



**REGIONE LAZIO**

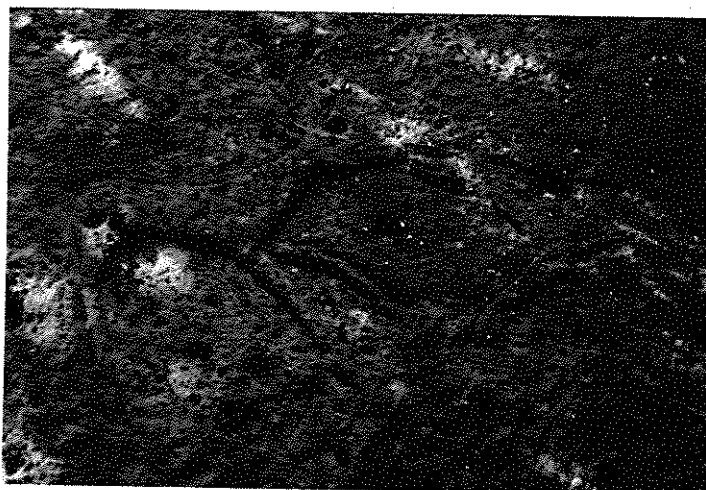
Dipartimento Territorio  
Direzione Regionale Ambiente e  
Cooperazione tra i Popoli

**SISTEMA REGIONALE DELLE  
AREE NATURALI PROTETTE**



**PARCO REGIONALE MARTURANUM**

PROGRAMMAZIONE REGIONALE 2007-2013  
PER IL SISTEMA REGIONALE DELLE AREE NATURALI PROTETTE



**RETE SENTIERISTICA PER L'ACCESSIBILITA'**  
(CUP G72D08000240006)

**PROGETTO ESECUTIVO**

Progetto architettonico: arch. Laura Pacini

Progetto strutturale: Ing. Alessandro Stefanoni



**APPENDICE AL FASCICOLO DEI CALCOLI**

IL DIRETTORE DEL PARCO  
(Dott. Stefano Cellera)





# **APPENDICE AL FASCICOLO DEI CALCOLI**

## **1. DATI GENERALI**

### **1.1. DESTINAZIONE D'USO DEL MANUFATTO**

Il progetto in esame consiste nel consolidamento statico con messa in sicurezza e restauro conservativo dell'antica via Etrusca, denominata "Cava delle Quercete", nel comune di Barbarano Romano (VT).

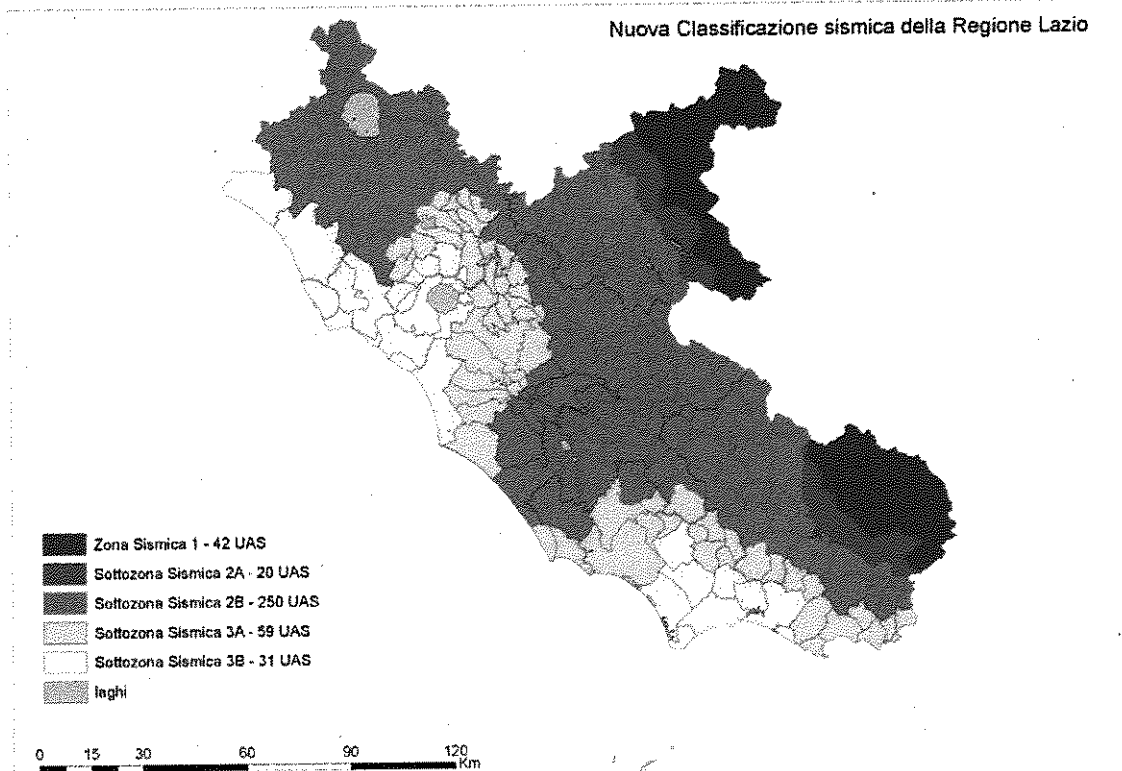
L'intervento consiste nell'applicazione di dispositivi di protezione e supporto di ammassi rocciosi tufacei con conseguente stabilizzazione del fronte.

Il rinforzo ed il supporto della roccia comprende l'impiego di ancoraggi in acciaio zincato messi in tensione ed iniettati su tutta la lunghezza con resina.

Un ancoraggio in roccia è una barra di rinforzo in acciaio che viene inserita all'interno di un foro di perforazione, ancorato alla roccia all'estremità e messa in carico mediante l'applicazione di una forza assiale di trazione attraverso un dado e una piastra in acciaio contro la superficie della roccia.

I giunti a tergo degli ammassi rocciosi vengono riempiti con pietrame di dimensione variabile, in funzione dello spessore del giunto stesso, e con legante costituito da malta cementizia con additivi anti-ritiro.

Il progetto è stato svolto in ottemperanza alle nuove norme tecniche per le costruzioni "D.M. 14 gennaio 2008". Il sito oggetto dell'intervento è classificato in zona 3A, secondo la nuova classificazione sismica della Regione Lazio riportata di seguito:



## **1.2. TIPOLOGIA STRUTTURALE DEL MANUFATTO E MATERIALI PREVALENTI CHE LO COSTITUISCONO**

L'intervento di consolidamento della parete rocciosa avviene mediante l'utilizzo di bulloni da roccia (*rockbolts*), intervento 1, 2, 3, 4 e 5.

Questi sono costituiti da una barra d'armatura, una piastra di contrasto e un dado sferico o in alternativa da rondella sferica, rondella antisvitamento e dado esagonale. Per garantire una maggiore durabilità dell'ancoraggio, tutti i componenti devono essere galvanizzati secondo la norma UNI EN ISO 1461:2009.

Il materiale di iniezione utilizzato è costituito da cartucce di resina bi-componente, predisposte all'interno del foro prima di inserire la barra ed in numero tale da garantire il riempimento completo del foro.

Per quanto riguarda il 6° intervento, questo avviene realizzando una scarpa di sostegno in blocchi di tufo, per ripristinare la porzione di roccia degradata.

### 1.3. METODO DI CALCOLO ADOTTATO

Indicare i metodi di analisi globale adottati (elastico, plastico, elasto/plastico) ed i metodi di calcolo della capacità resistente della sezione, evidenziando l'accordo tra i primi ed i secondi nel rispetto della successiva tabella.

Metodo di analisi globale	Metodo di calcolo della capacità resistente della sezione
(E)	(E)
(E)	(P)
(E)	(EP)
(P)	(P)
(EP)	(EP)

E' stato adottato, in accordo con la delibera della Giunta Regionale della Regione Lazio n. 387/09, il metodo di calcolo agli stati limite.

## 2. INFORMAZIONI SULLE AZIONI USUALI (v. Cap. 2 e 3)

### 2.1. INFORMAZIONI RELATIVE AI CARICHI E AI SOVRACCARICHI

Individuazione delle azioni permanenti ( $G$ , distinte in strutturali  $G_1$  e non strutturali  $G_2$ ), delle azioni variabili ( $Q$  e dei loro valori quasi permanenti  $\psi_2 Q$ , frequenti  $\psi_1 Q$ , rari  $\psi_0 Q$ ), delle azioni eccezionali ( $A$ ).

#### *Pesi propri*

- Peso specifico ammasso roccioso: 1600 kg/m<sup>3</sup>
- Peso specifico muratura in blocchi di tufo: 1600 kg/m<sup>3</sup>

#### *Spinta idraulica acqua nei giunti*

Si è ipotizzato a favore di sicurezza, che l'acqua si incanala all'interno delle fratture a tergo del cuneo roccioso per un'altezza pari a quella del fronte roccioso.

Peso specifico 1000 kg/m<sup>3</sup>

## **2.2. INFORMAZIONI RELATIVE ALLE COMBINAZIONI DELLE AZIONI**

Individuazione delle diverse combinazioni considerate (fondamentali, caratteristiche, frequenti, quasi permanenti, sismiche, eccezionali) attraverso i coefficienti  $\gamma$  e  $\psi$  utilizzati per definirle.

Sono state considerate le combinazioni fondamentali, rare oltreché le combinazioni delle azioni per le azioni sismiche.

La definizione dei coefficienti relativi, dei casi di carico e delle relative combinazioni è riportata al punto seguente.

## **2.3. INFORMAZIONE SUGLI STATI LIMITE CONSIDERATI SIA AGLI SLU (EQU, STR GEO), SIA AGLI SLE, E SUI RELATIVI COEFFICIENTI PARZIALI $\gamma_{G1}$ , $\gamma_{G2}$ , $\gamma_{Qi}$**

Vengono analizzati gli stati limite di Strutturali e Geotecnici. Le analisi e le relative verifiche di sicurezza degli elementi per questi stati limite vengono eseguite con i relativi coefficienti parziali:

### **Coefficienti di sicurezza (NTC 2008):**

Coefficienti parziali per le azioni (A1)

Favorevole	$\gamma_{G1} =$	1
Sfavorevole	$\gamma_{G1} =$	1,3

Coefficienti parziali per le azioni (rara)

Favorevole	$\gamma_{G1} =$	1
Sfavorevole	$\gamma_{G1} =$	1

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M1):

$$\gamma_M = 1$$

Coefficienti parziali per la resistenza di ancoraggi:

Permanenti	$\gamma_{Ra,p} =$	1,2
------------	-------------------	-----

Per quanto riguarda l'azione sismica verranno presi in considerazione gli stati limite di salvaguardia della vita SLV.

Per quanto riguarda le verifiche geotecniche si utilizzerà l'approccio di tipo 2.

### 3. INFORMAZIONI SULL'AZIONE SISMICA (v. Cap. 2 e 3)

In riferimento al *D.M. 14 gennaio 2008* – “Nuove norme tecniche per le costruzioni”, in particolare rispetto alla nuova zonazione della Regione Lazio, il sito oggetto dell'intervento è collocato in zona 3A.

In particolare individuata la posizione del sito oggetto di studio (lat. 42.252500 e long. 12.066940), si sono ricavati i valori di:

$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_C^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

riferiti ad una probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $V_R$  del 10% (SLV), come riportato al *punto 3.2.1 del D.M. 14 gennaio 2008*. La vita nominale dell'intervento,  $V_N$ , è di 50 anni. Appartenendo l'intervento alla *III* classe d'uso ( $C_U = 1.5$ ), il periodo di riferimento,  $V_R$ , è pari a 75 anni. La categoria del sottosuolo considerata, a favore di sicurezza, è la *D*.

Quindi i coefficienti considerati sono:

$$a_g = 0.1198;$$

$$F_0 = 2.45;$$

$$T_C^* = 0.2872.$$

L'accelerazione totale massima attesa al sito vale:

$$a_{max} = a_g S_S S_T = 0.3024$$

dove:

$$S_S = 1.8;$$

$$S_T = 1.4.$$

La massa dell'ammasso roccioso è stata moltiplicata per l'accelerazione totale massima, ricavando quindi l'azione sismica.

#### 4. INFORMAZIONI RELATIVE AI MATERIALI (V. Cap. 4 , 7, 11) DA RIPORTARE NELLA APPOSITA RELAZIONE E INFORMAZIONI RELATIVE AI METODI DI ANALISI E AI MODELLI DI CALCOLO

I materiali sono trattati nella relazione sui materiali, avendo presente quanto riportato nei Cap. 4 e 11.

È obbligatorio verificare il rispetto delle limitazioni specifiche per la zona sismica (v. Cap. 7) che sono aggiuntive rispetto a quelle dei Cap. 4 e 11

##### **MATERIALI**

###### CALCESTRUZZO PER MAGRONE C16/20

###### ANCORAGGIO IN ACCIAIO (zincato elettroliticamente secondo UNI EN 1461:2009):

Acciaio in barre ad aderenza migliorata B450C controllato in stabilimento

- ✚ Tensione di rottura  $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
- ✚ Tensione di snervamento  $f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$

###### ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA (zincato elettroliticamente secondo UNI EN 1461:2009):

- ✚ Qualità dell'acciaio S355
- ✚ Tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$
- ✚ Tensione caratteristica di rottura  $f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$
- ✚ Modulo elastico  $E = 210.000 \text{ MPa}$
- ✚ Coefficiente di Poisson  $\nu = 0.3$
- ✚ Coefficiente di dilatazione termica  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- ✚ Peso specifico  $\rho = 7.850 \text{ kg/m}^3$

###### BULLONERIA AD ALTA RESISTENZA CLASSE 8.8/6S zincata elettroliticamente (secondo UNI EN 1461:2009) e composta da

- ✚ Dadi 6S UNI 3740 e 5713
- ✚ Rosette acciaio C50 UNI 7845

###### FUNE IN ACCIAIO INOX:

Formazione 6x(9+9+1) + IWRC

- ✚ Tensione caratteristica di rottura  $f_{ptk} \geq 1.770 \text{ MPa}$
- ✚ Tensione caratteristica all'1% di deformazione totale  $f_{p(1)k} \geq 1.570 \text{ MPa}$

###### RESINE IN CARTUCCE:

- ✚ Resina poliesteri bi componente composta da una resina sintetica ed un catalizzatore.
- ✚ L'iniezione e la miscela deve essere in accordo con le raccomandazioni del produttore.

###### MALTA CEMENTIZIA

- ✚ Malta pre-miscelata tixotropica a ritiro compensato;
- ✚ Resistenza minima a compressione (24 h)  $R_{ck} > 10 \text{ MPa}$



- ✦ Resistenza minima a compressione (28 gg)  $R_{ck} > 40 \text{ MPa}$
- ✦ Rapporto acqua – cemento  $0,33 < a/c < 0,35$
- ✦ La miscela deve essere utilizzata entro un ora dall'inizio del mix dei componenti

#### MURATURA IN BLOCCHI DI TUFO

- ✦ resistenza media a compressione della muratura  $f_m = 18 \text{ kg/cm}^2$
- ✦ resistenza media a taglio della muratura  $f_{vk0} = 0,35 \text{ kg/cm}^2$
- ✦ modulo di elasticità normale medio  $E = 11.500 \text{ kg/cm}^2$
- ✦ modulo di elasticità tangenziale medio  $E = 3.600 \text{ kg/cm}^2$
- ✦ peso specifico medio della muratura  $\rho = 1.600 \text{ kg/m}^3$

### **4.1. VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA, METODI DI ANALISI E MODELLI DI CALCOLO**

Sono state effettuate sia le verifiche geotecniche che strutturali per i cunei rocciosi maggiormente critici che sono stati rilevati in sito.

Dal punto di vista geotecnico, è stata eseguita un'analisi delle condizioni di stabilità, per una striscia di larghezza unitaria, ricercando le condizioni di equilibrio delle sole forze agenti, sia allo stato attuale che post – operam (intervento con bulloni da roccia), nella condizione statica e sismica (v. Relazione Geotecnica).

Dal punto di vista strutturale, è stato verificato il sistema d'ancoraggio adottato; in particolare, la lunghezza d'ancoraggio, la pressione di contatto all'interfaccia piastra - superficie rocciosa e la piastra d'ancoraggio (v. Relazione di Calcolo).

Le verifiche sono state svolte implementando un foglio elettronico di calcolo.

### **5. INFORMAZIONI RELATIVE ALLA GEOLOGIA E GEOTECNICA (V. Cap. 6 e 7) DA RIPORTARE NELLE APPOSITE RELAZIONI**

Si riportano le caratteristiche meccaniche considerate per l'ammasso roccioso:

Peso specifico	$1600 \text{ kg/m}^3$
Angolo d'attrito	$45^\circ$
Angolo d'attrito ridotto (2/3 – verifica a scorrimento)	$30^\circ$
Coesione	$0 \text{ kg/cm}^2$

Per le verifiche geotecniche è stato scelto l'approccio due in quanto consente di correlare in maniera più opportuna le sollecitazioni di verifica sulla parete rocciosa con quelle per le verifiche geotecniche.

I coefficienti parziali adottati per i calcoli con l'approccio 2 sono i seguenti:

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1.0	1.0

### 5.1. FONDAZIONI DIRETTE o PROFONDE (v. 6.4).

Oltre alla verifica della sicurezza e delle prestazioni (SLU e SLE) dovranno fornirsi, in funzione dell'approccio scelto e delle combinazioni adottate, i parametri utilizzati nel calcolo per le Fondazioni dirette (tab. 6.4.I, 6.4.II) o le fondazioni profonde (tab. 6.4.III, 6.4.IV, 6.4.V, 6.4.VI); nel caso delle fondazioni profonde, qualora si tenga conto di un comportamento misto, occorrerà giustificare la ripartizione delle azioni trasversali tra i pali e le strutture di fondazione che li collegano, con opportuni modelli di interazione (v. 6.4.3).

Non presenti opere di fondazione.

## 5.2. OPERE DI SOSTEGNO

Oltre alla verifica della sicurezza e delle prestazioni (SLU e SLE) dovranno fornirsi, in funzione dell'approccio scelto e delle combinazioni adottate, i parametri utilizzati nel calcolo (tab. 6.5.I )

Concordemente all'approccio 2 selezionato si sono scelti i seguenti parametri:

DATI GENERALI			
COEFFICIENTI PARZIALI GEOTECNICA			
	TABELLA M1	TABELLA M2	
Tangente Resist. Taglio	1.00	1.25	
Peso Specifico	1.00	1.00	
Coesione Efficace (c'k)	1.00	1.25	
Resist. a taglio NON drenata (cuk)	1.00	1.40	
Tipo Approccio	Combinazione Unica: (A1+M1+R3)		
	COEFFICIENTE R1	COEFFICIENTE R2	COEFFICIENTE R3
Capacita' Portante			2.30
Scorrimento			1.10
Resist. alla Base			1.35
Resist. Lat. a Compr.			1.15
Resist. Lat. a Traz.			1.25
Carichi Trasversali			1.30
Fattore di correlazione CSI per il calcolo di Rk pali			1.70

## 6. INFORMAZIONI RELATIVE ALLA RELAZIONE DI CALCOLO (v. Cap. 10),

Il progetto presentato contiene tutti gli elaborati indicati al punto 10.1 della NTC2008 ovvero:

- Relazione di calcolo strutturale;
- Relazione tecnica illustrativa;
- Relazione sui Materiali;
- Elaborati grafici, particolari costruttivi;
- Piano di manutenzione della parte strutturale dell'opera;
- Relazioni geotecniche e geologiche;
- Relazioni - dichiarazioni punto 10.2 del D.M. 14/01/2008.

