

# COMUNE DI CROTONE

## SETTORE 3 - LL.PP.

### RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE VIA SIBARIS

#### NUOVE OPERE DI SOSTEGNO CON TERRE RINFORZATE E PARATIE IN C.A



DATA:

**GENNAIO 2017**

ELABORATO/TAVOLA

**E.02**

SCALA:

LIV. PROGETTAZIONE

**PROGETTO ESECUTIVO**

REV. N.	AGGIORNAMENTI	DATA
REV.00	PRIMA EMISSIONE	GENNAIO 2017

CONTENUTO DEGLI ELABORATI

**Relazione tecnica**

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

ing. Massimiliano Berlingeri  
ing. Cosimo Santoro  
geol. Francesco Palmieri



**RUP**

ing. Gianfranco De Martino

#### IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

<b>CODICE COMMESSA:</b>	2016.002		
<b>TITOLO PROGETTO:</b>	RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE VIA SIBARIS - COMUNE DI CROTONE - PROGETTO ESECUTIVO		
<b>COMMITTENTE:</b>	COMUNE DI CROTONE – SETTORE III		
<b>R.U.P.:</b>	ing. Gianfranco DE MARTINO		
<b>ELABORATO N.:</b>	2016002_ESE_E02	<b>TITOLO ELABORATO</b>	E02. RELAZIONE TECNICA
<b>FILENAME:</b>	2016002_ese_elab_e02_rel_tecnica_rev00_4.doc		

#### STATO DELLE REVISIONI

REV.	DESCRIZIONE	DATA	FIRMA
00	Prima emissione	gen. 2017	M. Berlingeri – C. Santoro F. Palmieri

#### REDAZIONE, APPROVAZIONE ED EMISSIONE

		DATA	FIRMA
<b>REDATTO DA:</b>	ing. M. Berlingeri - ing. C. Santoro - dr. F. Palmieri	gen. 2017	M. Berlingeri – C. Santoro F. Palmieri
<b>VERIFICATO DA:</b>	ing. Gianfranco DE MARTINO	gen. 2017	
<b>APPROVATO DA:</b>	ing. Gianfranco DE MARTINO		
<b>CONSEGNATO A:</b>			

## Indice

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>4</b>
2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	5
<b>3. EVENTO CALAMITOSO DEL 11.03.2016 E POSSIBILI CAUSE.....</b>	<b>6</b>
<b>4. RILIEVI ED INDAGINI.....</b>	<b>7</b>
4.1. RILIEVI TOPOGRAFICI.....	8
4.2. INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE IN SITU.....	9
4.3. MODELLAZIONE GEOTECNICA DI CALCOLO.....	10
4.4. MODELLAZIONE SISMICA.....	11
<b>5. DESCRIZIONE GENERALE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO.....</b>	<b>14</b>
5.1. MOTIVAZIONE DELL'INTERVENTO E FINALITÀ DELLE OPERE.....	14
5.2. CRITERI PROGETTUALI ADOTTATI.....	15
5.3. ANALISI DELLE ALTERNATIVE.....	15
5.4. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	17
<b>6. STUDIO DI INSERIMENTO DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>20</b>
6.1. INSERIMENTO URBANISTICO.....	20
6.2. PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	20
6.3. VINCOLI E TUTELE AMBIENTALI.....	20
6.4. FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI.....	21
<b>7. PIANO DI GESTIONE DELLE MATERIE.....</b>	<b>21</b>
<b>8. INTERFERENZE.....</b>	<b>22</b>
<b>9. DISPONIBILITÀ E ACCESSIBILITÀ DELLE AREE E DEGLI IMMOBILI.....</b>	<b>22</b>
<b>10. CONCLUSIONI.....</b>	<b>23</b>

## Elenco elaborati

E.01	RELAZIONE ILLUSTRATIVA
E.02	RELAZIONE TECNICA
E.03	STUDIO DI FATTIBILITÀ AMBIENTALE
E.04	STUDIO GEOLOGICO-TECNICO E GEOMORFOLOGICO
E.05	RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEL RILIEVO TOPOGRAFICO
E.06	DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE DELLE OPERE - SIERC
E.07	RELAZIONE SULLA GESTIONE DELLE MATERIE
E.08	RELAZIONE SULLE INTERFERENZE
E.09	QUADRO ECONOMICO
E.10	COMPUTO METRICO ESTIMATIVO
E.11	ELENCO PREZZI
E.12	ANALISI PREZZI
E.13	QUADRO DI INCIDENZA DELLA MANODOPERA
E.14	STIMA DEI COSTI DELLA SICUREZZA
E.15	DISPONIBILITÀ DI AREE ED IMMOBILI
E.16	PIANO DI SICUREZZA E COORDINAMENTO
E.17	PIANO DI MANUTENZIONE DELL'OPERA
E.18	FASCICOLO DELL'OPERA
E.19	CAPITOLATO SPECIALE D'APPALTO E PRESTAZIONALE
E.20	SCHEMA DI CONTRATTO
E.21	CRONOPROGRAMMA DELLE FASI ATTUATIVE
TAV. 01	COROGRAFIA
TAV. 02	INQUADRAMENTO SU CTR E ORTOFOTO
TAV. 03	INQUADRAMENTO URBANISTICO
TAV. 04	VINCOLI E TUTELE AMBIENTALI
TAV. 05	STATO DI FATTO - MODELLI DIGITALI E VISTE 3D
TAV. 06	STATO DI FATTO E DI PROGETTO - PLANIMETRIA GENERALE
TAV. 07	STATO DI FATTO E DI PROGETTO - PROFILI TOPOGRAFICI, DEMOLIZIONI E SCAVI
TAV. 08	STATO DI PROGETTO - PROSPETTO E SEZIONI
TAV. 09	STATO DI PROGETTO - SISTEMA DI DRENAGGIO ACQUE METEORICHE: PLANIMETRIA, PROFILI, SEZIONI
TAV. 10	STATO DI PROGETTO - PARTICOLARI

## 1. PREMESSA.

I sottoscritti Ing. Massimiliano BERLINGERI, Dott. Francesco PALMIERI e Ing. Cosimo SANTORO, hanno ricevuto dal Dirigente del Settore 3 – Lavori Pubblici e Patrimonio – del Comune di Crotona, Ing. Gianfranco DE MARTINO, giusta Det. Dir. n.3110 del 19.12.2016, a seguito della procedura di somma urgenza per il crollo del muro di contenimento in via Sibaris verificatosi in data 11 Marzo 2016, l'incarico per lo studio del fenomeno franoso in atto nonché la progettazione delle soluzioni finalizzate al consolidamento della scarpata.

Nella presente relazione tecnica vengono rappresentati sinteticamente le alternative progettuali analizzate, le scelte effettuate e gli interventi proposti, rimandando alla lettura degli elaborati progettuali per ulteriori approfondimenti.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.

### 2.1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.

Il sito oggetto di studio si ubica in via Sibaris, in agro del comune di Crotona. I riferimenti cartografici dell'area sono riportati nella Carta d'Italia IGM scala 1:25.000 foglio n. 571 sezione III – Crotona, nel foglio 238 III SE D "Crotona" del progetto Casmez, mentre come base topografica è stata assunta la Cartografia Tecnica Regionale elemento n. 571102 in scala 1:5.000. In figura 1 è riportata l'ubicazione del sito su ortofoto (2009).



Figura 1 - inquadramento area di studio su ortofoto.

## 2.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.

### 2.2.1. Caratteristiche geomorfologiche generali.

L'area oggetto dell'intervento è ubicata poco più di 3km in direzione Sud rispetto al centro della Città di Crotone, su Via Sibaris [Tav.1], sviluppandosi su versanti collinari, tra le quote di 50m e 60m s.l.m.. Il tratto in studio è ubicato nella zona di versante, a metà strada tra il pianoro sommitale e la fascia litoranea. La porzione alta dei versanti argillosi è caratterizzata da morfologia calanchiva; la parte bassa è stata oggetto di intensa attività edificatoria che ne ha occultato le originarie forme. Il pianoro (zona sommitale) è interessato, dal punto di vista litologico, da depositi biocalcarenitici e sabbiosi su substrato argilloso.

In relazione a quanto cartografato nell'ambito del *Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)*, così come elaborate dall'*Autorità di Bacino della Regione Calabria (ABR)*, tutta la macroarea in esame è interessata da intensi processi erosivi, per lo più superficiali.

L'evoluzione morfologica dell'area, desunta dal raffronto tra le cartografie storiche disponibili con lo stato di fatto, evidenzia che le fasce che un tempo rappresentavano degli impluvi hanno subito modifiche a seguito di abbancamenti/sbancamenti e "deviazioni".

### 2.2.2. Caratteristiche geologiche e litologiche generali.

In generale, il terreno che caratterizza l'area in questione è argilloso, facente parte della potente formazione Argillo-marnosa di Cutro (argille siltose da grigio-chiare a grigio-azzurre, con occasionali sottili intercalazioni di sabbie e silts; scarsa resistenza all'erosione e bassa permeabilità [PLIOCENE MEDIO-CALABRIANO]) (KCR), con vari gradi di consistenza, a seconda della profondità. Anche la percentuale di altri componenti, quali limo e sabbia, varia con la profondità. La porzione più superficiale presenta una maggiore componente limoso-sabbiosa a scapito di quella argillosa per via della presenza di colluvioni, prodotte dal disgregamento del "pianoro" sabbioso-arenaceo sommitale (NNAb) e dei versanti argillosi.

### 2.2.3. Caratteristiche stratigrafiche di dettaglio.

Il dettaglio stratigrafico dell'area è stato ricavato con l'ausilio prospezioni meccaniche (a carotaggio continuo e penetrometriche dinamiche) e geofisiche (sismiche e geoelettriche), meglio specificate nel capitolo 4.

Le prospezioni hanno permesso di riconoscere tre livelli litologici: un livello superficiale di copertura sovrastante il substrato argilloso ed un livello di "passaggio" al substrato stesso, quest'ultimo non sempre presente. In particolare si è riscontrato quanto di seguito descritto:

- un livello superficiale (**MR**), costituito da terreno di riporto, eterogeneo, a porosità medio-elevata;
- un livello intermedio (**AL**), limoso-argilloso, di colore grigio-azzurro con venature grigio-chiaro. Nel corso del sondaggio (S07) detto livello si presentava saturo [foro allestito a piezometro];
- substrato argilloso (**AG**): si tratta di argilla di colore grigio-azzurra. Si presenta spesso laminata.

Per maggiori dettagli si rimanda alla lettura dell'**ELABORATO D – STUDIO GEOLOGICO-TECNICO E GEOMORFOLOGICO** ed ai relativi allegati.

### 3. EVENTO CALAMITOSO DEL 11.03.2016 E POSSIBILI CAUSE.

L'opera di sostegno preesistente risultava costituita, per la quasi totalità della sua lunghezza, da due muri in c.a. sovrapposti, entrambi con altezza fuori terra di circa 3,50 m. In particolare, il muro di monte presentava scarpa appoggiata direttamente sulla testa del muro di valle, e ad esso collegata mediante ferri di chiamata esterni al paramento (dato riscontrato a seguito del crollo).



Figura 2 - Stato ex ante (fonte: Google maps).

In corrispondenza del tratto a maggiore altezza, l'opera si completava con ulteriore muro, in parte in c.a. ed in parte a gravità in gabbioni, sormontato da ringhiera in ferro, di sottoscarpa della strada di penetrazione di monte.



Figura 3 - Stato ex ante - particolare tratto a maggiore altezza (fonte: Google maps).

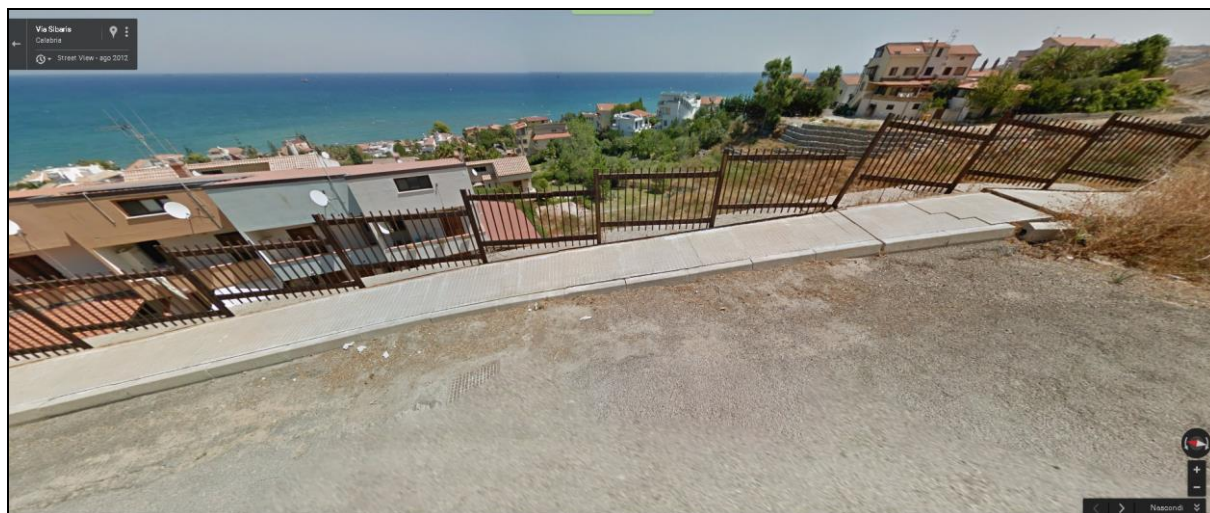


Figura 4 - Stato ex ante - particolare quadro fessurativo strada di monte (fonte Google maps).

La strada a monte presentava, come evincibile da documentazione fotografica di cui sopra, segni di fenomeni in atto (fessure e linee di tensione parallele all'opera di sostegno, marciapiede con lesioni e distacchi).

In data 11.03.2016, alle prime luci del giorno, i residenti del Lotto n.11 (fabbricato posto a valle dell'opera in esame) provvedevano ad allertare gli uffici tecnici della Amministrazione comunale e le forze dell'ordine, e che prontamente intervenivano sul luogo, in seguito a rumori dalla fonte incerta e proveniente dall'opera di contenimento in esame.

Alle 10.00 del mattino circa, si assisteva al crollo dell'opera di contenimento, avvenuta senza danni a cose e persone.

Dalla analisi della dinamica dell'evento e dai rilievi in situ esperiti, è presumibile evincere che il crollo della struttura sia avvenuto principalmente per cause riconducibili alla natura stessa dell'opera ed alle sue modalità costruttive.

Parrebbe, infatti, plausibile che il crollo abbia avuto inizio per effetto di un cedimento strutturale del muro di valle, con rotazione rigida del paramento fuori terra intorno al piede (cerniera plastica): il conseguenziale rapido svuotamento del terrapieno a tergo del muro di valle, avrebbe determinato una rotazione rigida del muro di monte, in senso opposto alla rotazione del muro di valle, tanto che quest'ultimo appariva pressochè integro negli istanti immediatamente successivi all'evento calamitoso.

È presumibile, inoltre, affermare, che la assenza di idonei sistemi di drenaggio a tergo dell'opera di contenimento, come evincibile dai rilievi in situ e fotografici di cui sopra, ha rappresentato una concausa del fenomeno verificatosi, non consentendo di dissipare le eventuali sovrappressioni generate dalle acque di infiltrazione provenienti da monte, sia esse naturali (acque piovane) che antropiche (acque di irrigazione, eventuali perdite da condotte, ...).



Figura 5 – Fasi del crollo (estratti da video girato dall'ufficio tecnico comunale).

## 4. RILIEVI ED INDAGINI.

### 4.1. RILIEVI TOPOGRAFICI.

Il rilievo topografico in esame è stato acquisito mediante la applicazione dei principi fondamentali della fotogrammetria aerea, una tecnica che permette di rilevare dati metrici di un oggetto (forma e posizione) tramite l'acquisizione e l'analisi di coppie di fotogrammi stereometrici, rilevate da sensore fotografico installato, nel caso in esame, su SAPR (Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto).

Il rilievo fotogrammetrico aereo è stato eseguito con l'ausilio di SAPR (Sistema Aeromobile a Pilotaggio Remoto) esarotore **FLYTOP FLYNOVEX** n. di costruzione **FLN050**, con peso massimo al decollo (incluso payload) di 8,3 kg (Piloti SAPR: Massimiliano Berlingeri Att. Num. 34/15; Francesco Palmieri Att. Num. 35/15).

Il piano di volo pianificato è stato realizzato in data 15.03.2016, con una superficie complessiva coperta di circa 1.5 ha. La durata del volo è stata di circa 2 minuti, con elevazione media della foto-acquisizione di circa 120 m s.l.m.

I dati acquisiti e restituiti constano in:

- ortomosaico;
- nuvola di punti 3D;
- modelli digitali della superficie e del terreno;
- caratteristiche plano-altimetriche del sito di intervento (curve di livello, punti quotati, ...).

Per maggiori dettagli si rimanda alla lettura dell'**ELABORATO E05 – RELAZIONE ILLUSTRATIVA DEL RILIEVO TOPOGRAFICO** ed alle tavole allegata al progetto esecutivo.

#### 4.2. INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE IN SITU.

Le indagini geognostiche eseguite nel sito di intervento sono di seguito riportate:

- n.7 sondaggi a carotaggio continuo (di cui 2 non andati a buon fine);
- prove di laboratorio terre su n.8 campioni di terreno indisturbato;
- n.7 prospezioni penetrometriche dinamiche medie (di cui 2 andati a "rifiuto" nel primo metro di prospezione);
- n.3 prospezioni sismiche a rifrazione;
- n.3 acquisizioni HVSR;
- n.3 prospezioni sismiche MASW;
- n.1 prospezione geoelettrica;

Nella figura seguente la ubicazione delle indagini eseguite.

Sono stati, inoltre, prelevati campioni lungo alcune verticali, al fine di ottenere una idonea caratterizzazione geotecnica degli strati lito-tecnici individuati. Per maggiori approfondimenti sulle risultanze delle prove esperite, si rimanda alla lettura dell'**ELABORATO D – STUDIO GEOLOGICO-TECNICO E GEOMORFOLOGICO** ed ai relativi allegati.



Figura 6 - Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche.



In particolare, è possibile discretizzare ulteriormente il substrato **AG** in due strati, corrispondenti ai **livelli C e D** rinvenuti durante le penetrometriche dinamiche medie, e di seguito denominati rispettivamente **AG1** e **AG2**.

Per quanto attiene la definizione dei parametri di resistenza meccanica, dedotti dalle prospezioni e prove di laboratorio, dei terreni relativi alla sezione più critica assunta in sede di dimensionamento di massima delle opere in progetto, si è fatto riferimento a quanto di seguito riportato:

Litotipo	Spessore massimo investigato (m)	N <sub>SPT</sub> (medio)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	φ (°)	C' (kpa)	Cu (kpa)
MR	2.50	<5	18,0	28	--	--
AL	1.80	3-5	20,0	26	26	180
AG1	3.00	>9	19,8	15	21	152
AG2	>30	>9	19,7	20	30	196

#### 4.4. MODELLAZIONE SISMICA.

Sulla base di quanto riportato nella normativa vigente (D.M. 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", di seguito indicato brevemente con NTC2008) per l'individuazione della categoria di sottosuolo necessaria alla definizione dell'azione sismica di progetto, in assenza di analisi specifiche per valutare l'effetto della risposta sismica locale, si fa riferimento alle categorie di sottosuolo previste dalla normativa stessa.

Dall'analisi delle prospezioni MASW effettuate, si rilevano ovunque valori del  $V_{s,30}$  (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità) di poco superiori a 360 m/s, indipendentemente dal piano assunto come riferimento.

Quindi nel caso in esame, è possibile attribuire le condizioni litostratigrafiche alla categoria di sottosuolo B ai sensi della Tabella 3.2.II delle NTC2008: "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità a da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 e 800 m/s" (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $C_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Per le caratteristiche topografiche l'intervento ricade nella **categoria topografica T2 – Pendii con inclinazione media >15°** (Tabella 3.2.IV NTC2008).

Le opere in oggetto possono essere considerate Costruzioni di tipo 2 nella Tabella 2.4.I delle NTC2008 (Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale), per le quali è prevista una vita nominale (VN) della struttura pari 50 anni.

I parametri di pericolosità sismica previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, riportati nella tabella seguente, sono stati determinati per la **Classe d'uso sismica II – Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.**

In base alla relazione:  $V_R = V_N \cdot C_U$

il periodo di riferimento dell'azione sismica risulta pari a 50 anni, dove i valori del coefficiente d'uso  $C_U$  sono riportati nella Tabella 2.4.II delle NTC.

**Valori del coefficiente d'uso  $C_U$  (tabella 2.4.II delle NTC)**

Classe d'Uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_U$	0.7	1.0	1.5	2.0

Tali valori sono stati interpolati sulla base dei valori relativi alla pericolosità sismica calcolata sul reticolo di riferimento e riportati nella tabella dell'allegato B della normativa.

**Parametri di pericolosità sismica in base al D.M. 14/01/2008**

"Stato Limite"	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.041	2.384	0.277
Danno (SLD)	50	0.054	2.356	0.313
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.154	2.399	0.369
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.203	2.449	0.381

La risposta sismica locale, come previsto dalla normativa vigente, può essere determinata, in mancanza di dati sperimentali, utilizzando la relazione:

$$a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

in cui:

$S_s$  = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica;

$S_T$  = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica;

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A.

$a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito.

Nelle seguenti tabelle si riportano i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica indicati nelle Norme.

Nel caso in esame, per il comune di Crotona:

Latitudine = 39,078499.

Longitudine = 17,129724.

**Coefficienti di amplificazione stratigrafica (tabella 3.2.V. delle Norme)**

Categoria di sottosuolo	$S_E$
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,60$

$F_0$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2: in questo caso allo SLV si ha  $F_0 = 2,399$ .

**Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica (tabella 3.2.VI. delle Norme)**

Categoria topografica	$S_T$
T1	1,0
T2	1.2
T3	1.2
T4	1.4

Nel caso in esame, per lo Stato Limite SLV:

$$a_g = 0,154 \cdot g$$

$$\text{Per sottosuolo di categoria B, ponendo } F_0 = 2,399 \Rightarrow S_S = 1.2$$

$$\text{Per categoria topografica T2} \Rightarrow S_T = 1.2$$

$$a_{\max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 0,222 \cdot g \text{ (accelerazione orizzontale massima attesa al sito).}$$

## 5. DESCRIZIONE GENERALE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO.

### 5.1. MOTIVAZIONE DELL'INTERVENTO E FINALITÀ DELLE OPERE.

L'intervento complessivo di progetto prevede la messa in sicurezza del tratto di via Sibaris interessato dal crollo della preesistente opera di sostegno costituita da n.3 muri in c.a. sovrapposti (nella sezione più alta), garantendo al contempo il ripristino della viabilità di penetrazione della lottizzazione ivi presente.

Come si evince dagli elaborati planimetrici allegati, l'opera di sostegno crollata costituiva il muro di sottoscarpa del rilevato della strada di penetrazione della lottizzazione VRICA S.a.s. adiacente al Lotto n.12 (fabbricato costituito da n.6 villette a schiera a 2 piani fuori terra più seminterrato).

Il tratto di strada interessato dal dissesto franoso è lungo circa 60 m ed è costituito da un'unica livelletta di pendenza del 14% circa.

A valle del muro crollato, a un dislivello variabile tra 4 e 12 m rispetto alla strada sovrastante, è posta una strada adiacente al Lotto n.11 (fabbricato anch'essa composto da n.6 villette a schiera a 2 piani fuori terra più seminterrato).

Attualmente la strada a valle è ricoperta dai detriti risultanti dal crollo del muro e dalla demolizione dei blocchi in c.a. rimanenti, mentre quella a monte si presenta a larghezza all'incirca dimezzata, in quanto franata per una larghezza variabile fra i 3 e i 4 m, con pendio che è stato profilato provvisoriamente con scarpa di circa 1:1.

Dall'analisi della superficie libera del pendio, dalle risultanze dei rilievi e delle indagini e dall'esame delle sezioni geologico-tecniche, si deduce che il terreno franato in seguito al crollo del muro di sostegno è rappresentato essenzialmente dal riporto a grana grossa che costituiva la parte in rilevato della strada a mezza costa adiacente il Lotto 12 (denominata in precedenza e in seguito "strada a monte"), mentre si rileva la sostanziale stabilità del pendio argilloso naturale.



Figura 8 - Foto del sito negli istanti immediatamente successivi al crollo.

## 5.2. CRITERI PROGETTUALI ADOTTATI.

Nello studio delle possibili soluzioni progettuali, fermo restando l'obiettivo generale di mettere in sicurezza il sito di intervento e ripristinare lo stato ex ante, si è cercato di tener conto dei seguenti criteri di progettazione:

- **impatto psicologico:** la soluzione da individuare deve garantire il minore impatto di tipo psicologico sugli abitanti del luogo, duramente provati dall'evento calamitoso, il quale solo grazie alla prontezza di intervento della Amministrazione comunale e delle forze dell'ordine, messe in allarme dai cittadini, e delle ditte intervenute, non ha determinato danni maggiori a cose e persone;
- **impatto paesaggistico-ambientale:** l'opera di sostegno da realizzare, di notevole ingombro e dimensioni (altezza di circa 12 m nella sezione più critica), deve essere tale da minimizzare, sia in fase di cantiere che di esercizio, l'impatto paesaggistico sull'area, già interessata da opere di sostegno imponenti e dalle caratteristiche estetiche non del tutto consone al contesto;
- **fattibilità tecnico-economica:** la soluzione da individuare deve essere tale da risultare fattibile in relazione agli aspetti tecnici (ad esempio accessibilità ai mezzi d'opera, sicurezza per gli operatori durante le fasi di cantiere, stabilità dei fabbricati limitrofi durante le fasi di cantiere, ...) ed alle disponibilità economiche e finanziarie presenti;
- **tempi di esecuzione:** la soluzione da individuare deve essere tale da potersi realizzare nel minor tempo possibile.

## 5.3. ANALISI DELLE ALTERNATIVE.

L'altezza della scarpata da sostenere con le opere in progetto varia da un minimo di 4 m a un massimo di 12 m.

Si è innanzitutto scartata la possibilità di sostituire anche parzialmente l'opera di sostegno rigida crollata (muro di sottoscarpa) con una di caratteristiche simili, sia per ragioni di carattere paesaggistico (pur non essendo l'area soggetta a vincoli, si tratta comunque di una zona residenziale con vista sul mare e fabbricati di pregio), che per ragioni di sicurezza e di occupazione di spazi (la realizzazione di un muro comporterebbe la necessità di effettuare rischiosi movimenti preliminari di terra alla base della scarpata; inoltre la fondazione avrebbe invaso il sottofondo della strada di valle, con la necessità di effettuare il parziale smantellamento e rifacimento di quest'ultima).

Si è ritenuto quindi preferibile valutare l'inserimento di un'opera di sostegno flessibile, e precisamente una paratia di pali in c.a., in quanto comporta una minore occupazione di spazi in orizzontale rispetto ad un'opera di sostegno rigida e consente un'esecuzione più rapida e sicura in quanto non richiede movimenti di terra preliminari.

La scelta delle fondazioni profonde (pali) risponde all'esigenza principale di evitare che le azioni trasmesse da un'eventuale fondazione superficiale dell'opera di sostegno possano andare a gravare sul vicino muro del piano seminterrato del fabbricato di valle (Lotto 11).



Figura 9 - Ubicazione lotti.

La possibilità di sostenere l'intera scarpata (per un'altezza variabile tra 4 e 12 m) esclusivamente con una paratia in c.a. al bordo esterno della strada di monte è stata scartata perché troppo costosa: oltre che richiedere un notevole impegno dal punto di vista delle opere in c.a., questa soluzione infatti non risolverebbe il problema del sostegno della scarpata sottostante, che bisognerebbe contenere con un'ulteriore paratia o altre opere di sostegno a valle (nella figura sottostante è riportata la sezione della soluzione sopra descritta nel punto in cui il dislivello è più elevato). Si tenga, inoltre, conto che le distanze dal fabbricato di monte (Lotto n.12) al ciglio della scarpata renderebbero difficoltose le fasi di cantiere per le macchine operatrici.

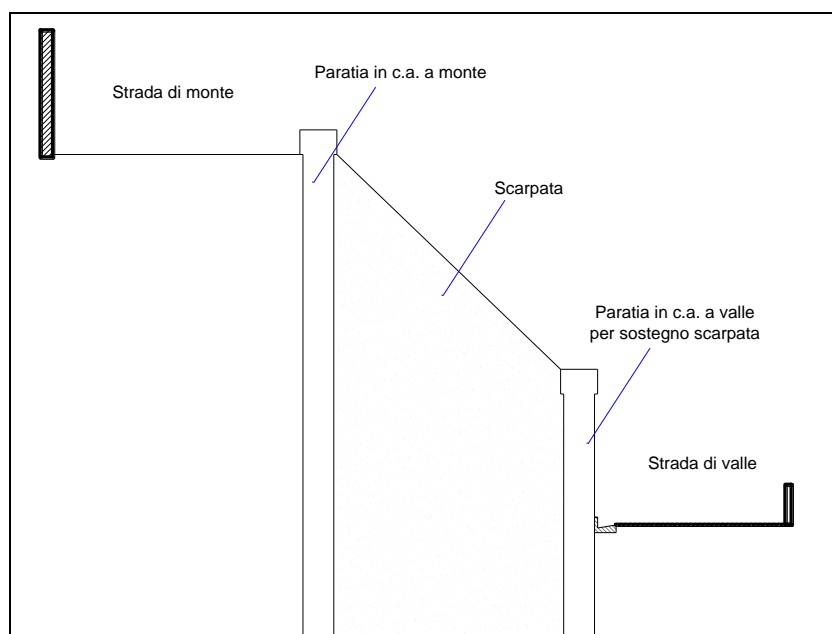


Figura 10 - Ipotesi progettuale con paratia a tutta altezza nella sezione più critica.

I progettisti hanno pertanto ritenuto di adottare una soluzione "mista", che tenga nel debito conto tutti gli aspetti da considerare nel caso specifico (strutturali, geotecnici, economici, paesaggistici e psicologici), utilizzando, per un'altezza massima di 3.50 m, una paratia di pali in c.a. alla base del pendio, lungo il bordo interno della strada di valle, e sostenendo il dislivello rimanente con l'adozione di rilevati in terra rinforzata, sfruttando sia le capacità di contenimento del pendio di questo tipo di strutture (paragonabili per il loro funzionamento statico a muri sostegno a gravità) sia le loro qualità di migliore inserimento nell'ambiente circostante.

#### 5.4. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.

La soluzione progettuale proposta dai progettisti prevede la realizzazione dei seguenti interventi:

- **Paratia di pali in c.a.:** alla base del pendio, in aderenza alla strada di valle, si prevede la realizzazione di una paratia di pali in c.a. di diametro 60 cm con sbalzo fuori terra di 2.90 m, più 0,60 m di trave di coronamento, infissi nel terreno per una profondità variabile fra i 3 e 5 m. Il paramento esterno della paratia sarà rifinito in cls. Tale intervento consentirà di trasferire nel sottosuolo le tensioni del pendio a monte senza gravare sul muro che delimita il seminterrato del fabbricato di valle. Le trivellazioni per l'esecuzione dei pali in c.a. accostati, costituenti la paratia (di diametro 60 cm e lunghezza complessiva variabile tra i 7 e gli 8 m, di cui la metà costituisce la profondità di infissione) verranno eseguite con sonda a rotazione, per evitare la trasmissione di vibrazioni ai fabbricati esistenti. Poiché il terreno da perforare è argilloso e possiede, a partire dalla profondità di circa 1,0÷1,5 m, una buona coesione anche in condizioni drenate, l'adozione del tubo forma sarà necessaria solo per la parte fuori terra e per lo strato più superficiale da perforare. Il mezzo cingolato su cui saranno montate le aste e la sonda di perforazione passerà sopra i detriti risultanti dal crollo del muro, provvisoriamente abbancati sulla strada di valle, che non saranno rimossi (ad eccezione dello spazio strettamente necessario alle trivellazioni) fino al completamento dell'esecuzione della paratia.
- **Opera di sostegno in terra rinforzata:** L'altezza rimanente del pendio, variabile tra 1 e 9 m, sarà contenuta da un'opera di sostegno in terra rinforzata, la quale fungerà anche da rilevato per ricostituire la sezione stradale originaria a monte. Nel campo delle geotecnica è definita come opera in terra rinforzata o pendio rinforzato, una struttura atta al contenimento o alla stabilizzazione di una scarpata costituita, essa stessa, da terreno e da elementi di rinforzo di forma e materiale opportuno, capaci di assorbire sforzi di trazione. Tali elementi vengono di solito disposti lungo piani di posa orizzontali durante il riempimento e la compattazione del rilevato di terra, che avviene per strati successivi. Nel tratto più alto l'opera in terra rinforzata sarà costituita da n.3 blocchi di terra rinforzata, opportunamente sovrapposti e sfalsati, ciascuno con sezione trasversale di larghezza massima 5,00 m e altezza 3,00 m; successivamente le dimensioni e il numero degli elementi in terra rinforzata si ridurranno opportunamente seguendo la pendenza della strada di monte. Gli elementi in terra rinforzata sovrapposti saranno disposti non allineati in verticale, in maniera tale che la base di ciascun elemento scarichi lo sforzo di scorrimento in

massima parte sul terreno naturale, sfruttando le capacità portanti di quest'ultimo e riducendo quindi l'azione orizzontale complessiva sugli elementi sottostanti.

- Protezione antierosiva tecnologia "PRATI ARMATI":** Si tratta di una tecnologia verde utilizzata per contrastare l'erosione dei versanti e per favorire la rinaturalizzazione, che utilizza esclusivamente specie erbacee autoctone perenni, caratterizzate da un apparato radicale profondo e resistente che imbriglia il terreno e da una fitta coltre vegetale. L'intervento avverrà sulle superfici di progetto (scarpate e pianori), utilizzando un miscuglio di sementi (non inferiore a 50 g/mq) autoctone di specie o varietà erbacee perenni in quantità e proporzioni da definire in base alle caratteristiche pedologiche del cantiere e aventi le seguenti caratteristiche: • rusticità: sono infatti utilizzabili come piante pioniere in quanto capaci di vegetare anche in suoli poveri di sostanze organiche ed elementi nutritivi, contribuendo a ripristinare un substrato favorevole alla successiva rinaturalizzazione; • non infestanti (si definiscono infestanti piante che si propagano in modo virulento e incontrollato e non sono di alcuna utilità); • non modificate geneticamente; • costituiscono un ottimo foraggio; • capacità di ricaccio elevata dopo gli incendi; • adattabilità a condizioni pedoclimatiche estreme: temperature da  $-40^{\circ}$  a  $+60^{\circ}$  C; reazione del terreno compresa da pH 4 a pH 11; • adattabilità a sopportare sommersioni anche per periodi prolungati; • capacità di resistere anche in zone estremamente siccitose; • capacità di vegetare anche su suoli fortemente inquinati da cadmio, cobalto, cromo, rame, mercurio, nichel, piombo, antimonio, selenio, zinco, etc. • non richiedono particolari manutenzioni. Tale intervento garantirà, inoltre, un adeguato inserimento paesaggistico nel contesto di riferimento.
- Sistema di drenaggio superficiale e profondo:** al fine di dissipare le eventuali sovrappressioni dovute alle acque di infiltrazione, si prevede la realizzazione di un idoneo sistema di drenaggio superficiale e profondo. Il primo sarà costituito da cunette in terra al piede di ogni blocco di terra rinforzata, il secondo da nucleo drenante in argilla espansa avvolto all'interno di un telo in geotessuto con alla base tubo microfessurato, a tergo della paratia e delle terre rinforzate. Tale sistema convoglierà in direzione longitudinale le acque di infiltrazione in parte alla rete delle acque bianche della lottizzazione ed in parte nel reticolo idrografico superficiale (calanco) posto a sud-est del sito di intervento.
- Ripristino delle sedi stradali e sottoservizi:** si provvederà infine al ripristino della sede stradale sia a valle che a monte dell'opera in progetto, nonché al ripristino dei sottoservizi (fogna bianca e nera, rete idrica e pubblica illuminazione, con la posa in opera di n.3 lampioni) scavando nella parte di sezione stradale a monte rimasta integra.

Si rimanda per maggiori dettagli alla lettura degli elaborati di progetto.

Per la sicurezza dei lavoratori impegnati nella realizzazione delle opere, si seguiranno tutte le prescrizioni del D.Lgs. n.81/2008, e in particolare:

a) Per motivi di sicurezza, prima della realizzazione delle opere di contenimento vere e proprie a valle, sarà necessario eliminare il materiale di riporto residuo del rilevato stradale, per il tratto di sezione trasversale strettamente necessario alla messa in sicurezza ed alla realizzazione delle opere in progetto. Tutti gli scavi verranno eseguiti a gradoni di altezza massima 3 m, cercando, compatibilmente con gli spazi a disposizione, di dare al fronte di scavo una pendenza quanto minore possibile: la stabilità dei vari fronti di scavo nelle varie fasi sarà verificata coi metodi della geotecnica, tenendo conto anche della presenza del fabbricato limitrofo a monte e, qualora tali verifiche dovessero dare esito negativo, essi saranno adeguatamente con sbadacchiature e puntellature costituite da tavoloni e puntelli, opportunamente disposti e dimensionati.

b) Prima degli ulteriori scavi e della posa in opera delle terre armate lungo la scarpata, verrà realizzata la paratia di pali in c.a. sul bordo interno della strada di valle, che consentirà una maggiore sicurezza nell'esecuzione dei lavori a monte. Per la sicurezza degli operatori a monte, sarà inoltre realizzata una barriera provvisoria anticaduta dell'altezza minima di 1 m, in aste metalliche zincate poste a interasse di 180 cm, con due traverse e una tavola fermapiede in legno, ancorata alla trave di coronamento in c.a. della paratia.

## 6. STUDIO DI INSERIMENTO DEGLI INTERVENTI.

### 6.1. INSERIMENTO URBANISTICO.

Le indicazioni di pianificazione territoriale e di tutela a livello comunale sono state tratte dalla sovrapposizione delle aree di interesse con gli elaborativi prescrittivi **P3 – Vincoli e tutele**, **P4 – Usi e modalità di intervento**, **TV – Geologia-Geomorfologia-Idrogeologia**, **A2.1 – Vincoli archeologici** del Piano Regolatore del Comune di Crotona.

In particolare, si evince che per le aree oggetto di dissesto sono rinvenibili le seguenti destinazioni d'uso e prescrizioni:

- Secondo l'elaborato P3 del PRG del Comune di Crotona:  
 - **Territorio consolidato e da consolidare (Ambiti edificati);**
- Secondo l'elaborato P4 del PRG del Comune di Crotona:  
 - **Zona residenziale di espansione turistica (art.19 comma 2);**
- Secondo l'elaborato TV del PRG del Comune di Crotona:  
 - **Aree soggette a prescrizione per acclività;**
- Secondo l'elaborato A2.1 del PRG del Comune di Crotona:  
 - **Aree non soggetta ad alcun vincolo o tutela.**

Per una dettagliata ubicazione delle diverse destinazioni e prescrizioni di cui sopra si rimanda alle **Tav. 4**.

### 6.2. PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO.

Dalla analisi delle perimetrazioni di pericolosità e rischio idrogeologico contenute nell'attuale *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico* della Regione Calabria, si evince che il sito di intervento ricade in Zona ad Erosione Intensa.

Per maggiori approfondimenti si rimanda alla lettura dell'**ELABORATO D - STUDIO GEOLOGICO-TECNICO E GEOMORFOLOGICO**.

### 6.3. VINCOLI E TUTELE AMBIENTALI.

Si riportano qui di seguito, in forma sintetica, le indicazioni di vincolo ricavate dall'analisi della vigente normativa nazionale e regionale in materia di tutela e conservazione del territorio:

- *Vincolo idrogeologico*: le aree direttamente interessate dalle opere in progetto non presentano vincoli di natura idrogeologica.
- *Vincolo storico-architettonico ed archeologico (ex L. 1089/39)*: all'interno delle aree interessate dall'opera in progetto non si riscontrano immobili sottoposti a vincolo architettonico, storico o monumentale né siti archeologici.

- *Aree boscate (ex L. 431/85):* le opere in progetto non interessano aree boscate.
- *Fasce di rispetto fluviale (ex L. 431/85):* le aree direttamente interessate dalle opere in progetto non sono sottoposte a vincolo paesaggistico.
- *Aree protette o non idonee:* Le aree direttamente interessate dall'opera in progetto non ricadono in aree protette.

#### 6.4. FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI.

Dalla sovrapposizione degli interventi con le previsioni urbanistiche, e le perimetrazioni di vincolo e tutela di cui ai paragrafi precedenti, si evince che l'intervento complessivo di progetto risulta fattibile. Le opere previste, infatti, risultano:

- in linea con le previsioni dello strumento urbanistico, senza preclusione alcuna alla realizzazione delle visioni strategiche previste;
- in linea con le previsioni e gli obiettivi di mitigazione del rischio idrogeologico contenuti nel PAI;
- in linea con i principi di tutela e salvaguardia dell'ambiente e del paesaggio, avendo previsto il ricorso a tecnologie a basso impatto ambientale.

Resta intesa l'acquisizione di ulteriori autorizzazioni o pareri di enti terzi che nel corso delle successive fasi di progettazione o della procedura di approvazione dovessero essere rilevati come necessari ai fini dell'esecuzione dell'opera. Ai fini di una migliore comprensione dell'inserimento degli interventi nel contesto di riferimento, è opportuno comunque prevedere, nelle successive fasi di progetto, uno studio paesaggistico di dettaglio.

#### 7. PIANO DI GESTIONE DELLE MATERIE.

Le materie di risulta da smaltire appartengono alle seguenti categorie:

- Terreni di scavo:** volume stimato circa 1.700 mc. Saranno riutilizzati in altri cantiere dell'Amministrazione Comunale e, per la parte eventualmente eccedente, avviati a impianto di recupero.
- Terreni provenienti dalle trivellazioni per l'esecuzione dei pali della paratia:** volume stimato 108 mc. Poiché il terreno da perforare è argilloso e possiede, a partire dalla profondità di circa 1,0÷1,5 m, una buona coesione anche in condizioni drenate, l'adozione del tubo forma sarà necessaria solo per la parte fuori terra e per lo strato più superficiale da perforare, mentre non sarà necessaria l'utilizzazione di fanghi bentonitici per la stabilizzazione delle pareti del foro, che sono autosostenenti. Il fluido di circolazione utilizzato sarà quindi l'acqua e i fanghi risultanti saranno costituiti solo da acqua e terreno naturale, potendo quindi essere smaltiti come normali terreni di scavo.
- Detriti in cemento armato provenienti dalla demolizione del muro crollato:** volume stimato 500 mc. Saranno riutilizzati in altri cantiere dell'Amministrazione Comunali e, per la parte eventualmente eccedente, avviati a impianto di recupero.

- d. **Miscele bituminose provenienti dal disfacimento delle pavimentazioni stradali:** volume stimato 62 mc. Saranno avviati a impianto di recupero.

## 8. INTERFERENZE.

Alla data di redazione del presente progetto esecutivo, il crollo della opera di sostegno di sottoscarpa ha interessato parzialmente la rete di pubblica illuminazione. Inoltre, risulta presente lungo il ciglio della attuale scarpata, con evidente rischio di crollo, la rete di raccolta delle acque bianche.

Da rilievi in situ risulterebbero presenti, infine, perdite da rete fognaria. Gli interventi di progetto contemplano il ripristino dei sottoservizi di cui sopra, con ricollocazione nella porzione della sezione stradale a monte della opera di sostegno di progetto.

## 9. DISPONIBILITÀ E ACCESSIBILITÀ DELLE AREE E DEGLI IMMOBILI.

Ai fini della cantierabilità degli interventi previsti in progetto, si è provveduto a verificare la disponibilità delle aree mediante opportuno inquadramento catastale. Le aree da utilizzare sia in via temporanea che definitiva sono di facile accesso, attraverso la strada di quartiere che parte dall'incrocio tra via Sibaris e viale Magna Grecia e la successiva strada di lottizzazione, e sono nelle disponibilità dell'Amministrazione in quanto già occupate per l'immediata messa in sicurezza dei fabbricati a monte e a valle (vedere documentazione fotografica allegata).

Le aree che saranno occupate in permanenza dalle opere in progetto fanno parte del solido stradale di monte e della scarpata che era sostenuta dal muro crollato: non essendo prevista l'occupazione permanente di nuove aree, non sarà necessario procedere ad espropri.

Nella zona in cui si dovrà operare sono presenti tutte le opere di urbanizzazione primaria: prima dell'allestimento del cantiere, si concorderanno con i rispettivi enti gestori le modalità di allacciamento delle varie utenze di cantiere alla rete elettrica, idrica e fognaria .

## 10. CONCLUSIONI.

Dalla disamina di quanto sopra esposto si può affermare che l'insieme delle opere costituenti l'intervento di progetto consente di raggiungere l'obiettivo di messa in sicurezza del sito in esame, garantendo al contempo di salvaguardare la sicurezza e la durabilità delle opere e infrastrutture esistenti e non ancora compromessi.

In particolare, gli interventi previsti:

- migliorano le condizioni di sicurezza e di difesa del territorio;
- non costituiscono in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità geomorfologica né localmente, né nei territori a valle o a monte;
- non costituiscono un elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione delle specifiche cause di rischio esistenti ma, anzi, ne favoriscono l'eliminazione;
- garantiscono condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un pericolo per l'incolumità pubblica.

Si sottolinea, tuttavia, che la presenza del fabbricato a monte, a ridosso del sito di intervento, necessita di porre particolare riguardo durante la pianificazione delle modalità esecutive e delle fasi di cantiere, al fine di non contribuire negativamente sulla evoluzione dei fenomeni calamitosi verificatisi. Si rimanda, dunque, alle successive fasi progettuali, la verifica della stabilità del versante su cui esso insiste, e l'analisi delle modalità operative in fase di esecuzione più opportune per garantirne la sicurezza ai fini della incolumità pubblica.

Crotone, maggio 2016



Massimiliano Berlingeri  
ingegnere per l'ambiente ed il territorio



Cosimo Santoro  
ingegnere



Francesco Palmieri  
geologo