meno recenti.

In questa zona le superfici si sviluppano comunque all'interno delle argille e non all'interfaccia tra la coltre detritica e le sottostanti argille in quanto dalle evidenze di campagna, dai dati geognostici e dai profili sismici L16 ed L17 non si riscontra la presenza di coltri detritiche di importanti spessori.

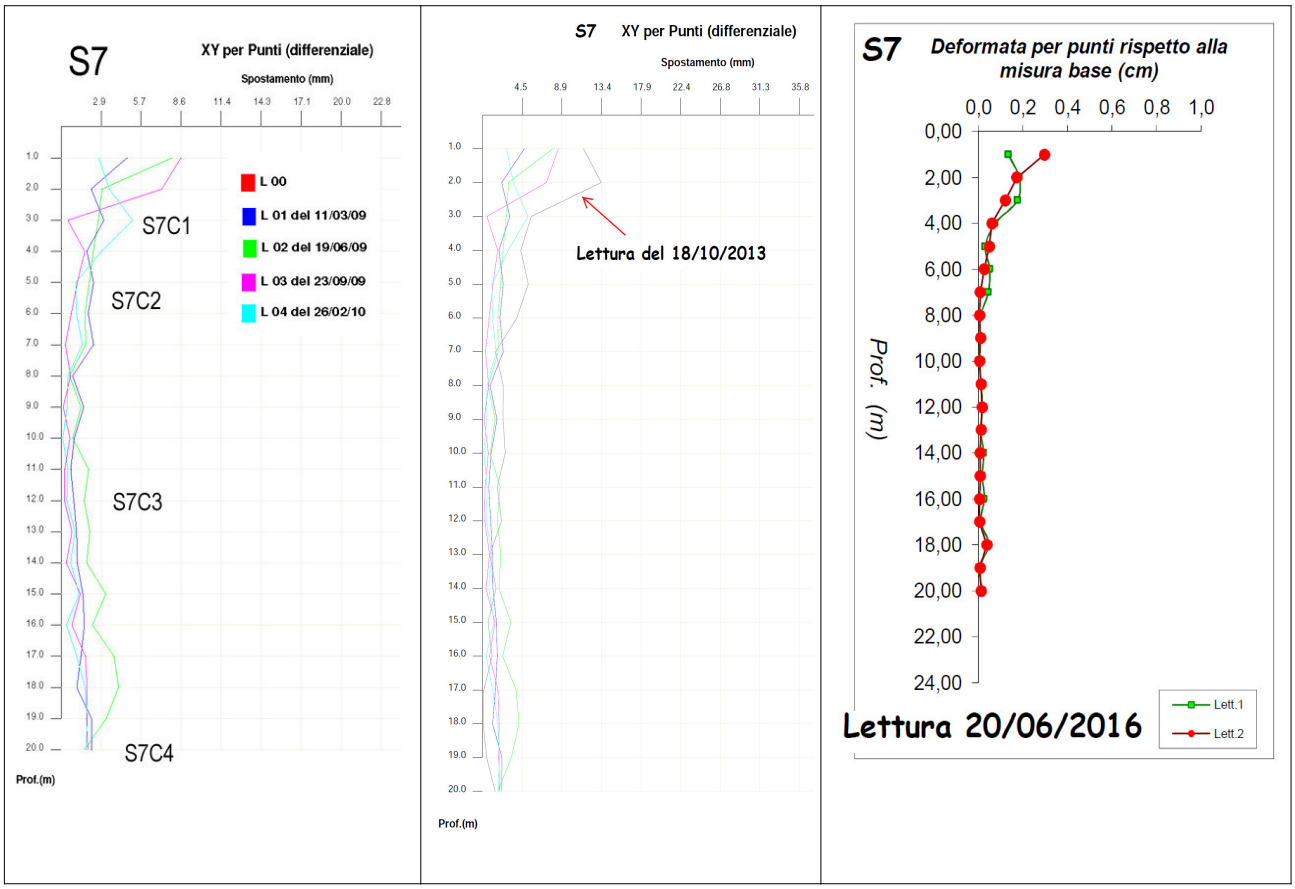
Procedendo ancora verso monte per giungere alla zona a minor pendenza in fondo alla Via Annibale Cinci, diversi fabbricati, destinati in passato ad attività produttive, presentano lesioni importanti nelle strutture. Il sondaggio S7 eseguito nella zona a valle dei fabbricati ha fornito dati interessanti. Il suolo vegetale e la coltre detritica si spingono fino a 4,5 m dal p.d.c. Nel tratto inferiore e fino a 11 m dal p.d.c. sono presenti argille sabbiose poco consistenti, con un basso tenore di brecciole, che sembrano essere riconducibili al primo spessore di argille a bassa consistenza. Nel tratto compreso tra 11 e 19 m dal p.d.c. sono

presenti fitte alternanze di argille e sabbie che hanno fornito bassi valori di S.P.T.
Nella sezione F-F' di riferimento allegata in Tavola 4, questo spessore di terreni è stato interpretato come una alternanza all'interno delle argille plioceniche. Alla quota di 19 m dal p.d.c. il sondaggio ha finalmente intercettato le argille grigie facenti parte del substrato consistente in posto.

S.P.T.	SONDAGGIO	PROFONDITA'
4/6/8	S7	3,7-4,15
3/6/9	S7	8,5-8,95
5/5/7	S7	12,7-13,15
7/7/11	S7	18,5-18,95



Nonostante le mediocri caratteristiche dei terreni fino a profondità rilevanti, le letture eseguite nell'inclinometro posizionato nel foro del sondaggio non hanno mai evidenziato alcuna netta superficie di scorrimento, ad esclusione di leggeri spostamenti nei primi metri dal p.d.c. particolarmente evidenti nella penultima lettura a circa 4 m dal p.d.c.



Proseguendo verso monte, ed addentrandosi nella zona urbanizzata non si evidenziano altre forme di dissesto morfologico anche se diversi fabbricati sono interessati da lesioni e cedimenti differenziali. La fragilità dei fabbricati sembra da ricondurre più alle scarse caratteristiche geotecniche dello spessore di detriti colluviali che tendono a compattarsi sotto il carico delle strutture e a subire contrazioni volumetriche che a scivolamenti all'interfaccia con il substrato argilloso.

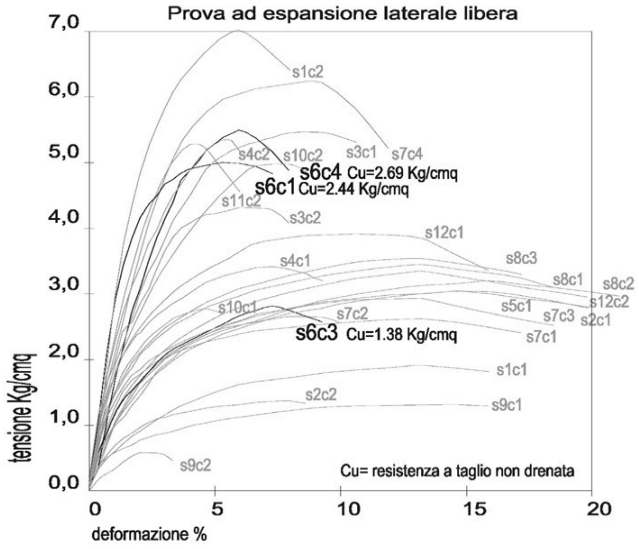
All'interno di quest'area è stata eseguita la prova penetrometrica CPT4, che ha evidenziato la presenza di un minimo relativo alla profondità di 6-8 m dal p.d.c., al di sotto della quale i valori tendono gradualmente ad aumentare seguendo il trend caratteristico delle argille plioceniche.

Proseguendo ancora verso l'alto, si giunge alla scarpata morfologica sulla cui sommità è ubicato il deposito autobus C.P.T. In quest'area abbiamo eseguito il sondaggio S6 e sul

fronte della scarpata il profilo sismico L13.

Durante l'esecuzione del sondaggio sono stati prelevati quattro campioni indisturbati e sono state eseguite 4 prove S.P.T.

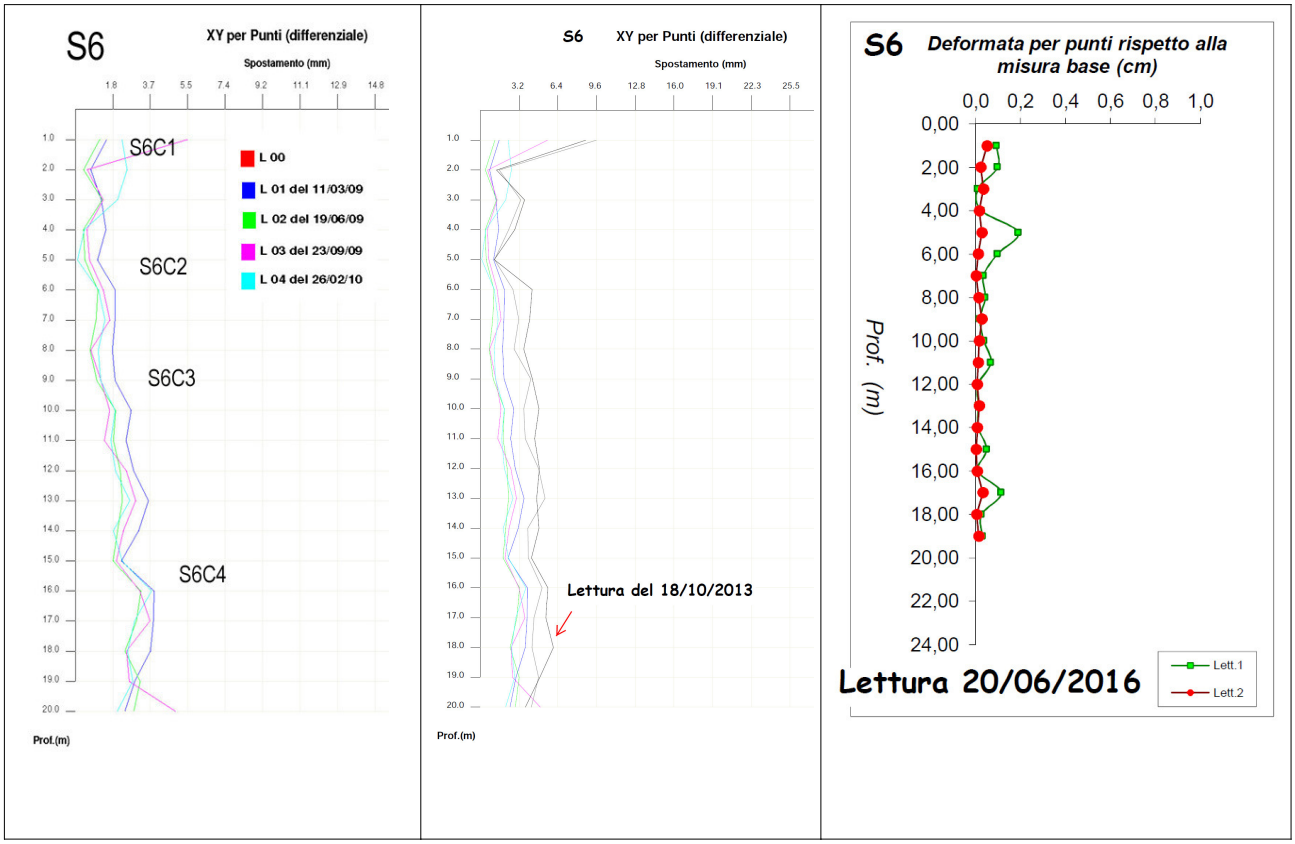
Il sondaggio eseguito alla quota di 500 m.s.l.m. ha intercettato un primo spessore di sabbie appartenenti alla successione delle sabbie gialle sovrastanti le argille azzurre. Queste ultime sono state intercettate a partire da 10 m dal p.d.c. (490 m.sl.m.)



I valori delle prove S.P.T. indicano inoltre una buona consistenza del substrato già a partire da 9 m dal p.d.c.

S.P.T.	SONDAGGIO	PROFONDITA'
2/3/4	S6	2,0-2,45
9/13/16	S6	9,2-9,65
9/15/22	S6	16,0-16,45
12/14/16	S6	20,0-20,45

Infine i dati derivati dalla lettura annuale dell'inclinometro, similmente all'S7 non evidenziano movimenti netti ma più una serie di scostamenti lungo tutto l'asse dell'inclinometro.



Per questa zona del versante sud di Volterra, l'Università di firenze non ha eseguito l'analisi dei dati satellitari. In effetti le evidenze delle serie storiche dei Ps ERS ed ENVISAT non segnalano alcun movimento rilevante, se non qualche anomalia ristretta alle zone marginali alla vallecola che raggiunge la Via Carducci.

5 - SINTESI DELLE CONOSCENZE ACQUISITE

L'insieme dei dati acquisiti consente di ricostruire i seguenti scenari:

5.1 - Le Colombaie, Il Cipresso

Questa è la zona in cui lo spessore della coltre detritica è mediamente molto elevato, superando ampiamente i 12 metri in diverse zone.

I dati PS recenti CSK discendenti mostrano velocità di circa 8-16 mm nel periodo di acquisizione 2010-2013 fino a circa quota 440 m s.l.m.

Questi movimenti sono impostati nelle aree di affioramento delle Argille azzurre o della coltre detritica di notevole spessore e sono dunque dovuti alla presenza di terreni argillosi e all'instabilità del deposito colluviale superficiale. Tali spostamenti sono confermati da diffuse lesioni sui fabbricati presenti.

L'inclinometro S8, ubicato lungo la SS68 al margine del Botro dello Sgricciolo, ha evidenziato un netto spostamento a 18 m dal p.d.c., sviluppatosi all'interno del primo spessore di argille con movimenti di circa 10 mm/anno nel periodo 2009/2010. Successivamente il tubo inclinometrico si è rotto a questa profondità, per cui le ultime letture si fermano a 18 m dal p.d.c. segnalando comunque sempre spostamenti a fondo foro.

Altri due inclinometri, posti più a monte, in Località le Colombaie (S11 ed APES) non evidenziano particolari spostamenti, tuttavia l'aggravarsi del fenomeno di lesionamento del fabbricato denominato APES ha costretto di recente a dichiararne l'inagibilità. In questa zona gli spessori della coltre detritica sono notevoli e nel sondaggio APES, sono risultati pari a 30 metri.

E' chiaro quindi che anche in assenza di fenomeni di scivolamento, il terreno quando costituito da coltre detritica, cede normalmente anche per il solo peso dei fabbricati che insistono su di esso e ciò spiega perché, pur in assenza di pendenze significative, come ad esempio nella zona delle Colombaie, si ritrovino a tutt'oggi numerosi edifici lesionati.

Ancora più a monte dei fabbricati delle Colombaie, nella zona di raccordo con il centro storico, è stata segnalata la presenza di ulteriori dissesti, che però sono da considerarsi come scivolamenti superficiali della coltre detritica al di sopra del substrato sabbioso consistente (vedasi sezione A-A' in Tavola3).

Relativamente ai movimenti segnalati dall'Università di Firenze tra quota 440 e quota 500 m s.l.m., nell'area di affioramento delle sabbie dove i dati PS CSK recenti indicano velocità superiori alla soglia di stabilità (circa 2-5 mm nel periodo 2010-2013), riteniamo che essi siano dovuti più a cedimenti differenziali per l'eterogeneità dei terreni di fondazione (sabbia consistente/ riporto/detrito) che a fenomeni di versante veri e propri.

5.2 - Fontecorrenti, Cappuccini, Stadio

In questa zona la coltre detritica raggiunge spessori consistenti nel tratto subito a valle della strada dei Cappuccini, fino al Viale Rosso Fiorentino.
L'analisi dei dati PS sia storici che recenti mostra spostamenti significativi: in particolare i dati CSK recenti hanno registrato velocità medie annue con valori medi di 6 mm/anno e massimi fino a 16 mm/anno.
Tutta l'area interessata dai movimenti misurati dai PS ricade nell'area di influenza dei fenomeni gravitativi innescati dal richiamo di materiale verso il ciglio del sottostante calanco.
I movimenti indicati dai PS risultano solo in parte come evidenze sull'edificato, probabilmente a causa del fatto che i lenti fenomeni gravitativi sono lineari e uniformi in modo diffuso sul versante e gli edifici non ne risentono in modo visibile.
I dati satellitari relativi alla zona di crinale circostante i Cappuccini e la Piscina comunale non rilevano invece alcun movimento.

Al fine di valutare se il richiamo di materiale verso il basso si è attenuato negli ultimi anni a seguito delle opere di regimazione idraulica del calanco (terminata nel 2009), sono state analizzate le serie temporali di spostamento di tutti i *datasets* PS disponibili, dal 1992 al 2013. Se da una parte si osserva che nella parte terminale delle serie temporali dei PS ENVISAT, nelle acquisizioni dell'anno 2009 e 2010, è presente una stabilizzazione del movimento e il trend è stazionario, dall'altra i dati CSK relativi all'intervallo temporale successivo (2010-2013) mostrano ancora spostamenti lineari (senza forti accelerazioni), ma evidenti, fino a 30 mm nei 3 anni di acquisizione.
Inoltre, l'inclinometro S2 ha fatto registrare velocità di oltre 20 mm anno nel periodo compreso tra il 2009 ed il 2010, fino alla rottura del tubo inclinometrico nel punto di

scivolamento posto a 16 m dal p.d.c. e, nelle ultime letture continuano a registrarsi spostamenti a fondo foro.

Anche l'inclinometro S1, ubicato più a monte, al margine delle case popolari di Via Fontanella indica alcuni movimenti a 11 e 17 m dal p.d.c. In questo caso però gli spostamenti rilevati sono di minima entità e compresi entro 4mm/anno.

Dal confronto tra i dati inclinometrici e quelli satellitari, sembra comunque che gli spostamenti siano ristretti all'area dell'inclinometro ed a quella del fabbricato adiacente abbattuto di recente. Gli altri fabbricati nelle vicinanze non presentano alcuna evidenza di movimenti dai dati satellitari.

5.3 - San Lazzaro

Questa è l'area nella quale gli spessori della coltre detritica sono mediamente più esigui ed i dissesti interessano solo marginalmente l'edificato.

L'università di Firenze non ha eseguito l'analisi dei dati satellitari, dato che questi non evidenziano grandi anomalie, ad esclusione di qualche movimento ristretto alle zone marginali alla vallecola che raggiunge la Via Carducci.

In questa zona i dissesti sono essenzialmente concentrati nella zona calanchiva dove sono bene evidenti importanti superfici di scivolamento che isolano e ribassano intere porzioni di versante.

Più a monte, sembra che gli scivolamenti di attenuino gradualmente fino in corrispondenza dei fabbricati, alcuni dei quali presentano comunque diffusi fenomeni di lesionamento.

L'inclinometro S7, posto a valle dei fabbricati non evidenzia precise superfici di scivolamento, ma piuttosto nel tempo ha fatto registrare solo minime variazioni. Nella penultima lettura si è registrato un modesto movimento intorno a 4 m dal p.d.c.

6 - SISTEMA FOGNARIO

Uno degli fattori principali che influenzano l'evoluzione morfologica del versante è costituito dal deflusso delle acque, sia quello determinato da condizioni naturali che quello derivante da interventi antropici.
L'apporto di acque di origine naturale è da suddividersi nel modo seguente:

- apporti zenitali diretti (pioggie)
- apporti da sorgenti presenti in varie parti del territorio
- apporti da sorgenti alla base delle formazioni permeabili ed emergenti per soglia di permeabilità di contatto
- apporti da sorgenti minori legate alla circolazione ipodermica all'interno dei cumuli di detrito di versante.

I contributi di origine antropica sono invece da riferirsi a:

- sistemi di drenaggio che regimando le acque dagli orizzonti sabbiosi saturi intercettati dalle costruzioni (vedasi supermercato COOP e case popolari) le convogliano nel sistema fognario
- acque reflue circolanti nel sistema fognario cittadino che si sviluppa lungo il versante in esame

Nella Tavola 4 sono indicate le sorgenti individuate, suddivise tra quelle principali di conatto e quelle diffuse sul versante e riconducibili alla circolazione ipodermica nel detrito.
Nella stessa Tavola è rappresentato lo schema della rete fognaria urbana.
I materiali utilizzati per la costruzione si diversificano in funzione dell'epoca di costruzione spaziando dagli scatolari in muratura di epoca antica ai più moderni PVC e PEAD.

Nella Tavola 4 è rappresentato lo schema fognario così come ricostruito da ASA, utilizzando la seguente terminologia:
CLS scatolare: antichi tratti fognari, anche di grandi dimensioni, costruite in mattoni e tavelle (colorati sulla cartografia in rosso)
CLS vecchi tratti della rete costruiti con tubazioni in calcestruzzo accoppiate, (sulla cartografia in verde)

GRES tratti di rete fognaria costruite con tubazioni in gres (fucsia)
PVC tratti di fognatura costruita in tubazioni in PVC saldato (blu scuro)
PBox tubazione della fognatura in polietilene corrugato (viola)
PEAD rete costruita con tubazione in polietilene di alta densità (marrone)
PVC tratti di rete fognaria costruito in polietilene alveolare (arancione).

Da un primo esame della rete fognaria si rileva che nel centro storico è ancora diffuso il vecchio sistema fognario la cui vetustà genera frequentemente perdite di acqua.
In più punti poi il sistema recapita nei ricettori naturali del versante: Botro Pagliaio, Botro Pollaio; Botro Marmaio, Botro di Rioddi, Botro dello Sgriccioloin attesa che sia completato l'allacciamento al depuratore di Volterra Sud a valle del Podere S. Luigi.
E' evidente che gli apporti idrici convogliati dalla fognatura all'interno di contesti geomorfologicamente fragili, aumentano la pericolosità naturale dei luoghi.

CONCLUSIONI

L'evoluzione del colle volterrano, con il suo progressivo sollevamento ed il ringiovanimento dei sistemi idrici antichi, ha portato nelle ultime epoche geologiche alla creazione di una serie di orli di scarpata morfologica.

Si riconoscono almeno tre ordini di lineazioni morfologiche antiche di cui:

- il primo, più elevato, corrisponde alla falesia di scarico delle sabbie di Villamagna e dei calcari di Volterra, esistenti a valle delle antiche mura medioevali da S. Giusto a S. Felice fino al dirupo di Via dei Ponti (Mastio);
- il secondo, in posizione mediana è completamente all'interno delle argille plioceniche e si sviluppa tra le località: Crocifisso, Coloreto, Il Cipresso, Pallesse, Case popolari di Via Fontanelle, Fontecorrenti, lo stadio, la stazione ferroviaria. Nella zona di Coloreto ed Il Cipresso, questo salto morfologico corrisponde anche ad un livello di sabbie plioceniche giallo-grigie presenti a quote inferiori rispetto al contatto formazionale principale;
- il terzo si sviluppa a quote ancora più basse ed è visibile a valle della località I Cappuccini, tra podere S. Matteo I e S. Matteo II. Scompare poi inciso dal Botro Marmaio e dai detriti del Botro dello Sgricciolo per poi ricomparire a valle della località Il Callone poco prima del Botro del Lenzo. Questo terzo ordine di lineazioni è in parte nascosto dal detrito di scarico ed in parte è assorbito dall'arretramento dei calanchi, dal Botro di Rioddi, dal Botro Marmaio e dal Botro Pagliao.

Questi orli di scarpata sono stati nel tempo ricoperti dai detriti di scarico delle sabbie e calcari superiori i quali risultano molto più abbondanti nell'area del Botro dello Sgricciolo anche se presenti lungo tutto il versante in studio.

I fenomeni erosivi instauratisi all'interno delle vallecole dei Botri del Lenzo, Botro di Rioddi, Botro Marmaio e di Botra e Botro Pagliaio, hanno favorito, in concomitanza con l'immersione di pochi gradi della stratificazione verso Nord-Ovest, l'instaurarsi di processi erosivi rapidi con formazione di calanchi, soprattutto in presenza di un'inclinazione a reggipoggio degli strati rispetto alla morfologia.

Tutte le aree indagate fanno capo ad impluvi impostati secondo morfologie calanchive ad esclusione del Botro dello Sgricciolo dove la coltre detritica ricopre le argille. In generale,

quindi, gli scivolamenti verso valle delle aree in testata dei fossi sono innescate da fenomeni di richiamo verso il ciglio dei calanchi che normalmente tendono ad arretrare estendendo la loro area di influenza. Il caso più evidente lo ritroviamo poco a valle del Podere Pagliaio dove è evidente un'ampia zona sconnessa che scivola verso il calanco.
Un'altra evidenza è la zona di Fontecorrenti, dove i fenomeni di richiamo verso il calanco del Botro di Brota sembrano aver avuto un lieve rallentamento in seguito agli interventi di regimazione eseguiti lungo il versante.

Tuttavia, anche in assenza di fenomeni di scivolamento Il terreno, quando costituito da coltre detritica, cede normalmente anche per il solo peso dei fabbricati che insistono su di esso e ciò spiega perché, pur in assenza di pendenze significative, come ad esempio nella zona delle Colombaie, si ritrovino a tutt'oggi numerosi edifici lesionati.

Quando poi, oltre alla presenza della coltre detritica, il versante si dispone su pendenze pari o superiori al 15%, allora si innescano vere e proprie superfici di scivolamento, all'interfaccia tra il substrato consistente ed il detrito o addirittura all'interno del substrato, anche se i movimenti che si producono lungo di esse sono molto lenti, dell'ordine di pochi millimetri per anno.
La presenza di una coltre colluviale è da tempo nota ma i suoi spessori ed i suoi lenti movimenti gravitazionali sono stati spesso sottostimati o male interpretati, cosa per cui diversi interventi di consolidamento di edifici lesionali, con opere di sottofondazione con pali, si sono rivelati inefficaci anche nel breve periodo.

La gran mole di dati acquisiti durante gli ultimi anni, come l'analisi dei dati satellitari eseguita dall'Università di Firenze, le indagini sismiche, e i dati derivati dalle letture inclinometriche, hanno consentito di dettagliare ulteriormente, rispetto a quanto fatto nell'indagine del 2010, gli areali coinvolti dai dissesti, la velocità ed il loro stato di attività, nonchè gli spessori della coltre detritica.
Relativamente ai dati satellitari, che ricordiamo sono ristretti alle zone con presenza di possibili riflettori come edifici o strade, i geologi dell'Università di Firenze hanno realizzato una mappatura delle "aree di attenzione", nelle quali un numero consistente di dati PS, in particolare i dati recenti CSK, indicano velocità significative, superiori alla soglia di

stabilità.

In particolare sono state distinte 2 tipologie di aree di attenzione:

- area di attenzione di tipo 1: area in cui la velocità media di tutti i PS inclusi al suo interno è superiore al range stabile (± 2 mm/anno) e compresa tra i 2 e i 5 mm/anno;
- area di attenzione di tipo 2: area in cui la velocità media di tutti i PS inclusi al suo interno è superiore al range stabile (± 2 mm/anno) e superiore ai 5 mm/anno.

Relativamente ai dati sismici, dagli archivi comunali sono stati acquisiti circa 20 nuovi profili del tipo MASW e due prove in foro del tipo Down Hole. Parte dei profili MASW presenta un primo spessore di terreni con velocità Vs di circa 200 m/s che si estende nel sottosuolo fino a profondità di 10/15 metri (esempio S10, 14, 15, 17, 20, 22), da interpretare come terreni detritici soffici e/o argille poco consistenti.

In alcuni profili lo spessore dei terreni con basse velocità si riduce a spessori di circa 5 metri (esempio S8, 11, 19, 21), mentre in rari profili le velocità sono subito superiori a 200 m/s (esempio S5, 12). Questi ultimi profili sono stati eseguiti nella parte alta del versante, all'interno del substrato sabbioso consistente.

In tutte le acquisizioni, ad esclusione del profilo S22, le velocità aumentano in profondità fino a Vs comprese tra 400 e 500 m/s da riferirsi ai terreni argillosi compatti. In due casi le velocità raggiungono valori pari a 700 m/s (S11 ed S12), forse leggermente sovrastimate rispetto alla effettiva consistenza del substrato.

Relativamente al monitoraggio dei 7 inclinometri, 2 sono giunti a rottura per movimenti a notevoli profondità (S2 a 16 metri ed S8 a 18 metri). L'S1 presenta spostamenti a 11 e 17 metri e l'S7 presenta spostamenti più superficiali, a 4 metri del p.d.c.

I restanti tre segnalano spostamenti non significativi.

L'indagine eseguita consente ora di impostare correttamente sia le azioni di pianificazione che quelle di edificazione del versante Sud di Volterra.

Le une e le altre non potranno prescindere dalla realizzazione di interventi di difesa a carattere generale che producano una preliminare stabilizzazione dei suoli agendo sulla regimazione delle acque.

Innanzitutto dovrà essere perseguito il rallentamento dell'erosione rapida dei versanti e dell'arretramento delle testate dei corsi d'acqua: Botro del Lenzo, Botro dello Sgricciolo, Botro di Rioddi, Botro Marmaio e Botro Pagliaio agendo così come è stato recentemente fatto per il Botro di Botra che è stato oggetto di un'importante opera di bonifica e sistemazione idraulica i cui effetti di stabilizzazione si estendono ampiamente verso monte.

A corredo questi interventi sarà senz'altro utile prevedere alcuni fossi di guardia nei tratti di versante a monte delle zone con presenza di coltre detritica. In tal modo sarà possibile limitare il grado di imbibizione della coltre migliorandone le caratteristiche geotecniche. Questi interventi dovranno però essere attentamente valutati poiché abbattere i quantitativi di acqua nella coltre detritica può comportarne la contrazione volumetrica della stessa, con l'innesco di fenomeni di lesionamento a carico dei fabbricati.

In via preliminare per la zona di San Lazzaro è possibile prevedere un fosso di guardia nel tratto ovest del versante che ripercorra il vecchio tracciato ferroviario, fino a condurre le acque verso il ramo ovest del Botro del Pagliaio. In questa zona potrebbero essere convogliate le acque di un ulteriore fosso di guardia da realizzarsi a monte dello stadio comunale.
Per la zona di Fontecorrenti-Cappuccini, è possibile prevedere un fosso di guardia che corra lungo la scarpata al bordo superiore della valle, nella zona compresa tra l'incrocio via Landini, Via dei cappuccini e le case popolari di Via di Fontanella. Sorpassate la case popolari, il fosso di guardia potrebbe riconnettersi al reticolo esistente che convoglia le acque verso il fondovalle del Botro di Botra.
Per la zona delle Colombaie, non sembra possibile prevedere alcun fosso di guardia nella parte superiore del versante per la presenza di abitazioni e strade. Sembra invece possibile realizzare un fosso di guardia immediatamente a monte della località il Cipresso che potrà svilupparsi in direzione nord al piede della scarpata. Le acque raccolte potranno quindi essere convogliate verso il Botro del Lenzo.

Gli interventi sopra descritti, di stabilizzazione dei suoli a livello di area complessiva, potranno agire in parallelo con gli interventi puntuali di edificazione impostati su un quadro

conoscitivo del sottosuolo finalmente esaustivo, invertendo la tendenza riscontrata negli ultimi anni sul versante Sud del colle di Volterra, dove un'elevata quota degli interventi edilizi ed infrastrutturali si sono rivelati non completamente efficaci.

Il completamento della rete fognaria della città con la realizzazione del depuratore di Volterra Sud costituisce senza dubbio un intervento altrettanto efficace ai fini della stabilizzazione dei suoli potendo così eliminare i diffusi sversamenti delle acque reflue alla testata di vallecole in fase di erosione.
Egualmente il rinnovamento della rete fognaria, nei tratti affetti da ripetute perdite, eliminerà una delle concause dei processi di dissesto.

Ponsacco, Novembre 2016

Geol. Francesca Franchi

Geol. Luciano Giuntini

Geol. Emilio Pistilli