



The Consolidation of the Todi Hill Landslides

Endro MARTINI , Geologist , *Alta Scuola External Expert*
endromartini@gmail.com

Massimo MARIANI, Engineer and Architect, *MARIANI RICERCHE APPLICATE ENG.*

ricercheapplicate@libero.it

Todi, Tuesday 23 July 2024



The Consolidation of the Todi Hill Landslides

PART 1

Geology, geomorphology and types of landslides to geo-hydrological instability

Endro MARTINI , Geologist , *Alta Scuola External Expert*
endromartini@gmail.com

Todi, Tuesday 23 July 2024



Location and panoramic view of the Todi Hill

Posizione e vista panoramica sulla collina di Todi

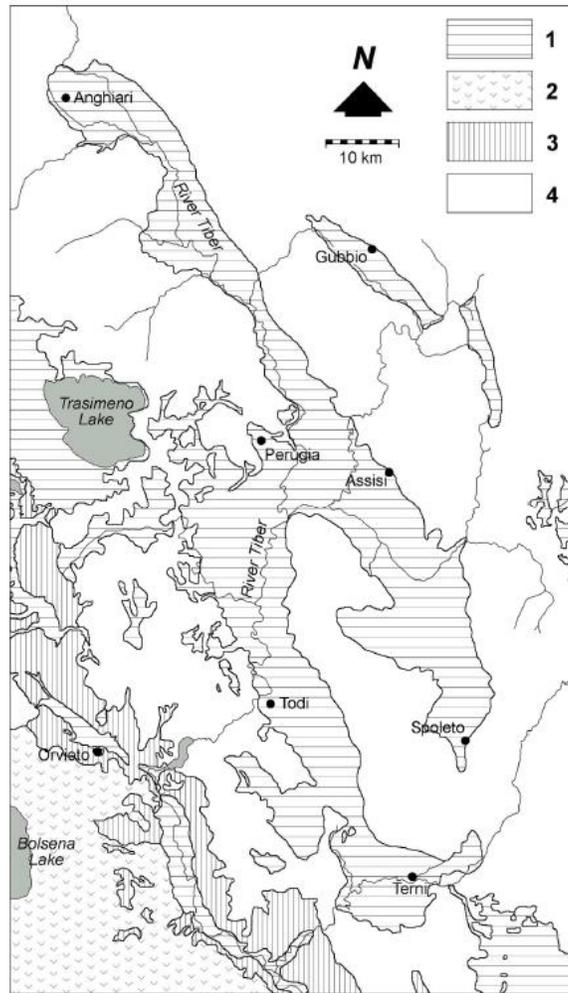


Fig. 2 – Essential geological sketch of the “Ancient Tiberian Lake” area (Umbria, central Italy). LEGENDA: 1) clastic sediments in continental facies (recent alluvial sediments, lacustrine and fluvial-lacustrine sediments, from Pliocene to Olocene); 2) volcanic rocks of the Vulsin Volcanic Complex (Middle Pleistocene); 3) clastic sediments in marine facies (sedimentary cycles of Lower Pleistocene and Pliocene age); 4) pre-pliocenic bedrock.

Le formazioni geologiche che costituiscono la Collina di Todi hanno avuto origine nei terreni fluvio lacustri dell’ antico Lago Tiberino

The geological formations that make up the Todi Hill originated in the fluvio-lake soils of ancient Lake Tiberino

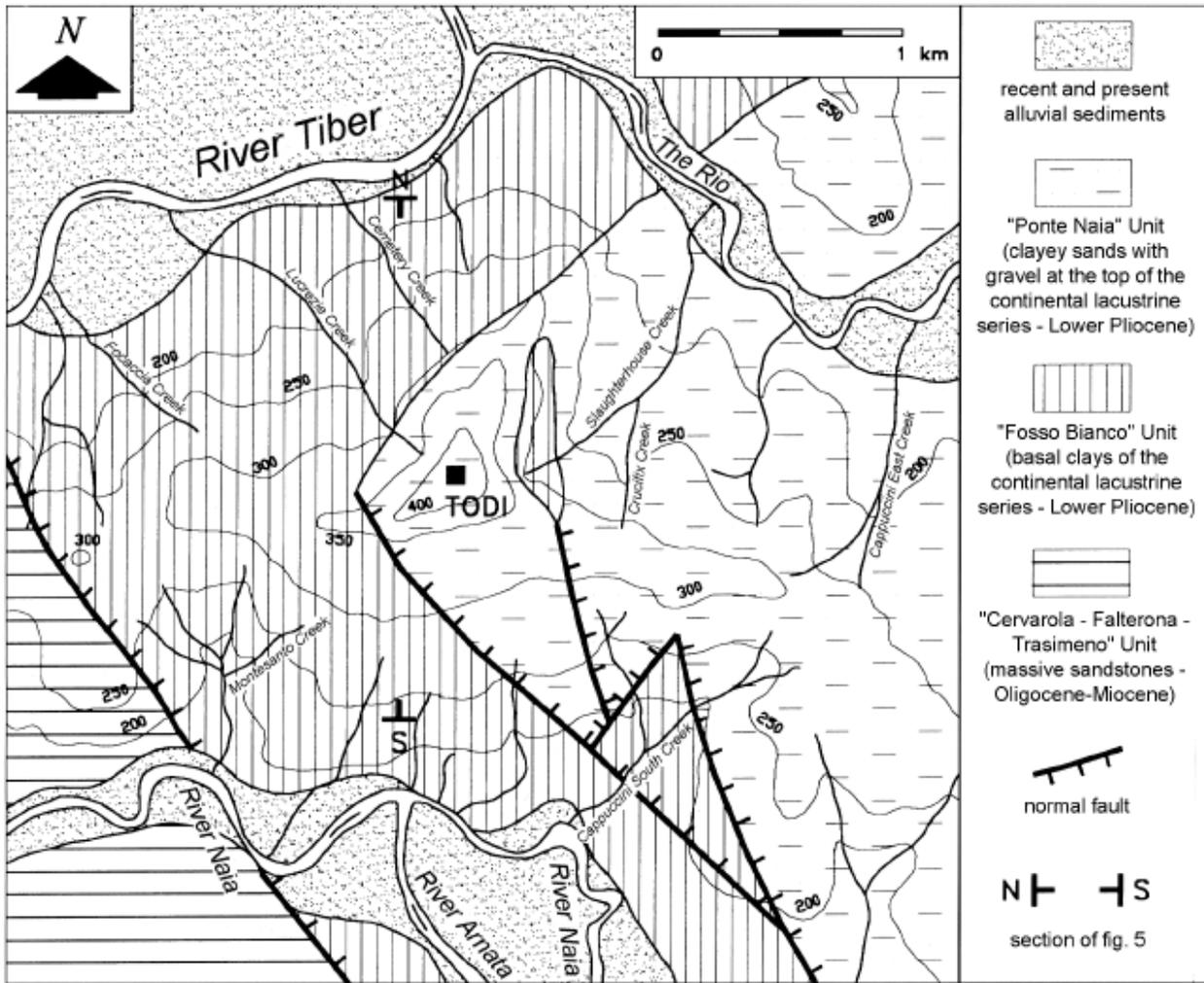


Fig. 4 – Geolithological sketch of the Hill of Todi. After CONVERSINI *et alii* (1995), redrawn.

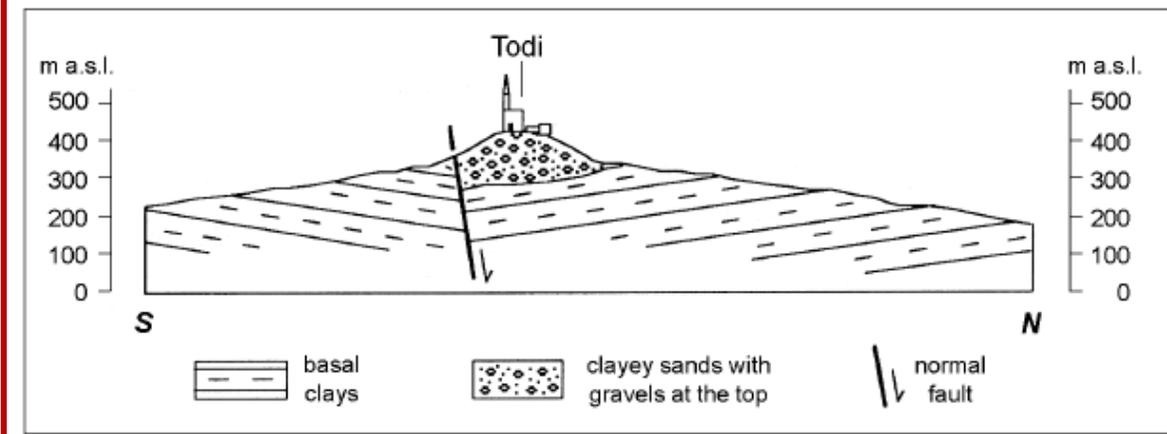
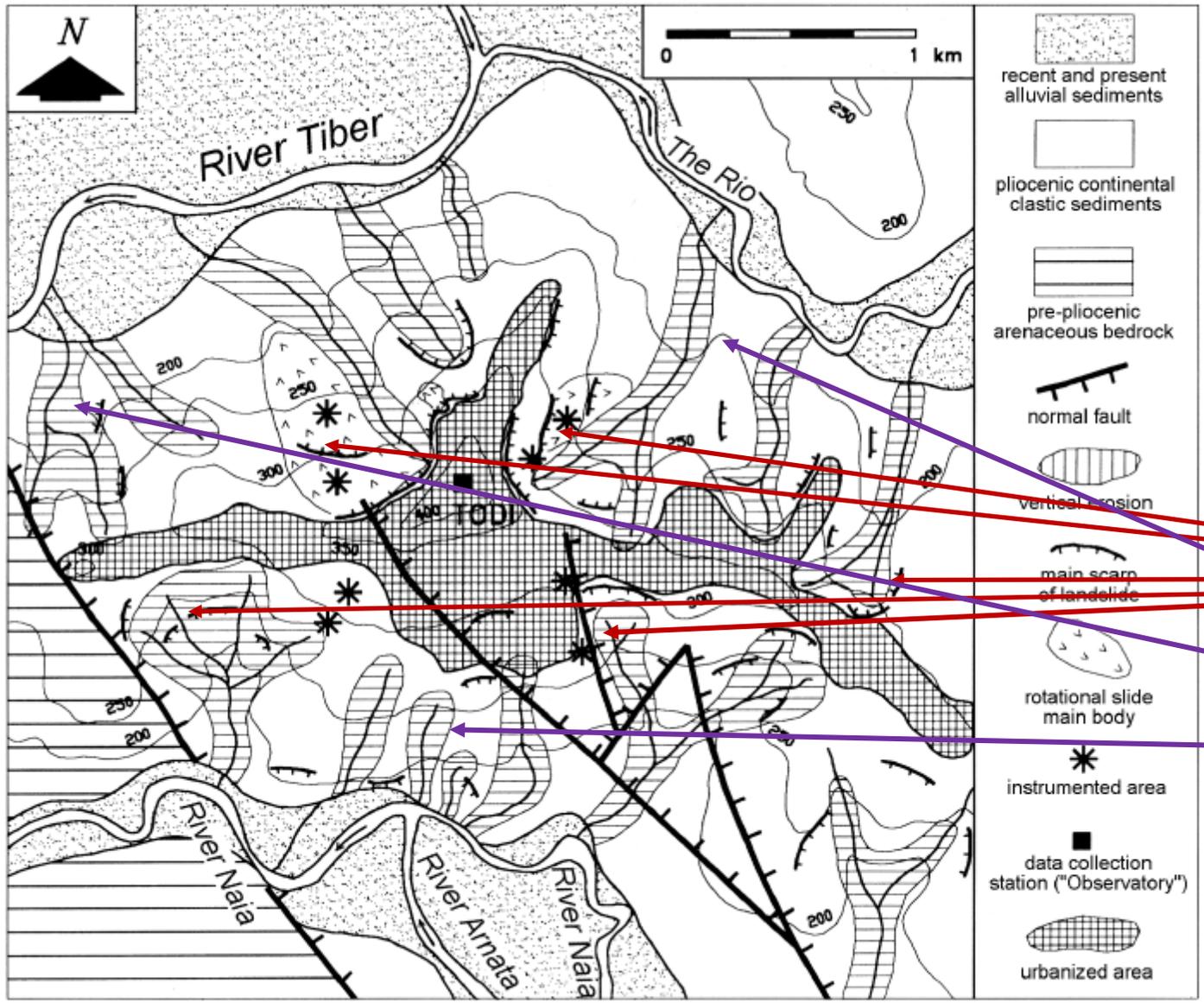


Fig. 5 – Schematic geological section through the Hill of Todi. After CONVERSINI *et alii* (1995), redrawn.

A sinistra lo schema Geolitologico della Collina di Todi e sopra una sezione geologica: alla base una formazione argillosa sormontata da depositi con argille, sabbie e ghiaie debolmente cementate

To the left is the geological outline of the Todi Hill and above is a geological section: at the base a clayey formation topped by deposits with clays, sands and gravels weakly cemented



**Carta geomorfologica della Collina di Todi
con la posizione delle frane e dei fenomeni
di erosione**

*Con il contributo di Luca Domenico Venanti
(Geologo)*

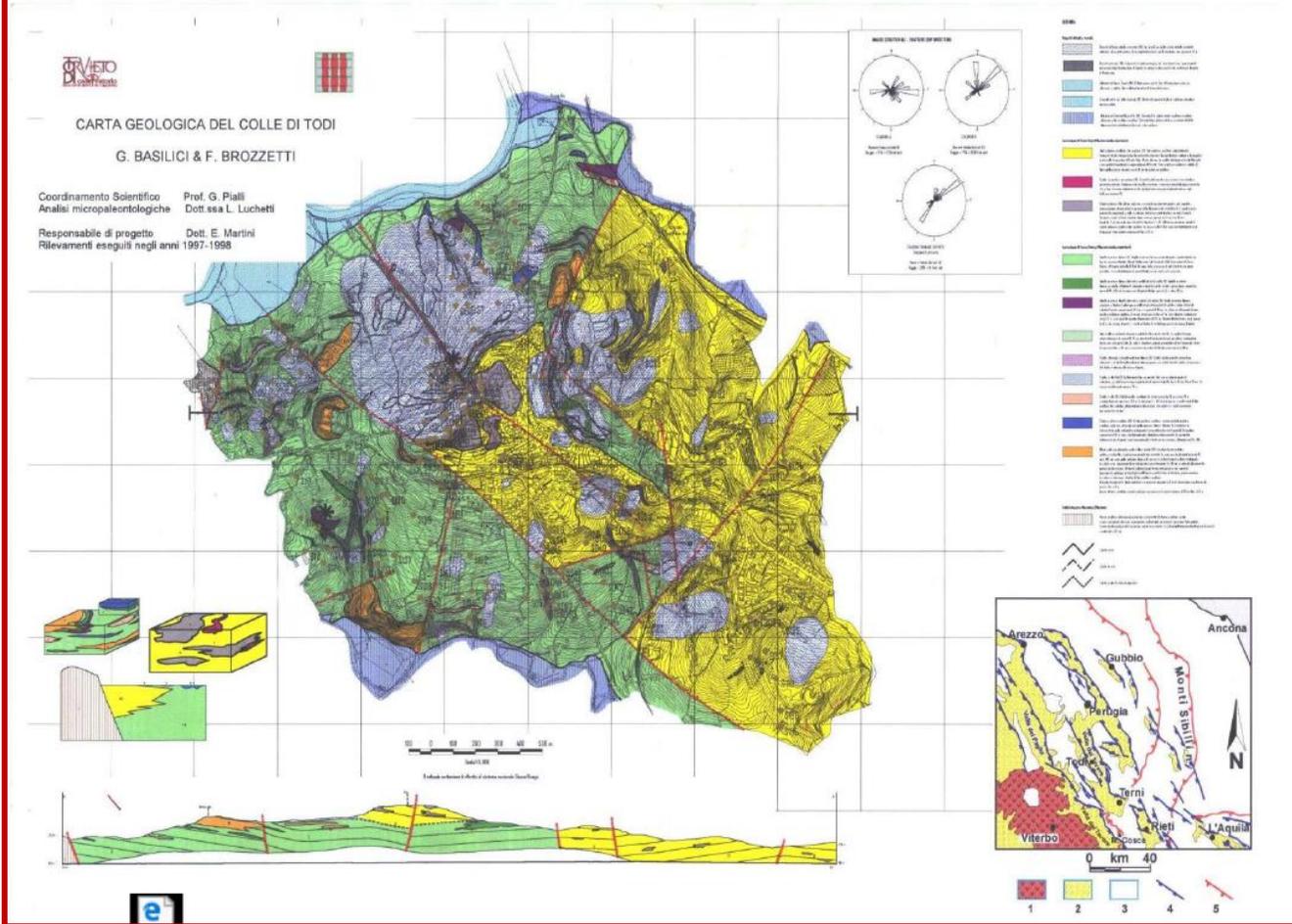
*Geomorphological map of the Todi Hills
with the location of landslides and erosion
phenomena*

Landslide

Erosion

*Contributed
by Luca Domenico Venanti (Geologist)*

Fig. 6 – Geomorphological sketch of the Hill of Todi. After CONVERSINI *et alii* (1995), redrawn.



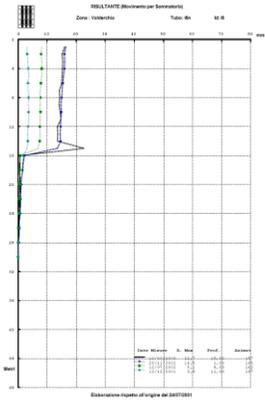
Carta Geologica del Colle di Todi a colori *Geological Map of the Todi Hill in Colour*

Sono stati condotti numerosi studi ed indagini per capire la tipologia, la profondità della falda e dei piani di scivolamento delle frane. Sono stati eseguiti numerosi sondaggi geognostici, installati tubi inclinometrici per misurare profondità e velocità dei movimenti franosi e piezometri per misurare la profondità e le oscillazioni stagionali della superficie piezometrica (della falda)

Numerous studies and investigations have been conducted to understand the type, depth of the water table and landslide planes. Numerous geognostic surveys have been carried out, inclinometer tubes have been installed to measure the depth and speed of landslide movements, and piezometers have been installed to measure the depth and seasonal fluctuations of the piezometric surface (the water table)

Strumentazione e rete geodetica

Instrumentation and geodetic network



Elaborazione misure inclinometriche: profondità piano di scivolamento della frana e velocità

Processing inclinometer measurements: landslide plane depth and velocity

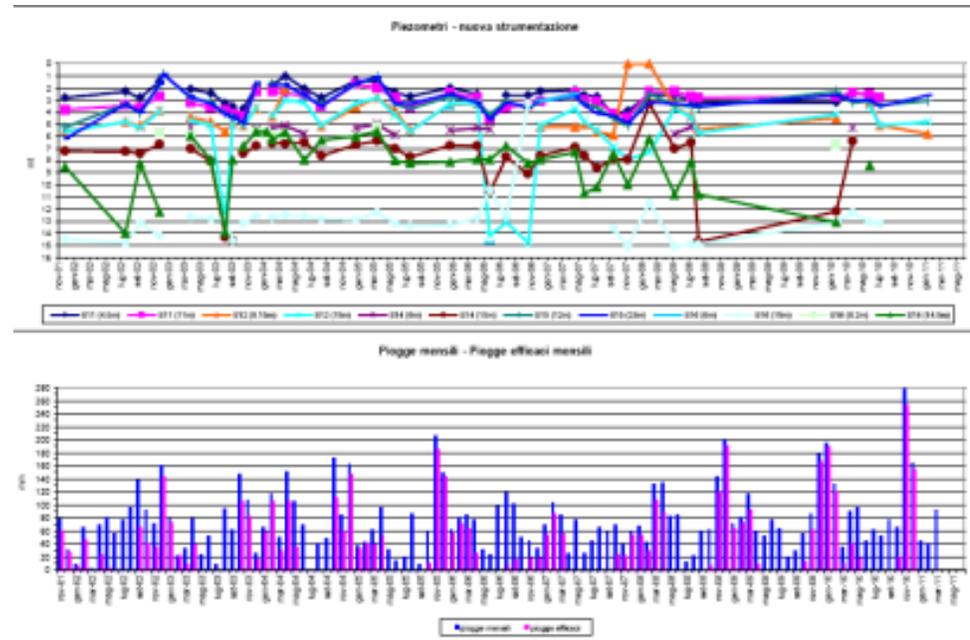
- **piezometri**
- **inclinometri**
- **reti geodetiche**
- **stazioni meteorologiche**



weather stations



geodetic networks

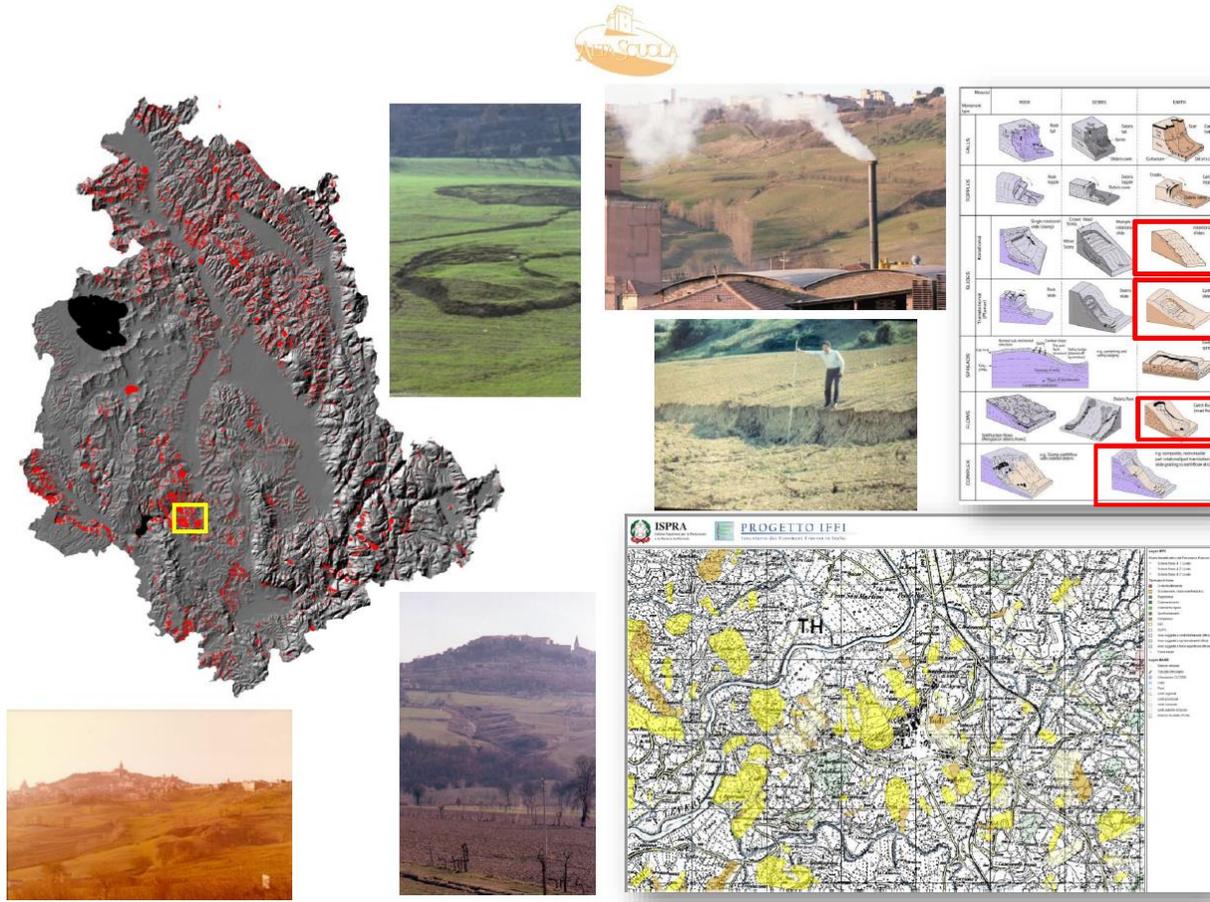


*Elaborazione dati piezometrie e piogge
Piezometry and rainfall processing*



Piezometers Inclinometers

Distribuzione e tipologia delle frane



Distribution

Distribution and typology of landslides



geological formations

Distribuzione e tipologia delle frane

La grande frana del Fosso delle Lucrezie con la Porta Romana ruotata e sprofondata

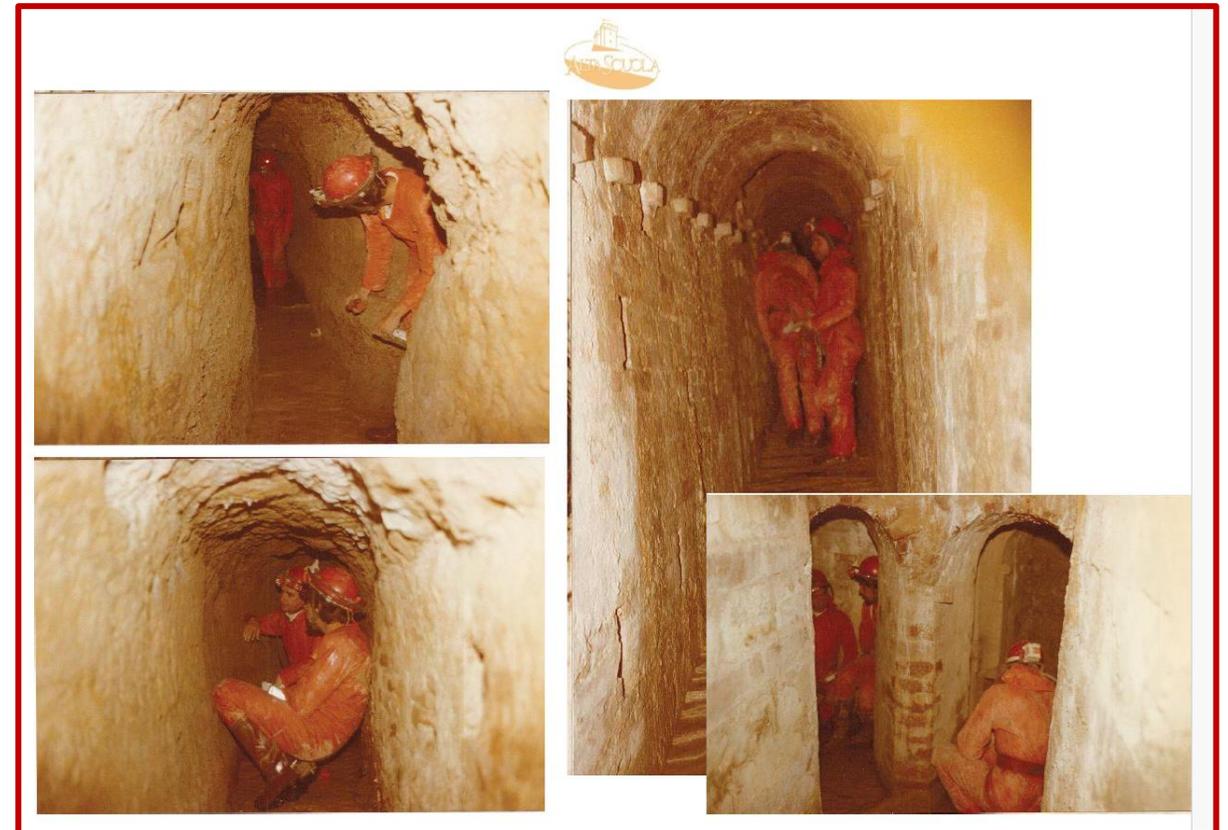
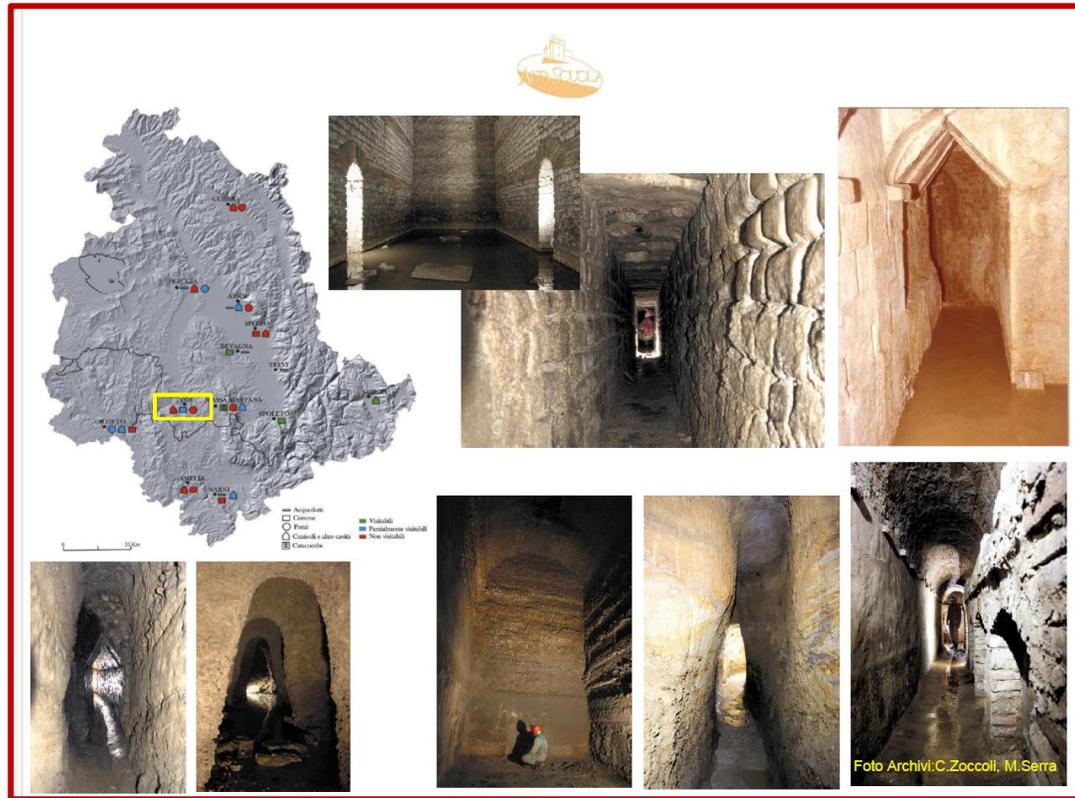
Distribution and typology of landslides

The great landslide of the Fosso delle Lucrezie with the Porta Romana turned and collapsed

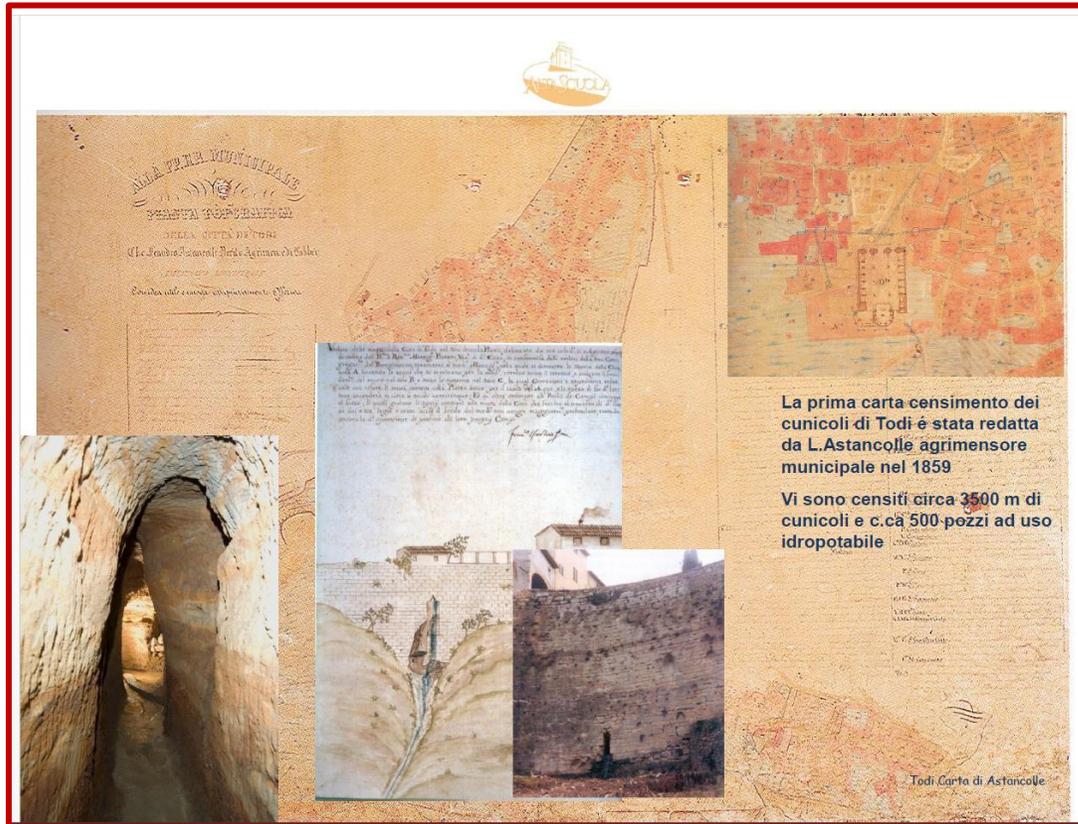


Indagini sui cunicoli storici (anche etruschi) e sulle cisterne romane e sui pozzi esistenti in città

Investigation of historical (Etruscan) tunnels and Roman cisterns and wells in the city

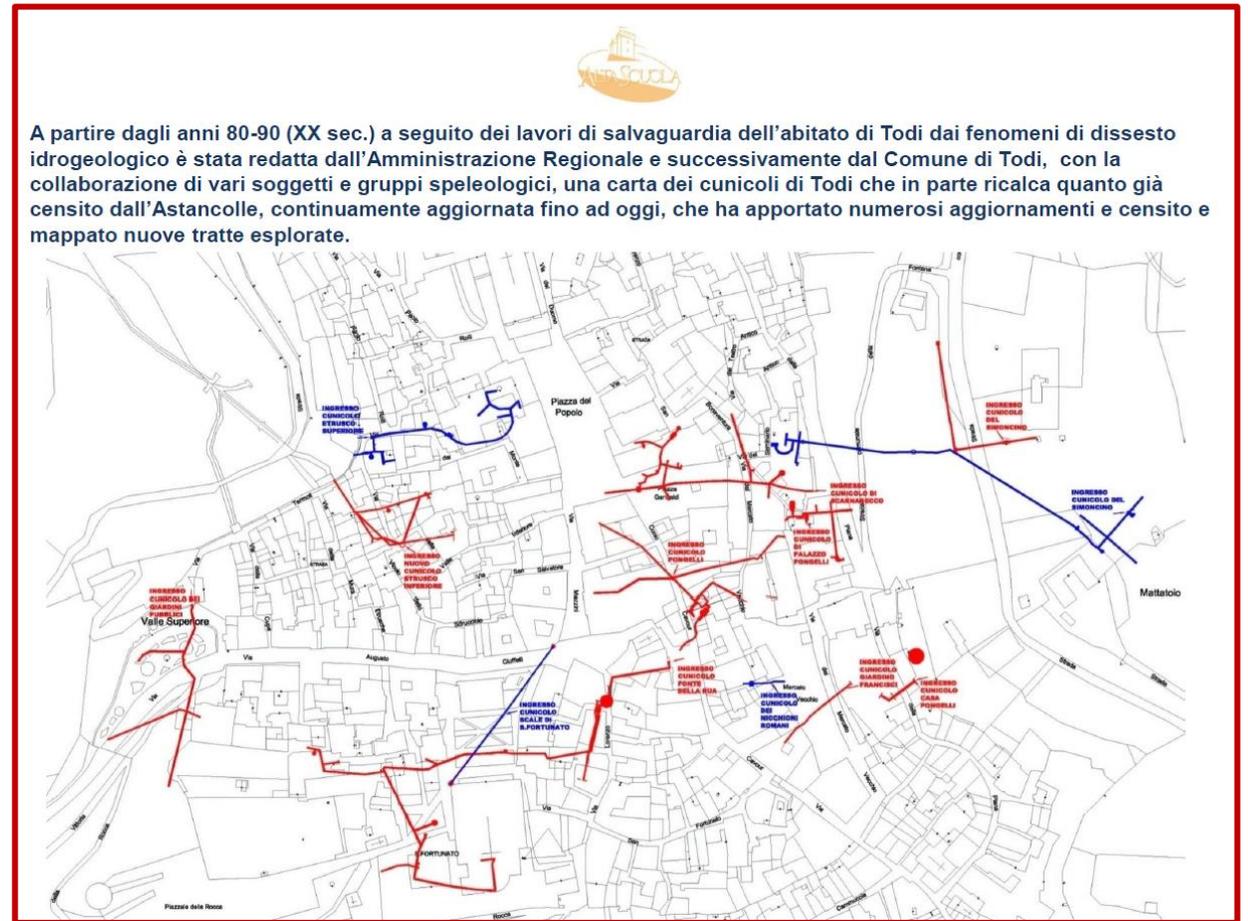


Carte dei Cunicoli di Todi



Rilevi antichi - *Ancient reliefs (1859)*

Maps of the Tunnel of Todi



Cartografia recente - *Recent Cartography (2000)*

La prima legge dello Stato Italiano per il consolidamento delle frane della collina di Todi è del 1978:
"Provvedimenti urgenti per il consolidamento della Rupe di Orvieto e del Colle di Todi al fine di salvaguardare il patrimonio paesaggistico, storico, archeologico e artistico delle due città«

La seconda legge è del 1987: "Disposizioni per il definitivo consolidamento della Rupe di Orvieto e del Colle di Todi".

*The first law of the Italian State for the consolidation of the landslides on the Todi hill was in 1978:
"Urgent provisions for the consolidation of the Rupe of Orvieto and the Hill of Todi in order to safeguard the landscape,
historical, archaeological and artistic heritage of the two towns".*

The second law is from 1987: "Provisions for the definitive consolidation of the Rupe of Orvieto and the Hill of Todi".

I PROBLEMI INDIVIDUATI A SEGUITO DEGLI STUDI E DELLE INDAGINI EFFETTUATE SONO STATI AFFRONTATI GLOBALMENTE SECONDO LE SEGUENTI LINEE D'AZIONE

- Mitigazione e riparazione degli effetti attraverso opere di ingegneria;
- Eliminazione delle cause attraverso la regolazione delle acque piovane con rifacimento delle canalizzazioni esistenti (fognature e acquedotto) e con sistemi di drenaggio lungo le pendici del colle;
- Protezione e riparazione dei monumenti in dissesto e del patrimonio culturale;
- Aggiornamento della pianificazione urbana con regole di non edificazione;
- Creazione di un sistema di monitoraggio e controllo dell'efficacia delle opere realizzate;
 - Creazione di un osservatorio comunale per la manutenzione delle opere realizzate, al fine di prolungarne la durata.

THE PROBLEMS IDENTIFIED AS A RESULT OF THE STUDIES AND INVESTIGATIONS CARRIED OUT HAVE BEEN COMPREHENSIVELY ADDRESSED ALONG THE FOLLOWING LINES OF ACTION

- *Mitigation and repair of the effects through engineering works;*
- *Elimination of the causes through the regulation of rainwater by rebuilding the existing channels (sewers and aqueducts) and with drainage systems along the slopes of the hill;*
- *Protection and repair of damaged monuments and cultural heritage;*
- *Updating of urban planning with no-building rules;*
- *Creation of a system to monitor and control the effectiveness of the works carried out;*
- *Creation of a municipal observatory for the maintenance of the works realised, in order to prolong their life.*



The Consolidation of the Todi Hill Landslides

PART 2

Stabilization Works on the Hill of Todi

Massimo MARIANI, Engineer and Architect, *MARIANI RICERCHE APPLICATE ENG.*
ricercheapplicate@libero.it

Todi, Tuesday 23 July 2024

I lavori di consolidamento delle frane del colle di Todi sono stati eseguiti in circa 15 anni.

Hanno interessato tutto il perimetro della collina e il centro storico

Sono stato il Direttore di questi lavori e anche progettista di alcuni interventi di consolidamento di monumenti danneggiati .

Non abbiamo il tempo di entrare nel dettaglio né di esporre tutto quanto è stato fatto.

Mi limiterò quindi a illustrare le opere principali eseguite utilizzando soprattutto immagini che commenterò

The landslide consolidation work on the Todi hill has taken about 15 years.

They affected the entire perimeter of the hill and the historic centre

I have been the director of these works and also the designer of some of the works for the consolidation of monuments damaged

We do not have the time to go into the details nor to expose everything that has been done.

I will therefore limit myself to illustrating the main works carried out using mainly images that I will comment on.

**Vi illustrerò prima i lavori che hanno interessato il centro storico e le pendici
del Colle di Todi**

**A seguire vi illustrerò alcuni lavori di consolidamento e restauro di alcuno
importanti monumenti**

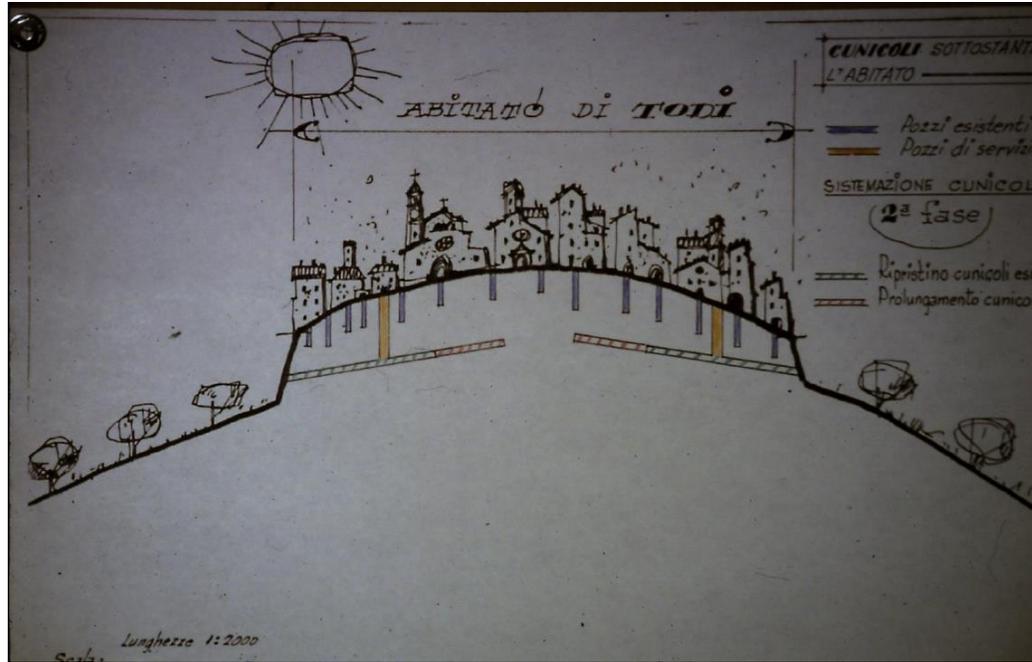


*I will first illustrate the works that have affected the historic centre and the slopes
Todi hill*

*Next, I will illustrate some consolidation and restoration works on
some important monuments*

Restauro della funzionalità dei cunicoli storici

Restoration of the functionality of the historic underground passages



Schema di intervento *Scheme of intervention*



Antica porta di accesso *Ancient gateway*

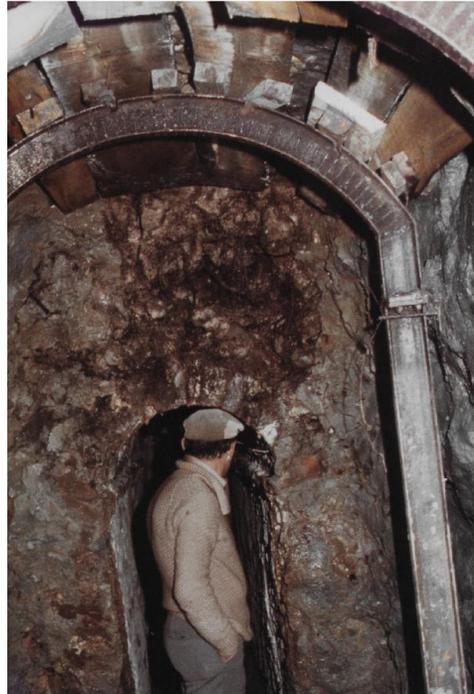
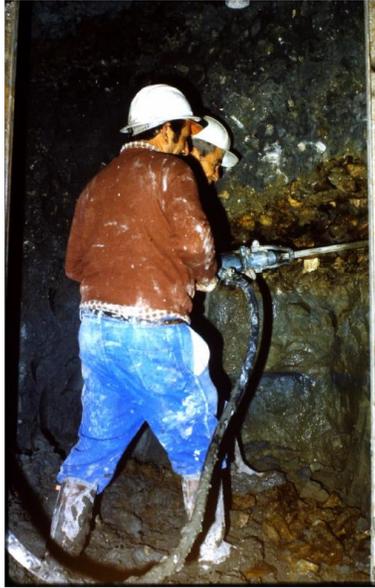
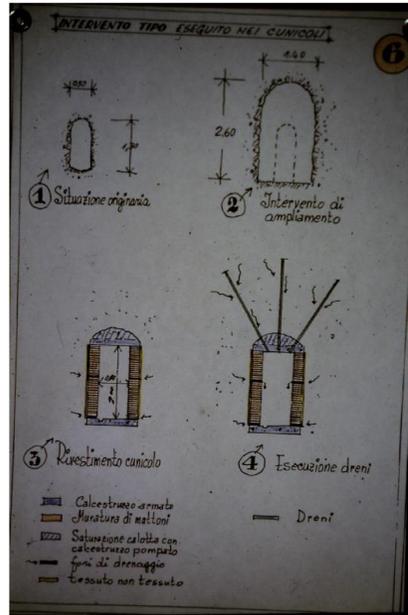


Pozzi scavati per accedere ai cunicoli dal centro storico

Wells dug for access from the historic centre

Immagini dei lavori di scavo per il ripristino della funzionalità dei cunicoli e delle cisterne romane

Images of the excavation work to restore the functionality of the tunnels



**Rifacimento rete idrica e fognante ,
canalizzazioni per servizi, e ripavimentazione su
tutto il centro storico**

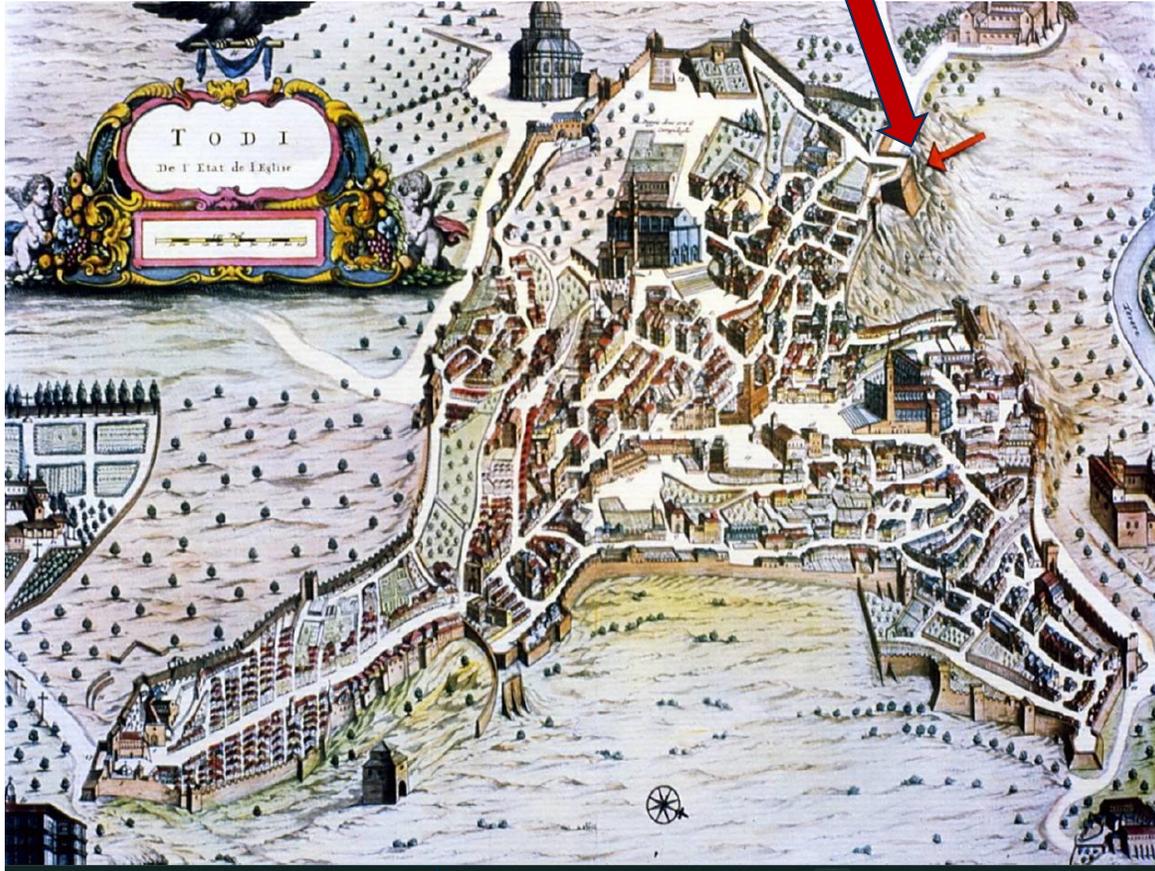
*Renovation of the water and sewerage
network, service ducts, and repaving
throughout the historic centre*



Non ho immagini di Todi:
questa è di orvieto tagliata:

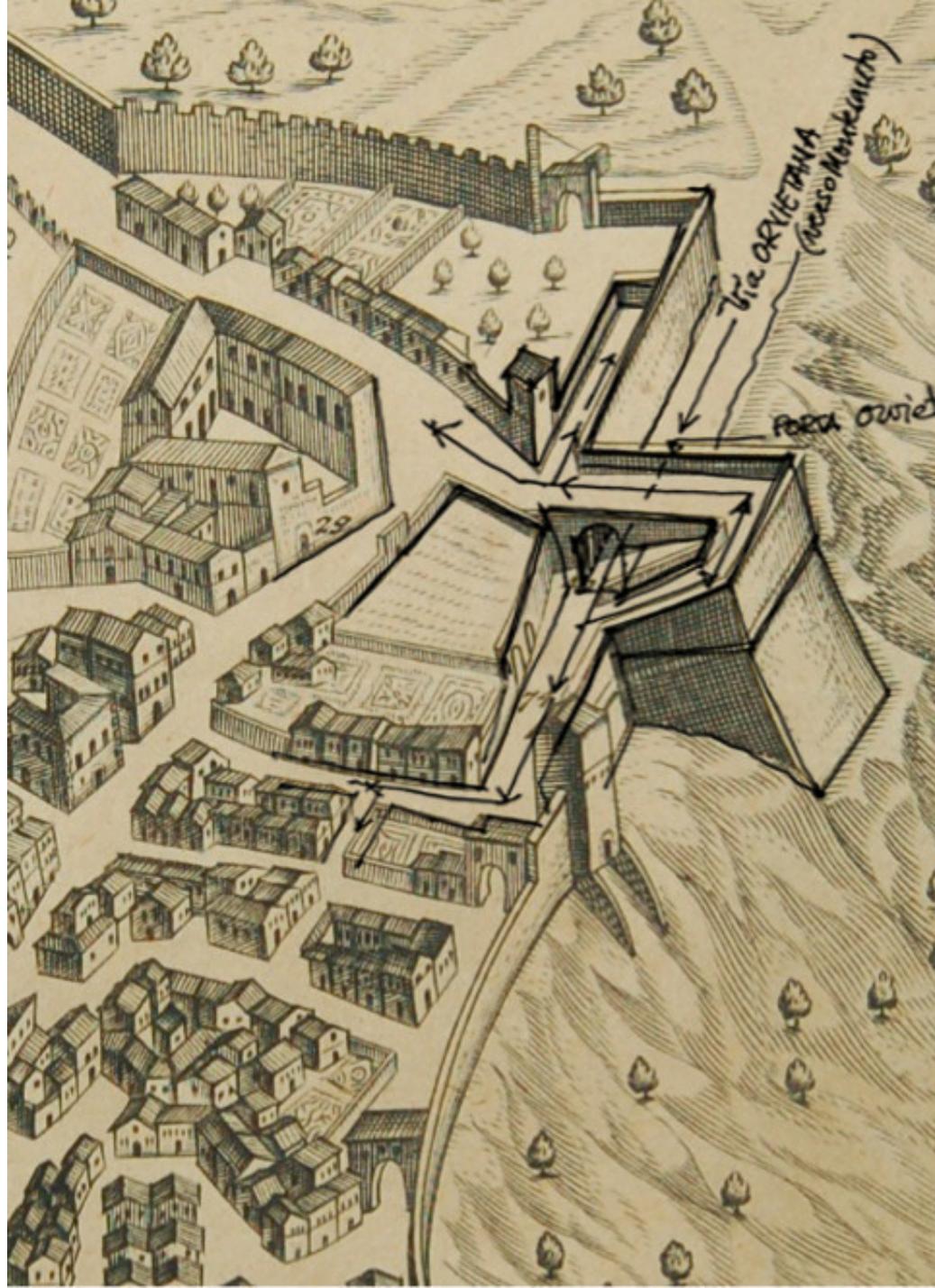


Interventi sulle frane delle pendici: Frana del Fosso delle Lucrezie con la Portaccia



Landslides on the slopes: Fosso delle Lucrezie landslide with Portaccia





LE CONDIZIONI DI DEGRADO













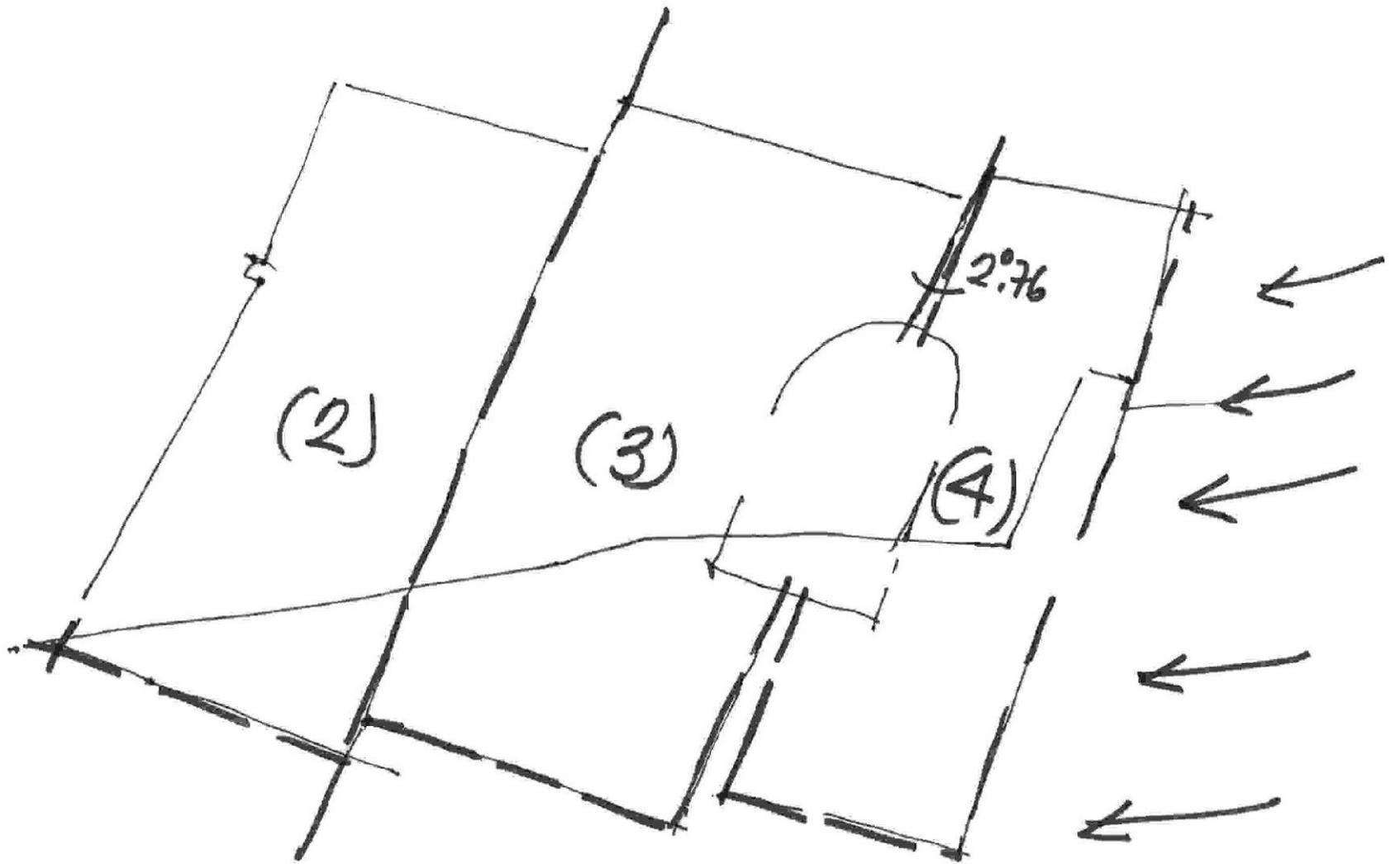


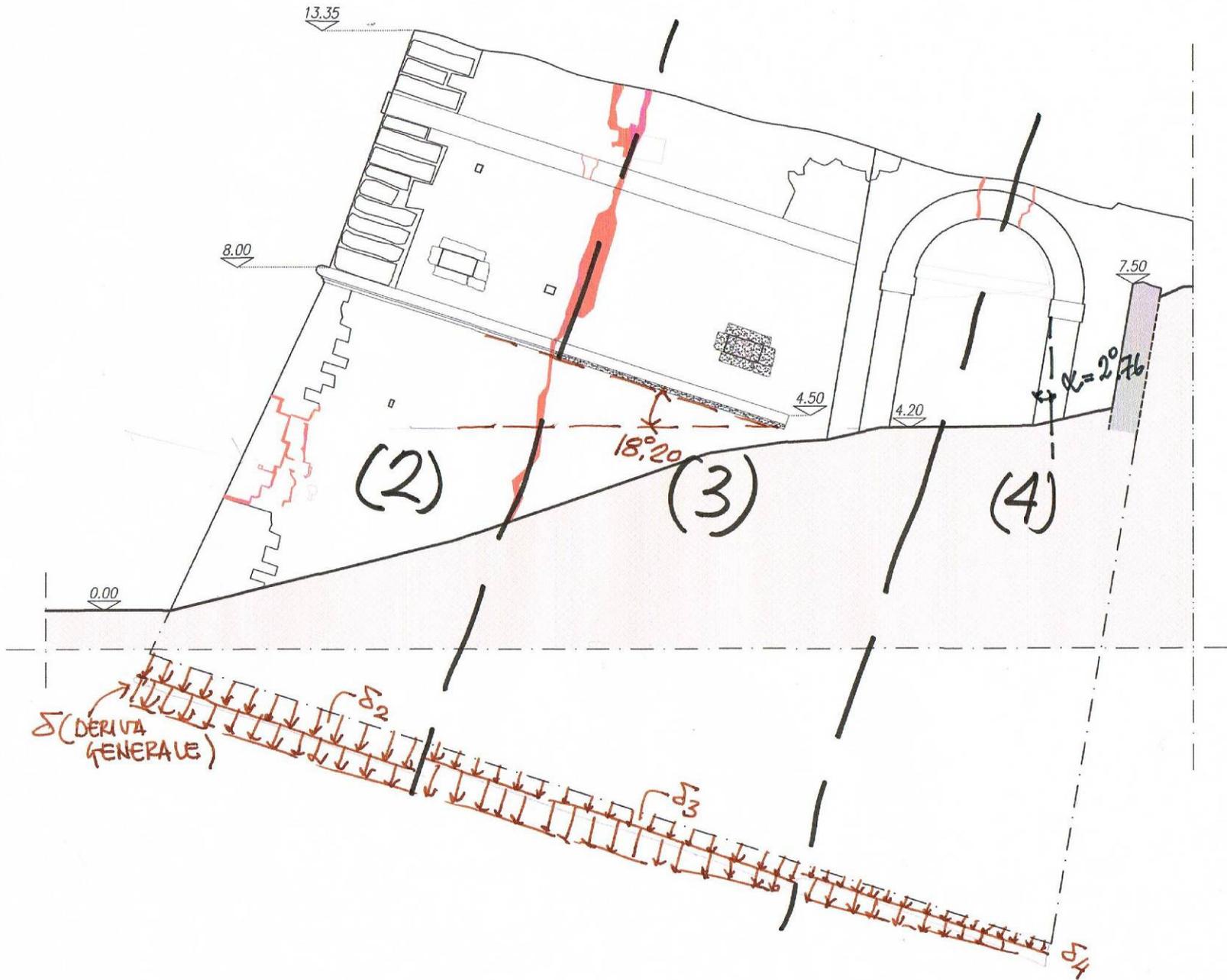


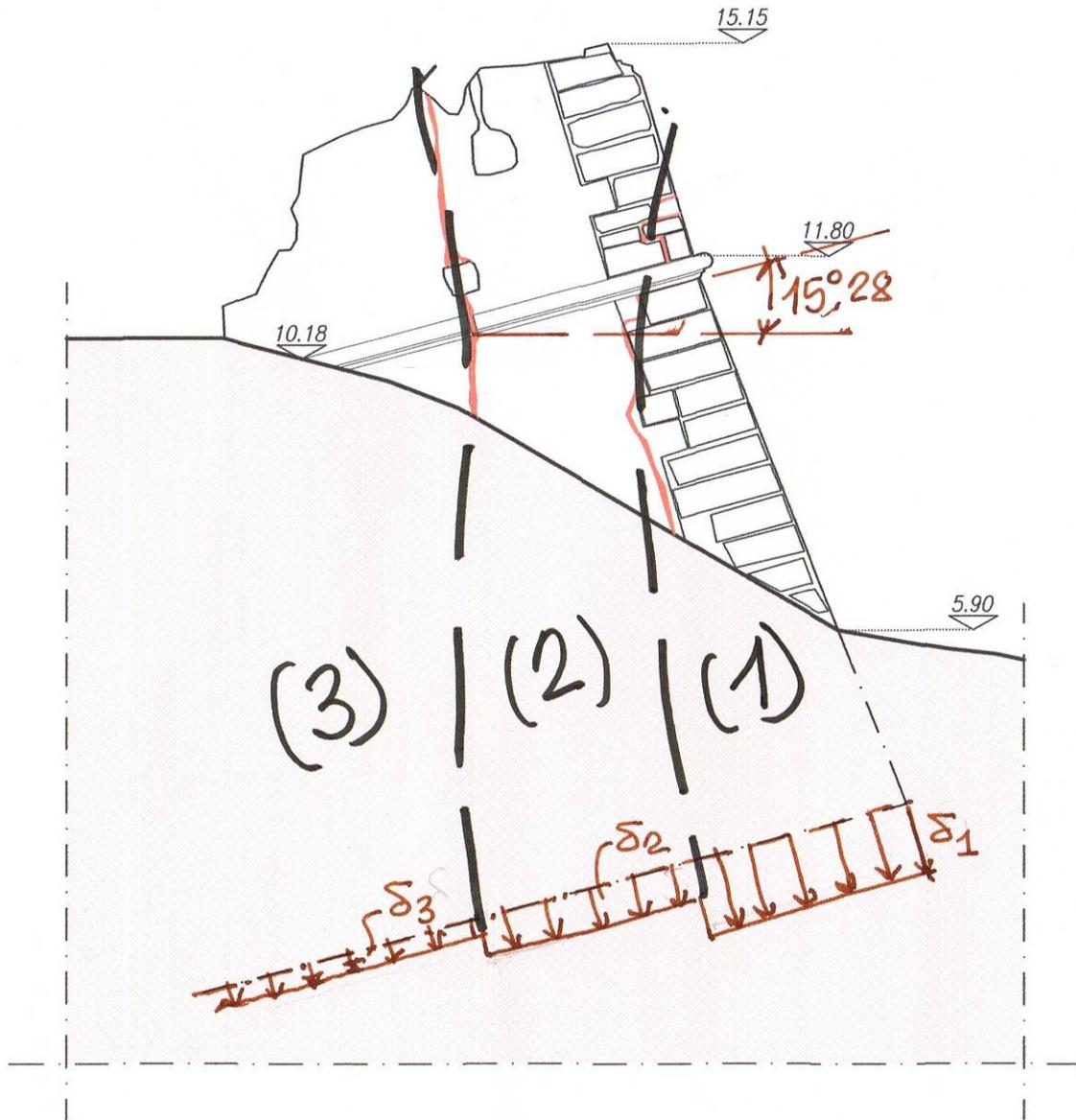


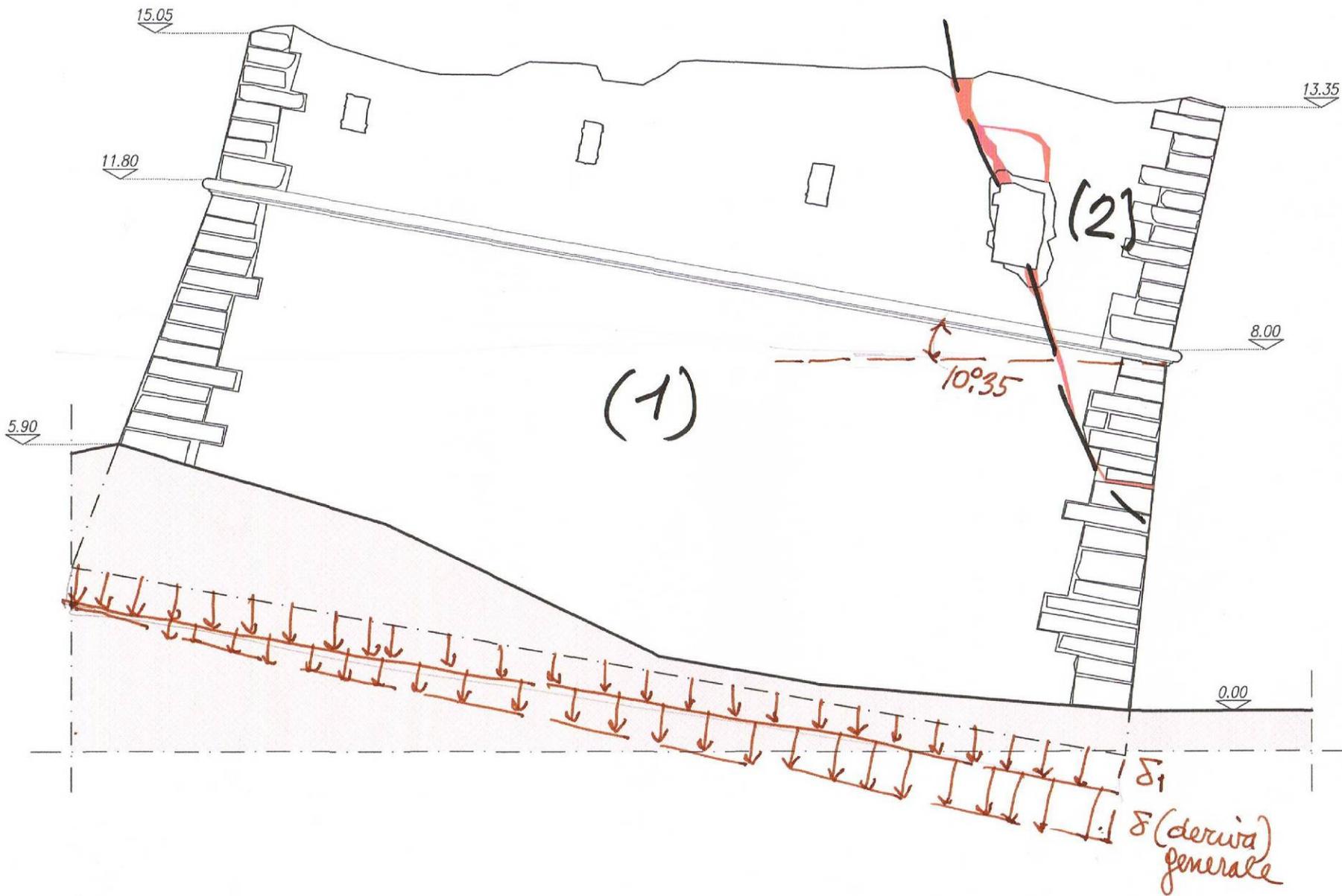


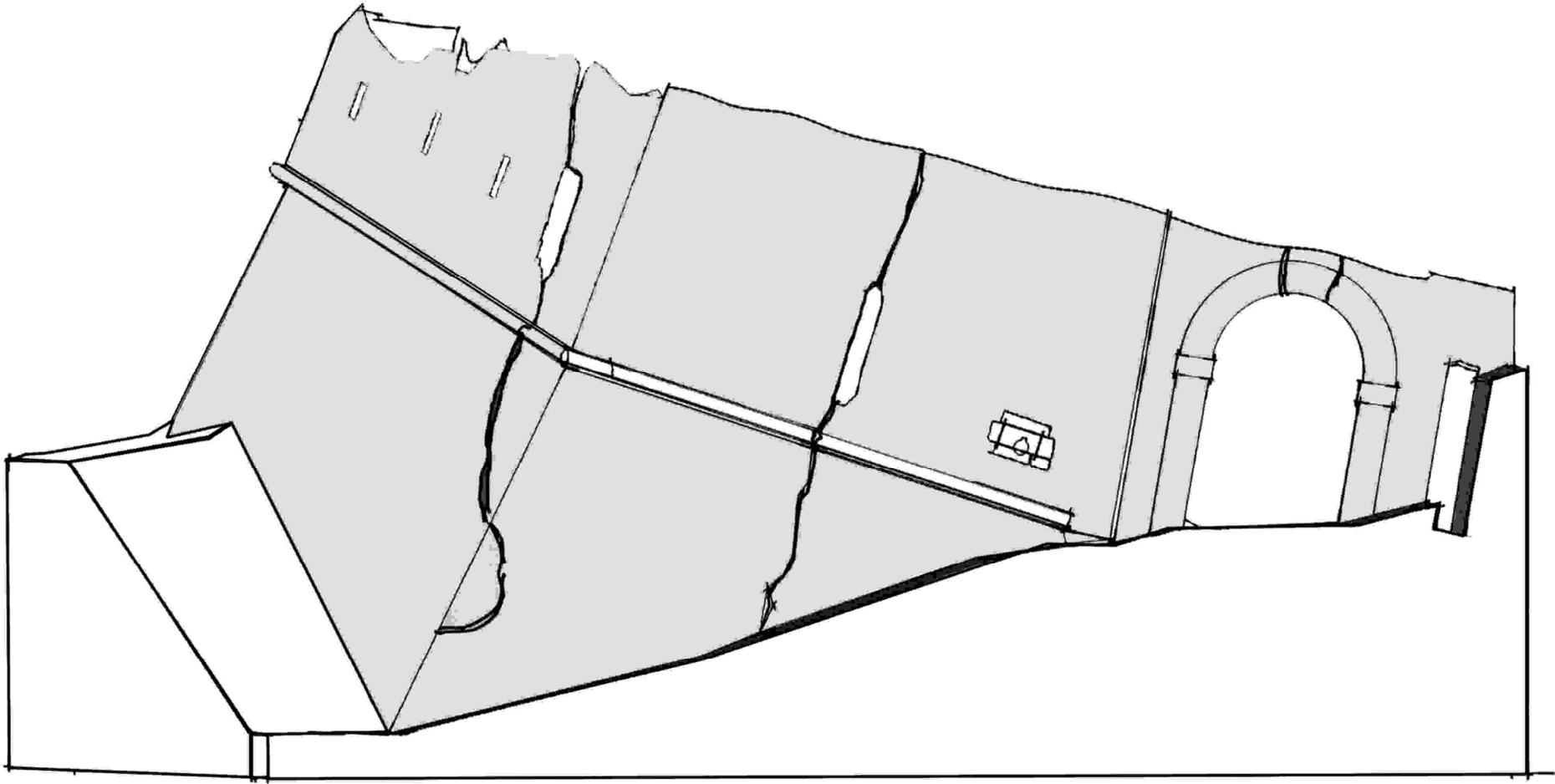


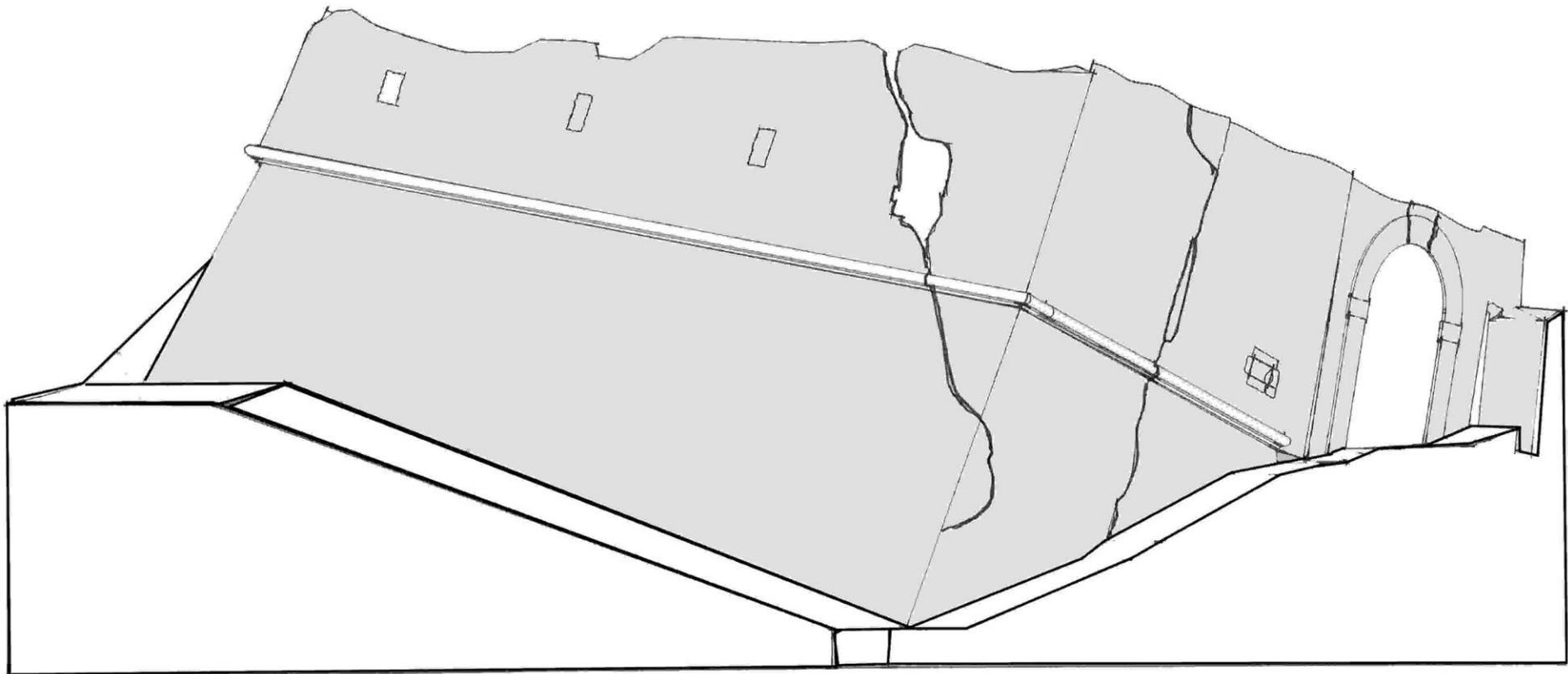


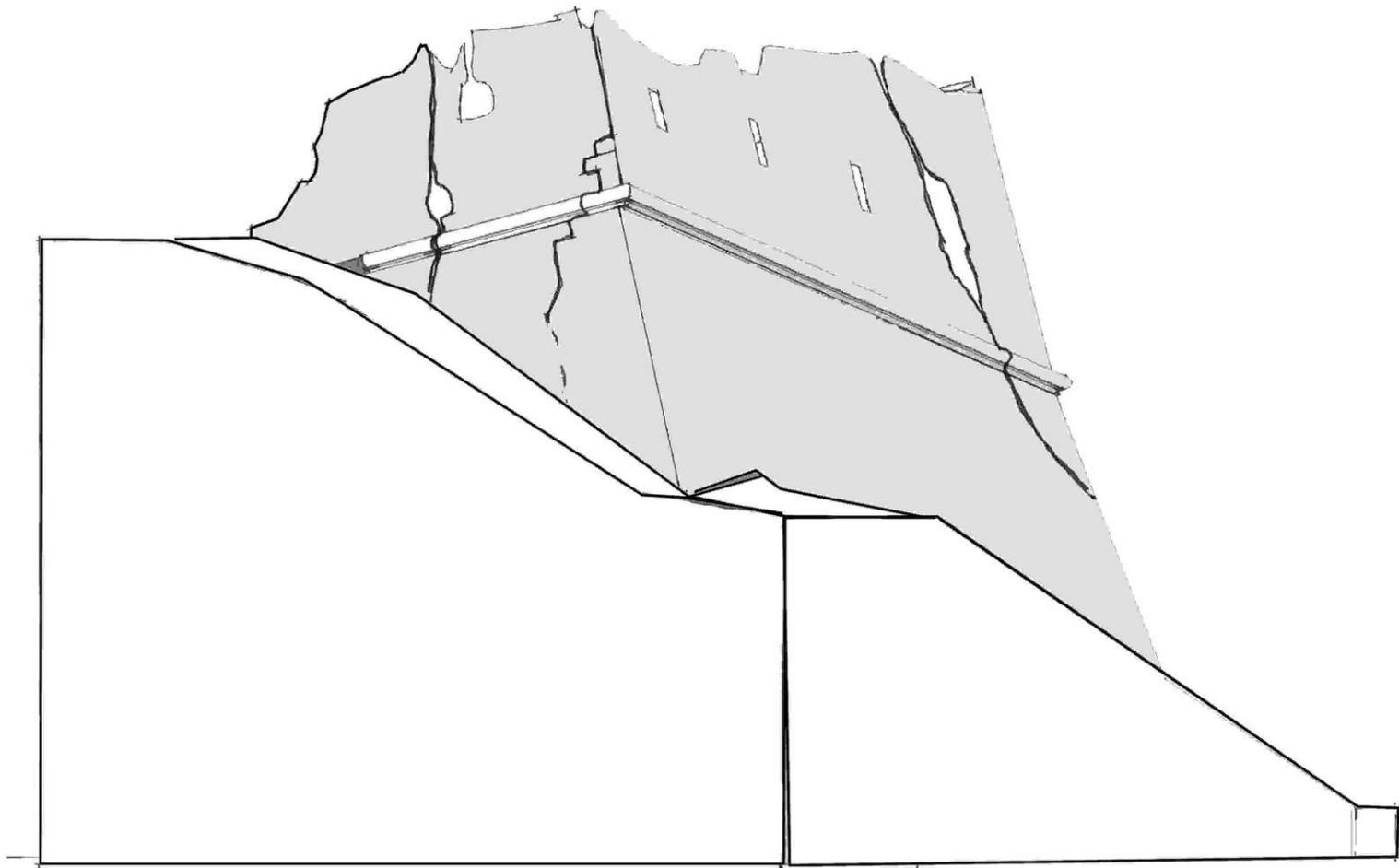


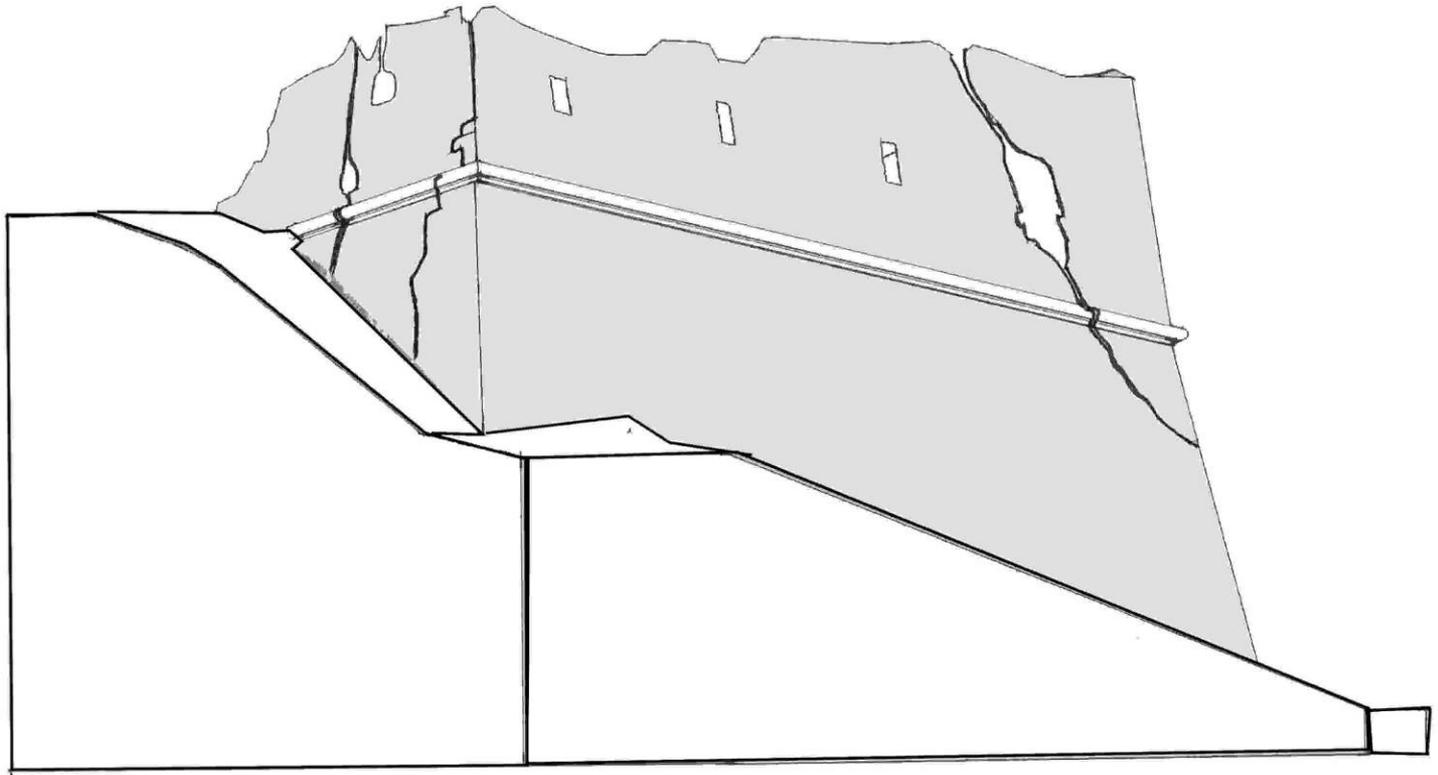












OPERE DI CONSOLIDAMENTO E RESTAURO

















LEGENDA DI PROGETTO	
	FASCIE DI ACCIAIO (150x8)mm INOX AISI 304
	PERFORAZIONI #24mm SULLE VOLTE ARMATE CON BARRE FILETTATE #18mm - INOX AISI 304 - interasse massimo tra le barre=60cm Saturazione dei fori con resina epossidica bicomponente o similari a media densità, con maturazione del 70% raggiunta entro 10 minuti dall'inezione.
	PERFORAZIONI #24mm SULLE MURATURE ARMATE CON BARRE FILETTATE #18mm - INOX AISI 304 L=75cm - interasse massimo tra le barre=60cm Saturazione dei fori con resina epossidica bicomponente o similari a media densità, con maturazione del 70% raggiunta entro 10 minuti dall'inezione.
	LAMIERA IN ACCIAIO INOX AISI 304 Sp=4mm
	ARMODIO DELLA COPERTURA DI TERRENO DETRITICO E DELLA VEGETAZIONE FINO AL CALPESTIO ORDINARIO O ALL'ESTRADOSSO DELLE VOLTE; SUCCESSIVA PULIZIA E STRUTTURAZIONE DEI LATEROZ ANVENUTI
	CORSETTA DI PROTEZIONE DELLE SUPERFICI Sp=5cm ESEGUITA CON MALTA DI SABBIA, CALCE, ORLUGIA E ACQUA, CON CROMA COERENTE CON L'AMBITO MURARIO ESISTENTE
	FESSAGGIO DEI LATEROZ INSTABILI CON MALTA A MEDIA DENSITA' DI CALCE E INERTI, ADDITIVA CON RESINE DI ADEGUATA CROMA COERENTE CON L'AMBITO MURARIO ESISTENTE
	RIAROTURA DELLE LESIONI SULLE MURATURE CON INIEZIONI DI MALTA A MEDIA DENSITA' DI CALCE E INERTI ADDITIVA CON RESINE CON CROMA COERENTE CON L'AMBITO MURARIO ESISTENTE, ESEGUITA IN LIEVE SOTTOSQUADRO RISPETTO ALLA SUPERFICIE DEL FIANCO MURARIO
	RIAROTURA DELLE LESIONI SULLE VOLTE CON INIEZIONI DI MALTA A MEDIA DENSITA' DI CALCE E INERTI, ADDITIVA CON RESINE CON CROMA COERENTE CON L'AMBITO MURARIO ESISTENTE, ESEGUITA IN LIEVE SOTTOSQUADRO RISPETTO ALL'INTRADOSSO DELLA VOLTA
	CANILETTE DI RACCOLTA E DI CONVOGLIAMENTO DELLE ACQUE PIOVANE
	PROZETTO DI RACCOLTA (4x4x4)cm DELLE ACQUE PIOVANE
	TUBO INTERRATO IN PVC #250mm PER IL CONVOGLIAMENTO DELLE ACQUE METEORICHE

PROVE DI TRAZIONE SULLE PERFORAZIONI #24mm, DA ESEGUIRE SULLE MURATURE, ARMATE CON BARRE FILETTATE #18mm

Prove di trazione a sfilamento e a rottura della barra.
 N°3 Prove di trazione su due ambienti, su indicazione della D.L., per ogni lunghezza di barra pari a: 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm.

**REGIONE DELL'UMBRIA
 COMUNE DI TODI
 PROVINCIA DI PERUGIA**

L.R. n. 32/98 e D.C.R. n. 771/00. Interventi integrativi a Piani e Programmi già approvati. Aggravamenti e complementari.
 D.G. REGIONE UMBRIA n°470 del 9 aprile 2015

MURA URBICHE - PORTA ORVIETANA



PROGETTO ESECUTIVO

Committente: COMUNE DI TODI
 Responsabile del Procedimento: Ing. ANDREA DEL MONACO
 Progettisti:
 Ing. Arch. MASSIMO MARIANI - Incaricato e coordinatore
 Ing. FABRIZIO GENTILI
 Ing. SILVIA BERGHI
 Ing. NICOLA PERO NULLO
 Geom. LUCA BRANCOCHIA
 Collaboratore: Dott. FULVIO M. MARIANI
 Ricerca storica: Dott. MAURIZIO TODINI



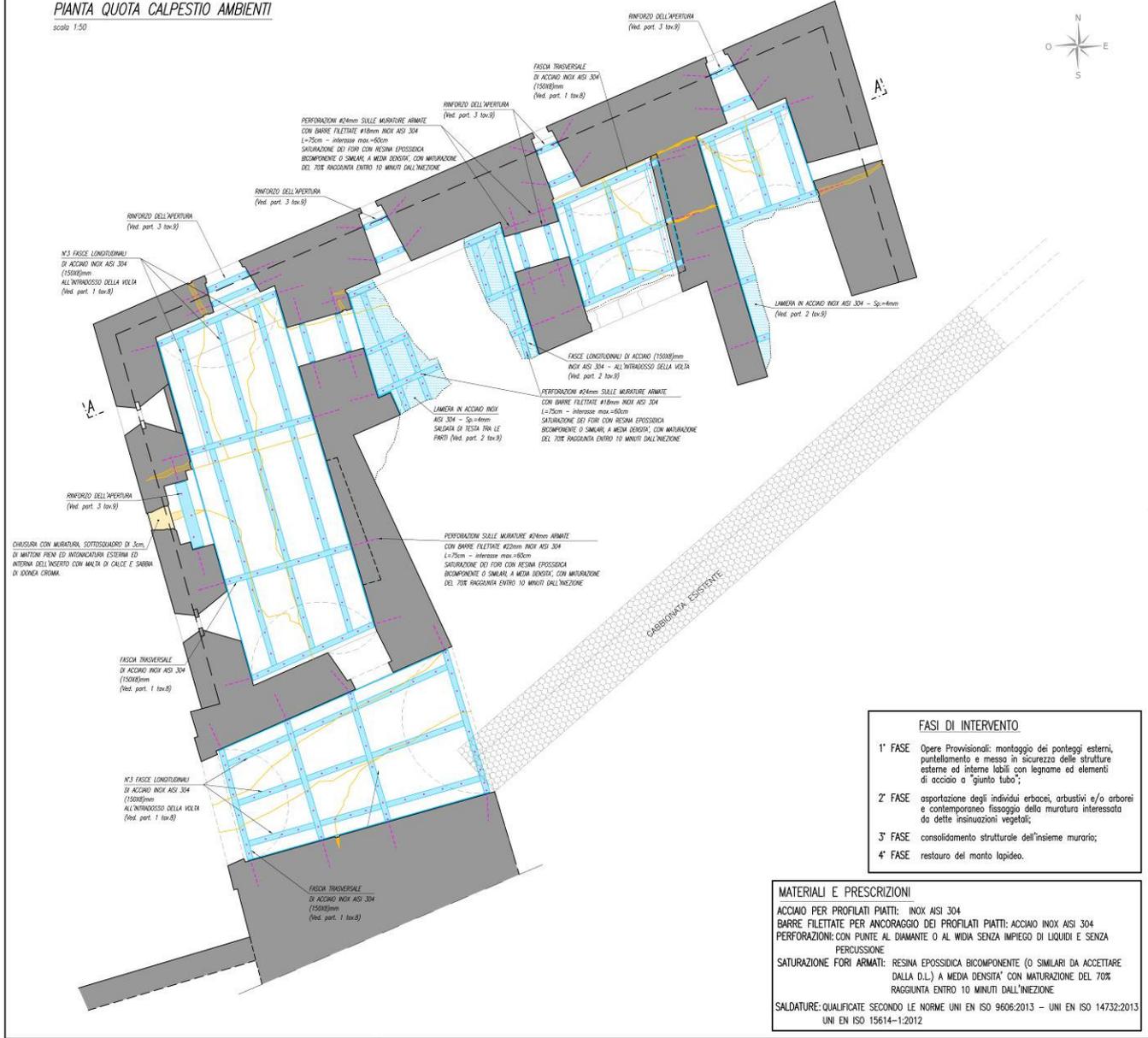
Dott. Geol. LUCA DOMENICO VENANTI

TAV. 4
 Scala: 1:50
 Data:
 File: 581

INTERVENTO:
 - PIANTA QUOTA CALPESTIO AMBIENTI

PIANTA QUOTA CALPESTIO AMBIENTI

scala 1:50



- FASI DI INTERVENTO**
- 1° FASE Opere Provvisorie: montaggio dei ponteggi esterni, puntellamento e messa in sicurezza delle strutture esterne ed interne labili con legname ed elementi di acciaio a "giunto tubo";
 - 2° FASE asportazione degli individui erbacei, arbustivi e/o arborei e contemporaneo fissaggio della muratura interessata da dette insinuazioni vegetali;
 - 3° FASE consolidamento strutturale dell'insieme murario;
 - 4° FASE restauro del manto lapideo.

MATERIALI E PRESCRIZIONI

ACCIAIO PER PROFILATI PIATTI: INOX AISI 304
 BARRE FILETTATE PER ANCORAGGIO DEI PROFILATI PIATTI: ACCIAIO INOX AISI 304
 PERFORAZIONI: CON PUNTE AL DIAMANTE O AL WIDA SENZA IMPEGNO DI LIQUIDI E SENZA PERCUSSIONE
 SATURAZIONE FORI ARMATI: RESINA EPOSSIDICA BICOMPONENTE (O SIMILARI DA ACCETTARE DALLA D.L.) A MEDIA DENSITA' CON MATURAZIONE DEL 70% RAGGIUNTA ENTRO 10 MINUTI DALL'INEZIONE
 SALDATURE: QUALIFICATE SECONDO LE NORME UNI EN ISO 9606:2013 - UNI EN ISO 14732:2013
 UNI EN ISO 15614-1:2012

MATERIALI E PRESCRIZIONI

ACCIAIO PER PROFILATI PIATTI: INOX AISI 304
 BARRE FILETTATE PER ANCORAGGIO DEI PROFILATI PIATTI: ACCIAIO INOX AISI 304
 PERFORAZIONI: CON PUNTE AL DIAMANTE O AL NIDIA SENZA IMPIEGO DI LIQUIDI E SENZA PERCUSSIONE
 SATURAZIONE FORI ARMATI: RESINA EPOSSIDICA BICOMPONENTE (O SIMILARI DA ACCETTARE DALLA D.L.) A MEDIA DENSITA' CON MATURAZIONE DEL 70% RAGGIUNTA ENTRO 10 MINUTI DALL'INIEZIONE
 SALDATURE: QUALIFICATE SECONDO LE NORME UNI EN ISO 9806:2013 - UNI EN ISO 14732:2013 UNI EN ISO 15614-1:2012

REGIONE DELL'UMBRIA COMUNE DI TODI PROVINCIA DI PERUGIA

L.R. n. 32/98 e D.C.R. n. 771/00. Interventi integrativi a Piani e Programmi già approvati, Aggravamenti e completamenti.
 D.L.G. REGIONE UMBRIA n°470 del 9 aprile 2015

MURA URBICHE - PORTA ORVIETANA



PROGETTO ESECUTIVO

Committente: COMUNE DI TODI

Responsabile del Procedimento: Ing. ANDREA DEL MONACO

Progettisti:

Ing. Arch. MASSIMO MARIANI - incaricato e coordinatore

Ing. FABRIZIO GENTILE

Ing. SILVIA BONCI

Ing. NICOLA PERO NULLO

Geom. LUCA BRANCOCCIA

Collaboratore: Dott. FULVIO M. MARIANI

Ricerca storica: Dott. MAURIZIO TODINI



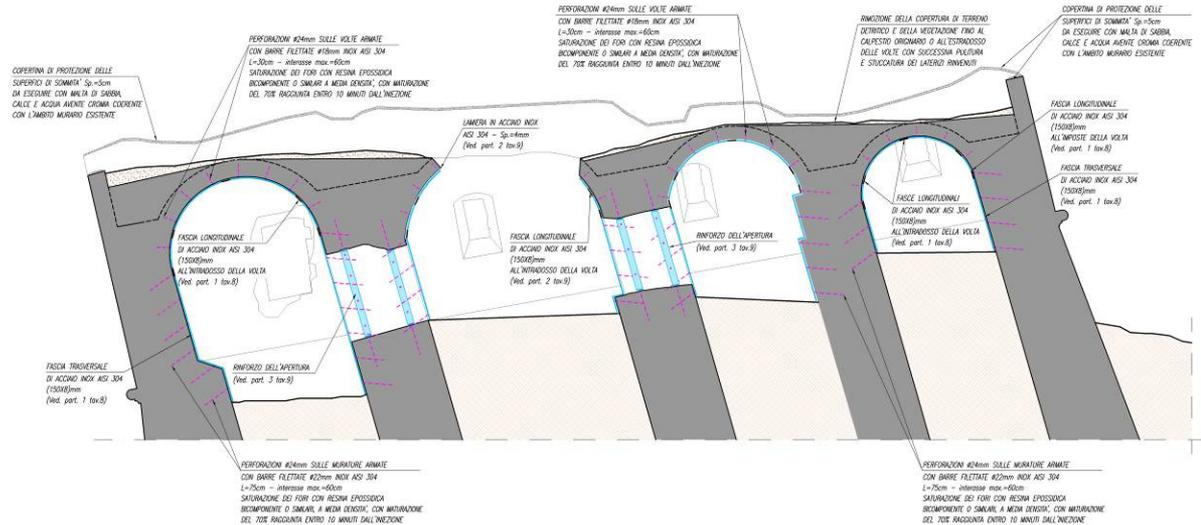
Dott. Geol. LUCA DOMENICO VENANTI

INTERVENTO:
 SEZIONE A-A

TAV. **6**
 Scala: 1:50
 Data:
 File: 581

PROVE DI TRAZIONE SULLE PERFORAZIONI Ø24mm, DA ESEGUIRE SULLE MURATURE, ARMATE CON BARRE FILETTATE Ø18mm

Prove di trazione a sfilamento e a rottura della barra.
 N°3 Prove di trazione su due ambienti, su indicazione della D.L., per ogni lunghezza di barra pari a: 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm.



SEZIONE GENERALE DEGLI INTERVENTI

scala 1:50





**Sistemazione dei fossi incisi :
briglie in cemento armato e gabbionate**

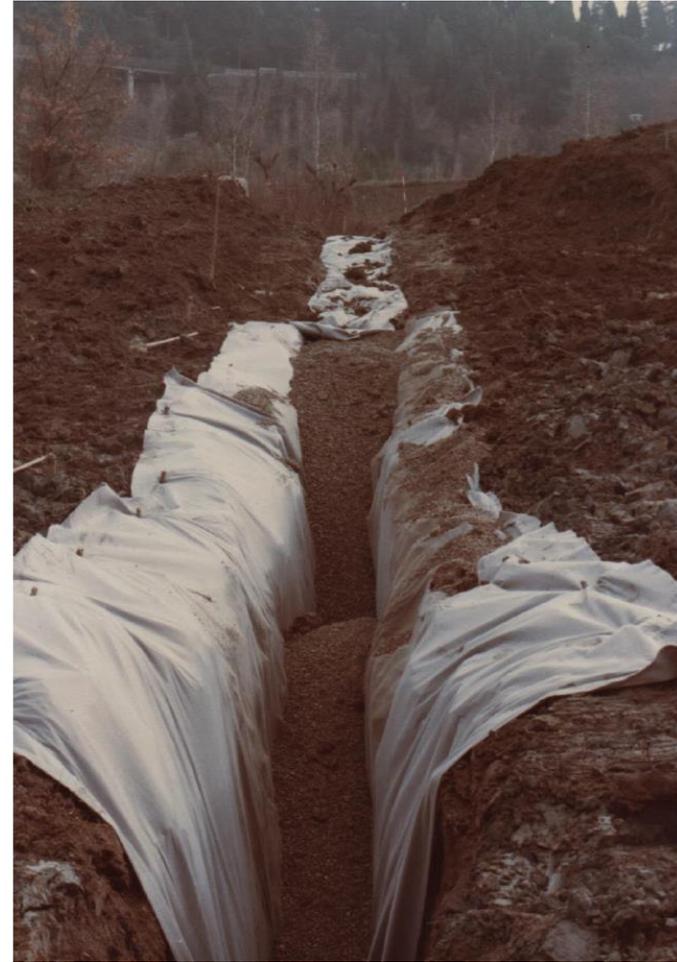
*Restoration of incised ditches :
concrete weirs and gabionades*



Trincee drenanti lungo i versanti (profonde 4/7 metri) con tubo di fondo, tessuto non tessuto e materiale drenante



Drainage trenches along slopes (4/7 meters deep) with bottom pipe, non-woven fabric and drainage material



Opere di sostegno e di rinforzo (Muraglione giardini) e sistemi drenanti profondi (Via della Circonvallazione e frana Lucrezie

Retaining and reinforcement works (Garden wall) and deep drainage systems (Via della Circonvallazione and Lucrezie landslide



Muraglione giardini - *Wall gardens*



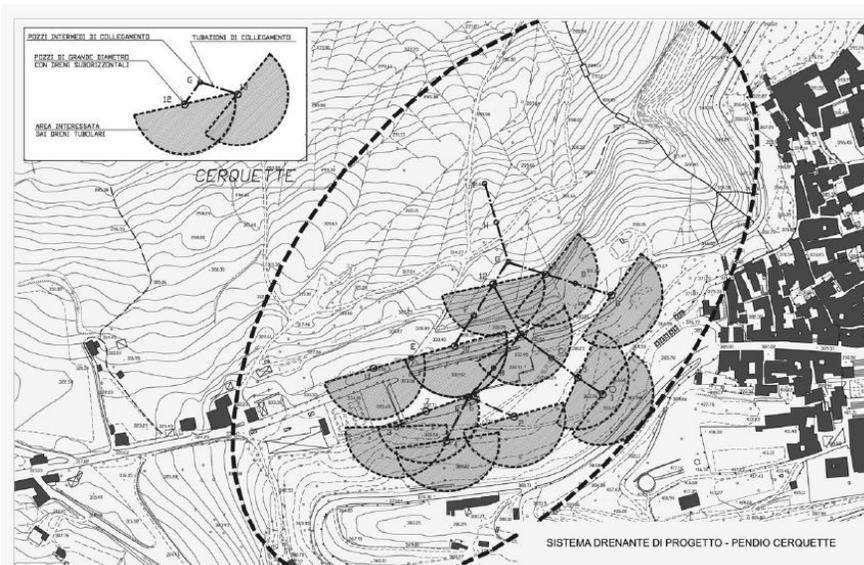
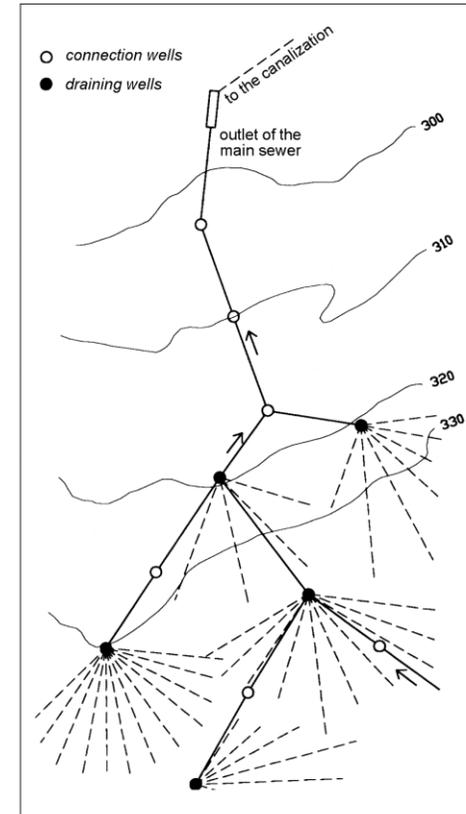
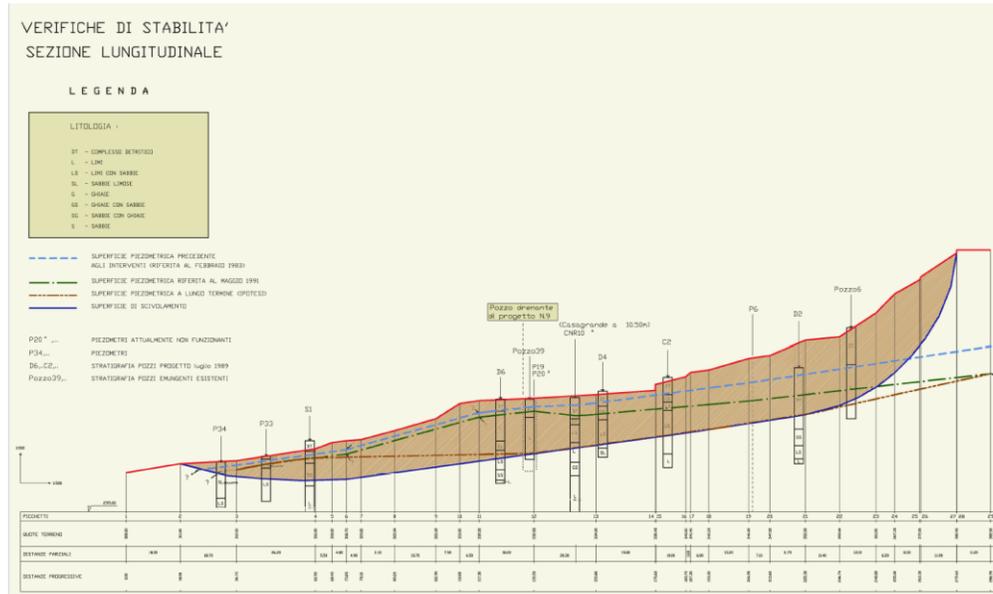
Via della Circonvallazione



Small-diameter drainage wells with bottom pipeline

Sistema con grandi pozzi drenanti, dreni sub orizzontali e scarico di fondo sul versante frana delle Lucerzie

System with large drainage wells, sub-horizontal drains and bottom drainage on the Lucrezie landslide slope



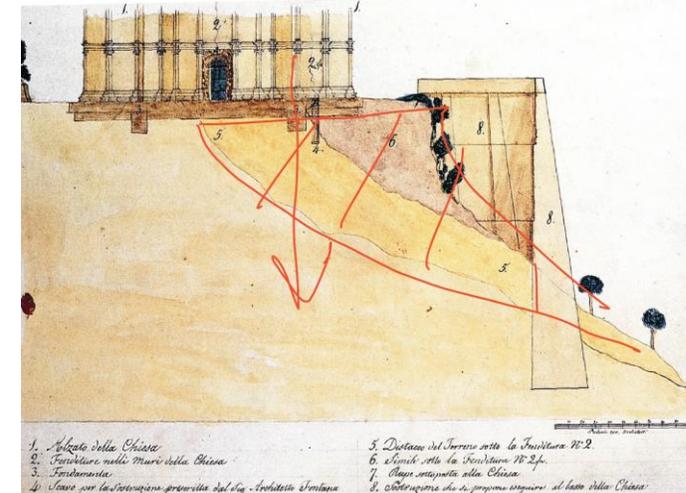
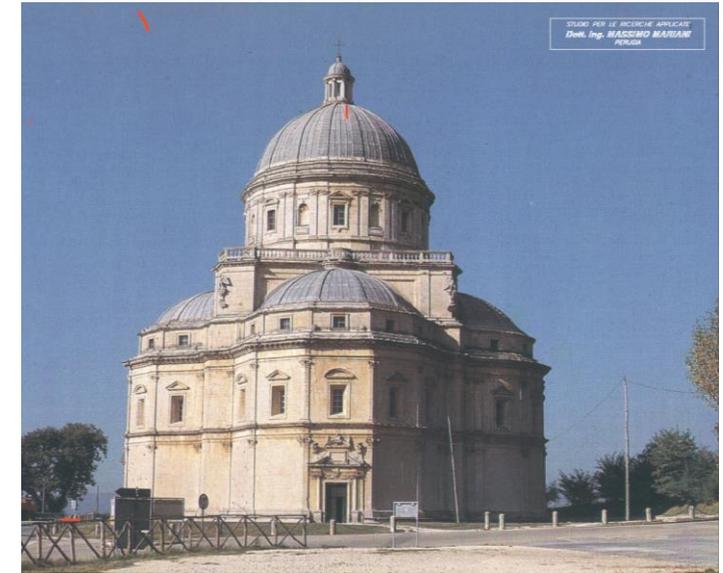


Restauro e consolidamento di Monumenti.

Il caso del Tempio di Santa Maria della Consolazione

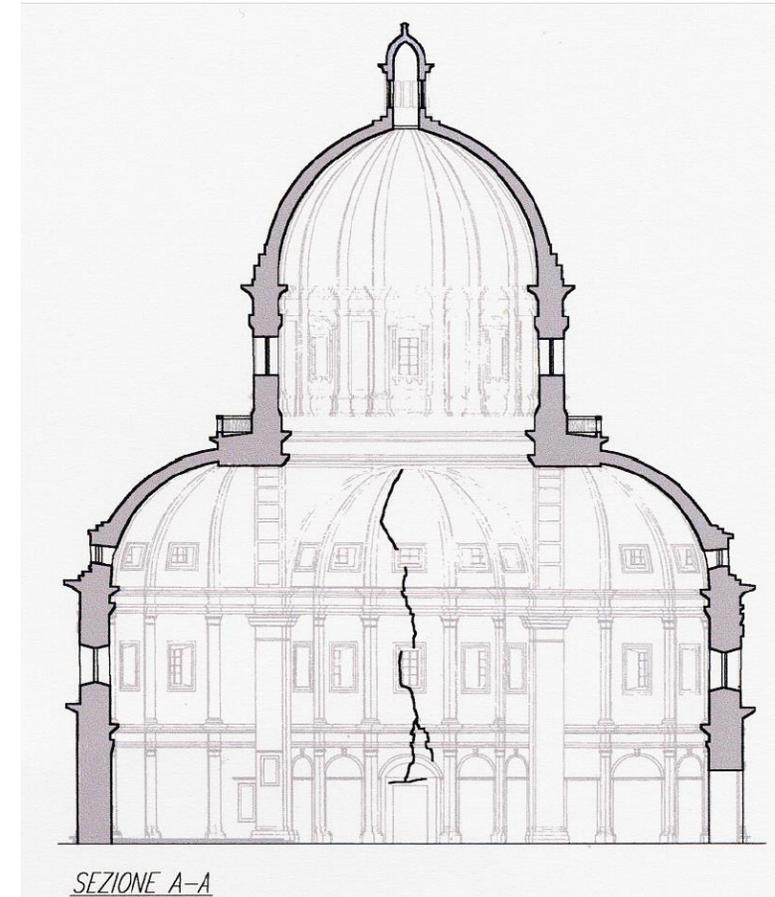
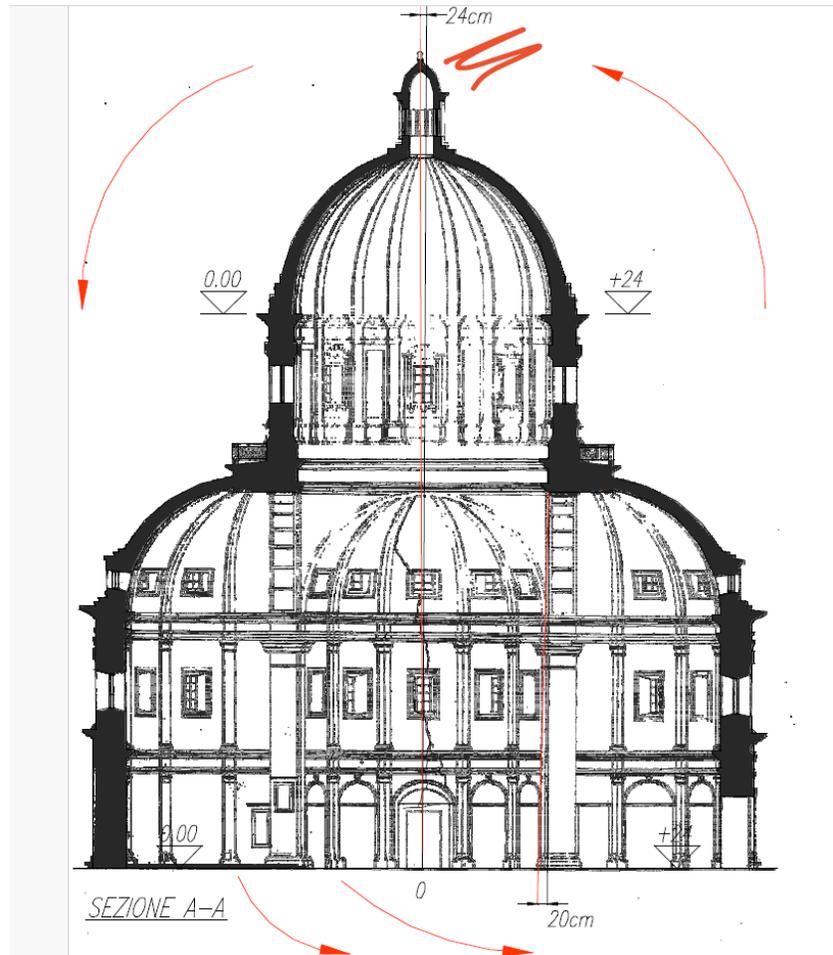
Restoration and Consolidation of Monuments.

The Case of the Temple of Santa Maria della Consolazione



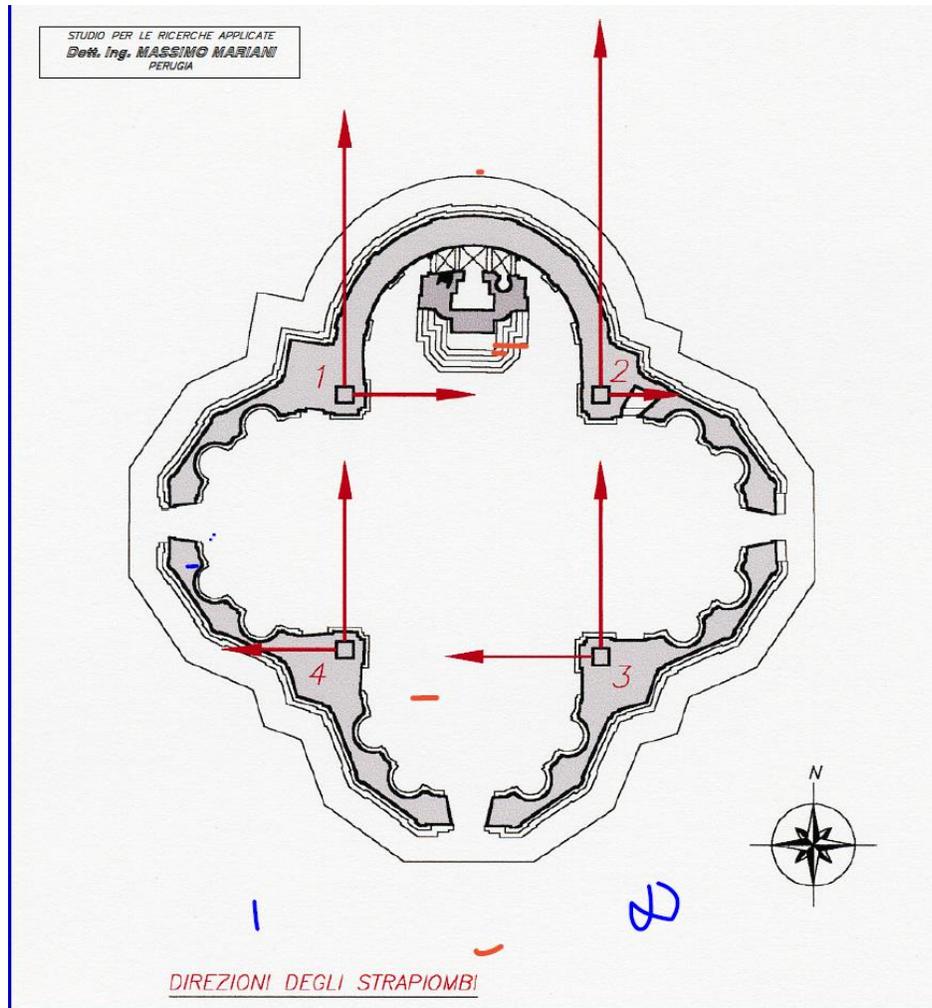
Tipologia di dissesti: Rotazioni e cedimenti in fondazione

Type of disruption: Rotations and subsidence in foundations



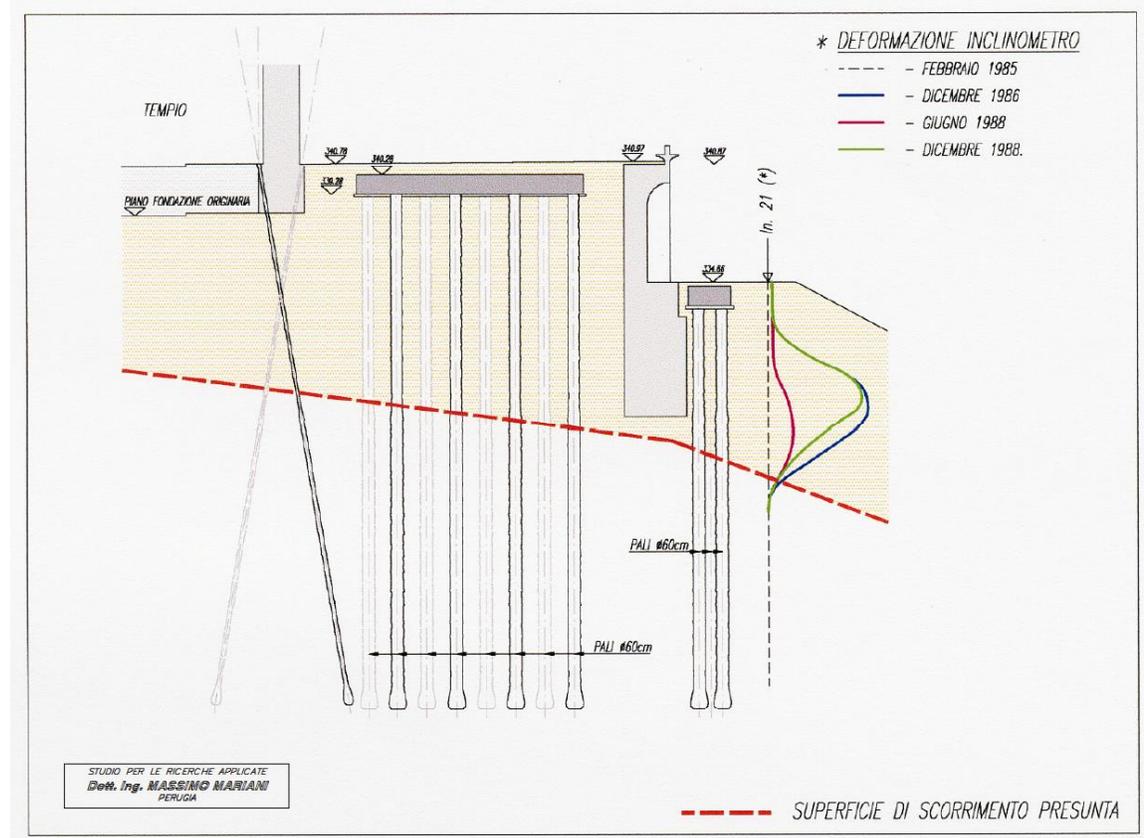
Tipologia di dissesti: Rotazioni e cedimenti in fondazione

Type of disruption: Rotations and subsidence in foundations



Strapiombi

Overhangs

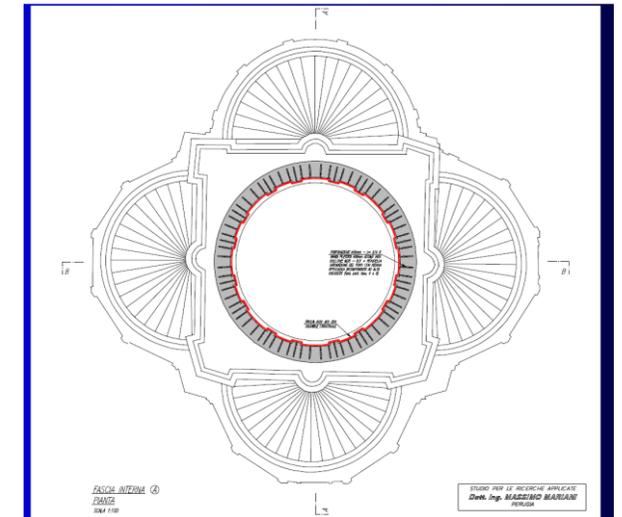
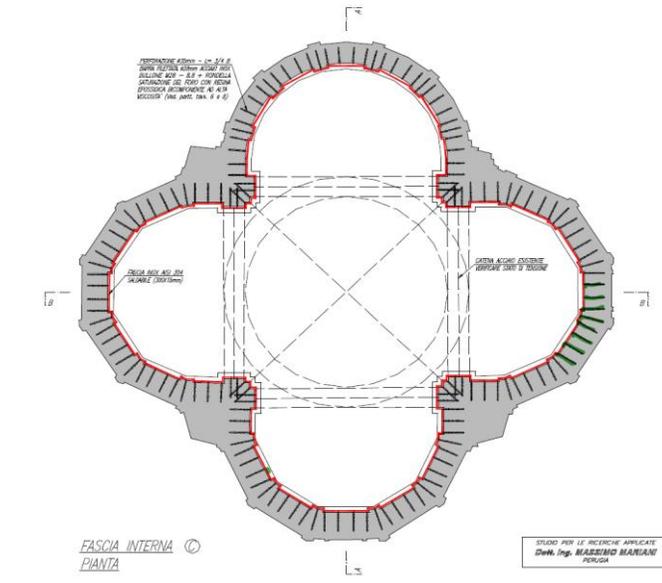
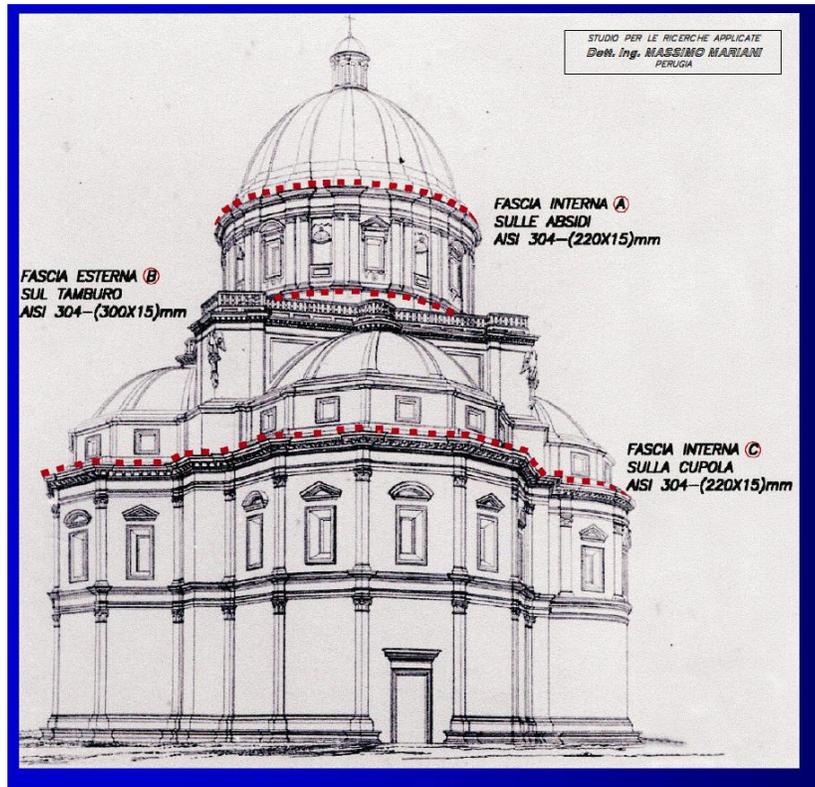


deformazione inclinometro di valle

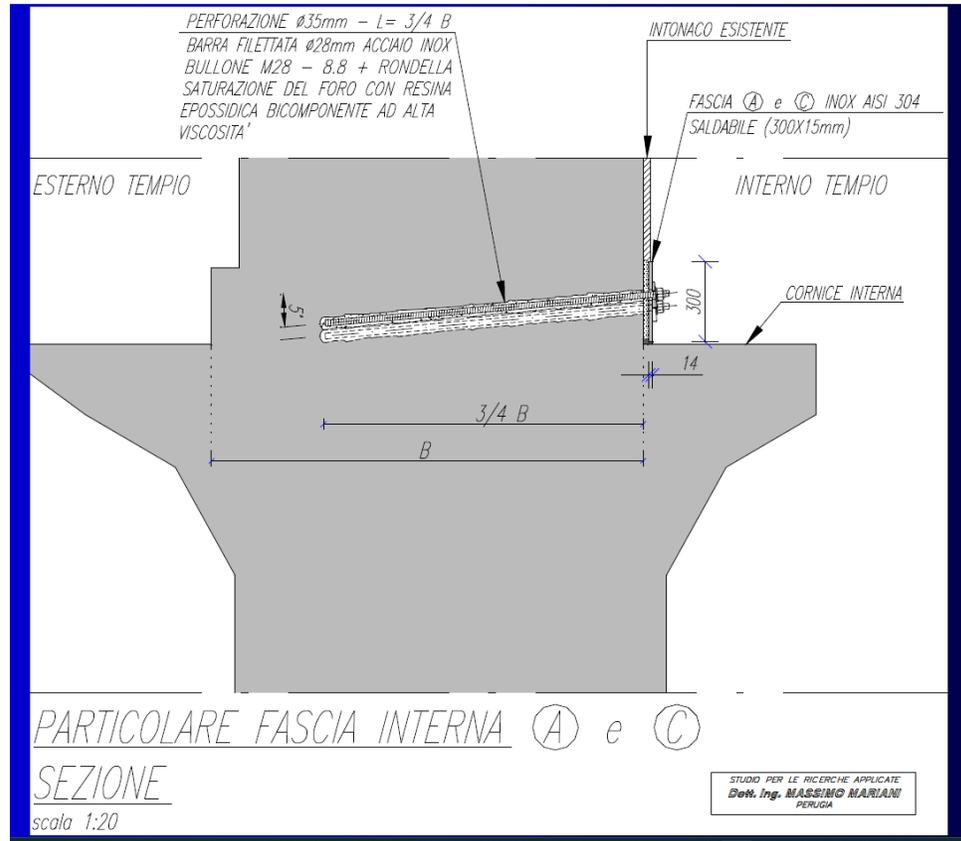
valley inclinometer deformation

Tipologia di consolidamenti e rimedi

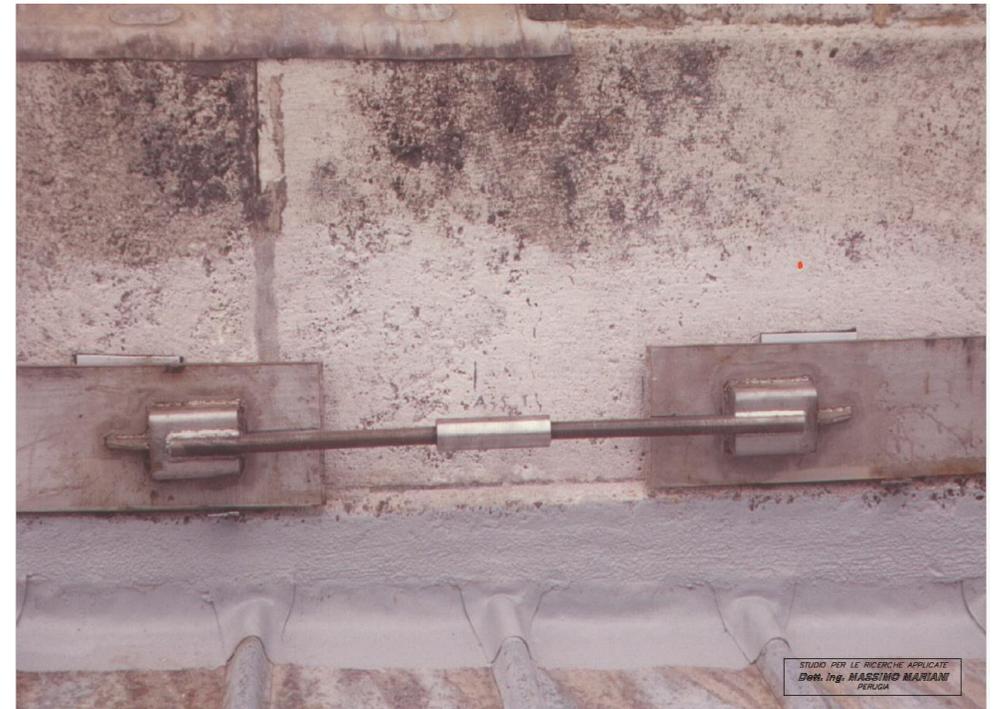
Types of consolidation and remedies



Tipologia di consolidamenti e rimedi



Types of consolidation and remedies

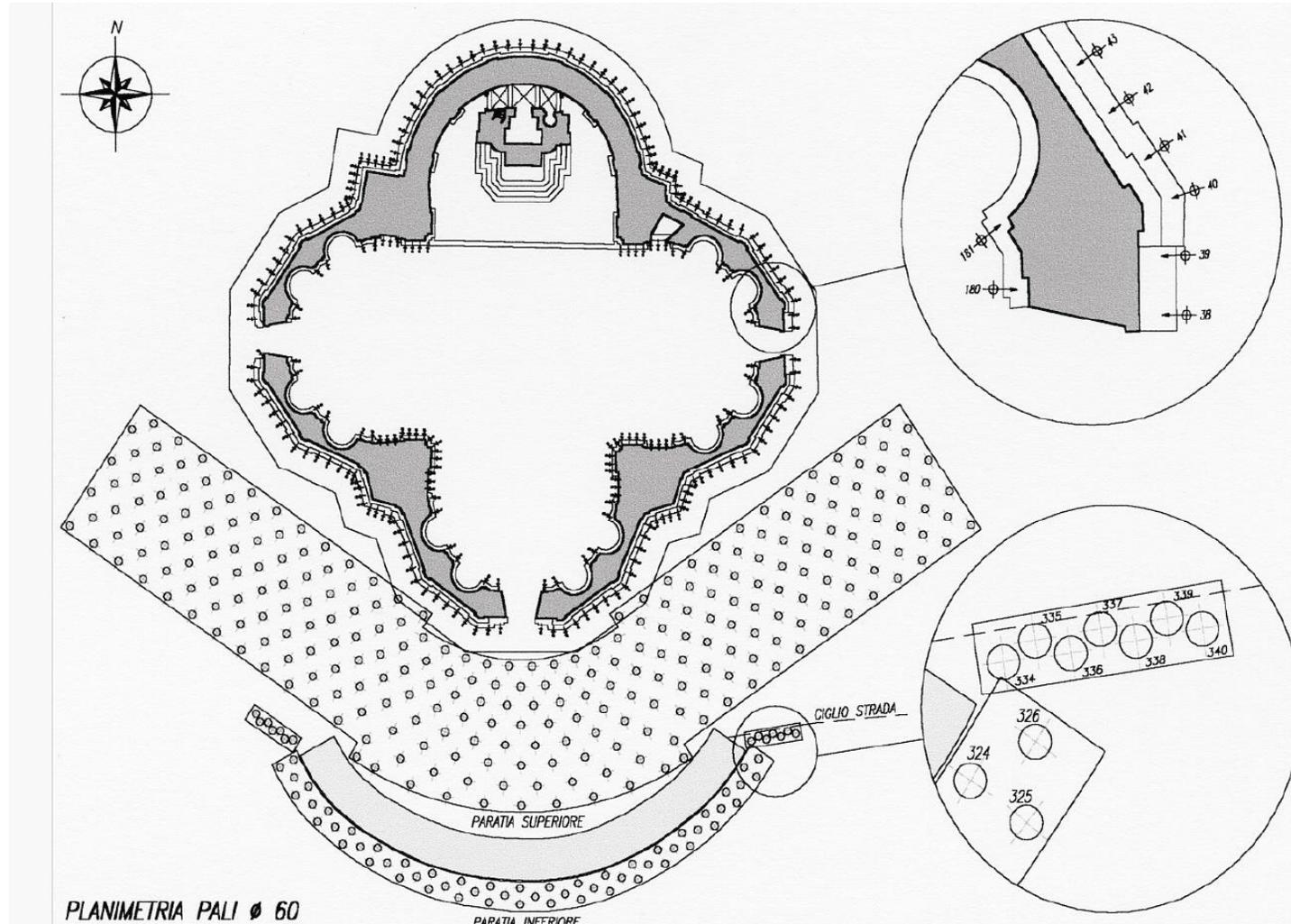


Tipologia di consolidamenti e rimedi

Types of consolidation and remedies

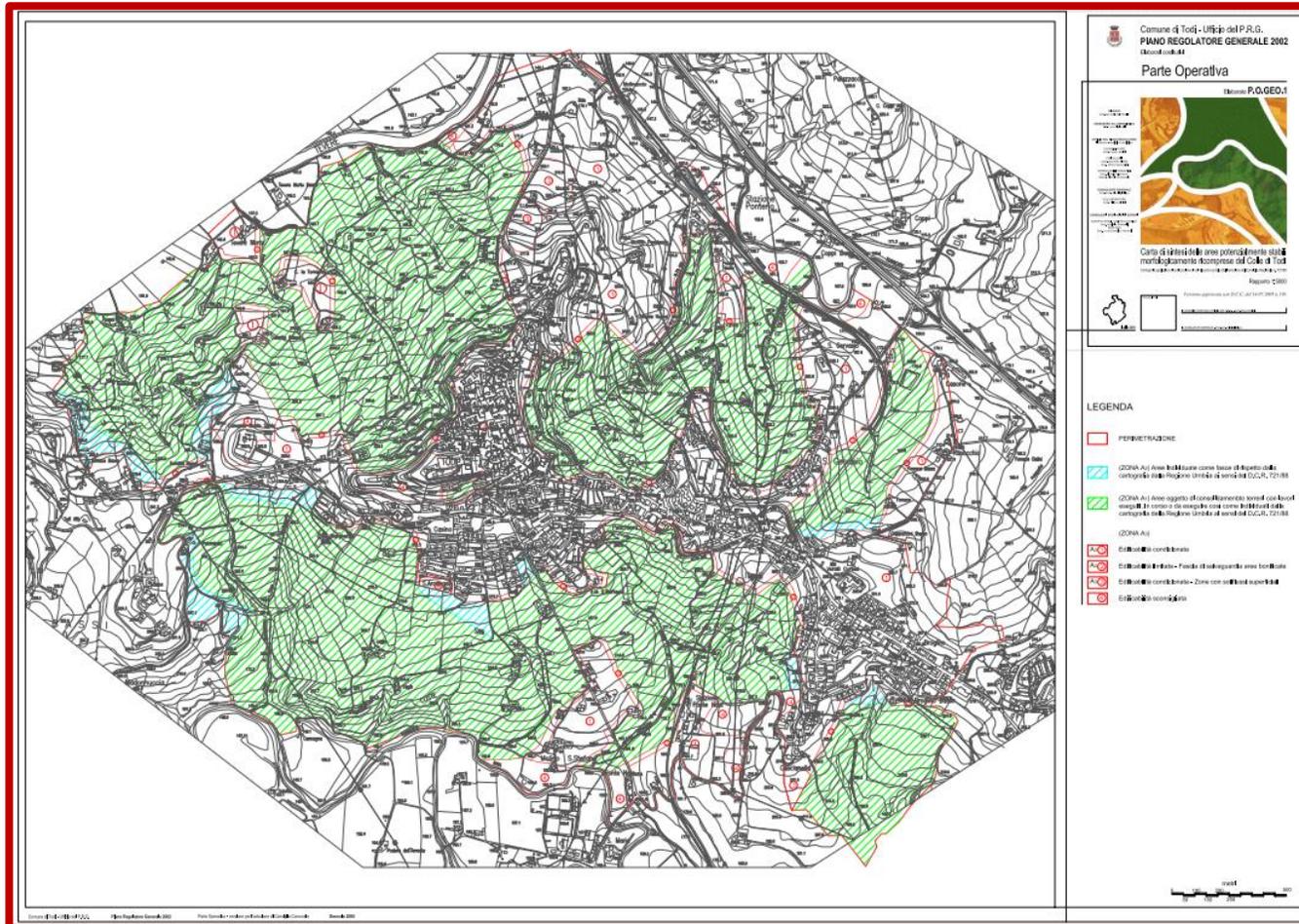
Micropali e pali
di grande
diametro

Micropiles and
large- diameter
piles



Al termine dei lavori di progetto, è stata effettuata una revisione del piano urbanistico del colle e della città. E' stata redatta una mappa di zonizzazione della collina e della città con limitazioni edilizie: divieti o possibilità di costruire a vari livelli.

At the end of the project work, a revision of the urban plan of the hill and the city was carried out. A zoning map of the hill and the city was drawn up with building restrictions: prohibitions or possibilities to build at various levels.



Ed è stato costituito un osservatorio di manutenzione permanente del Colle di Todi: un presidio comunale locale che controlla e monitora quanto è stato fatto e le aree interessate.

EFFETTUA INTERVENTI DI MANUTENZIONE DELLE OPERE E DEL TERRITORIO

And a permanent maintenance observatory has been set up of the Todi hill: a local municipal watchdog that controls and monitors what has been done and the areas concerned.

CARRIES OUT MAINTENANCE WORK ON THE WORKS AND THE TERRITORY

CONCLUSION

Tutti i centri storici, e in particolare quelli minacciati o colpiti da fenomeni di instabilità, devono essere riabilitati e valorizzati per preservare e trasmettere alle generazioni future le antiche tradizioni e i beni culturali che li testimoniano.

È necessario, soprattutto in questo momento storico, rivedere i programmi di pianificazione e sviluppo urbano per adattarli ai cambiamenti climatici e ai cambiamenti sociali imposti dal mondo globalizzato.

Ricerche americane dimostrano che gli investimenti nella riabilitazione e nella riduzione del rischio non solo salvano vite umane, ma hanno anche un buon senso economico: per ogni dollaro (1) speso per l'adattamento in questo decennio, si potrebbe generare un beneficio economico di 12 dollari.

All historic centres, particularly those threatened or affected by instability, must be rehabilitated and enhanced to preserve and pass on to future generations their ancient traditions and cultural heritage.

It is necessary, especially at this historic moment, to review urban planning and development programmes to adapt them to climate change and the social changes imposed by the globalised world.

American research shows that investments in rehabilitation and risk reduction not only save lives, but also make good economic sense: for every dollar spent on adaptation this decade, an economic benefit of \$12 could be generated.

Grazie
Thanks

Merci de votre attention
شكراً لاهتمامكم