



**GIUNTA REGIONALE DEL LAZIO**

.....

ESTRATTO DAL PROCESSO VERBALE DELLA SEDUTA DEL 04/10/2005

=====

ADDI' 04/10/2005 NELLA SEDE DELLA REGIONE LAZIO, VIA CRISTOFORO COLOMBO 212 ROMA, SI E' RIUNITA LA GIUNTA REGIONALE COSI' COMPOSTA:

MARRAZZO	Pietro	Presidente	DE ANGELIS	Francesco	Assessore
		Vice			
POMPILI	Massimo	Presidente	DI STEFANO	Marco	"
ASTORRE	Bruno	Assessore	MANDARELLI	Alessandra	"
BATTAGLIA	Augusto	"	MICHELANGELI	Mario	"
BONELLI	Angelo	"	NIERI	Luigi	"
BRACHETTI	Regino	"	RANUCCI	Raffaele	"
CIANI	fabio	"	RODANO	Giulia	"
COSTA	Silvia	"	TIBALDI	Alessandra	"
			VALENTINI	Daniela	"

ASSISTE IL SEGRETARIO: Domenico Antonio Cuzzupi

\*\*\*\*\* OMISSIS

ASSENTI: Rodano

DELIBERAZIONE 831

Oggetto:

Dichiarazione dello stato di calamità per il territorio del Comune di Guidonia Montecelio (RM) e di Tivoli a causa del fenomeno della subsidenza. Richiesta alla Presidenza del Consiglio dei Ministri-Dipartimento Protezione Civile - della dichiarazione dello stato di emergenza, ai sensi e per gli effetti dell'art. 5 della legge 225 del 24.2.1992, con interventi, sostegni e risorse straordinarie dello Stato.



831-4 OTT. 2005

007

**OGGETTO:** DICHIARAZIONE DELLO STATO DI CALAMITA' PER IL TERRITORIO DEL COMUNE DI GUIDONIA MONTECELIO (RM) E DI TIVOLI A CAUSA DEL FENOMENO DELLA SUBSIDENZA. RICHIESTA ALLA PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI - DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE - DELLA DICHIARAZIONE DELLO STATO DI EMERGENZA, AI SENSI E PER GLI EFFETTI DELL'ART. 5 DELLA LEGGE 225 DEL 24.2.1992, CON INTERVENTI, SOSTEGNI E RISORSE STRAORDINARIE DELLO STATO.

LA GIUNTA REGIONALE

SU PROPOSTA DEL PRESIDENTE DELLA REGIONE LAZIO;



- VISTA la legge n. 225 del 24 febbraio 1992, - Istitutiva del Servizio Nazionale di Protezione Civile;
- VISTO il Decreto Legislativo n. 267 del 18 agosto 2000 - Testo Unico delle leggi sull'Ordinamento degli Enti Locali;
- VISTA la legge regionale n. 37 dell'11 aprile 1985 - Istituzione del Servizio di Protezione Civile nella Regione Lazio;
- VISTA la legge regionale n. 15 del 10 aprile 1991 - Modifiche ed integrazioni alla legge regionale n. 37;
- VISTO il Decreto Legislativo n. 112 del 31 marzo 1998 - Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dallo Stato alle Regioni ed agli Enti Locali, in attuazione della legge n. 59 del 15.3.1997;
- VISTA a legge regionale n. 14 datata 6 agosto 1999 - Organizzazione delle funzioni a livello locale per la realizzazione del decentramento amministrativo;
- VISTA la Relazione "Indagini per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli - Relazione conclusiva", consegnata in data 31 agosto 2001, da parte della Area 2A/08 "Difesa del Suolo" della Direzione Ambiente e Cooperazione tra i popoli, che sintetizza gli studi commissionati dalla Regione Lazio, ad Istituti di Ricerca universitari e ad esperti in discipline geologiche, e le indagini effettuate direttamente dagli Uffici regionali;
- CONSIDERATO che la citata Relazione evidenzia come l'area, intensamente urbanizzata, sia naturalmente interessata dal fenomeno della subsidenza, ma che negli ultimi anni tale fenomeno ha raggiunto valori di abbassamento dieci volte superiori alla media;
- CONSIDERATO che tale fenomeno è legato alla presenza nel sottosuolo di terreni a caratteristiche geotecniche scadenti e che la causa scatenante è il progressivo abbassamento della falda idrica che ha subito un'accelerazione negli ultimi 5-6 anni;
- CONSIDERATO che la Relazione individua quali probabili cause principali dell'abbassamento della falda il pompaggio delle acque da parte delle cave di travertino sommato, nel periodo primaverile-estivo, al contemporaneo pompaggio da parte delle Terme di Tivoli;
- CONSIDERATO che la Relazione esclude la conclusione del fenomeno ed al contrario prevede, perdurando le attuali condizioni, un sua rapida progressione;
- PRESO ATTO pertanto che, sulla base della citata relazione, un vasto territorio fortemente urbanizzato a confine dei Comuni di Guidonia Montecelio (frazione di Villalba) e di Tivoli (frazione di Bagni di Tivoli) è interessato da una forte subsidenza che ha già causato gravi danni agli edifici con coinvolgimento di centinaia di abitazioni civili e situazione di pericolo per gli abitanti;
- PRESO ATTO altresì che la Relazione ipotizza un aggravamento delle lesioni agli edifici, fino a conseguenze catastrofiche in caso di eventi sismici, e definisce il territorio come già fortemente disastroso e compromesso e classificabile come area a "subsidenza catastrofica";




831 - 4 OTT. 2005 *leg*

CONSIDERATO che le indagini effettuate hanno evidenziato fenomeni di subsidenza con lesioni agli edifici anche al di fuori dell'area finora indagata e che pertanto risulta necessario meglio definire il fenomeno;

EVIDENZIATO altresì che con nota N.46161/05 il Comune di Tivoli e con nota N. 63328 del 22/09/2005 il Comune di Guidonia hanno fatto istanza alla Regione Lazio di attivare tutte le procedure per la richiesta della dichiarazione dello "stato di calamità" per i fatti in parola;

CONSIDERATO che dovranno essere prese efficaci azioni di prevenzione e che dovranno essere valutate anche ipotesi di eventuale trasferimento dell'abitato, di inibizione di qualsiasi attività edificatoria e di contenimento di cause che determinano e favoriscono i processi di subsidenza in un quadro di sviluppo sostenibile;

 RITENUTO

necessario ed indispensabile l'adozione di immediati, urgenti e straordinari interventi per far fronte alla situazione di grave calamità in cui versa l'edificato del territorio citato, sia ai fini dell'incolumità delle persone ivi residenti e della salvaguardia del patrimonio edilizio, sia ai fini della delimitazione complessiva delle aree interessate dal fenomeno della subsidenza, per determinare le cause del fenomeno e le misure e norme di salvaguardia atte a regolamentare l'utilizzo delle risorse idriche e idrotermali del sottosuolo;

RITENUTO pertanto di dover dichiarare "lo stato di calamità" riguardante il territorio predetto a causa del fenomeno della subsidenza catastrofica in atto;

CONSIDERATO che per far fronte alla grave situazione determinatasi è necessario richiedere alla Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile, la dichiarazione dello stato di emergenza, ai sensi e per gli effetti di cui all'art. 5 della legge n. 225 del 24 febbraio 1992, con l'adozione di urgenti e straordinari provvedimenti e sostegni finanziari;

All'unanimità

#### DELIBERA

1. di proclamare "lo stato di calamità" per il territorio compreso fra il comune di Guidonia Montecelio (frazione di Villalba) e il comune di Tivoli (frazione di Bagni di Tivoli), interessato dal fenomeno di subsidenza catastrofica che ha già provocato gravi danni all'edificato e che, per la sua continua progressione, mette in pericolo gli abitanti ivi residenti;
2. di stabilire che per far fronte adeguatamente a tale situazione di grave rischio si rendono indispensabili, urgenti e straordinari provvedimenti, tendenti all'accertamento dettagliato dei danni e alla realizzazione di condizioni di sicurezza per le popolazioni, tendenti all'eliminazione di ogni condizione di rischio, alla delimitazione dell'area in subsidenza, alla determinazione delle cause del fenomeno attraverso ulteriori studi e ampliamento delle aree di indagine, alla definizione di norme per l'utilizzo sostenibile delle risorse idriche e idrotermali, alla definizione di norme atte a garantire il risanamento e la ricostruzione degli edifici anche in altri siti idonei.
3. di richiedere alla Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile, la dichiarazione dello "stato di emergenza", per il territorio compreso fra il comune di Guidonia Montecelio (frazione di Villalba) e il comune di Tivoli (frazione di Bagni di Tivoli), ai sensi e per gli effetti di cui all'art. 5 della legge n. 225 del 24 febbraio 1992, con l'adozione di urgenti e straordinari provvedimenti e sostegni finanziari per fronteggiare la situazione di emergenza precedentemente esposta;

4. La presente deliberazione sarà pubblicata nel bollettino ufficiale della Regione Lazio.

IL PRESIDENTE: F.to Pietro MARRAZZO

IL SEGRETARIO: F.to Domenico Antonio CUZZUPI



[- 5 OTT. 2005



REGIONE LAZIO

DIPARTIMENTO TERRITORIO

DIREZIONE REGIONALE AMBIENTE E COOPERAZIONE TRA I POPOLI

ALLEG. alla DELIB. N. ....  
DEL - 4 OTT. 2005

AREA "8" - DIFESA DEL SUOLO

Francesco Nolasco

"Indagini per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli".

Relazione conclusiva

Agosto 2005

REGIONE LAZIO  
DIP. COOP. TERR. E S.M.E.  
AUT. REGIONALE

ALLEGATO COMPOSTO DA 67 PAGINE



## SOMMARIO

1	PREMESSA.....	4
2	RIUNIONI ORGANIZZATIVE PROPEDEUTICHE.....	7
3	DELIMITAZIONE DELL'AREA ESAMINATA E INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	9
4	PROVE DEI FENOMENI DI SUBSIDENZA.....	12
5	SINTESI DEGLI STUDI SPECIALISTICI EFFETTUATI PER DETERMINARE LE CAUSE DEI DISSESTI.....	19
5.1	INDAGINI GEOELETTRICHE: RILIEVI GEOELETTRICI E TOPOGRAFICI. DOTT. STEFANO RIZZO.....	19
5.1.1	Esame dei dati acquisiti.....	21
5.2	INDAGINI GEOPISICHE: RILIEVI MICROGRAVIMETRICI E SISMICI". PROF. BENIAMINO TORO E MICHELE DI FILIPPO.....	22
5.3	INDAGINI ASSETTO STRUTTURALE E MICROZONAZIONE SISMICA. PROF. RENATO FUNICIELLO.....	24
5.3.1	Assetto Strutturale.....	24
5.3.2	Microzonazione Sismica.....	29
5.3.2.1	Metodologia.....	29
5.3.2.2	Elaborazione dei dati.....	30
5.4	ANALISI CAMPIONI DI ACQUA E DI GAS. PROF. SALVATORE LOMBARDI.....	32
5.4.1	Prospezione dei gas nel suolo.....	33
5.4.2	Prospezione idrogeochimica.....	35
5.5	INDAGINI IDROGEOLOGICHE. PROF. PAOLO BONO.....	36
5.6	QUADRO ATTIVITÀ ESTRATTIVE. A CURA DEI TECNICI REGIONALI.....	39
5.7	UTILIZZO ACQUE TERMOMINERALI (TERME DI ROMA). A CURA DEI TECNICI REGIONALI.....	42
5.8	RILIEVO DEGLI EFFETTI MACROSCOPICI DEL FENOMENO IN ATTO. A CURA DEI TECNICI REGIONALI.....	45
5.8.1	Metodo di rilievo.....	45
5.8.2	Analisi dei dati.....	48
5.9	ELEMENTI DI GEOGNOSTICA E GEOTECNICA. A CURA DEI TECNICI REGIONALI.....	53
5.9.1	Acquisizione di dati geognostici e indagini preliminari.....	53
5.9.2	Analisi dei dati geognostici.....	54
6	PALEOMORFOLOGIA DELL'AREA.....	56
7	ASPETTI SALIENTI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI EFFETTUATE.....	57
8	CAUSE DEI DISSESTI AGLI EDIFICI DI BAGNI DI TIVOLI E DI VILLALBA DI GUIDONIA.....	62
9	CONCLUSIONI, SUGGERIMENTI E RACCOMANDAZIONI.....	64

## ***Presentazione***

*I numerosi dissesti che negli ultimi tempi si sono verificati in diverse abitazioni situate nella parte centrale della zona di Bagni di Tivoli hanno indotto la Regione Lazio a programmare uno studio di dettaglio per l'individuazione delle cause e a supporto d'iniziative future.*

*La Giunta regionale ha pertanto approvato un progetto d'indagini, coordinato dal Dott. Geol. Francesco Nolasco, che è stato condotto con perizia da tutti gli specialisti che vi hanno preso parte e concluso nei tempi preventivati.*

*Questa relazione di sintesi, condotta in modo organico e coerente, è quindi il compendio degli studi e delle indagini che sono state condotte e fornisce, oltre alle cause dei dissesti, anche un'approfondita "radiografia" scientifica di questo territorio.*

***Raniero De Filippis***

**Partecipanti alle ricerche:****Docenti Universitari e Liberi Professionisti**

- **Dott. Stefano Rizzo**, libero professionista "Indagini geoelettriche (Rilievi geoelettrici e tomografici) per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli".
- **Prof. Beniamino Toro**, Università "La Sapienza" di Roma, Dipartimento di Scienze della Terra "Indagini geofisiche per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli: Rilievi microgravimetrici e sismici".
- **Prof. Renato Funicello**, Università "RomaTre", Dipartimento Scienze Geologiche "Indagini di microzonazione sismica e modello strutturale, per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli".
- **Prof. Salvatore Lombardi**, Università "La Sapienza" di Roma, Dipartimento di Scienze della Terra "Indagini geochimiche per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli: Analisi campioni di acqua e di gas".
- **Prof. Paolo Bono**, Università "La Sapienza" di Roma, Dipartimento di Scienze della Terra "Indagini idrogeologiche per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli".

**Collaboratori regionali Tecnici**

<b>Nome</b>	<b>Qualifica</b>	<b>Incarico specialistico</b>
Raniero De Filippis	Direttore Regionale	Responsabile del Procedimento
Francesco Nolasco	Dirigente Geologo	Responsabile del progetto
Maurizio Meiattini	Dirigente Ingegnere	Indagini sulle deformazioni
Fulvio Colasanto	Funzionario Geologo	Indagini sulle deformazioni
Antonio Colombi	Funzionario Geologo	Aspetti geofisici e indagini prel/prop
Antonio Gerardi	Funzionario Geologo	Aspetti geofisici
Eugenio Di Loreto	Funzionario Geologo	Geologia strutturale e ind. prel/prop
Adelaide Sericola	Funzionario Geologo	Aspetti idrogeologici
Giacomo Catalano	Funzionario Geologo	Aspetti idrogeologici
Fabio Meloni	Funzionario Geologo	Microzonazione sismica
Daniela Nolasco	Funzionario Geologo	Analisi geochimiche (acqua e gas)
Alberto Orazi	Funzionario Geologo	Prospezioni geognostiche

*Indagini per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto  
e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli*

<b>Lorenzo Liperi</b>	Funzionario Geologo	Prospezioni geognostiche e indagini prel/prop
<b>Massimo Toccaceli</b>	Funzionario Geologo	Aspetti geotecnici
<b>Pietro Zizzari</b>	Funzionario Geologo	Aspetti connessi all'attività mineraria
<b>Claudio Bicocchi</b>	Funzionario Geologo	Informatizzazione dati e ambiente GIS
<b>Giuseppe De Paolis</b>	Funzionario Geometra	Aspetti cartografici e topografici

### **Collaboratori regionali non tecnici**

<b>Simonetta Giacchetti</b>	Istruttore	Amministrativo
<b>Patrizia De Meis</b>	Istruttore Direttivo	Amministrativo
<b>Fausta Ghinelli</b>	Istruttore Direttivo	Amministrativo
<b>Angelo Brizi</b>	Istruttore	Collaboratore



## 1 PREMESSA

Da alcuni anni in una vasta zona della Piana di Bagni di Tivoli, sono in atto fenomeni di subsidenza particolarmente evidenti nel comprensorio a cavallo fra il Comune di Tivoli (Via Cesare Augusto) e di Guidonia (Villalba Nord-Ovest - Via Napoli), che hanno prodotto una serie di dissesti visibili su numerosi edifici.

Dopo i primi accertamenti tecnici del 16/7/2003, il Dott. Geol. F. Nolasco, Dirigente dell'Area Difesa del Suolo, formulò l'ipotesi che i danni agli edifici, improntabili a motivi di ordine geologico di natura non definita, potevano avere origine da tre diverse cause principali: geotecniche (terreni di fondazione con differenti caratteristiche e opere fondali non adeguate); abbassamento della falda idrica con disidratamento dei terreni e modifiche delle caratteristiche geotecniche (concausa emungimento attività estrattive poste a circa 2 km di distanza); sinkhole in evoluzione.

Partendo da queste considerazioni ed in presenza di una situazione di massima all'erta, si è reputato indispensabile individuare, mediante uno studio di estremo dettaglio supportato da indagini specializzate, le cause del fenomeno e quindi programmare successivamente eventuali ipotesi di intervento a salvaguardia dell'incolumità dei cittadini e delle abitazioni.

Con Delibera n° 1178 del 3.12.2004, la Giunta Regionale ha approvato il progetto delle indagini predisposto dal Dott. F. Nolasco ed ha fissato i tempi di esecuzione delle stesse in mesi sei.

In esecuzione del punto 4 della suddetta Delibera, il progetto prevedeva la concomitante azione di ricerca di diverse discipline scientifiche con il supporto di indagini di campagna e di analisi bibliografiche e cartografiche specializzate.

E' stato quindi dato incarico, con singoli contratti e convenzioni, a Ricercatori Universitari e professionisti, altamente qualificati nelle varie discipline.

In particolare:

- Dott. Stefano Rizzo, libero professionista "Indagini geoelettriche (Rilievi

geoelettrici e tomografici) per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli".

- Prof. Beniamino Toro, Università "La Sapienza" di Roma, Dipartimento di Scienze della Terra "Indagini geofisiche per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli: Rilievi microgravimetrici e sismici".
- Prof. Renato Funicciello, Università "RomaTre", Dipartimento Scienze Geologiche "Indagini di Microzonazione sismica e modello strutturale, per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli".
- Prof. Salvatore Lombardi, Università "La Sapienza" di Roma, Dipartimento di Scienze della Terra "Indagini geochimiche per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli: Analisi campioni di acqua e di gas".
- Prof. Paolo Bono, Università "La Sapienza" di Roma, Dipartimento di Scienze della Terra "Indagini idrogeologiche per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli "

A supporto del lavoro degli esperti impegnati nelle indagini specialistiche, la Regione Lazio, con Determinazione Dirigenziale B4579 del 30.11.2004, ha coinvolto il proprio personale tecnico e amministrativo che ha provveduto ad implementare le conoscenze, svolgere attività di ricerca autonoma, espletare ogni attività amministrativa connessa all'esecuzione dei contratti di ricerca. In particolare il personale tecnico dell'Amministrazione regionale, ha provveduto fra l'altro, a svolgere le attività previste al punto 1 (Indagini preliminari e propedeutiche) e al punto 2 (Indagini sulle deformazioni) del progetto di ricerca, acquisendo tutta la documentazione pregressa disponibile ed effettuando il controllo sistematico degli edifici, attraverso la redazione di singole schede con l'individuazione delle tipologie

dei danni presenti. Infine i tecnici regionali hanno anche effettuato l'omogeneizzazione e informatizzazione dei dati finali delle indagini specialistiche. A tal proposito e' stato impostato un geodatabase in formato Microsoft Access ed è stato sviluppato un progetto cartografico in ambiente ArcGis per la rappresentazione dei dati inseriti nel geodatabase stesso.

Prima della Premessa sono riportati i nomi dei Docenti universitari, dei Liberi Professionisti e dei Dipendenti regionali che hanno partecipato attivamente alla ricerca. Per questi ultimi sono indicate le specializzazioni che hanno in dettaglio curato e sviluppato. Per non appesantire il lavoro non saranno più richiamati nel testo anche se è il caso di rilevare che lo studio è stato corale e che tutti hanno partecipato con entusiasmo collaborando intensamente anche nelle materie non di specifica competenza.

La presente relazione, come previsto dalla Deliberazione Regionale, è la sintesi dei risultati derivanti dalle ricerche effettuate e dai dati reperiti e compone in modo organico il quadro tecnico-scientifico nel quale avvengono i fenomeni lamentati. Le indicazioni che si forniscono circa le cause dei dissesti sono pertanto il risultato di una visione globale delle diverse indagini, ognuna delle quali ha prodotto il proprio supporto specialistico ma parziale, per cui, a volte, le conclusioni della relazione finale non collimano con quelle dei singoli studi.

## **2 RIUNIONI ORGANIZZATIVE PROPEDEUTICHE**

Al fine di operare una ricerca coordinata e rendere tutti partecipi dell'evoluzione degli studi, sono stati organizzati diversi incontri, anche settoriali, fra gli operatori, i più significativi dei quali sono:

11 Gennaio 2005, presso la Regione Lazio, primo incontro con tutti i funzionari regionali del Gruppo di Lavoro operativo per la puntualizzazione dei singoli incarichi affidati, per gli approcci nelle diverse specializzazioni, per l'organizzazione dei lavori, con la presa d'atto delle finalità degli studi. Con questo incontro è stato dato l'avvio agli studi ed alle ricerche;

20 gennaio 2005, presso la Regione Lazio, prima riunione con i rappresentanti dell'Università degli Studi Roma Tre e Roma La Sapienza, nonché con gli esperti liberi professionisti, per definire i termini e le modalità di collaborazione derivanti dai rapporti contrattuali stipulati;

26 Gennaio 2005, nell'area in studio è stato organizzato un sopralluogo congiunto tra tutti i tecnici Regionali operanti nel Gruppo di Lavoro, i Ricercatori delle Università ed i liberi professionisti. Al sopralluogo erano presenti anche rappresentanti dell'Amministrazione Provinciale di Roma, del Comune di Tivoli, del Comune di Guidonia, della Società Terme di Roma, nonché gli Amministratori dei Condomini e alcuni inquilini degli stabili danneggiati. Nel corso della ispezione sono stati esaminati diversi edifici lesionati sia nella zona di Bagni di Tivoli che nella limitrofa via Napoli nel Comune di Guidonia. Sono stati anche verificati alcuni sprofondamenti recenti del suolo verificatesi nel comprensorio, le cui tracce erano ancora osservabili e infine è stata presa visione dello stato di fatto dei laghi della Regina e delle Colonnelle.

17 Febbraio 2005, riunione dei tecnici del Gruppo di Lavoro della Regione aventi gli incarichi relativi alle "Indagini preliminari e Propedeutiche", alle "Indagini geognostiche" e alla "Informatizzazione dei dati". Nel corso della riunione si è fatto il punto sul materiale bibliografico in possesso e quello raccolto, con particolare

riguardo a pregresse indagini geognostiche e a studi specifici;

11 aprile 2005, presso la sede della Regione Lazio, si è tenuta una riunione con i rappresentanti dell'Università "Roma la Sapienza", Prof. Bono, De Filippo, Lombardi, Toro e il Dott. Rizzo per fare il punto, a distanza di tre mesi, sullo stato di attuazione dei vari contratti di ricerca. Sono stati altresì illustrati i dati delle indagini preliminari e, da alcuni, lo stato di avanzamento dei lavori;

31 maggio 2005, presso la sede della Regione Lazio, la società T.R.E. – Telerilevamento Europa ha presentato i risultati dello studio finalizzato alla quantificazione delle deformazioni superficiali del terreno ricavate dall'elaborazione di dati SAR satellitari, mediante la tecnica dei Permanent Scatterers, in un'area di circa 37 kmq centrata sul quartiere di via Cesare Augusto;

10 giugno 2005, si è svolta la riunione con tutti i ricercatori coinvolti nello studio nel corso della quale sono stati illustrati i dati degli abbassamenti del suolo registrati dai satelliti e sono stati presentati i risultati finali degli studi effettuati. Si è convenuto che la consegna delle relazioni finali corredate dai dati e dalle cartografie debba avvenire entro la fine del mese di giugno.

### 3 DELIMITAZIONE DELL'AREA ESAMINATA E INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio (Fig. 1) si trova circa 10 km ad est di Roma, all'interno del Bacino delle Acque Albule che si presenta come una depressione morfologica di recente formazione avente un'estensione di circa 30 km<sup>2</sup>, una lunghezza in senso meridiano di circa 7 km e una pendenza generale da nord verso sud e da est verso ovest, con quote topografiche che variano da circa 80 m s.l.m. a meno di 50 m s.l.m.

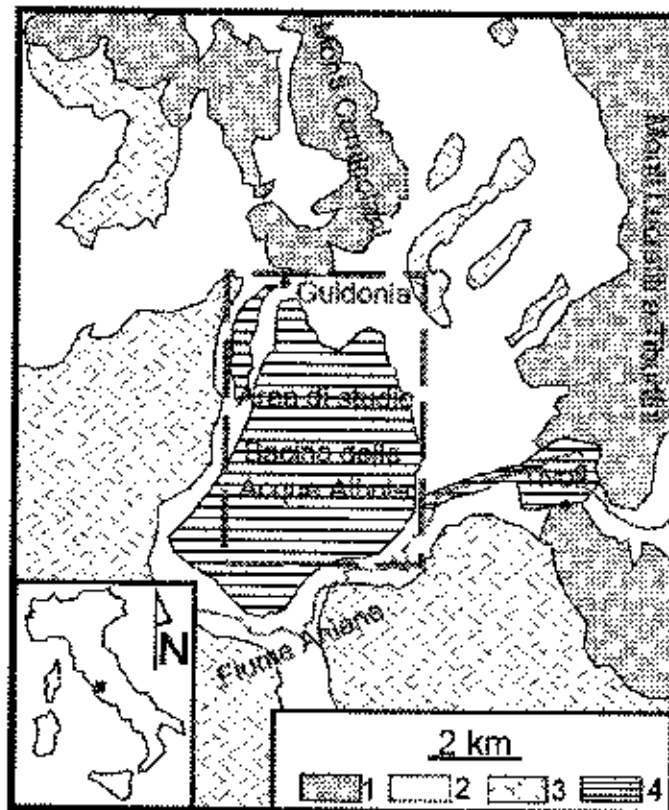


Figura 1 - Ubicazione e schema litostratigrafico dell'area di studio. 1) Unità carbonatiche mesozoiche; 2) depositi sedimentari plio-quadernari; 3) depositi piroclastici appartenenti al Distretto vulcanico dei Colli Albani; 4) depositi travertinosi.

La parte centrale e settentrionale della Piana delle Acque Albule è fortemente antropizzata in quanto sono presenti, fra l'altro, le seguenti realtà:

- parte del centro abitato di Guidonia e delle frazioni Villalba;
- il centro abitato di Bagni di Tivoli (Tivoli e Guidonia);
- la linea ferroviaria Roma - Avezzano
- la strada statale Tiburtina Valeria

- il complesso termale “Bagni di Roma”;
- la concessione di acqua termominerale “Acque Albule”, di Ha 1136.90.00, concessionario Comune di Tivoli (scadenza concessione il 11.1.2031)
- numerose cave di travertino in attività sia nell’ambito del territorio di Tivoli (Barco, Vallepilella) sia in quello di Guidonia (Le Fosse);

La situazione geologica della piana è caratterizzata da un deposito di travertino litoide potente almeno 80 metri, circoscritte aree in cui sono presenti depositi limo argillosi di origine palustre, anche di spessore consistente, riempimenti di detriti e residui di attività estrattive e, lungo i bordi, depositi vulcanici (tufi e pozzolane) e alluvionali.

Attualmente, i depositi travertinosi occupano un’area di oltre 20 km<sup>2</sup> (circa il 70% dell’intera superficie del bacino ).

I materiali più litoidei sono coperti da un bancone di travertino quasi spugnoso ed incoerente conosciuto come testina o cappellaccio, il cui spessore è variabile e raggiunge i suoi valori massimi nella parte centrale del bacino. Carmelo Maxia definisce questa facies travertinosa come “Tartari delle Acque Albule-Pietra spugna”.

La stratigrafia del settore centrale del bacino è costituita da travertino per uno spessore medio di circa 60 metri e massimo di oltre 85 metri, il quale poggia sopra ad una sequenza di argille, conglomerati e sabbie plio-quadernarie. Nel margine occidentale l’unità dei travertini è spessa circa 10 metri e giace su pochi metri di conglomerati ed almeno 75 metri di argille.

Verso est il travertino ha spessori assai esigui e poggia sopra depositi alluvionali ed epivulcanici.

Nella parte più orientale del bacino i travertini presentano un’alta componente di argilla e sabbia e risultano formati dalla precipitazione delle acque dell’Aniene, che scorre lungo il bordo dei Monti Tiburtini; si passa in questo settore a quella facies travertinosa conosciuta come tartaro, tipica dell’area delle cascate dell’Aniene presso Tivoli.

Il settore periferico del bacino si differenzia per il minor spessore della coltre

travertinosa che poggia sui depositi alluvionali e sulle piroclastiti albane. Almeno quattro colate piroclastiche bordano il margine meridionale del bacino; nel settore occidentale e nordorientale affiorano solo la I e la II colata del Tuscolano-Artemisio ed i relativi depositi epivulcanici. La loro messa in posto è compresa tra i 500 e 300 ka.

Nella zona delle Acque Albule sono riconoscibili delle depressioni, alcune di probabile origine carsica, doline, sedi di laghetti rinterrati e/o prosciugati o ancora attivi. Tra i primi, che a luoghi ospitano acque piovane stagionali, i più significativi sono il Lago dei Tartari e il Pantano.

Ancora attivi sono il lago di S. Giovanni e i due laghetti, della Regina e delle Colonnelle, sorgenti delle acque sulfuree dette "Albule" per il loro colore biancastro, lattiginoso.



#### **4 PROVE DEI FENOMENI DI SUBSIDENZA**

Buona parte dell'area in esame è soggetta, da tempo, a lenti fenomeni di subsidenza, abbassamenti della superficie del suolo, che hanno avuto una accelerazione specie in questi ultimi anni.

Le prove che testimoniano questo fenomeno possono essere distinte in prove dirette e prove indirette.

Le dirette sono rappresentate da fenomeni evidenti con riscontri visibili nel corso di verifiche di campagna e misurabili in situ, quelle indirette derivano dall'analisi di dati telerilevati o da connessioni logiche tra fenomeni apparentemente scollegati fra loro.

##### *Prove dirette*

Sono principalmente rappresentate da:

- danni ad edifici ed infrastrutture a seguito delle deformazioni del suolo;
- scollamenti fra le corti degli edifici e il suolo;
- modifiche superficiali (avvallamenti del suolo).

Nella zona più critica ed in una parte di quella circostante, sono stati riscontrati circa 140 edifici in qualche modo danneggiati (foto n. 1, 2), su un complessivo esaminato di circa 350 unità. Questo dato è indipendente dalla tipologia del dissesto e dalla consistenza dell'edificio stesso, ma è solo indicativo per valutare la portata del fenomeno.

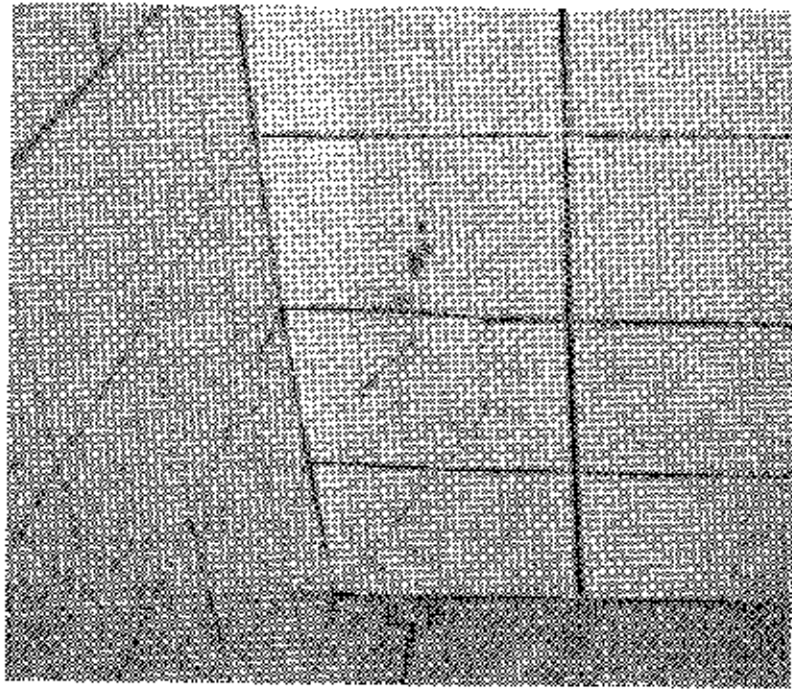


Foto 1 - Lesioni all'interno di un appartamento di Via Cesare Augusto

---

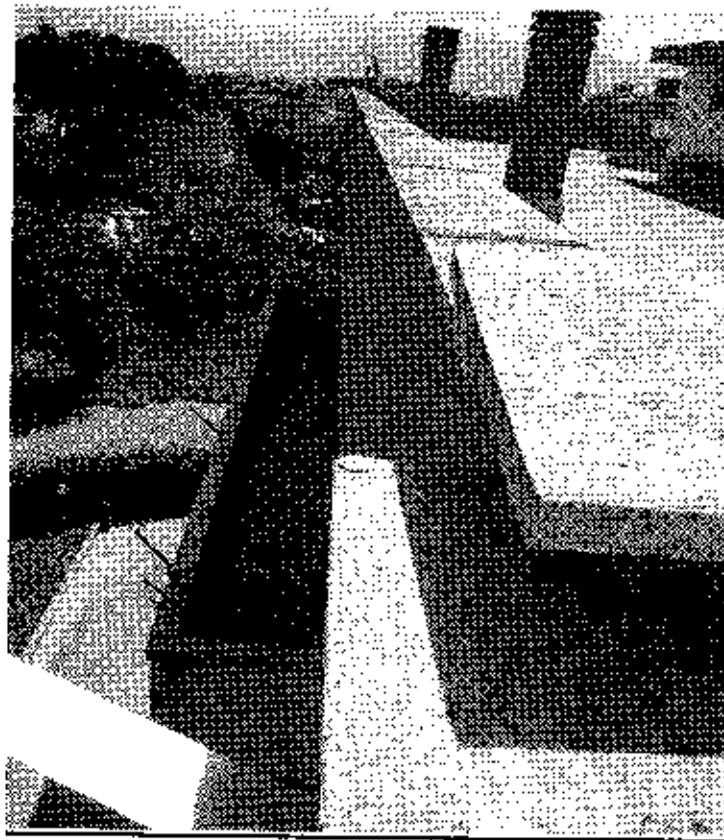


Foto 2 - Esempio di spostamenti in un edificio di Via Cesare Augusto

---

Dati di dettaglio relativi alle unità abitative sono riportati nelle schede

specifiche.

Per i danni alle infrastrutture, basta ricordare, fra tutti, i dissesti cui è soggetta in particolare la Via C. Augusto e che si configurano come fessurazioni del manto stradale e avvallamenti.

Lungo il perimetro della corte di alcuni edifici e il suolo naturale esistono tratti in cui questo ultimo risulta ribassato anche di circa 30 cm. In particolare il fenomeno è osservabile nell'edificio di Via C. Augusto n. 81, a cui si riferisce la foto n. 3.

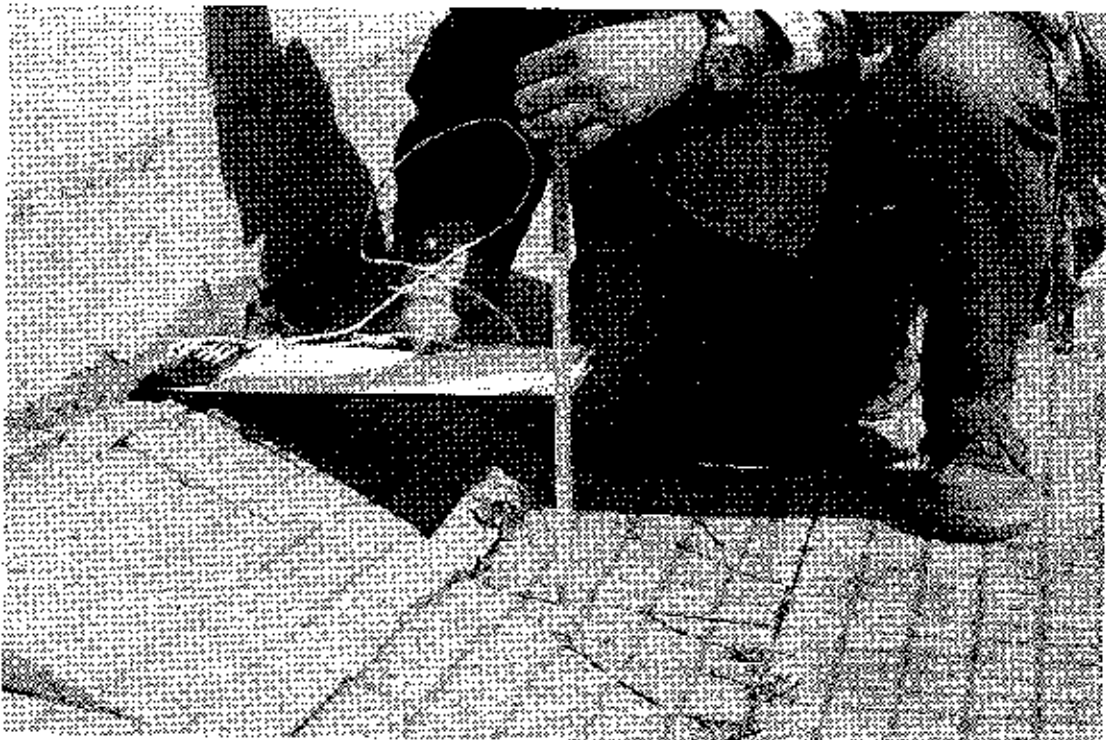


Foto 3 - Abbassamento del suolo in Via Cesare Augusto, 81. L'entità, in questo caso, è stata valutata in circa cm 25.

A Nord dell'edificio di Via C. Augusto n. 81, nello slargo a Sud-Ovest degli edifici condominiali e a Nord della porzione del complesso abitativo di Villalba di Guidonia, sono stati riconosciuti alcuni cedimenti del terreno con formazione di depressioni localizzate.

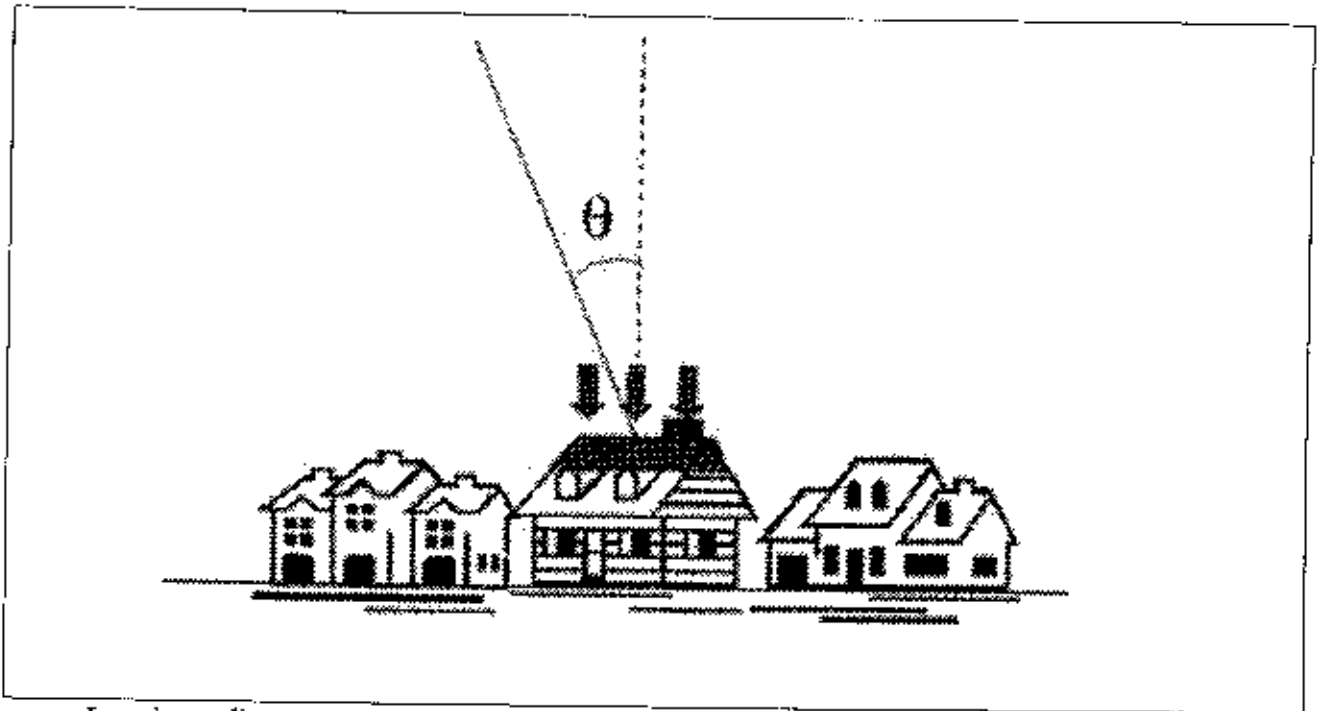
### *Prove indirette*

La Regione Lazio ha acquisito i dati relativi alle velocità di deformazione del suolo misurate con la tecnica dei Permanent Scatterers (Satellite ESA-ERS 1/2, orbita ascendente e discendente) relativamente al periodo 11 giugno 1992 – 18 febbraio 2001.

I dati suddetti sono scaturiti dall'elaborazione di 2 datasets di dati radar SAR relativi all'area forniti dai satelliti ERS in modalità ascendente e discendente. Per ogni dataset è stata elaborata un'area di circa 37 kmq centrata sul quartiere di via Cesare Augusto.

Nell'interpretazione del dato radar risulta fondamentale tenere in considerazione la geometria di acquisizione. Generalmente i satelliti acquisiscono lungo una direzione inclinata di un angolo  $\theta$  (circa 23 gradi per i satelliti ERS) rispetto alla verticale, denominata linea di vista (*Line of Sight, LOS*). Questo significa che i movimenti misurati, essendo variazioni di distanza, sono in realtà la proiezione degli spostamenti del punto lungo la congiungente sensore-bersaglio.

In assenza di moti orizzontali, il movimento stimato è facilmente riconducibile alla deformazione lungo la direzione verticale, ma se la struttura in analisi è affetta anche da spostamenti orizzontali, la misura ottenuta è la combinazione dei due fenomeni. Utilizzando una sola geometria di acquisizione non è in generale possibile distinguere i due contributi.



Le misure di spostamento sono relative alla componente del vettore spostamento lungo la congiungente sensore-bersaglio. Dato che l'angolo di incidenza (per i sensori ESA-ERS) è di soli 23 gradi, il sistema è sensibile soprattutto agli spostamenti verticali.

Gli spostamenti stimati mediante tecnica PS sono frazioni della lunghezza d'onda del sensore utilizzato. Lo spostamento massimo misurabile è funzione di questo parametro e del campionamento temporale del fenomeno. Infatti è possibile misurare solo spostamenti inferiori ad un quarto della lunghezza d'onda tra due acquisizioni successive. Nel caso di satelliti ESA-ERS, la lunghezza d'onda è pari a 5.66 cm, e il satellite acquisisce potenzialmente una nuova immagine ogni 35 giorni. Quindi lo spostamento massimo misurabile è di circa 1 cm in 35 giorni.

Nelle figure 2a e 2b, sono rappresentate le velocità medie di deformazione stimate nell'area in esame per i dataset elaborati. La base cartografica utilizzata per la rappresentazione è costituita dalle ortofoto aeree della Regione Lazio relative al volo eseguito dalla C.G.R. di Parma nel 1998-1999.

La scala colori utilizzata per visualizzare le velocità medie di deformazione stimate, identifica con i colori giallo, arancione e rosso allontanamenti dal sensore lungo la LOS, con il verde punti sostanzialmente stabili (tra -1 e 1 mm/anno) e con varie tonalità di blu gli avvicinamenti al sensore lungo la LOS.

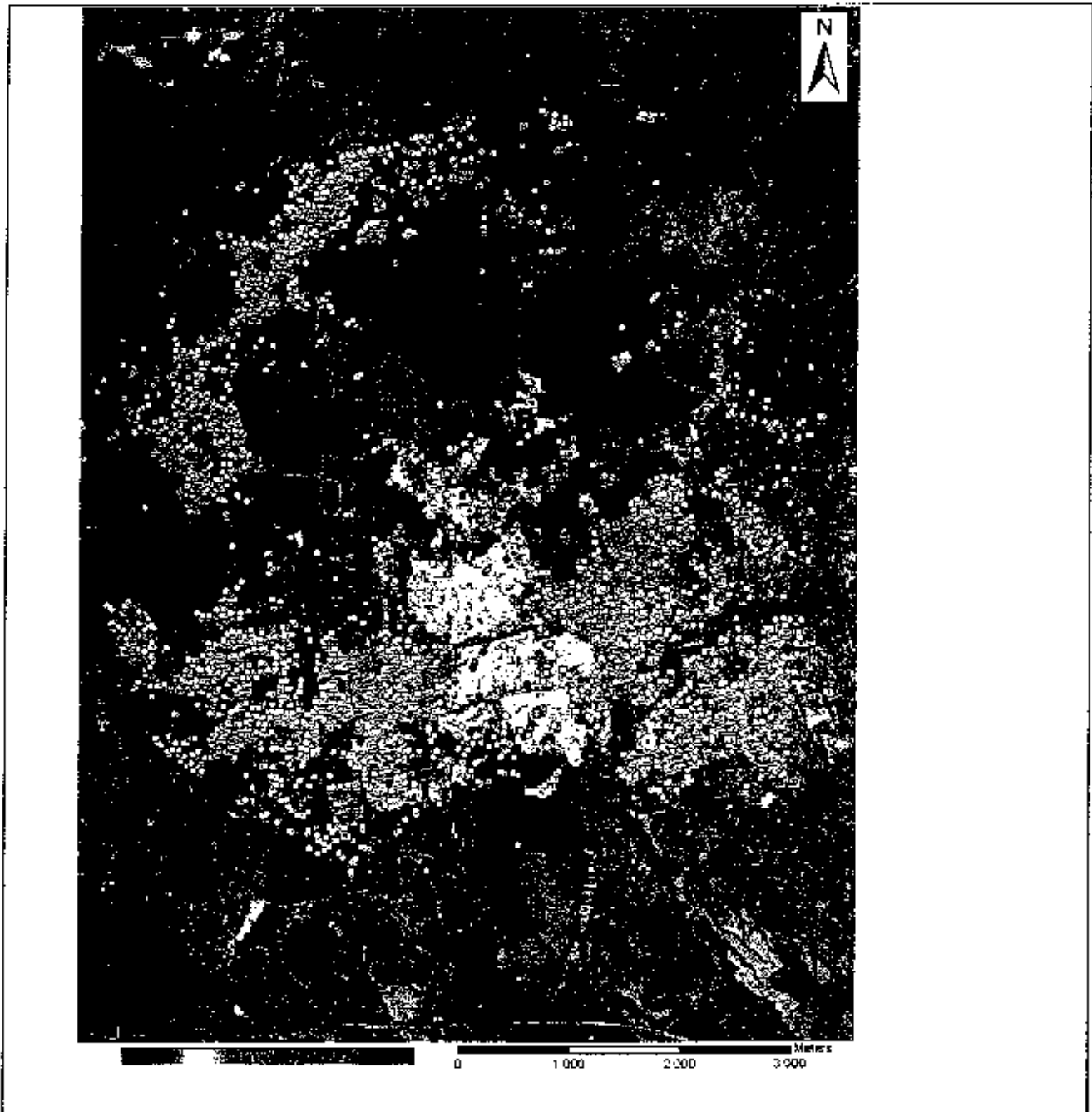


Fig. 2a - Campo di velocità di deformazione stimata nell'area di interesse ridotta. Le velocità sono espresse in mm/anno. Arco temporale 1993 - 2000. Orbita ESA-ERS ascendente.



Fig. 2b - Campo di velocità di deformazione stimata nell'area di interesse ridotta. Le velocità sono espresse in mm/anno. Arco temporale 1992 - 2001. Orbita ESA-ERS discendente.

## **5 SINTESI DEGLI STUDI SPECIALISTICI EFFETTUATI PER DETERMINARE LE CAUSE DEI DISSESTI**

### **5.1 INDAGINI GEOELETTRICHE: RILIEVI GEOELETTRICI E TOPOGRAFICI. DOTT. STEFANO RIZZO**

Le indagini di carattere geofisico utilizzate rappresentano quelle che al momento riescono ad offrire, soprattutto se combinate fra loro, un valido ausilio nella determinazione ed interpretazione del modello geologico strutturale del sottosuolo, in zone dove sia presente un notevole contrasto di densità fra i materiali ed i litotipi che rappresentano la serie locale. Ormai l'utilizzo di tecniche gravimetriche, sismiche e geoelettriche è collaudato sia in Italia sia all'estero laddove si è in presenza di zone in subsidenza lenta o accelerata di tipo naturale o artificiale.

Le indagini geoelettriche sono state prevalentemente condotte nella zona degli edifici di Via Cesare Augusto. La scelta è dipesa sostanzialmente dai limiti del finanziamento a disposizione ma anche perché le indicazioni attese si ritenevano sufficienti ad un inquadramento di dettaglio della problematica. Infatti i sondaggi elettrici Schlumberger (SEV) servivano per individuare la geometria dei terreni sepolti fino ad una profondità maggiore di 100 m, la tomografia elettrica il dettaglio dei terreni fino ad una profondità di circa 35 m.

Le indagini, svolte sul terreno nel periodo dal 31 gennaio al 28 aprile 2005, ubicati come in Fig. 3, hanno comportato l'esecuzione di:

- 17 sondaggi elettrici verticali con il metodo Schlumberger (SEV) con AB compreso tra 600 e 1.500 m;
- 17 profili di tomografia elettrica, passo 5 m, per complessivi 4.395 m.



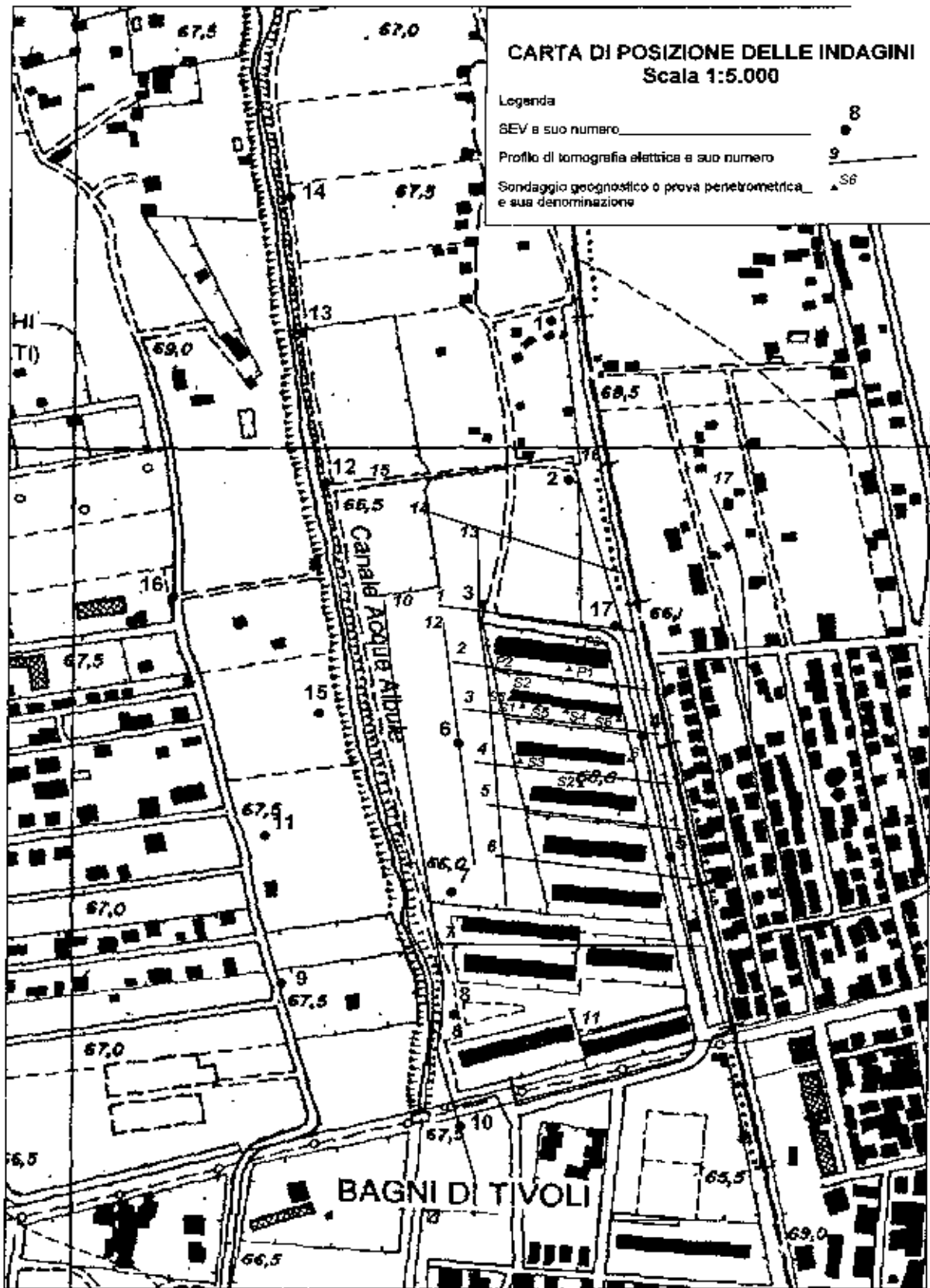


Figura 3

Le carte geoelettriche interpretative più significative ai fini dell'indagine sono:

- a) la carta della profondità del complesso resistente, che tiene conto di tutti i dati geoelettrici acquisiti;
- b) la carta degli spessori del complesso conduttore, ottenuta con i soli dati della tomografia elettrica, e che quindi è limitata alle sole zone indagate con tale metodo.

### 5.1.1 Esame dei dati acquisiti

#### *a) profondità del complesso resistente*

La carta della profondità del complesso resistente (travertini litoidi) mostra un quadro abbastanza articolato; le profondità maggiori di questo complesso resistente sono poste nel settore nord orientale, dove superano i 35 m, mentre quelle minori, inferiori a 9 m, occupano praticamente tutta la parte restante dell'area indagata. Nel settore centro occidentale il complesso resistente è sub affiorante, essendo posto a profondità inferiori a 6 m (3 m sul SEV 11).

In questo quadro sono presenti alcune aree "anomale":

- in corrispondenza dell'edificio più settentrionale, dove la profondità dei travertini supera i 15 m sul vertice occidentale;
- in corrispondenza della parte centrale del secondo edificio, sempre a partire da nord, dove la profondità supera i 9 m;
- in corrispondenza della coppia degli edifici, nel settore sud occidentale, il substrato è posto ad una profondità maggiore di 12 m;
- in corrispondenza della parte più occidentale dell'ultimo edificio i travertini sarebbero posti ad oltre 9 m;
- l'area a maggiore profondità del complesso resistivo si protrae verso sud, con profondità superiori a 9 m, e sembrerebbe interessare tutto il settore nord dell'abitato di Villalba.

#### *b) spessori del complesso conduttore*

La carta dello spessore del complesso conduttore, che è costituito da sabbie,

limi, argille, torbe e da pezzate di travertino frantumato, immerso in una matrice limosa grigia, rappresenta probabilmente quella più indicativa per la spiegazione dei dissesti rilevati nei fabbricati della zona se attribuiti al diverso comportamento dei terreni su cui poggiano i fabbricati.

Gli spessori maggiori del complesso conduttore sono situati:

- nel settore nord-orientale, dove la carta del Prof. Maxia, degli anni 50, riporta una grossa cavità;
- nella parte centrale dei primi due fabbricati a nord dell'area studiata, dove lo spessore supera i 25 m;
- nel settore occidentale dei fabbricati dal 3° al 6°, dove lo spessore supera sempre i 10 m;
- tra la coppia di palazzi nella zona sud-occidentale, con uno spessore maggiore di 8 m;
- nei pressi dell'angolo NE del sesto fabbricato, dove lo spessore supera i 10 m;
- vicino al vertice NO dell'ultimo palazzo nel settore SE, dove lo spessore supera gli otto metri;
- al vertice SE della zona indagata, dove però si è visto che l'anomalia potrebbe essere stata causata dalla presenza dell'acquedotto dell'Acqua Marcia.

## **5.2 INDAGINI GEOFISICHE: RILIEVI MICROGRAVIMETRICI E SISMICI". PROF. BENIAMINO TORO E MICHELE DI FILIPPO**

I rilievi Microgravimetrici e Sismici risultano fondamentali nella determinazione ed interpretazione del modello geologico strutturale del sottosuolo. L'utilizzo in particolare delle tecniche gravimetriche, già collaudato in diverse zone del Lazio, offre un quadro sostenibile sull'individuazione di zone con carenze di massa.

Infatti la parte conclusiva della Prospezione microgravimetrica prevedeva la realizzazione di "modelli bi-tridimensionali delle anomalie gravimetriche riconducibili a cavità o a zone con carenza di massa nel sottosuolo; carta delle zone con carenza di massa nel sottosuolo".

Parte delle Indagini Sismiche, così come programmate, erano maggiormente tese alla valutazione delle velocità delle onde nei litotipi presenti per la ricostruzione

sismostratigrafica dell'area; elementi comunque non tanto indispensabili nella ricerca delle cause del fenomeno della subsidenza, ma nella eventuale successiva campagna di ristrutturazione degli edifici danneggiati visto in particolare la componente sismica presente nella zona.

Pertanto non sono state effettuate le n. 4 prove down-hole nelle perforazioni più profonde ma sostituite nella ricerca con una maggiore rete ed estensione delle indagini microgravimetriche, 400 metri in più di sismica a rifrazione e 9 sondaggi sismici verticali (MASW) con registrazione delle onde S e P, indagini più significative nel caso in studio.

Nel dettaglio le indagini svolte sul terreno dal mese di febbraio 2005 al maggio 2005, hanno comportato l'esecuzione di:

*a) Indagini microgravimetriche*

- 1010 stazioni microgravimetriche;
- livellazione di precisione, tre capisaldi gravimetrici, di cui due a Bagni di Tivoli ed uno a Villalba di Guidonia.
- costruzione delle mappe delle anomalie con il solo modello tridimensionale del tetto della formazione del *Travertino Antico*. Da questo modello si evince che l'andamento del top dei Travertini non appare uniforme, anzi molto articolato con aree in cui il riempimento di terreni a densità minore raggiunge talvolta anche i 10 metri. Inoltre si nota come gli edifici sono ubicati in aree dove vi è un cambiamento repentino della profondità del top dei Travertini e un conseguente riempimento differenziato nell'area di uno stesso edificio. Tutti gli edifici appoggiati sui terreni a bassa densità e non ancorati tramite pali al top dei travertini antichi, possono subire cedimenti differenziali e successivamente notevoli dissesti a causa della costipazione dei terreni al di sopra della formazione travertinosi.
- indicazione delle aree indiziate di carenza di massa (presenza di eventuali cavità).

*b) indagini sismiche*

- 2,400 km di sismica a rifrazione con registrazione delle onde P ed S e 9 sondaggi sismici verticali (MASW) con registrazione delle onde S e P.
- Ricostruzione della sismostratigrafia dell'area con la realizzazione di mappe delle velocità sismiche a varie profondità e di sezioni discretizzate, presentate a corredo della Relazione Specialistica. Nei primi 10-15 m di profondità si osserva una situazione del sottosuolo piuttosto articolata con alternanza di zone caratterizzate dalla presenza di notevoli spessori di terreni a bassa o bassissima velocità e quindi scarsamente costipati (porzione NE, centrale, SW della zona in studio), ad aree dove a pochi metri di profondità (4-7 m dal p.c.) si osservano velocità ascrivibili a travertini litoidi. Ai travertini litoidi subaffioranti corrispondono strutture caratterizzate da alta velocità ed orientate approssimativamente WNW-ESE. A profondità maggiori si osserva la presenza in quasi tutta la zona in studio di unità ad alta velocità riconducibili a travertini litoidi fatta eccezione per la zona NE e la zona SW dove le velocità si mantengono relativamente basse e quindi le unità travertinose litoidi sono più depresse.

**5.3 INDAGINI ASSETTO STRUTTURALE E MICROZONAZIONE SISMICA. PROF. RENATO FUNICIELLO**

La relazione finale dello studio effettuato dall'Università Roma Tre è stato suddiviso in due parti: parte prima Assetto Strutturale a firma del Responsabile scientifico Prof. Renato Funicello e realizzato dal Prof. Claudio Faccenna e dai Dott. Geol. Luigi De Filippis e Claudio Rossetti; parte seconda Microzonazione Sismica a firma del Responsabile scientifico Prof. Renato Funicello e realizzato dai Dott. Geol. Giuseppe Di Capua e Silvia Peppoloni

**5.3.1 Assetto Strutturale**

I dati acquisiti relativi alla parte prima, Assetto Strutturale, hanno evidenziato i

seguenti punti salienti:

- L'area in esame è localizzata in corrispondenza di una faglia principale a direzione NS, posta al bordo occidentale del bacino di subsidenza delle Acque Albule.
- Il Bacino delle Acque Albule è controllato dall'azione di un sistema di faglie a decorso meridiano attive nell'area durante il tardo Pleistocene. La faglia principale, ben osservabile nei rilievi dei Monti Cornicolani, si allinea con le sorgenti principali dell'area (lago delle Colonnelle, Lago della Regina) e prosegue in modo discontinuo sino alle pendici del distretto vulcanico dei Colli Albani (Fig. 4).
- Il sistema di fratturazione legato a questo elemento risulta avere primaria importanza nel sistema di alimentazione profonda del circuito idrotermale e nel convoglio di fluidi idrotermali verso la superficie. All'interno del bacino la localizzazione di questo sistema di faglie è stata posizionata su basi indirette a ridosso dell'area danneggiata oggetto di questa relazione. La cinematica del sistema di faglie principali presenta una componente trascorrente destra. All'altezza di Colfiorito di Guidonia dal sistema principale dipartono splay a direzione N20°-40° con cinematica prevalentemente oblique (componente estensionale e trascorrente destra).

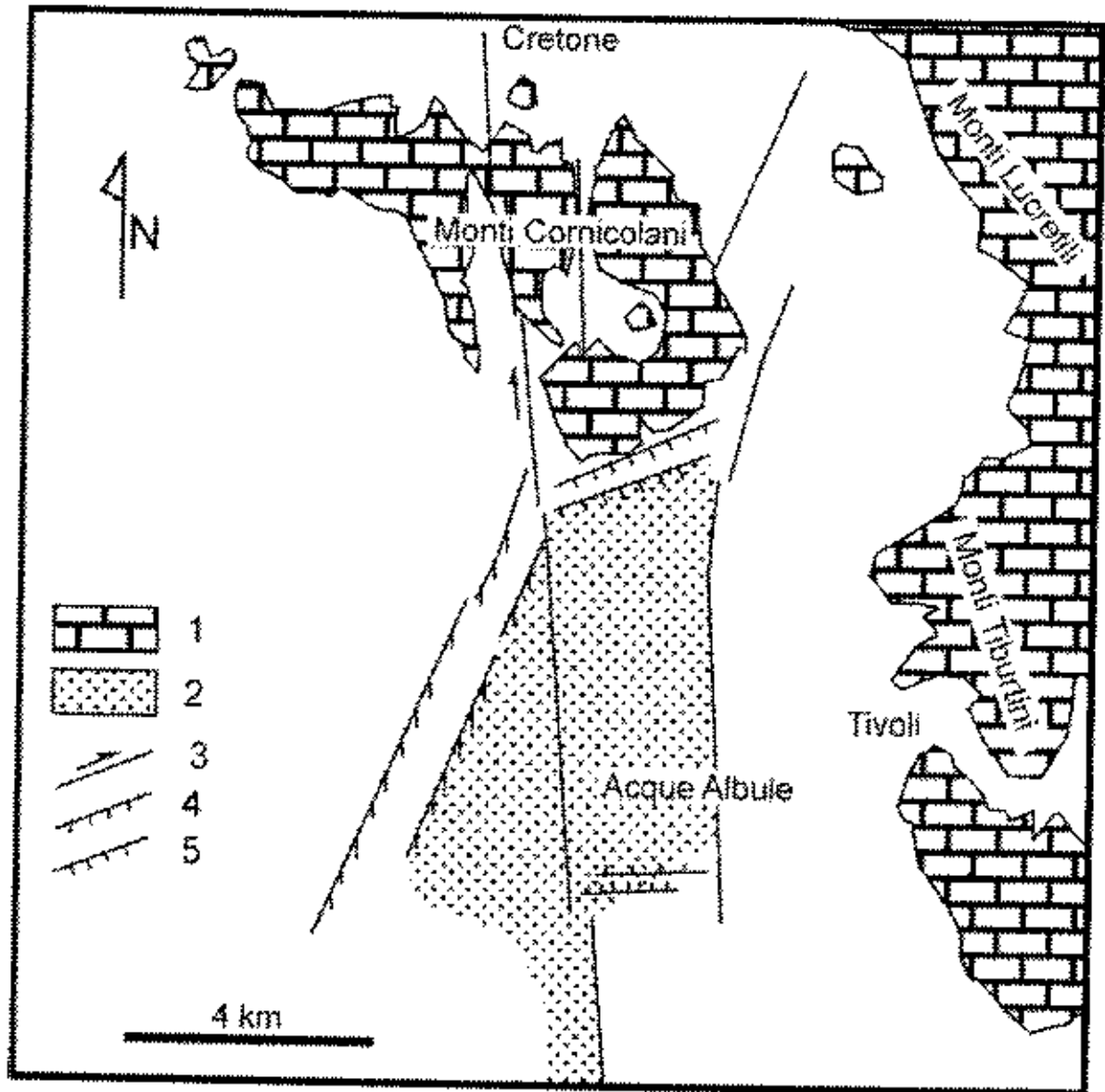


Figura 4 - Modello schematico del Bacino delle acque Albule: 1) unità carbonatiche meso-cenozoiche; 2) area subsidente; 3) faglie trascorrenti; 4) faglie oblique; 5) faglie normali (da Faccenna et alii, 1994).

- L'area è stata interessata da processi di subsidenza attivi almeno dall'inizio delle deposizione dei travertini. Anche se le perforazioni che attraversano completamente i depositi di travertino non sono molte, i dati di pozzo suggeriscono che anche i maggiori spessori di litologie travertinose (fino ad oltre 90 m) si trovino lungo una fascia allungata in direzione meridiana che si estende dall'area a nord delle sorgenti fino oltre l'abitato di Bagni di Tivoli (sondaggi SG1

e M). Gli spessori sembrano diminuire bruscamente verso ovest, mentre la loro diminuzione avviene in modo graduale ed entro un'area più ampia procedendo verso est. Questo denuncia come il processo di circolazione di fluidi idrotermali e di subsidenza sia accentuato lungo la discontinuità principale a decorso meridiano.

- l'area è stata sede di deposizione lacustre (mediamente ca. 5 m) anche dopo la fine della deposizione dei travertini, che dovrebbe esser avvenuta ca. 20-30.000 anni fa. La mancanza di vincoli stratigrafici e radiometrici sulle età dei depositi lacustri non permette vincoli precisi ai tassi di subsidenza in quest'intervallo di età. In aree limitrofe (per es. Località Martellona), ad esempio, si nota la deposizione di circa 2-3 metri di depositi lacustri e travertini al di sopra del piano di calpestio di alcune strade di età imperiale, il che ricondurrebbe a tassi di subsidenza piuttosto elevati maggiori del mm/anno. Queste morfologie sono state ben identificate anche da Maxia (Fig. 5), il quale ha rinvenuto nell'area di Via Cesare Augusto e subito ad est della ferrovia, antichi depositi lacustri da essiccamento dei travertini e ripiani tartarosi.



Figura 5 - Particolare della carta di Maxia (1950)



- L'analisi geomorfologica dell'area e' stata effettuata mediante l'analisi di vari set di foto aeree provenienti da diversi periodi di ripresa, dal 1943 ad oggi, importando ed analizzando i dati in ambiente GIS. In particolare sono state utilizzate foto aeree provenienti dai voli della R.A.F. (Royal Air Force) effettuati sul territorio tiburtino nel 1943, soprattutto nei mesi precedenti il bombardamento della città di Tivoli avvenuto il 26 maggio 1944. L'analisi delle foto aeree del 1944 ha evidenziato la presenza di diffusi processi carsici quali sinkholes allineati in direzione NS lungo la discontinuità principale successivamente mascherati o sepolti dallo sviluppo edilizio. La georeferenziazione delle foto aeree ha messo in luce come gran parte dei danneggiamenti avvenuti agli edifici siano da relazionare direttamente con la presenza di questi elementi. (Fig. 6)



Figura 6 - Tematismi morfologici creati in ambiente GIS ottenuti dall'analisi della cartografia del Prof. C. Maxia (in celeste: suoli a struttura poligonale di disseccamento lacustre nei travertini; in verde: suoli a "pozzette" e a ripiani tartarosi), e dalle foto aeree della R.A.F. del 1943 (in rosso: aree depresse).

- Recenti studi (Colini et al., 2005) effettuati mediante l'analisi temporale (1992-2002) di serie di immagini SAR hanno messo in luce come una vasta area di forma ellissoidale con asse maggiore allungato circa NS e che interessa da nord delle risorgenze sino all'area danneggiata è attualmente in subsidenza relativa (Tivoli) con tassi molto elevati (da circa 6 a più di 10 mm/a). Resta comunque importante segnalare che i dati rilevati con il SAR lungo l'ultimo decennio mostrano tassi di subsidenza di circa un ordine di grandezza maggiore di quanto registrato in tempi geologici.

### **5.3.2 Microzonazione Sismica.**

La relazione sulla Microzonazione sismica, ha suddiviso l'area in due zone ricavando per ognuna il Coefficiente del suolo di fondazione  $S_s$ , attraverso una tecnica di elaborazione messa appositamente a punto, confrontando i dati con l'analisi della sismicità storica e con la pericolosità sismica di base.

#### **5.3.2.1 Metodologia**

Attraverso i sondaggi geomeccanici disponibili è stato realizzato un modello litotecnico del sottosuolo, rappresentato sia con curve di livello per mostrare la distribuzione areale delle unità litotecniche, sia con sezioni stratigrafiche.

Alle unità litotecniche sono state assegnati i valori di velocità delle onde sismiche ( $V_s$ ), i parametri fisici e geotecnici e le relative curve di degrado, tutti tratti da letteratura scientifica.

La modellazione ha riguardato la simulazione di più eventi esterni all'area e di un evento di origine locale, attraverso la generazione di sismogrammi sintetici.

I risultati sono stati espressi come Fattore di Amplificazione (F.A.) calcolati comparando gli spettri di risposta al bedrock ed in superficie nel periodo da 0,1 a 0,5.

Per le valutazioni su spettri di risposta di normativa, spettri di risposta elastici e attribuzione di parametri sismici ai terreni di fondazione ( $V_s$  e  $S$ ), è stata adottata una procedura sperimentale che tiene conto della tipologia e dello spessore del terreno di

copertura. Tale procedura ha permesso di dividere i terreni in due tipologie a cui attribuire i valori di  $S$  (fattore che tiene conto del profilo stratigrafico del suolo di fondazione) pari a 1.25 per gli spessori di suolo minori e di 1.35 per gli spessori di suolo maggiori.

### **5.3.2.2 Elaborazione dei dati**

L'analisi della sismicità storica nell'area mostra come i risentimenti sono stati generalmente lievi e legati per la maggior parte a terremoti esterni all'area (Appenninici o dei Colli Albani). Solo in occasione del terremoto del 1915 di Avezzano ci sono stati danni medi.

Per quanto riguarda gli effetti sull'ambiente fisico, in occasione del sisma 1703 fu osservato un abbassamento del livello delle acque sulfuree mentre nel sisma del 1915 oltre all'abbassamento del livello delle acque sulfuree si prosciugò anche il lago detto dell'Inferno.

Nel sisma del 1877 fu osservato un sensibile aumento del gettito dei vapori.

Nel corso dello sciame sismico che ha interessato il bacino delle Acque Albule nel periodo giugno-luglio 2001 a seguito del primo evento  $M=2,7$  è stata registrata una significativa riduzione della velocità di flusso delle acque nella sorgente termale delle Acque Albule, ristabilitasi a seguito delle scosse successive.

Sulla base dei sondaggi disponibili è stata schematizzata una tipologia media di suolo costituita da 5 unità litotecniche rappresentate dall'alto verso il baso da:

- riporti;
- limi, argille, torbe;
- alternanze limoso-travertinose;
- travertini;
- roccia;

Le due prime unità litotecniche costituiscono lo strato di copertura con scadenti caratteristiche meccaniche e con uno spessore medio di 3,4 m. L'andamento areale di questo strato di copertura mostra un massimo nel settore Nord di circa 7 m ed un

minimo nel settore centrale dell'area in studio con andamento NW-SE.

Con questo modello di terreno adottato, è stata analizzata la risposta sismica del suolo attraverso il software EERA, generando sismogrammi sintetici provenienti da strutture sismogenetiche vicine (Appennino e Colli Albani) e da una struttura sismogenetica locale.

L'analisi eseguita con le stratigrafie dei 18 sondaggi utilizzati ha mostrato un forte correlazione tra lo spessore dei terreni di copertura (riporti + limi, argille e torbe) e i valori di amplificazione FA, per ciascun sismogramma utilizzato (sorgente esterna ed interna all'area di studio).

L'andamento areale dei valori di amplificazione FA mostra una diversità di amplificazione fedelmente correlata agli spessori, che oltre a mettere in evidenza differenze locali accentuate (come evidenti al di sotto degli edifici di via Cesare Augusto) mostra un graduale aumento dell'amplificazione andando verso l'edificato di Villalba (nel settore nord, dove gli spessori graficizzati sono maggiori).

In conclusione viene proposta l'adozione di due diversi valori del Coefficiente del suolo di fondazione S, che rappresenta il fattore suolo previsto all'interno delle formule per il calcolo delle azioni sismiche di progetto sugli edifici (ord. 3274/2003): un valore pari a 1.25 per spessori di copertura fino a 3 m e un valore di 1.35 per spessori di copertura maggiori.

Pertanto gli autori propongono una microzonazione sismica (Fig. 7) che tiene conto di queste due classi di suolo:

S=1.25 lungo la fascia NW-SE, menzionata precedentemente riguardo gli spessori, che comprende gli edifici di via Cesare Augusto maggiormente lesionati e la parte centrale dell'abitato di Villalba.

S=1.35 nella restanti parti nord e sud dell'abitato di Villalba e nella parte centro-meridionale dell'abitato di via Cesare Augusto.

A queste aree sono state associati due diversi valori di risposta elastica della componente orizzontale del movimento del suolo, per la valutazione dei carichi

sismici di progetto.



Figura 7 - Carta di microzonazione sismica

#### **5.4 ANALISI CAMPIONI DI ACQUA E DI GAS. PROF. SALVATORE LOMBARDI**

Il Prof. Salvatore Lombardi, coadiuvato dal Dott. Giancarlo Ciotoli ha svolto un'indagine di dettaglio per la determinazione delle concentrazioni dei gas nel suolo e le analisi delle acque dei pozzi, dati di primaria importanza per stabilire l'esistenza di un legame, in termini di interazione acqua-gas-roccia, tra la subsidenza e l'innescio di fenomeni di sprofondamento nonché la ricostruzione dello scenario geologico-strutturale.

La prospezione dei gas nel suolo, è stata condotta mediante un campionamento

regionale esteso ad un'area di circa 20 Km<sup>2</sup> (densità di campionamento: 4 camp/Km<sup>2</sup>) centrata nei pressi di Bagni di Tivoli ed una prospezione di estremo dettaglio (su circa 1 Km<sup>2</sup>) nella zona dove sono stati segnalati i fenomeni di cedimento più vistosi, per un totale di 137 campioni. A questi dati sono stati aggiunti quelli di una precedente prospezione effettuata in passato dagli stessi professionisti, su un'area più vasta di circa 30 km<sup>2</sup> al fine di individuare i sistemi di fratture e/o faglie, attive e/o recentemente attivate.

Per le analisi delle acque sono stati effettuati campionamenti in quattro pozzetti situati nei pressi di Via Cesare Augusto, in un pozzo presso Collefiorito ed un ultimo a sud, in prossimità dell'abitato di Albuccione.

#### **5.4.1 Prospezione dei gas nel suolo**

Congiuntamente alla prospezione a carattere regionale con maglia di prelievo di 4 campioni Km<sup>2</sup>, nell'area di Bagni di Tivoli nella zona in cui sono presenti i dissesti strutturali sugli edifici, complessivamente sono stati prelevati ed analizzati 137 campioni di gas del suolo con una densità di campionamento variabile da 5 a 30 camp/km<sup>2</sup>. Lo scopo era quello di verificare la presenza di concentrazione anomale di alcune specie gassose (CO<sub>2</sub>, <sup>222</sup>Rn ed He) legate ad elementi strutturali compartecipi dell'innescò di movimenti di subsidenza del suolo e collegati alla possibilità di rischio sinkhole.

Le concentrazioni di radon sono in media estremamente elevate se confrontate con i dati prelevati in altre indagini nelle aree limitrofe; il valore medio pari a 210 Bq/l è molto alto se confrontato con quello misurato, ad esempio, presso l'abitato di Cava dei Selci (circa 60 Bq/l) dove è nota la presenza di forti emissioni di gas. La distribuzione puntuale delle concentrazioni di radon mostra valori anomali per lo più localizzati nel settore settentrionale dell'area investigata con una distribuzione anisotropa in direzione N-S e NW-SE legati sia alla presenza di discontinuità tettoniche sia alla presenza di elevate concentrazioni di radio mobilità dalla risalita

di fluidi profondi.

Anche le concentrazioni di anidride carbonica mostrano un valore medio (2.22%) abbastanza elevato e confrontabile con il valore medio calcolato per le aree vulcaniche italiane (circa 2%) su un campione di circa 10000 dati. La distribuzione puntuale delle concentrazioni di CO<sub>2</sub> mostra che i valori anomali sono localizzati quasi completamente nell'area dei dissesti, ma si nota anche una distribuzione anisotropa in direzione appenninica. Anche la distribuzione delle concentrazioni di elio superiori al valore atmosferico pari a 5.22 ppm si presenta localizzata nella zona di via Cesare Augusto, così come pure la distribuzione delle concentrazioni di metano superiori al valore di anomalia calcolato a 2 ppm. Il grafico a dispersione CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> mostra che le concentrazioni elevate di CO<sub>2</sub> hanno una probabile origine profonda sia perché rappresentano un chiaro fenomeno di diluizione dell'ossigeno e dell'azoto sia perché sono legate alla presenza dell'Hc.

La mappa di distribuzione delle concentrazioni di radon mostra anomalie molto elevate e diffuse con un'anisotropia a grande scala con direzione SW-NE e un'anisotropia a piccola scala (nell'area dei dissesti) a direzione NW-SE legata alla migrazione del gas lungo le discontinuità tettoniche dell'area. La distribuzione dell'anidride carbonica è molto simile a quella del radon ciò a conferma delle caratteristiche dell'anidride carbonica quale "carrier gas" nei confronti dei gas in traccia come radon ed elio. Tale distribuzione delle anomalie conferma che l'area investigata potrebbe essere interessata dall'incrocio di discontinuità tettoniche locali e regionali. La distribuzione delle anomalie di elio è limitata all'area interessata dai dissesti, mentre anche il metano mostra la presenza di un'anisotropia in direzione N-S sul bordo orientale dell'area investigata probabilmente legata alla discrezione delle strutture principali dell'area. La presenza in questa zona di anomalie di più specie gassose, tra cui l'elio di sicura origine profonda, è indizio della presenza di importanti discontinuità tettoniche responsabili della risalita di fluidi caldi e mineralizzati verso la superficie.

#### 5.4.2 Prospezione idrogeochimica

Sui campioni d'acqua prelevati, sono state effettuate le seguenti determinazioni presso il Laboratorio di Chimica dei Fluidi dell'Università la Sapienza di Roma:

- elementi maggiori. La concentrazione delle specie ioniche maggiori, anioni (Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e cationi (Li<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> e Sr<sup>2+</sup>), sono misurata mediante un cromatografo ionico CX-500 (Dionex Ltd.). Il risultato finale dell'analisi è costituito da un cromatogramma in cui l'area dei picchi è proporzionale alla concentrazione degli analiti.
- concentrazione dei gas disciolti: mediante il metodo dello "spazio di testa". Le analisi delle concentrazioni dell'elio saranno effettuate con uno spettrometro di massa tarato per la sola massa 4 (mod. Varian Helium Leak Detector 938-41); mentre per tutte le altre specie gassose si utilizzerà un gascromatografo (Carlo Erba, mod. GC8000).

Oltre alle analisi in laboratorio sono stati misurati direttamente in campagna una serie di parametri (Eh, pH, temperatura, conducibilità) mediante una unità multiparametrica (MultiLine P4, WTW s.r.l.) e la profondità della falda acquifera.

I risultati relativi alle analisi effettuate sui campioni d'acqua prelevati in Via Cesare Augusto e nell'area delle Acque Albule, indicano l'appartenenza di tali acque al gruppo bicarbonato-calcio-magnesiaco con evoluzione verso termini a solfati e cloruri per input di fluidi profondi ricchi in H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub>, appartenenti a circuiti idrotermali legati al vulcanismo dei Colli Albani. I risultati ottenuti non evidenziano variazioni apprezzabili nel chimismo delle acque (in particolare per quanto riguarda i campioni P1 e P4). Fa eccezione il pozzo P7 in cui si ha una differenza apprezzabile nella concentrazioni di cloro. Tale differenza è probabilmente legata a diversi rapporti di miscelamento tra dei fluidi profondi caldi e fortemente mineralizzati, la cui risalita può essere pulsante nel tempo, e le acque dei circuiti più superficiali. Le acque in oggetto risultano aggressive nei confronti di carbonati; in particolare le acque prelevate nei pressi di via Cesare Augusto presentano un chimismo con caratteristiche simili a quelle delle Acque Albule (Laghetto della Regina, Laghetto delle Colonnelle)



### **5.5 INDAGINI IDROGEOLOGICHE. PROF. PAOLO BONO**

Il lavoro svolto dal Prof. Paolo Bono e dai collaboratori Emiliano Agrillo, Francesca Zucco e Chiara Fiori, secondo quanto presentato nel rapporto finale è stato articolato secondo i seguenti punti:

- analisi degli effetti delle precipitazioni sulla ricarica locale della falda dei travertini;
- campagna di misure di portata dei collettori di scarico provenienti dalle cave in esercizio e delle portate delle sorgenti della piana di Tivoli-Guidonia;
- campagna di campionamento e di analisi al fine di caratterizzare dal punto di vista chimico-isotopico le acque superficiali, sorgentizie e sotterranee;
- monitoraggio delle variazioni di livello delle acque di superficie e sotterranee;
- valutazione della variazione storica dei potenziali idraulici e dell'impatto ambientale nell'area di escavazione del travertino;
- rappresentazione sintetica del quadro idrogeologico, idrologico ed ambientale desumibile dalle ricerche in itinere.
- Tutti i rilievi e le analisi eseguite, seppur con qualche difficoltà come risulta dalla relazione (non è stato possibile accedere alle aree di cava né è stato possibile consultare lo studio del Prof. Guercio) hanno consentito di ricostruire l'attuale assetto idrogeologico dell'area.

I risultati delle misure effettuate sulle acque dei canali di scolo delle cave associati ai valori dei livelli piezometrici, registrati in continuo, hanno messo in evidenza un collegamento tra le fasi di emungimento della falda presso le cave con il livello della falda registrato anche in piezometri posti a notevole distanza.

Le conclusioni dello studio, pur evidenziando la necessità di prolungare le analisi e le misure per coprire almeno 12 mesi di osservazione, sono in sintesi:

- i prelievi idrici per le attività estrattive sono pari o superiori alla ricarica stimata dell'intero sistema idrogeologico;
- l'analisi dei dati isotopici (Ossigeno-Deuterio) ha dimostrato il forte legame tra le sorgenti delle Acque Albule, le acque sotterranee raggiunte da alcuni piezometri nell'area di Via Cesare Augusto, le acque sorgentizie del Barco, le acque della sorgente lineare in riva destra del Fiume Aniene e le acque di pompaggio convogliate nei canali Pastini e Longarina;
- le sollecitazioni dinamiche provocate dal pompaggio nelle cave in esercizio, si trasmettono rapidamente nell'acquifero dei travertini con modalità non

precisabili nel dettaglio. La risposta dinamica del livello piezometrico agli emungimenti delle cave, viene esaltata, a partire dagli inizi di maggio, dal pompaggio del sistema sorgentizio Regina-Colonnelle per l'approvvigionamento delle piscine delle Terme di Roma in concomitanza con la stagione termale;

- l'analisi ed il confronto delle rappresentazioni piezometriche dell'acquifero nei travertini riferite agli anni '60 e agli inizi del 2000 consentono di individuare aree a diverso abbassamento del livello di falda con andamento sostanzialmente concentrico. Le curve di eguale altezza degli abbassamenti ("isopache") riportate in Fig. 8, rappresentano, seppur in maniera provvisoria, il risultato degli effetti prodotti da una complessa rete di stazioni di pompaggio, dislocate in un numero imprecisato di cave, con lo scopo di mantenere il livello di falda alla quota di coltivazione pre-definita. Nell'area periferica agli edifici di Via Cesare Augusto, l'abbassamento della falda imprigionata sarebbe di circa 5/6 metri;

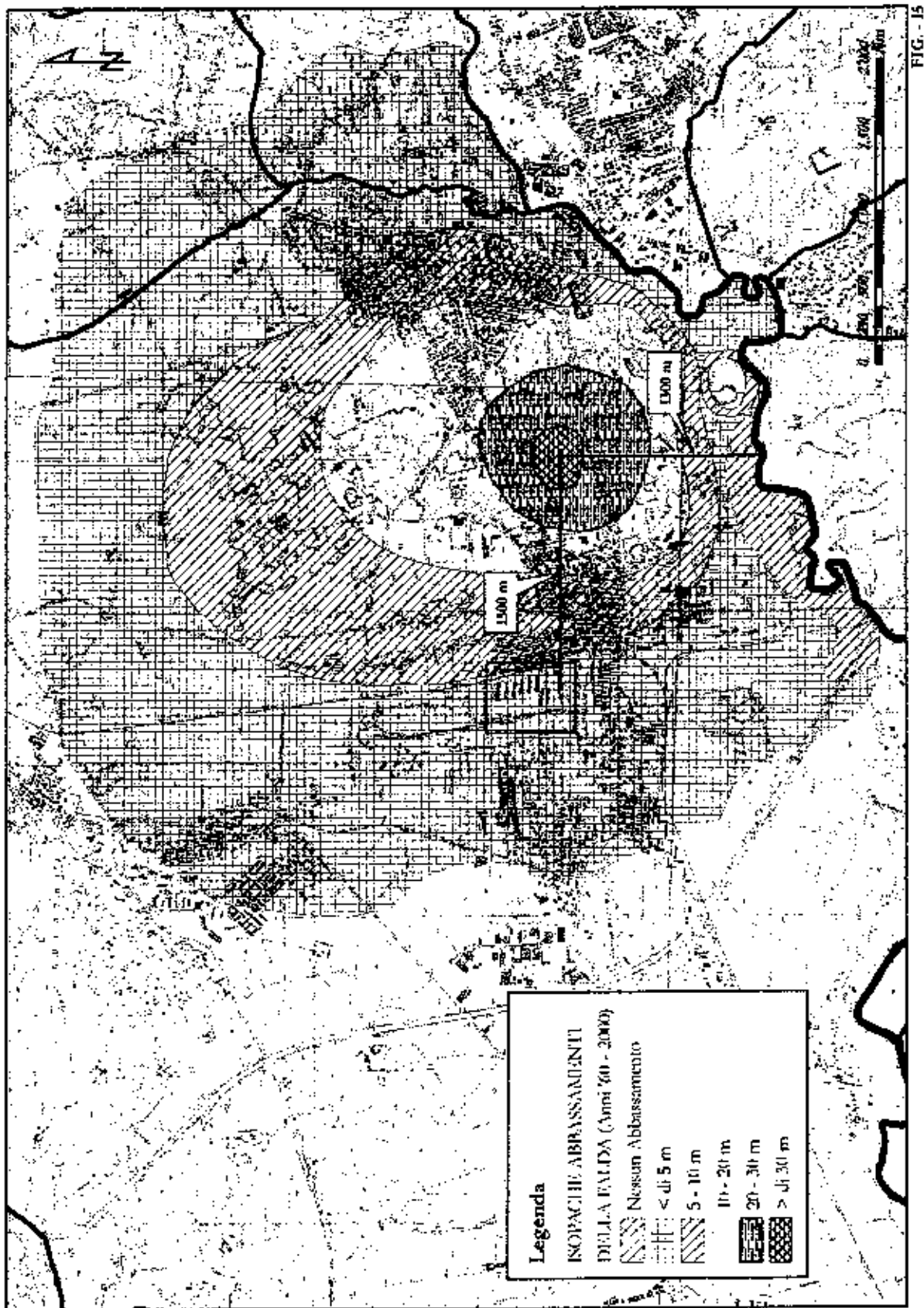


FIG. - 15

Figura 8

- la presenza nelle acque sulfuree di una consistente fase gassosa potrebbe produrre una degassazione dell'acquifero con conseguente diminuzione della pressione idrostatica dell'acquifero dei travertini. La depressurizzazione del sistema acquifero dei travertini potrebbe aver favorito la costipazione dei sedimenti limoso-argillosi non consolidati e dei livelli di torba intercalati tra essi, su cui verosimilmente si attestano le fondazioni di alcuni manufatti e di opere civili nell'area di Bagni-Villalba;
- la natura litologica dei terreni e le caratteristiche idrogeologico-strutturali dell'acquifero dei travertini, sono elementi particolarmente favorevoli (o predisponenti) alla formazione di cavità sotterranee nella roccia serbatoio calcarea. Questo fenomeno, detto della "subsidenza catastrofica" interessa numerose aree del Lazio e del resto anche nella piana di Tivoli-Guidonia sono numerose le cavità naturali, spesso sepolte da materiale di riporto, la cui genesi è riconducibile a tale processo. Le crescenti sollecitazioni idrodinamiche a cui è sottoposto l'acquifero dei travertini e le ripetute fluttuazioni del livello di falda indotte dal pompaggio, generano variazioni di pressione nel reticolo di cavità, condotti, fratture, fessure presenti nella roccia serbatoio aumentando il rischio di formazione di voragini o favorendo la formazione di depressioni (o avvallamenti) nei depositi di copertura in affioramento o nel suolo.

#### **5.6 QUADRO ATTIVITÀ ESTRATTIVE. A CURA DEI TECNICI REGIONALI**

Come più volte rilevato, l'attività estrattiva che si colloca nell'ambito della Piana delle Acque Albule, è una grande realtà che oltre a produrre materiali di alto valore economico-commerciale, impegna il territorio, fra l'altro, per sostanziali aspetti ambientali ed idrogeologici.

L'analisi del quadro dell'attività estrattiva condotta da funzionari della Regione Lazio ha avuto soprattutto l'obiettivo di valutare la consistenza delle attività in funzione degli emungimenti dell'acqua di falda, indicati come concausa del fenomeno di subsidenza degli edifici di Via C. Augusto e della zona Nord di Villalba di Guidonia.

I dati di riferimento sono stati acquisiti presso gli uffici della Regione Lazio, il Centro Valorizzazione del Travertino Romano e l'Uff. Tutela Ambientale del Comune di Guidonia Montecelio.

In particolare sono stati resi disponibili:

- CD contenente le tavole in formato DWG del Piano Stralcio del travertino;

- Elenco delle Società operanti nel campo estrattivo del travertino e dei relativi siti estrattivi;
- Ubicazione su cartografia 1:5000 dei siti estrattivi;
- Ubicazione su cartografia 1:5000 dei tre piezometri di monitoraggio;
- Ubicazione su cartografia 1:5000 dei due canali di raccolta delle acque prelevate dalla falda;
- Perimetrazione aree oggetto di attività estrattive-travertino su base catastale per il solo Comune di Guidonia Montecelio.

Dall'analisi del materiale acquisito è stato tracciato un quadro sintetico degli aspetti connessi con l'attività estrattiva condotta nella Piana.

L'area in esame ricade all'interno del Bacino delle Acque Albule, costituito essenzialmente da depositi di travertino che nel settore centrale raggiungono spessori medi di 60 m fino ad un massimo di circa 80 m.

La stratigrafia della zona della Piana delle Acque Albule interessata dall'attività estrattiva, derivante dall'esame dei numerosi sondaggi realizzati nel tempo e dalle osservazioni su parti di cave in esercizio o abbandonate, è data da terreni superficiali costituiti da terreno vegetale (max 50cm.) e da depositi eluvio-colluviali per uno spessore di 1-2m che in alcune zone soprattutto nella parte N (settori a N e a NW della Località "Le Fosse") arrivano ad oltre 10m. Seguono poi depositi carbonatici di aspetto spugnoso con presenza di resti vegetali a spessore variabile (2-5m.), localmente cappellaccio o testina, posti al tetto della bancata di travertino produttivo che poggia a sua volta sulla formazione sedimentaria argilloso-sabbiosa riconducibile al Plio-Pleistocene. Questi depositi di travertino, bianchi, litoidi e compatti, si presentano sotto forma di spesse bancate a giacitura orizzontale, a luoghi intercalate da livelli limosi ed argillosi, da cavità carsiche in genere di modeste dimensioni e prevalentemente infrastrato, e paleosuoli. L'attività estrattiva è andata con il tempo sempre più approfondendosi in considerazione dei massimi spessori utili sfruttabili del travertino compatto, circa 35-40 m che si rinvengono nella parte centrale delle zone in produzione.

*Indagini per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto  
e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli*

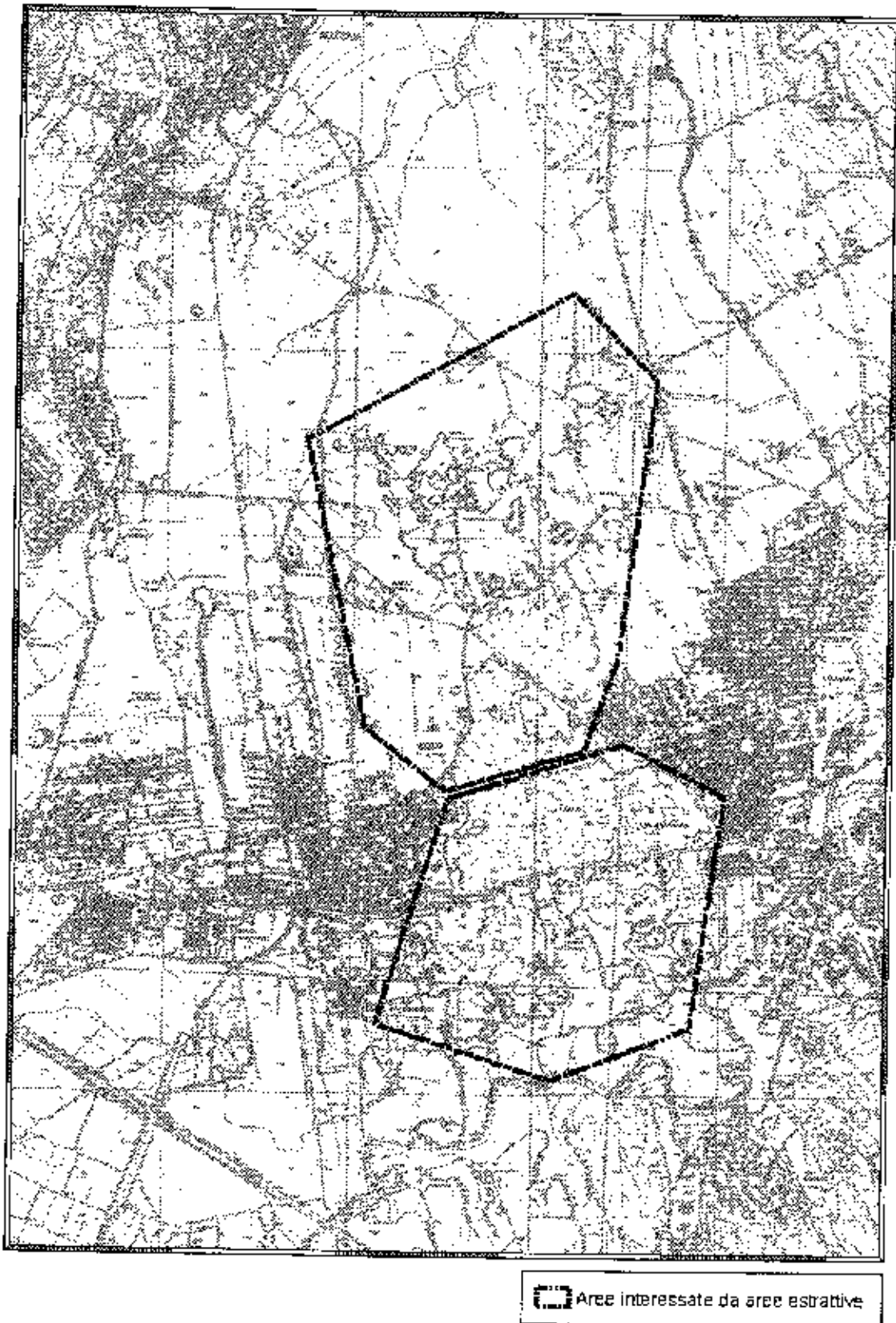


Figura 9

Le cave attualmente in esercizio nei territori dei Comuni di Tivoli e Guidonia risultano essere 44. Sono comprese tra l'aeroporto di Guidonia a N, il Fiume Aniene a S, il Fosso dei Prati ad E e la S.S. n. 5 ter ad W e concentrate, nel territorio del Comune di Tivoli, principalmente nelle Località "Barco" e "Vallepilella" ed in quello di Guidonia in Località "Le Fosse" (Fig. 9). Le quote di coltivazione risultano, dai dati reperiti, essere in vari casi intorno ai 50 m s.l.m., mediamente si spingono fino a quote intorno ai 40 m s.l.m. ed in alcuni casi (area a NO della Località "Le Fosse" e a SW della Località "Barco") arrivano anche al di sotto di quota 30 m. s.l.m.

Poiché la coltivazione del travertino avviene in fossa ed all'asciutto, l'acqua di falda che si riscontra al di sotto della quota piezometrica è tenuta bassa, fino a raggiungere la quota del piazzale ultimo di cava, mediante pompe che la immettono prevalentemente in due canali di raccolta e da qui al Fiume Aniene.

Ulteriore acqua viene prelevata dalla falda idrica dai circa 40 laboratori operanti nel campo estrattivo per la trasformazione dei blocchi (in massima parte di travertino) in lastre, pavimenti, rivestimenti ecc. e dalle 35 segherie per il taglio dei blocchi stessi. La maggior parte di queste attività sono ubicate all'interno di cave ritombate ed in minima parte sulla via Maremmana inferiore.

#### **5.7 UTILIZZO ACQUE TERMOMINERALI (TERME DI ROMA). A CURA DEI TECNICI REGIONALI**

Le acque delle sorgenti Colonnelle e Regina, che danno origine agli omologhi laghi, sono inglobate nella concessione termominerale "Acque Albule" di 1.137 Ha accordata per anni 90 con D.M. del 12/01/1941.

Queste acque sono molto conosciute fin dai tempi più remoti, sacre per i romani, indicate anche col nome *Aquae Sanctissimae*, che vi si recavano per consultare l'oracolo di Fauro e per le cure termali soprattutto dopo che Cesare Augusto fece realizzare dall'architetto M. V. Agrippa uno stabilimento termale proprio a ridosso del Lago della Regina.

Dopo un periodo di abbandono e l'uso dello stabilimento chiamato "Bagni

Vecchi", il 14/7/1879 furono inaugurate le nuove terme che con ampliamenti e modifiche sono ancora in attività.

Le acque utilizzate prendevano origine dalla miscelazione delle acque dei due laghetti, sistema ancora in funzione nel 1980 quando il Lago delle Colonnelle, circa 100 metri a monte del Lago della Regina, alimentava questo ultimo con le acque a caduta attraverso un canale che superava un dislivello di 0,85 metri fra i due. Sempre nel 1980 la quota della superficie dei laghi era molto prossima alla quota del p.c.

Dal Lago della Regina l'acqua defluiva verso l'Aniene mediante il Canale delle Acque Albule con una portata stimata mediamente intorno ai 2 mc/s di cui una parte veniva derivata allo stabilimento termale.

L'origine dei due laghi è probabilmente carsica come anche le preesistenti depressioni naturali che davano luogo ad altri laghi o ad acquitrini e paludi, di modeste profondità e che a meno della zona di NE, parzialmente investigata, in nessun caso, raggiungevano quelle del Lago delle Colonnelle (57 metri) e della Regina (36 metri).

Attualmente, a seguito dell'abbassamento della falda idrica, il Lago delle Colonnelle non alimenta più quello della Regina e l'acqua utilizzata dallo stabilimento termale, che non defluisce più dal Canale delle Acque Albule, al momento in via di interrimento, viene pompata dalle profondità del Lago della Regina e incondottata allo stabilimento.

L'attività di pompaggio delle Terme di Roma ha inizio prima della stagione termale, nel mese di maggio, con un prelievo stimato in circa 500 l/s e termina con la conclusione della stagione nel mese di ottobre. Questo emungimento provoca un abbassamento della falda idrica riscontrato nel piezometro di Via C. Augusto e dei livelli del lago Regina e Lago S. Giovanni. Anche l'emungimento operato dalle cave contribuisce all'abbassamento del livello del Lago della Regina e della falda idrica come evidenziato dalle misure dei relativi livelli prima, durante e dopo l'interruzione delle attività di alcune cave con il periodo delle ferie di Pasqua (Fig. 10).



Indagini per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli

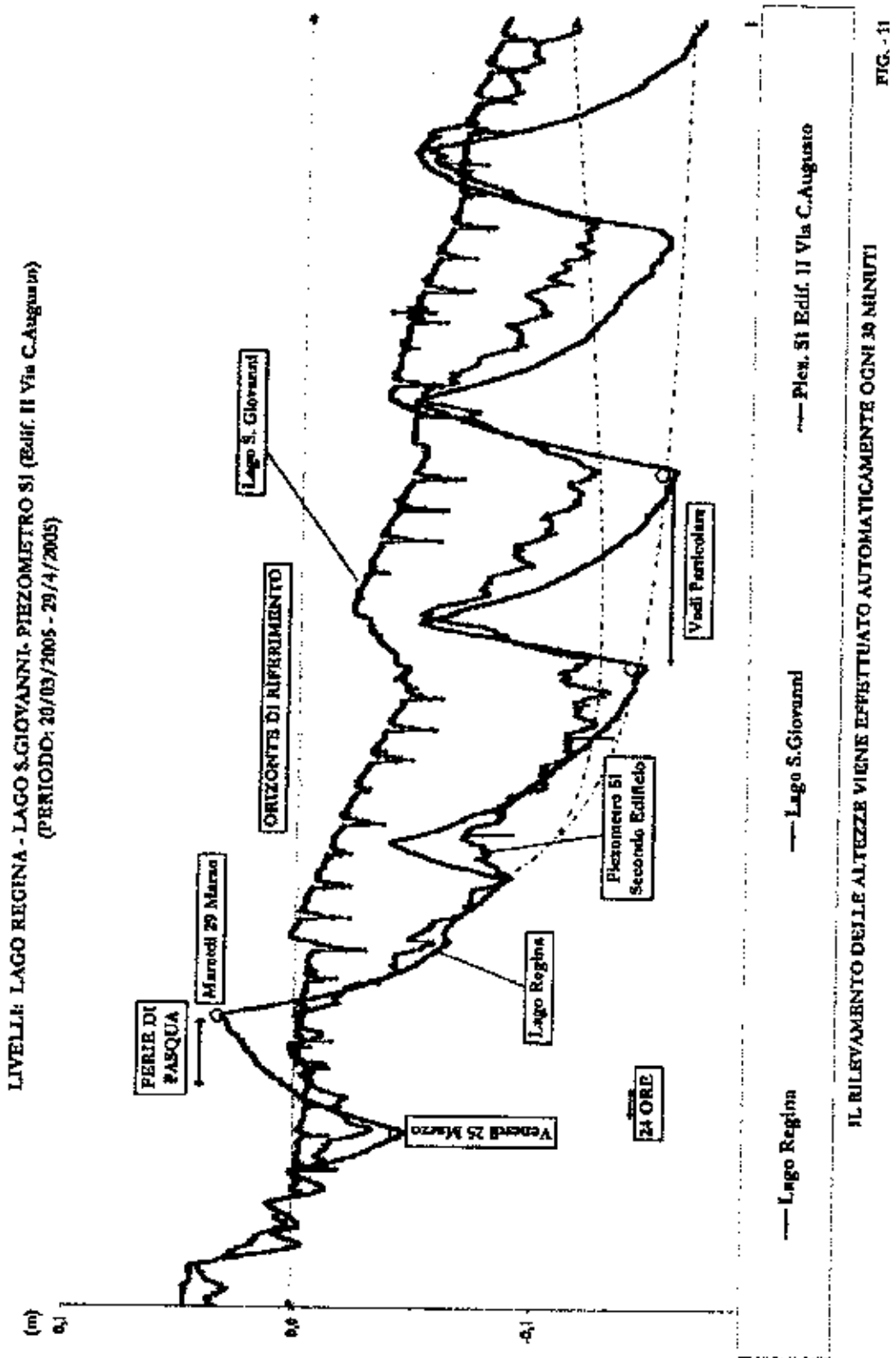


Figura 10

## **5.8 RILIEVO DEGLI EFFETTI MACROSCOPICI DEL FENOMENO IN ATTO. A CURA DEI TECNICI REGIONALI**

Le conseguenze più evidenti del fenomeno di subsidenza, con un impatto notevole sia per aspetti di protezione civile sia per impoverimento economico del valore del complesso dell'edificato, sono i dissesti che interessano una gran parte delle strutture abitative, manufatti vari, infrastrutture presenti nell'area.

L'analisi condotta ha avuto soprattutto l'obiettivo di censire le strutture coinvolte, valutare la tipologia del dissesto, stilare schede di rilevamento delle singole strutture riportando tutte le informazioni necessarie per definire, fra l'altro, l'estensione e la gravità del dissesto stesso.

I dati di riferimento sono stati pertanto acquisiti tutti direttamente in loco attraverso esame dei fenomeni presenti sui vari manufatti. A questo rilievo, oltre ai funzionari regionali specificatamente incaricati, hanno partecipato quasi tutti i componenti il gruppo tecnico operativo.

Operativamente i tecnici si sono divisi in squadre di rilevamento, ciascuna dotata di:

Cartografia sulla quale ubicare l'edificio esaminato.

Macchina fotografica per una documentazione visiva di lesioni, fratture o quanto altro necessario alla definizione del fenomeno.

Scheda di rilevamento, modificata per l'occasione sulla base delle schede di rilievo del CNR-GNDT e INGV per gli edifici lesionati da eventi sismici. Su ciascuna scheda sono riportati oltre agli estremi identificativi anche le sigle dei tecnici rilevatori.

Strumentazione GPS

### **5.8.1 Metodo di rilievo**

La prima fase operativa è consistita nella ricerca dei progetti esistenti presso i comuni di Guidonia e Tivoli, delle concessioni edilizie o delle autorizzazioni rilasciate dagli uffici del Genio Civile, documentazione, quando trovata, consultata ed

utilizzata per le prime analisi delle aree.

Nella Seconda fase sono state realizzate delle riunioni tra il personale addetto ai rilevamenti, sia in ufficio sia in sito, in modo da calibrare e rendere univoca la metodologia di rilevamento e di analisi ed il modo di riportare le informazioni sulle schede di rilevamento stesse.

La terza fase è consistita della divisione in squadre, dopo due sopralluoghi generali di inquadramento delle aree da verificare.

Le squadre hanno eseguito un primo esame delle lesioni e delle fratture in maniera collettiva al fine di calibrare la metodologia predisposta ed utilizzare un criterio univoco per i rilievi da applicare singolarmente. Tale aspetto ha consentito di uniformare i risultati, riducendo gli errori di lettura relativamente all'incertezza del rilievo o del dato puntuale.

Le date delle rilevazioni, effettuate nei mesi di maggio e giugno 2005, sono riportate sulle singole schede.

Sinteticamente ciascuna scheda è composta da:

- Riga I - data, rilevatori, comune di ubicazione.
- Riga II - tipologia dell'edificio ed indirizzo.
- Righe III e IV - note generali, n.ro scheda, corredo fotografico, tipo d'utilizzo.
- Righe V e VI - Tipologia del danno, presenza o meno di fratture nel terreno o di abbassamento del suolo, da indicare, quantificare e, se possibile, qualificare.
- Riga VII - Il campo note chiude la prima pagina della scheda.

La seconda pagina della scheda riporta uno schema sulle più comuni tipologie di lesioni degli edifici con una breve descrizione per il loro inquadramento, ed una descrizione sull'entità del danno.



REGIONE LAZIO

## DIPARTIMENTO TERRITORIO

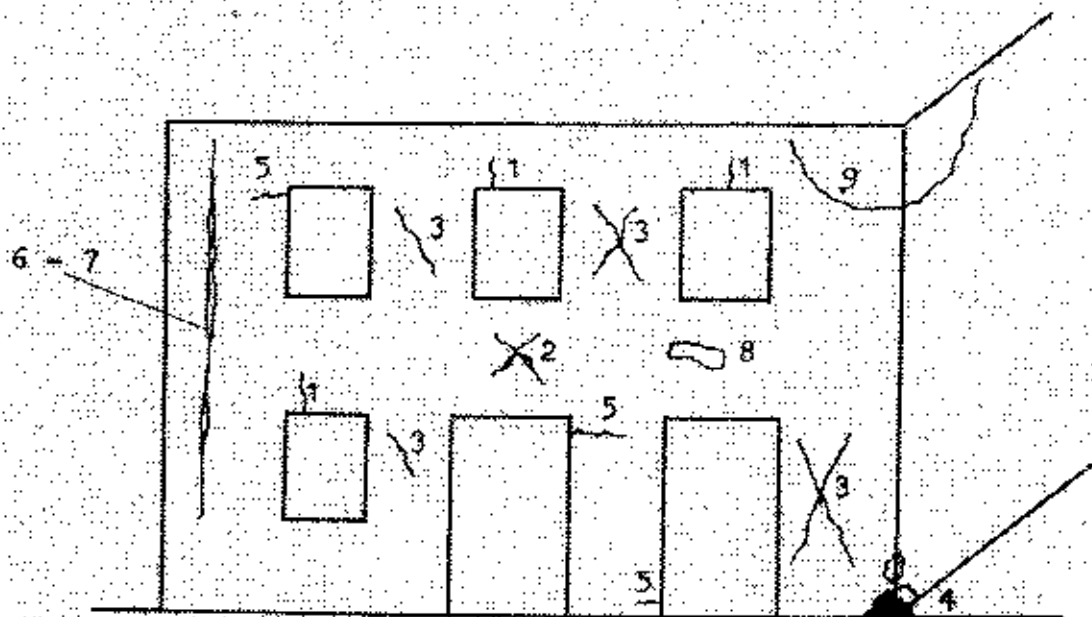
Direzione Regionale Ambiente e Protezione Civile

## AREA "8" - DIFESA DEL SUOLO

**Oggetto:** Delibera della Giunta Regionale del Lazio n° 1178 del 3.12.2004, "Progetto delle indagini per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto, e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli"

SCHEDA RILIEVO DEL DANNO

Data	Rilevatori (sigla)	Comune di
Edificio Singolo	Aggregato strutturale	Via
Scheda n°	Fotografie	
Uso attuale: Abitazione <input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/> Abbandonato <input type="checkbox"/>		
Entità Danno:		
Lieve	<input type="checkbox"/> Lesioni di ampiezza fino a 1 mm, comunque distribuite.	
Medio	<input type="checkbox"/> Lesioni di tipo 1, 5 e 6 di ampiezza fino a 4 mm. Lesioni di tipo 2, 3 e 7 di amp. fino a 2 mm.	
Grave	<input type="checkbox"/> Lesioni di tipo 1, 5 e 6 di ampiezza fino a 10 mm. Lesioni di tipo 2, 3 e 7 di amp. fino a 5 mm. Presenza di danno di tipo 4, od 8 o 9	
Gravissima	<input type="checkbox"/> Lesioni di entità superiore a quelle Gravi	
Fratture nel terreno o abbassamento del suolo:		
Note		



1. Lesioni ad andamento verticale sugli architravi di porte e finestre
2. Lesioni ad andamento diagonale sugli architravi di porte e finestre
3. Lesioni ad andamento diagonale negli elementi tra due aperture contigue
4. Schiacciamento locale della muratura con sgretolamento della malta e/o di elementi lapidei o laterizi, con o senza espulsione di materiale. Iniziale rigonfiamento del rivestimento
5. Lesioni orizzontali per flessione in testa e/o al piede dei maschi murari
6. Lesioni ad andamento verticale in corrispondenza degli incroci
7. Lesioni ad andamento verticale in corrispondenza degli incroci, passanti
8. Espulsione di materiale in corrispondenza di travi principali e/o secondarie dei solai
9. Distacco ed espulsione della zona di intersezione tra 2 pareti formanti tra loro un angolo retto

Entità Danno:

- Lieve □ Lesioni di ampiezza fino a 1 mm, comunque distribuite.
- Medio □ Lesioni di tipo 1, 5 e 6 di ampiezza fino a 4 mm. Lesioni di tipo 2, 3 e 7 di amp. fino a 2 mm.
- Grave □ Lesioni di tipo 1, 5 e 6 di ampiezza fino a 10 mm. Lesioni di tipo 2, 3 e 7 di amp. fino a 5 mm.
- Gravissima □ Lesioni di entità superiore a quelle Gravi

### 5.8.2 Analisi dei dati

I rilievi eseguiti entro il perimetro dell'area oggetto d'esame, hanno consentito di individuare, qualificare e delimitare gli edifici maggiormente lesionati, verificare un'eventuale prevalenza tipologica dei manufatti lesionati e circoscrivere, per quanto possibile, l'area maggiormente interessata dal fenomeno.

La verifica dei rilievi può essere distinta nelle due aree geografico-amministrative ad ovest della linea ferroviaria (comune di Tivoli, frazione Terme) e ad est della ferrovia (comune di Guidonia - Montecelio, frazione Villalba).

I manufatti investigati in comune di Tivoli consistono essenzialmente in edifici a più piani, in genere 6-7, molto allungati in senso longitudinale, a schiera (aggregati strutturali), di forma rettangolare, ubicate in Via Cesare Augusto, in Via Orazio e Largo Ugo La Malfa.

Questi edifici sono costruiti in cemento armato con fondazioni profonde realizzate verso la metà-fine degli anni 80, come risultato da alcuni progetti reperiti in Comune di Tivoli.

Tali edifici sono risultati maggiormente lesionati, con concentrazione verso i numeri civici alti di Via Cesare Augusto, lato nord dell'area, in cui si rilevano anche i maggiori valori d'abbassamento del suolo (25-30 cm), e verso la piazza del mercato, lato sud del blocco. La parte centrale delle linee degli edifici mostra una diminuzione del fenomeno, partendo da quella più a nord, e tendendo ad esaurirsi verso la terza fila (civici 61-69), per riprendere in forma molto accentuata nelle schiere d'edifici n. 10-11 ubicate in Largo Ugo La Malfa, ossia quelle che si affacciano verso l'adiacente campo sportivo.

Va notata anche la presenza di due linee di frattura lungo la strada a nord della prima schiera di abitazioni, ossia via Cesare Augusto dopo il civico 81. Ad un'analisi superficiale di rilievo, e senza un controllo con analisi oggettive, tale fratturazione sembra assumere una forma sub-circolare.

Nell'area sono presenti inoltre edifici più vetusti, realizzati verso la metà-fine anni '50 immediatamente a sud della Piazza del Mercato. Si tratta di edifici di quattro

piani al massimo, praticamente privi di fondazioni o con fondazioni impostate a -70 cm dal piano campagna, come riferito in luogo. Tali edifici non presentano alcun tipo di lesione.

Il blocco di case popolari realizzate intorno al 1972 ubicate in Via Cesare Augusto civici dispari da 25 a 31, non presenta lesioni ascrivibili ai dissesti del suolo: si rilevano scollamenti di alcuni spigoli nelle cortine esterne, con messa in luce del ferro sottostante, ma sono state ricondotte ad incuria, vetustà ed infiltrazione di acque meteoriche.

L'esame degli edifici e delle fondazioni, rilevabili dai seminterrati parzialmente visitabili, non mostrano alcun segno di attenzione. Fa eccezione il cortile interno lato ovest, dove si rinviene un abbassamento del suolo, valutato in circa cm 25 massimo, che dovrà essere tenuto sotto controllo con attenzione.

I manufatti lato Guidonia-Montecelio frazione Villalba, presentano una tipologia edificatoria differente. Si osservano piccoli manufatti, sia unità abitative, sia unità di servizio quali rimesse o magazzini, da uno a tre piani, spesso realizzati negli anni 50/60 con modalità incerte di fondazioni, probabilmente a sacco o molto superficiali. Quasi tutti i manufatti della zona investigata di Villalba presentano lesioni da modeste a molto accentuate. A titolo d'esempio si cita la presenza di un magazzino realizzato in lamiera ondulata, completamente disarticolato e rovinato con lesioni anche passanti.

In tale frazione i manufatti, anche quelli più recenti, realizzati probabilmente con un insufficiente supporto progettuale architettonico o ingegneristico, presentano dissesti di diverso grado, quali lesioni, fratture e basculamenti.

Inoltre, lungo l'area nord della zona investigata, si notano puntualmente degli abbassamenti del terreno, morfologie sub-circolari ascrivibili forse a sprofondamenti tipo sink-hole in atto o comunque a variazioni del piano campagna, probabilmente causate da assestamenti di terreni recenti o compressibili.

Ancora nella zona sud di Villalba entro il perimetro investigato, la presenza di

lesioni sui manufatti diminuisce; tuttavia, in Via Bari angolo Via Basilicata in un'area attigua al perimetro circoscritto di rilevamento, in edifici anche recenti, si notano dissesti con lesioni sulle murature.

Le aree esterne al perimetro di investigazione sia verso est, che verso nord, presentano un quadro di fratturazione e lesione accentuato, talvolta preoccupante per l'evoluzione che queste potranno avere in un futuro, anche in relazione allo sviluppo delle aree.

Nella Fig. 11 sono ubicate le strutture sulle quali sono stati rilevati dissesti.





## **5.9 ELEMENTI DI GEOGNOSTICA E GEOTECNICA. A CURA DEI TECNICI REGIONALI**

### **5.9.1 Acquisizione di dati geognostici e indagini preliminari**

Nel corso degli incontri preliminari all'impostazione del progetto di ricerca delle cause dei dissesti, l'Amministrazione provinciale di Roma si era fatta carico di effettuare le indagini geognostiche e geotecniche, necessarie per la verifica delle stratigrafie, per la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni in posto, per l'esecuzione dei down hole. In mancanza di risposta certa nei tempi programmati da parte della Provincia di Roma, sono stati reperiti, dai funzionari della Regione Lazio incaricati della materia, i dati di archivio disponibili presso diversi Enti ed Amministrazioni. In particolare sono state contattate l'Amministrazione Provinciale di Roma, i Comuni di Tivoli e Guidonia, le Ferrovie dello Stato, l'Autorità di Bacino del fiume Tevere, la Società Terme di Roma e l'Associazione Cavatori del Travertino. Inoltre sono stati acquisiti i dati delle investigazioni effettuate da alcuni condomini di via Cesare Augusto in Tivoli, a seguito dell'aggravarsi dei dissesti, e quelli disponibili nel territorio confinante di Guidonia.

Le analisi e i sondaggi non eseguiti, non inficiano in alcun modo la ricerca delle cause dei dissesti in quanto i dati reperiti sono risultati sufficienti per una ricostruzione dell'assetto stratigrafico e geotecnico complessivo dell'area e per la taratura dei rilievi geofisici. Analisi e sondaggi comunque indispensabili in una eventuale futura campagna di maggiori dettagli per programmare interventi di consolidamento o ricostruzione degli edifici.

In dettaglio il Comune di Tivoli ha fornito copie delle denunce dei pozzi privati, cartografie e relazioni tecniche del PRG vigente, ortofoto, fascicoli relativi ai fabbricati ubicati in Via Cesare Augusto senza tuttavia acquisire certezza circa il piano di posa delle fondazioni dei fabbricati stessi.

Il Comune di Guidonia ha fornito la Carta Aerofotogrammetrica comunale digitalizzata, la Carta con il lavori della Linea e della Stazione Ferroviaria nonché le

Planimetrie Stralcio del P.R.G. relative alla zona di Villalba.

Il Comune di Roma, Dip. XIII, ha fornito i dati della indagine geognostica e delle prove geotecniche effettuate nei terreni circostanti il fabbricato in Via Cesare Augusto 51-53 a Bagni di Tivoli, di proprietà comunale.

Le Ferrovie dello Stato hanno fornito studi e risultanze di alcuni sondaggi geognostici eseguiti per l'ampliamento del tracciato ferroviario Roma- Guidonia.

Sono stati inoltre raccolti dati sparsi su di un territorio ampio circa 20 kmq al cui centro si trovano, approssimativamente, le aree direttamente interessate dal fenomeno di subsidenza. Sono stati reperiti circa 40 stratigrafie di sondaggi, a volte comprensive di prove geotecniche di laboratorio su campioni prelevati nel corso dei sondaggi, oltre a prove penetrometriche in situ, sia dinamiche che statiche ed a studi di carattere idrogeologico. I sondaggi che interessano direttamente l'area oggetto di subsidenza sono 18 non uniformemente distribuiti. Le loro stratigrafie schematiche sono riportate nella relazione dell'Università di Roma TRE, a firma del prof. R. Funicello.

### **5.9.2 Analisi dei dati geognostici**

Le stratigrafie dei sondaggi evidenziano una grande variabilità da punto a punto rappresentativa di una situazione morfologica originariamente caratterizzata da un territorio paludoso, che attualmente risulta pressoché pianeggiante, qua e là interrotto da qualche incisione valliva, ma sostanzialmente omogeneo in superficie.

La lettura dei sondaggi e delle correlazioni stratigrafiche ha come motivo dominante la presenza di un substrato di travertino litoide, fratturato, alterato, il cui tetto raggiunge profondità variabili con un massimo di circa metri 13 nel settore nord orientale. Al di sopra si riscontrano, con qualche eccezione, spessori variabili di sedimenti recenti a granulometria fine come argille organiche torbose e terreni limoso-sabbiosi contenenti spesso inglobati al loro interno clasti e pezzame travertinoso.

Da rilevare la quasi costante presenza di terreni torbosi dei quali il massimo spessore riscontrato con i sondaggi a disposizione è di circa metri 6,5 e in corrispondenza delle zone in cui il tetto del travertino risulta più profondo.

Le caratteristiche geomeccaniche dei terreni passano quindi da buone in corrispondenza del travertino, anche se alcune perforazioni indicano la presenza di cavità decimetriche, a modeste fino a scadenti nella parte posta a copertura del travertino stesso.

## 6 PALEOMORFOLOGIA DELL'AREA

L'insieme dei dati acquisiti consente di delineare la morfologia dell'area anche se in tempi piuttosto recenti.

Dato essenziale era la presenza nell'area di depressioni naturali, probabili testimonianze di antichi bacini lacustri, di diverse profondità come testimoniato dalle isobate del tetto del travertino e dalla potenza dello strato di torbe.

Eventuali attività estrattive effettuate in zona sembrano poco plausibili considerato l'andamento abbastanza omogeneo del tetto del travertino litoide e la presenza di acqua quasi superficiale collegata alla formazione di bacini lacustri sostenuti da livelli poco permeabili a tetto del travertino litoide.

L'azione antropica, con il riempimento delle depressioni con terreno di riporto eterometrico ed eterogeneo, con clasti di travertino e frammenti di laterizi ha di fatto omogeneizzato la superficie del suolo con l'attuale morfologia pianeggiante. Azione questa ancora in atto e che al momento sta interrando con scarti di cava parte del Canale delle Acque Sulfuree poi Albule che con oltre 4 km di tracciato conduceva le acque di sfioro del Lago della Regina, valutate in 2.120 l/sec nel 1974, al Fiume Aniene.

## **7 ASPETTI SALIENTI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI EFFETTUATE**

Il dato che emerge con assoluta certezza è che la zona di Bagni di Tivoli, come in prima approssimazione e relativamente all'area della Piana investigata delimitata nella Fig. 12, è soggetta al fenomeno della subsidenza che fa sentire i suoi effetti sull'edificato provocando danni alle strutture anche di notevoli entità.

Al momento attuale nella zona circa il 40% degli edifici esistenti sono interessati da dissesti riconoscibili prevalentemente come lesioni, schiacciamenti e cedimenti differenziati, per cui la zona si inserisce fra quelle indicate in letteratura come a "subsidenza catastrofica".

La situazione geologica che è stata riscontrata evidenzia su di un substrato elettricamente resistente (travertini litoidi) un complesso conduttore (sabbie, limi, argille e torbe) di spessore variabile generalmente dai 3,5 ai 13 metri nell'area degli edifici, ad andamento frastagliato la cui profondità comunque aumenta procedendo verso NE ove è stato riscontrato uno spessore superiore a 35 metri.

Anche il modello gravimetrico tridimensionale conferma i dati geoelettrici e geognostici con la prima decina di metri caratterizzata da terreni a bassa e bassissima densità ed una morfologia piuttosto articolata. I valori negativi di anomalia gravimetrica residua sono prodotti da un sottosuolo con un densità molto bassa e conseguentemente con scarse qualità geotecniche.

Le sezioni sismiche mettono in evidenza la presenza di tre principali livelli che sebbene presenti in tutta la zona hanno spessori fortemente variabili con variazioni laterali anche piuttosto rapide. Entro i primi 10-15 m di profondità dal p.c. si osserva una situazione del sottosuolo piuttosto differenziata; infatti si alternano zone con notevoli spessori di terreni a bassa o bassissima velocità e quindi scarsamente costipati, a zone che a pochi metri di profondità (4-7 m dal p.c.) riscontrano terreni a velocità elevata ascrivibili a travertini litoidi. A profondità maggiori si osserva la presenza in quasi tutta la zona in studio di unità ad alta velocità riconducibili a

*Indagini per determinare le cause dei dissesti agli edifici di Via Cesare Augusto  
e aree limitrofe, in località Bagni di Tivoli*



Figura 12 - Prima approssimazione delle aree in subsidenza

travertini litoidi fatta eccezione per la zona NE e la zona SW dove le velocità si mantengono relativamente basse e quindi le unità travertinose litoidi sono più depresse.

I dati delle prospezioni geofisiche sono risultati compatibili con lo studio sulla microzonazione sismica che ha prodotto una carta basata sul coefficiente S della normativa sismica 2003, con due aree distinte rispettivamente con  $S=1.25$  e  $S=1.35$  ed una curva di regressione esponenziale che, sulla base dello spessore del deposito a bassa densità, fornisce immediatamente il valore S da utilizzare nell'area indagata.

Questa situazione litostratigrafica è il risultato di pregressi e diffusi fenomeni carsici, allineati prevalentemente in direzione N-S lungo la discontinuità principale, che hanno dato luogo a depressioni naturali e quindi ad antichi bacini lacustri, di diverse profondità come testimoniato dalle isobate del tetto del travertino e dalla potenza dello strato di torbe.

I dati delle analisi dei campioni di gas ed acque, hanno evidenziato la risalita di fluidi profondi sia liquidi che gassosi lungo vie di maggiore permeabilità costituite dalle faglie e fratture presenti nell'area. In particolare è stata accertata la risalita di acque calde mineralizzate fortemente arricchite in gas. Tali acque verso la superficie sono diluite, secondo rapporti che possono variare in funzione delle caratteristiche idrogeologiche locali, da acque appartenenti a circuiti più superficiali. Il sistema pertanto risulta simile a quello delle acque che alimentano i laghetti della Acque Albule. Il chimismo (valori di pH, presenza di elevati valori di  $CO_2$  e  $H_2S$  disciolti nelle acque, ecc.) delle acque analizzate indica chiaramente la loro capacità aggressive nei confronti dei carbonati che può portare a fenomeni di dissoluzione degli stessi e/o dei cementi carbonatici e quindi contribuire:

- ad alterare le caratteristiche "tecniche" dei terreni e quindi ai dissesti presenti nell'area;

- a costituire un elemento di pericolo a medio e/o a lungo termine in quanto il processo di dissoluzione dei carbonati è una delle cause della formazione di processi



di sprofondamento (sinkhole).

Ad una distanza variabile, superiore a 1,2 km, sono attualmente in esercizio 44 cave concentrate, nel territorio del Comune di Tivoli, principalmente nelle Località "Barco" e "Vallepilella" ed in quello di Guidonia in Località "Le Fosse". Le quote di coltivazione risultano in vari casi intorno ai 50 m. s.l.m., mediamente intorno ai 40 m s.l.m. ed in alcuni casi (area a NO della Località "Le Fosse" e a SW della Località "Barco") arrivano anche al di sotto di quota 30 m. s.l.m.

L'acqua di falda che si riscontra al di sotto della quota piezometrica è abbattuta mediante pompe, fino alla quota del piazzale di cava, e viene travasata prevalentemente in due canali di raccolta, Pastini e Longarina, e da qui al Fiume Aniene.

Ulteriore acqua viene prelevata dalla falda idrica dai circa 40 laboratori operanti nel campo estrattivo per la trasformazione dei blocchi e dalle 35 segherie per il taglio dei blocchi stessi.

La portata totale dei due canali di raccolta delle acque di emungimento provenienti dalle cave di travertino in esercizio varia tra 3.6 e 4.1 mc/s, dato che rappresenta lo stesso ordine di grandezza (o superiore) della potenzialità delle risorse idriche attribuite alla idrostruttura lucretile-cornicolana. Dallo stesso acquifero deriva la portata di 500 l/s delle sorgenti Regina e Colonnelle utilizzate dalle Terme di Roma e, fra le altre, della Sorgente Bretelle in località Barco che, dal 1997 ad oggi, ha visto ridotto di 5 volte la sua portata naturale passando da circa 500 l/s a poco meno di 100 l/s.

La ridotta entità delle precipitazioni, che sulla base dei dati degli ultimi 20 anni a scala regionale è valutata del 10-15%, non è in grado di modificare in modo apprezzabile sia il regime naturale della falda regionale lucretile-cornicolana sia la portata delle grandi sorgenti.

Alla scala locale dell'acquifero dei travertini, dai dati isotopici si configura un

forte legame tra le sorgenti delle Acque Albule, le acque sotterranee di alcuni piezometri dell'area di Via Cesare Augusto, le acque sorgentizie del Barco, le acque della sorgenti lineare in riva destra del F. Aniene e le acque di pompaggio convogliate nei canali Pastine e Longarina (vedi fig. 10)

## **8 CAUSE DEI DISSESTI AGLI EDIFICI DI BAGNI DI TIVOLI E DI VILLALBA DI GUIDONIA**

I dati acquisiti con le indagini specialistiche, verifiche di campagna e ricerche bibliografiche hanno permesso di stabilire quali sono le cause dei dissesti degli edifici e delle infrastrutture.

La prima considerazione è che si esclude che i dissesti siano collegati in qualche modo alla formazione di sinkhole in atto. Infatti i dati delle indagini geofisiche condotte e fra loro incrociati non hanno rilevato zone significative con carenza di massa o con presenza di cavità ipogee. La zona è stata in epoche remote interessata da sprofondamenti con l'impostazione di laghi, che ha dato luogo ad una litostratigrafia complessa e geotecnicamente scadente, ma al momento attuale non è indiziata di sinkhole.

Escluso l'effetto sinkhole le cause dei dissesti sono ricollegabili ad alcuni fattori che, congiuntamente, determinano il fenomeno.

Il più significativo è rappresentato dalle situazione litostratigrafica che caratterizza la zona fino a discrete profondità.

La maggior parte dei terreni posti a copertura del substrato di travertino litoide sono caratterizzati da pessime caratteristiche geotecniche e quindi, sotto l'azione di un qualche fattore che modifica l'assetto naturale, soggetti a costipazione.

Il fattore che ha accelerato il fenomeno della subsidenza è l'abbassamento del livello della falda idrica che nell'area è stato misurato in circa 5/6 metri.

Le caratteristiche delle opere di fondazione di buona parte degli edifici presenti nell'area possono essere indicate come concausa. Fattore questo non sostanziale in quanto:

- l'aggravamento delle lesioni e degli schiacciamenti è avvenuto negli ultimi 5-6 anni, anche su edifici realizzati negli anni '50, '60, '70 ed '80;
- i manufatti a più piani, 6-7, molto allungati in senso longitudinale ubicati in via Cesare Augusto, in via Orazio e Largo Ugo La Malfa sono costruiti verso la metà-fine anni 80, in cemento armato e con fondazioni profonde. Nella zona interessata da questi edifici il substrato litoide si riscontra fra 3,5 metri e i 10 metri di

profondità. È difficilmente ipotizzabile che fondazioni profonde si fermino prima dei 10 metri, per cui le opere fondali, almeno per questi stabili, sono presumibilmente adeguate;

- sempre in questi edifici, a conferma dell'adeguatezza delle opere fondali, i dissesti sembrano interessare le strutture non portanti.

Pertanto il fenomeno di subsidenza riguarda sostanzialmente la costipazione dei terreni naturali originata dall'abbassamento della falda idrica, come del resto è evidente negli edifici di Via C. Augusto, ove, lungo il perimetro della corte e il suolo naturale esistono tratti in cui questo ultimo risulta ribassato anche di circa 30 cm. La subsidenza riguarda quindi principalmente il suolo circostante per gli edifici significativi e non sembrano direttamente coinvolte le strutture portanti e le opere fondali in quanto adeguate. In caso di subsidenza generalizzata, e quindi con coinvolgimento degli edifici, il fenomeno a causa del peso dello stabile sarebbe stato invertito con abbassamento della corte rispetto al suolo naturale circostante privo di qualsiasi aggravio. Di contro in presenza di edifici di modeste dimensioni e quindi con opere fondali superficiali, zona Villalba NO di Guidonia, la subsidenza del terreno di sedime del manufatto, provoca dissesti anche strutturali piuttosto consistenti e fenomeni di cedimenti differenziati.

La correlazione quindi dei dati di tutte le indagini effettuate, indicano un abbassamento della falda acquifera, che ha di conseguenza variato le caratteristiche del sottosuolo con la costipazione dei terreni superficiali a bassa e bassissima densità e l'attivazione o l'accelerazione del fenomeno di subsidenza che si manifesta sulla superficie del suolo con una serie impressionante di dissesti su circa il 40% del tessuto abitativo esistente nell'area.

## 9 CONCLUSIONI, SUGGERIMENTI E RACCOMANDAZIONI

La conclusione degli studi ed accertamenti effettuati ha evidenziato:

- l'area su cui insistono gli edifici dissestati è soggetta al fenomeno della subsidenza, che, negli ultimi anni, ha subito una notevole accelerazione;
- il principale fattore del fenomeno di subsidenza in Bagni di Tivoli e Villalba di Guidonia NO è rappresentato dalle caratteristiche fisico meccaniche e dalla situazione litostratigrafica dei terreni posti a copertura del substrato di travertino litoide, dotati di scadenti qualità geotecniche;
- il fattore scatenante, di un processo comunque in atto anche se con tempi lunghi, è legato alla dinamica degli abbassamenti del livello della falda che avrebbe assunto una decisa accelerazione negli ultimi 5-6 anni e che sarebbe al momento fissato intorno ai 5/6 metri;
- la causa sostanziale dell'abbassamento della superficie piezometrica è dovuto alle sollecitazioni dinamiche del pompaggio delle cave in esercizio che si trasmettono rapidamente nell'acquifero dei travertini, esaltate dal mese di maggio dall'effetto prodotto dal pompaggio del sistema sorgentizio Regina-Colonnelle per l'approvvigionamento delle piscine delle Terme di Roma. Per cui, con l'avvio della stagione termale, gli abbassamenti sono determinati dalla sommatoria degli effetti prodotti dal pompaggio delle cave e del Lago Regina. Naturalmente non sono solo questi i prelievi dall'acquifero ma questi sono senz'altro i più significativi per volumi di acqua sottratti. La forte diminuzione della pressione idrostatica prodotta dal pompaggio dell'acquifero nei travertini, determina una generale decompressione dell'acquifero con riduzione della spinta alla base dei depositi terrigeni di copertura con la conseguente deviazione della fase gassosa e liquida verso le stazioni di pompaggio dove si raggiungono i massimi abbassamenti dinamici. Questa depressurizzazione del sistema acquifero potrebbe favorire la costipazione dei sedimenti non addensati con l'accelerazione o l'innescò del fenomeno di subsidenza.
- sulla base dei dati piezometrici a disposizione dagli anni '60 agli inizi del 2000, si individuano nell'acquifero del travertino aree sostanzialmente concentriche con diversi abbassamenti del livello di falda (Fig. 8), il cui punto maggiormente drenato (oltre 30 metri) dal pompaggio delle acque sotterranee si colloca ai limiti orientali dell'abitato di Villalba. Nell'area degli edifici di Via Cesare Augusto e di Villalba NO l'abbassamento medio del livello di falda sarebbe di circa 5/6 metri, con incremento verso Villalba NO. Le curve di eguale altezza degli abbassamenti rappresentano il risultato degli effetti prodotti da una complessa rete di stazioni di pompaggio, dislocate in buona parte nelle 44 cave in esercizio, con lo scopo di

mantenere il livello di falda alla quota di coltivazione;

- gli studi effettuati escludono che il fenomeno si arresti in un prossimo futuro. Anzi, permanendo le attuali condizioni, esso è destinato a progredire ed anche con una certa velocità;
- l'area esaminata non era e non è idonea all'edificazione per processi di subsidenza in atto, non controllabili e non sanabili con interventi operativi. La zona è geologicamente in evoluzione, situata all'incrocio di sistemi di faglie, con risalite di fluidi profondi ed aggressivi;
- la situazione degli edifici è destinata a peggiorare con l'evolversi del fenomeno fino a conseguenze anche gravi. In presenza di sisma gli effetti sarebbero a dir poco catastrofici considerando che gli edifici in qualche modo interessati da dissesti evidenti sono circa 140;
- la zona, inclusa fra quelle note come "subsidenza catastrofica", è già fortemente disastata e compromessa;
- è indispensabile programmare ed attivare, nell'immediato, interventi per la pubblica e privata incolumità;
- per il futuro cercare di recuperare la situazione di crisi con interventi sostanziali specie nella direzione della prevenzione. Dovrà essere valutato fra l'altro, anche la possibilità del trasferimento dell'abitato, l'inibizione per le zone subsidenti a qualsiasi ipotesi urbanistica, il contenimento delle cause che accelerano i processi di subsidenza in un quadro di sviluppo sostenibile.

La documentazione tecnico-scientifica cui si fa riferimento nella presente relazione è reperibile presso l'Area Difesa del Suolo – SIRDIS.

