



FALESIA LOC. VALLORIA - SAVONA

LAVORI:

Intervento di messa in sicurezza della parete rocciosa tra Valloria e i cantieri navali Mondo Marine S.p.A. Nel Comune di Savona

NATURA PRESTAZIONE:

studio geologico e geomeccanico, modellazione alle differenze finite, analisi di stabilità, progetto preliminare, definitivo, esecutivo D.L., coordinamento sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione, certificato di regolare esecuzione.

COMMITTENTE:

A.S.L. N. 2 "Savonese"

DATA:

2011 - 2012



Il terrazzo marino, la falesia e i cantieri Mondomarine

Premessa

L'obiettivo del lavoro è consistito nella sistemazione e la messa in sicurezza del versante che dalla spianata di Valloria, latitante l'Ospedale San Paolo di Savona, degrada raggiungendo quasi il livello del mare in corrispondenza dei cantieri Mondo Marine.

Dalla suddetta spianata, che rappresenta un terrazzo marino antico, il versante scende verso valle con forte acclività nel primo tratto per assumere poi una pendenza prossima alla verticalità tipica delle falesie.

In questa zona la parete risultava suddivisa nella porzione centrale da una gradonatura sostenuta da muri in cemento armato di altezza variabile da 4 – 6 m.

La parete rocciosa aveva dato luogo nel passato a fenomeni d'instabilità per crollo di cunei rocciosi che hanno reso necessari alcuni interventi quali i muri citati nonché il rivestimento, pressoché di tutta la falesia, con rete esagonale a doppia torsione armata con funi perimetrali alte e, solo localmente, basse.

Infatti, specie nella porzione di ponente, le reti risultavano ancorate al versante solo mediante la fune perimetrale alta, lasciando la rete stessa libera.

In tempi anche recenti, si erano, infatti, verificati alcuni distacchi che hanno ulteriormente riempito le reti nella parte bassa del versante lato ponente. Le condizioni di stress subito in alcuni punti dalle reti hanno creato vie di fuga per frammenti di litoidi di piccola pezzatura riversatisi sulla sede stradale sottostante.

Immediatamente a est di tale zona è opportuno segnalare, inoltre, l'esistenza di uno sperone roccioso strapiombante con reti "appese", non in aderenza.

A valle della gradonatura, la parte di falesia più estesa in altezza appariva spesso interessata da evidenti tracce di umidità.



Lo sperone roccioso con reti non in aderenza

Le indagini

In fase di progetto definitivo l'indagine si era sviluppata mediante l'esecuzione di un rilievo topografico e di un rilevamento geologico di dettaglio mediante ispezioni in parete utilizzando le tecniche alpinistiche.



Nel corso delle ispezioni era stato inoltre possibile effettuare alcune stazioni di rilievo geostrutturale per la valutazione della qualità dell'ammasso roccioso.

Per l'esecuzione del progetto esecutivo sono state eseguite due tomografie elettriche in corrispondenza del bordo esterno per una valutazione della qualità dell'ammasso nonché per una verifica di una circolazione idrica in profondità.

Inquadramento geologico e geomorfologico

Il settore allo studio costituisce la falesia costiera sottostante il terrazzo marino di località Valloria che risulta estesa fra le quote di 43,00-2,50 m s.l.m.; le pareti immergono in generale a SE, a eccezione del settore di ponente, presso l'imbocco della galleria Valloria della SP n. 1 "Aurelia" che ripiegando verso l'interno assume un'immersione a SSW.

Quest'ultimo comparto presenta una parete pseudoverticale di altezza pari circa 43 m interrotta da uno sperone che nella parte sommitale appare modellato da fenomeni d'instabilità antichi che ne hanno modificato l'assetto originario. In questa zona si trova infatti una diffusa vegetazione arbustiva e una rada vegetazione arborea di basso fusto. Sempre nella porzione sommitale sono ben visibili alcune fratture con apertura centimetrica pervasive.

Nella porzione centrale la parete è stata artificialmente tagliata da una gradonatura contrastata a monte da muri di sostegno in cemento armato, separando una parete superiore di altezza media di 13-14 m e una inferiore di altezza media di 26 m.

La porzione più a levante della falesia è costituita da un'unica parete degradante verso est con un'altezza complessiva decisamente inferiore, pari a circa 28 m.

I terreni di basamento, costituenti il tratto di falesia in esame, appartengono al *Dominio Brianzonese Ligure* e, in particolare, all'*Unità di Calizzano-Savona*; si tratta di rocce di età pre-Carbonifera, derivanti dal metamorfismo su terreni cristallini, caratterizzate da scisti gneissici, micascisti con masse granitoidi (Formazione degli *Ortogneiss I*). Questa formazione, come detto, si è originata da rocce granitoidi e localmente da rioliti, sottoposte ad un ciclo metamorfico di età ercinica in *facies anfibolitica*, con la formazione di due sistemi di scistosità sovrapposti e cristalloblasti di plagioclasio bianco latteo.

Le deformazioni del basamento iniziano in età paleozoica (orogenesi caledoniana), a cavallo tra l'Ordoviciano e il Siluriano, con un primo evento metamorfico che determina una marcata scistosità iniziale S1; contemporaneamente si hanno le trasformazioni metamorfiche in paragneiss, micascisti e Ortogneiss I. Una nuova attività magmatica riprende nel Carbonifero inferiore, connessa con l'orogenesi ercinica, che determina una nuova scistosità S2 associata ad un metamorfismo che raggiunge la facies anfibolica. In questa fase si verificano intrusioni di nuove masse granitoidi accompagnate da manifestazioni filoniane e dalla loro trasformazione in Ortogneiss tipo II.

Le successive deformazioni alpine hanno determinato la formazione di un edificio a falde sovrapposte, con lo scollamento e l'impilamento dei terreni del Massiccio di Savona associato a fasi deformative più recenti. Tutta la struttura è complicata da una intensa deformazione intraformazionale.

A partire dal Pliocene e per tutto il Quaternario, le Alpi Liguri sono state oggetto di movimenti a componente verticale responsabili del sollevamento e del basculamento della catena montuosa; questa fase è associata ad un collassamento del rilievo, testimoniata da faglie e lineazioni disposte ortogonalmente e parallelamente alla linea di costa. Lungo tali discontinuità si formano strutture di tipo distensivo tipo *Horst-Graben*.

Le depressioni prossime alla linea di costa sono state pertanto invase dal mare entro il quale si è avuta la deposizione delle Argille di Ortovero corrispondenti all'ingressione marina nel Pliocene.



Modello geologico

Il modello geologico dell'area in esame definito da una falesia di altezza complessiva poco superiore a 40 m, caratterizzata da una gradonatura a circa 3/5 dell'altezza che interessa il settore centrale suddiviso quindi in due pareti.

Ad esclusione della gradonatura, l'acclività è sempre molto elevata, talora prossima alla verticalità e localmente strapiombante.

La falesia termina nella parte alta con un breve tratto di versante più arretrato, caratterizzato da roccia subaffiorante, ad acclività medio-alta che la raccorda al terrazzo marino antico sommitale.

Il litotipo è rappresentato da Ortogneiss I (già Gneiss di Albisola) che presentano sistemi di discontinuità che intersecando il versante e possono dar luogo a fenomeni di crollo.

Una scarsa regimazione delle acque a monte e lungo il versante crea fenomeni di dilavamento e d'infiltrazione all'interno delle fessure beanti.

Caratterizzazione dell'ammasso e valutazione dei parametri di riferimento

Per definire le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso sono state eseguite n. 5 stazioni di rilievo geostrutturale, che hanno consentito di riconoscere n. 4 famiglie o set di giunti principali ricorrenti; ad eccezione del set 1, che rappresenta la scistosità, tutti gli altri sono rappresentativi di discontinuità da frattura e sono stati individuati omogeneamente in quasi tutte le stazioni.

Per una migliore valutazione dei parametri sono stati calcolati gli indici RMR (Bieniawski) e Q (Barton) correlati mediante il parametro GSI.

Stazione	GSI (da Bieniawski)	GSI (da Barton)
RS1	34 - 45	55
RS2	40 - 48	55 - 61
RS3	32 - 41	55
RS4	33 - 44	55
RS5	36 - 40	55 - 61

Sulla base dei dati ottenuti sono stati ricavati i seguenti parametri di resistenza al taglio relativi agli ammassi rocciosi analizzati.

Stazione	c (kPa)	f (°)
RS1	190 - 250	22 - 28
RS2	225 - 265	25 - 29
RS3	185 - 230	21 - 26
RS4	190 - 245	22 - 27
RS5	205 - 225	23 - 25
Valore medio	221	24,8
Dev. standard	27,77	2,74

Valutazione parametri geotecnici di riferimenti da analisi numeriche

Il quadro generale ottenuto dai rilevamenti di superficie è stato utilizzato per verificare il comportamento statico del versante attraverso simulazioni basate sullo studio, in campo bidimensionale, del comportamento tensio-deformativo del pendio.

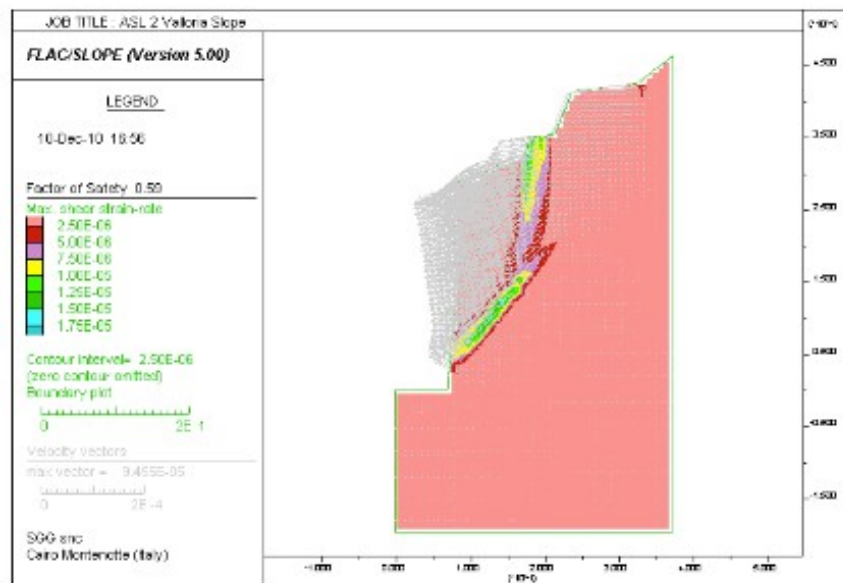
Le simulazioni numeriche sono state effettuate utilizzando il codice alla differenze finite *F.L.A.C. Slope 5.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua)* dell'Itasca; si tratta di un codice di calcolo bidimensionale alle *differenze finite*, che esegue "analisi Lagrangiane" simulando il comportamento dei materiali soggetti a tensioni e sede di flussi plastici quando raggiungono il limite di snervamento.



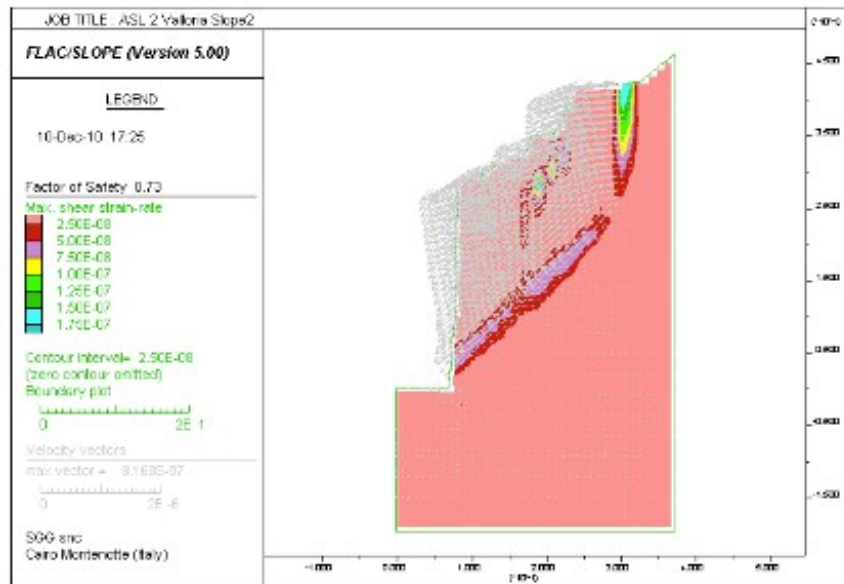
Le elaborazioni sono state eseguite facendo riferimento al criterio di rottura di Mohr-Coulomb, nonché allo scivolamento su discontinuità esistenti, generando un modello geometrico mediante una griglia alle differenze finite (*mesh*) in modo da tenere conto della stratigrafia reale del sito e del profilo del versante.

Il calcolo è stato eseguito allo scopo di individuare i parametri geotecnici relativi alle condizioni di instabilità globale della parete rocciosa.

STRATO	PROFONDITA' ALLA SOMMITA' DEL VERSANTE (m)	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
Alterazione spinta del substrato	fino a 3-4 m	24	50	35
Basamento roccioso gneissico sano	oltre 4 m	25	80	35

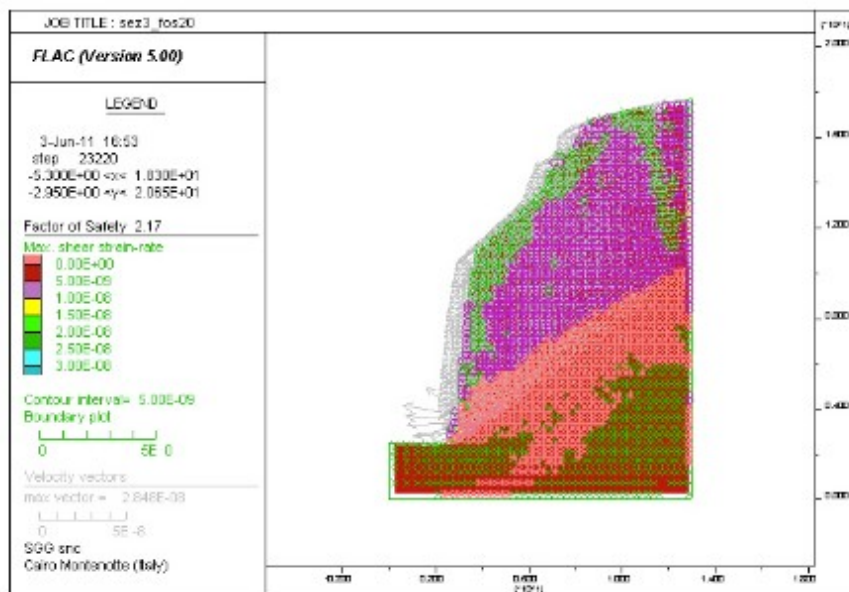


Meccanismi di rottura superficiale per coesione < 80 kPa

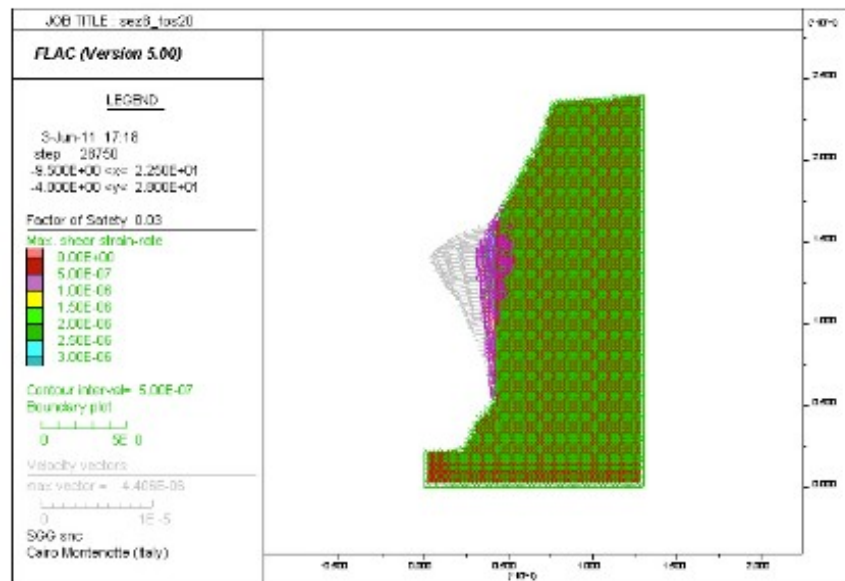


Meccanismi di rottura profonda per coesione < 80 kPa

Sulla base delle analisi numeriche sono stati ricavati i parametri di progetto e successivamente le analisi numeriche sono state utilizzate per la determinazione delle sollecitazioni sugli ancoraggi in caso di decadimento progressivo dei parametri di resistenza al taglio, per la verifica degli ancoraggi e per la verifica delle sollecitazioni sul sistema di rivestimento con reti ancorate nelle diverse soluzioni proposte.



Sezione 3 stato attuale (Fattore di sicurezza su parametri caratteristici)

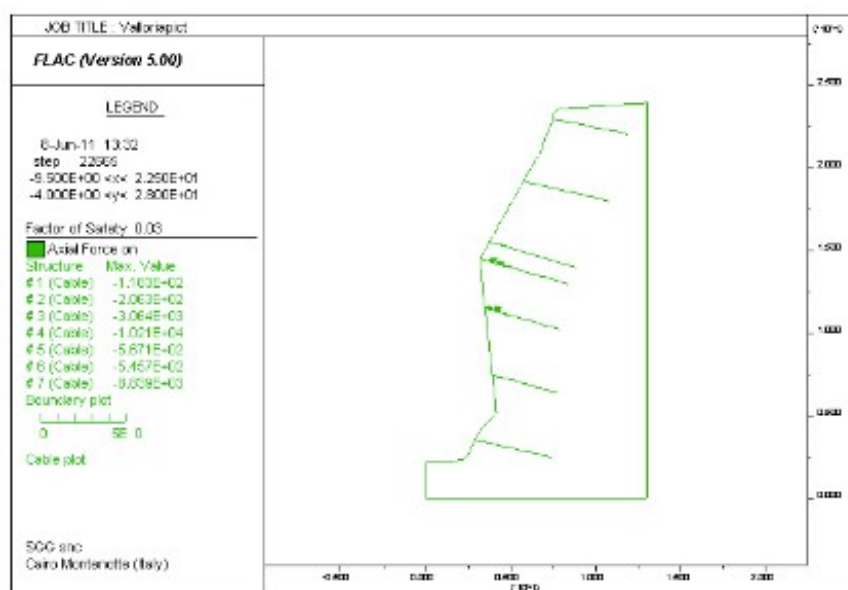


Sezione 8 stato attuale (Fattore di sicurezza su parametri caratteristici)

Si è verificato che lungo la sezione 3 si riscontrano meccanismi di instabilità profonda per valori di coesione pari a circa la metà di quelli caratteristici, in analogia alle verifiche eseguite con FLAC SLOPE; nel caso della sezione 8 si è riscontrata instabilità lungo la parete secondo meccanismi di ribaltamento e scivolamento a profondità non eccedente il metro.

Si è eseguita un'analisi sulle sezioni più impegnative nelle quali sono stati inseriti alcuni ancoraggi a barre da 28 mm della lunghezza di 5 m.

Nella legenda della figura seguente sono indicate le sollecitazioni sugli ancoraggi con il decadimento progressivo della resistenza al taglio per coesione a partire dal valore caratteristico di 159 kPa.



Sezione 8 stato a progetto

Il progetto

Le verifiche sul sistema di ancoraggi e sul sistema di rivestimento previsto ha consentito la verifica generale delle soluzioni progettuali, distinte per tre settori differenti.

Settore di ponente

In questo settore, la falesia presenta pressoché un'unica pendenza prossima alla verticalità tranne che nella parte bassa, dove l'acclività si addolcisce per un breve tratto per poi tornare subverticale fino alla strada di proprietà Mondo Marine.

I due tratti di parete subverticale erano rivestiti da una rete esagonale a doppia torsione, vincolata al versante nella parte alta per un'estesa porzione solo da una fune perimetrale alta, mentre la parte di falesia altimetricamente inferiore presentava anche una fune perimetrale bassa. In questa zona la rete risultava riempita da frammenti litoidi di varia pezzatura staccatisi dalle propaggini superiori.

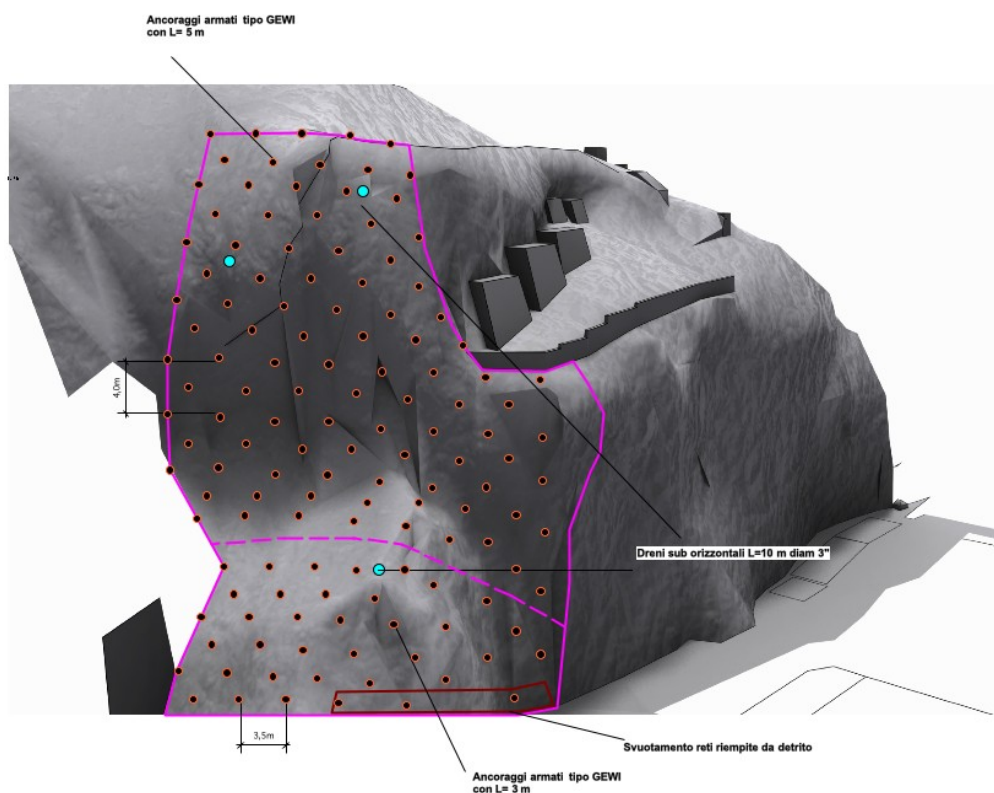
Nella parte alta della falesia erano evidenti cunei di distacco di volumi rocciosi prossimi al metro cubo.

Immediatamente a est del tratto di versante descritto e al di sotto del primo segmento di una gradonatura artificiale che interessa tutto il settore centrale della falesia, era, infine, evidente la presenza di uno sperone roccioso strapiombante sulla sottostante strada Mondo Marine.

A fronte delle problematiche descritte, si è prevista la realizzazione dei seguenti interventi di consolidamento:

- posizionamento in aderenza della rete esistente, compresa la scucitura e la ricucitura;

COMPARTO DI PONENTE
Schema 3D con disposizione indicativa ancoraggi
Scala 1:200



Simulazione in 3D intervento settore ponente



- realizzazione di ancoraggi con maglia 3,5 m x 4,0 m, mediante perforazioni di lunghezza variabile da 3 m nella parte bassa a 5 m nella parte alta, armate mediante barre in acciaio tipo Gewi del diametro 28 mm e cementate con boiaccia di cemento, eseguiti secondo le tecniche tipiche dei lavori in parete;
- posa in opera di reti ad alta resistenza, (resistenza a trazione longitudinale non inferiore a 150 kN/m) per il rivestimento dell'intero sistema, vincolati agli ancoraggi di cui sopra, costituite da filo di orditura della maglia strutturale in acciaio carbonioso (DIN 17223) avente carico di rottura di 12.5 kN, di diametro non superiore a 3 mm e classe di resistenza 1770 N/mm² (DIN 2078), galvanizzato in lega eutettica in ragione di minimo 150 g/m²;
- dreni suborizzontali di lunghezza pari a 10 m.

Settore centrale

Il settore centrale comprende, a esclusione dello sperone roccioso strapiombante, la porzione di falesia gradonata artificialmente e interessata dalla presenza di muri di sostegno a monte della gradonatura.

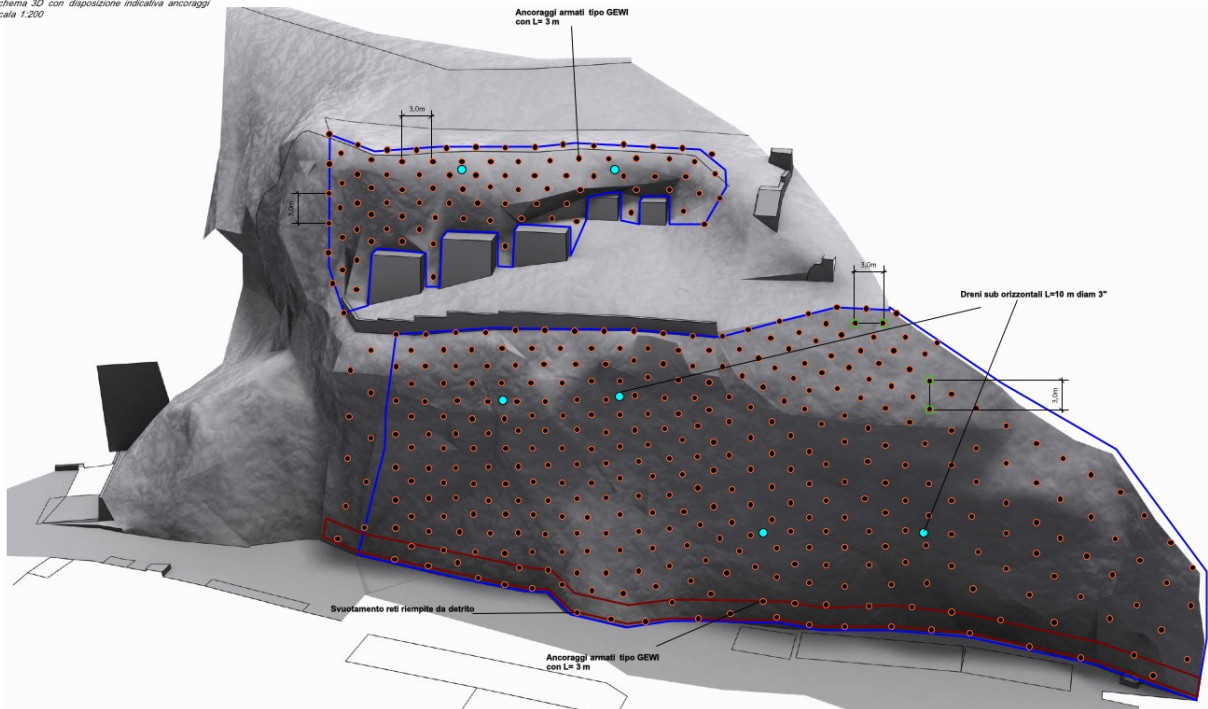
Specialmente in corrispondenza della parete al di sotto della gradonatura si riscontravano la presenza di tracce di umidità ed erano ben visibili e diffuse zone di distacco di volumi rocciosi.

Nel settore centrale erano quasi sempre presenti le due funi perimetrali (alta e bassa) sia al di sopra sia al di sotto del gradone, anche se è necessario sottolineare la scarsità di chiodi di ancoraggio e la precaria aderenza della rete al versante.

Alla luce di tali considerazioni si è prevista la seguente tipologia d'intervento:

- sostituzione di porzioni di rete esagonale a doppia torsione lesionate o ammalorate;
- posizionamento in aderenza della rete esistente, compresa la scucitura e la ricucitura nonché l'aggiunta di nuovi pannelli necessari per la completa fasciatura della parete;
- posa in opera di funi metalliche di diametro 12 mm in trefolo di acciaio zincato, passante in corrispondenza degli incroci all'interno delle asole degli ancoraggi, testata e bloccata con relativi morsetti
- realizzazione di ancoraggi con maglia 3 m x 3 m, mediante perforazioni di lunghezza 3 m, armate mediante barre in acciaio tipo Gewi del diametro 28 mm e cementate con boiaccia di cemento, eseguiti secondo le tecniche tipiche dei lavori in parete;
- dreni suborizzontali di lunghezza 10 m.

COMPARTO DI LEVANTE
 Schema 3D con disposizione indicativa ancoraggi
 Scala 1:200



Simulazione in 3D intervento settore levante e centrale

Settore di levante

In tale settore la falesia è caratterizzata da un'altezza decisamente inferiore rispetto a quelli precedenti e incombe in un'area poco soggetta al passaggio delle maestranze dei cantieri Mondomarine.

Le condizioni strutturali sono simili a quelle del settore centrale così come la situazione relativa alla rete esistente.

Si è prevista una tipologia d'intervento simile al settore centrale adottando la stessa maglia di ancoraggio di 3 m x 3 m.

Non è stata prevista la realizzazione di dreni suborizzontali.

Drenaggi

Nei settori occidentale e centrale, in corrispondenza di alcune zone umide si è prevista, la realizzazione di dreni suborizzontali costituiti da tubi in PVC da 3", microfessurati nella parte alta e adeguatamente protetti da una calza in geotessile della lunghezza di 10 m ciascuno.



Fasi di perforazione in parete



Controllo fluidità miscela d'iniezione



Posa in opera reti di rivestimento



Posa e serraggio piastre di ancoraggio