

**PROGETTISTA**

GEODES S.r.l. - Ing. Domenico Parisi  
 Geol. Riccardo Amici

**COMMITTENTE**

Elettronica Industriale S.p.A.

**OGGETTO INCARICO**

Progetto esecutivo per la sistemazione del versante in frana.

**IMPORTO DELL'OPERA**

€ 320.000,00 di cui:  
 € 320.000,00 cat. IXC fondazioni speciali

**DESCRIZIONE DELL'OPERA**

Realizzazione di interventi di stabilizzazione e messa in sicurezza degli impianti siti in località Valcava, nel comune di Caprino Bergamasco (BG).

**PERIODO DI ESECUZIONE**

2006-2007

**PROFESSIONISTI RESPONSABILI**

Ing. Domenico Parisi - Geotecnica e Progettazione  
 Geol. Riccardo Amici - Geologia

**REALIZZAZIONE OPERE**

Opera realizzata.

**DESCRIZIONE PARTICOLAREGGIATA**

**Descrizione dei fenomeni deformativi**

A partire dal mese di giugno 2006 e per tutto il 2007 l'edificio dell'impianto radio-televisivo di Valcava della Elettronica Industriale S.p.A. è stato interessato da una serie di fessurazioni che hanno limitato la sua funzionalità. Tali fessure nel tempo, in particolare nei periodi di intense precipitazioni meteoriche, si sono estese e allargate, arrivando ad aperture centimetriche, e sono aumentate di numero. I dissesti erano legati alla presenza di deformazioni nel versante, interessato dalle

coltivazioni di una cava della Italcementi S.p.A. Nell'ottobre 2006 un'area della cava di dimensioni planimetriche di circa 50 m x 35 m è stata interessata da una frana; la distanza tra la nicchia della frana e il confine della proprietà della Elettronica Industriale era di circa 45 m.



Le misure vibrometriche hanno evidenziato che le velocità di vibrazione dovute all'esplosivo utilizzato nella cava erano di ridotta entità in prossimità dell'edificio e pertanto la causa delle fessurazioni non era imputabile alla loro azione. E' risultata invece evidente la correlazione tra precipitazioni meteoriche e accelerazione dei fenomeni. L'analisi dei fenomeni deformativi del versante ha evidenziato quanto segue:

- la frana dell'ottobre 2006 è avvenuta per scivolamento lungo uno o più piani di strato; il cinematiso è stato attivato dagli scavi operati nel versante dalle attività della cava, con la formazione di gradonature e/o piazzali orizzontali e scarpate di raccordo inclinate di circa 35°-40°; la presenza di alcune faglie ha contribuito ad isolare lateralmente e superiormente il volume franato. L'evento franoso si è verificato al termine di un periodo di precipitazioni di intensità medio-alta; è pertanto presumibile che la frana dell'ottobre 2006 rappresenti il culmine di una serie di fenomeni deformativi già in atto nel versante che ha portato dapprima alla formazione di fessure nel terreno (*tension crack*) e, successivamente, a seguito delle precipitazioni meteoriche con la conseguente infiltrazione dell'acqua entro le fessure del terreno, al superamento della resistenza limite del terreno ed allo scivolamento verso valle di un volume di 35,000 m<sup>3</sup> circa di terreno;
- con riferimento alla parte di versante in cui è ubicato l'edificio di Elettronica Industriale, i risultati di alcune analisi numeriche di simulazione dei fenomeni deformativi

avvenuti hanno evidenziato alcuni importanti aspetti.

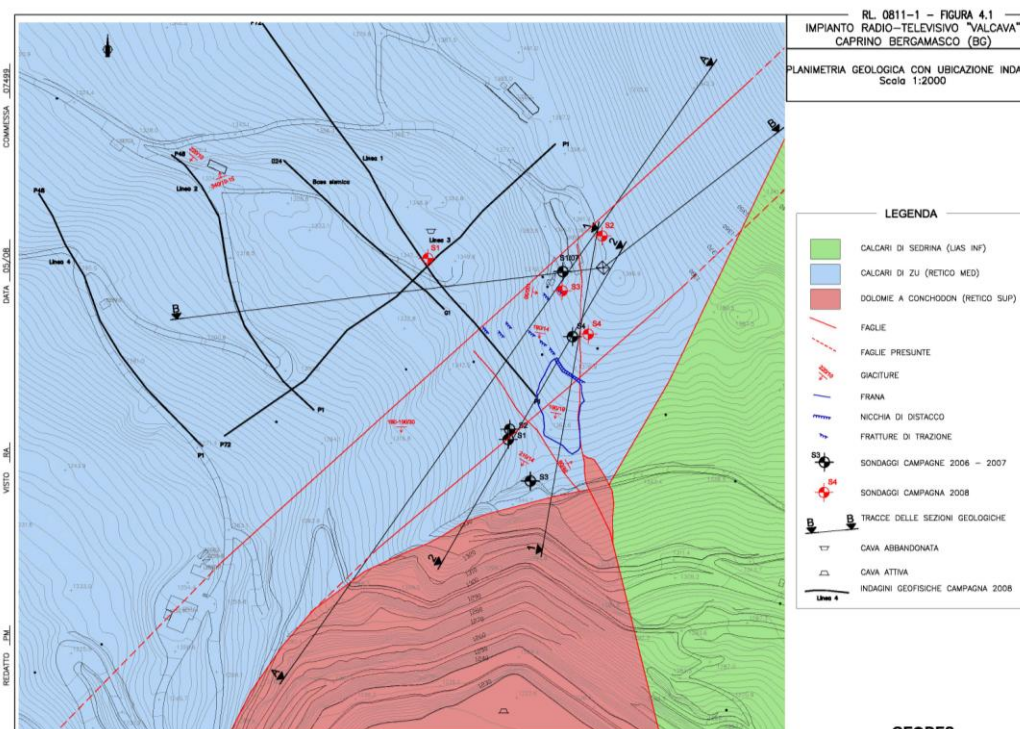
- a partire da una condizione preesistente di equilibrio, gli scavi operati nell'area della cava hanno indotto un detensionamento progressivo nel settore immediatamente a valle della proprietà di Elettronica Industriale, che ha determinato sia l'insorgere di spostamenti in quel settore del versante che un locale aumento delle tensioni di taglio nella fascia più superficiale del terreno (fino a profondità di circa 15-20 m);
- in concomitanza delle precipitazioni meteoriche di maggiore intensità, con il temporaneo innalzamento della falda, gli spostamenti verso valle si sono estesi alla parte superiore del versante;
- con l'aumento delle deformazioni di taglio nel versante si è avuto un progressivo decadimento sia dei parametri di deformabilità che di resistenza nel terreno, in particolare nella fascia tra le profondità di 8 e 16 m. Anche in queste condizioni gli spostamenti si evidenziano maggiormente in concomitanza degli eventi meteorici, con l'innalzamento del livello della falda, a seguito dell'aumento del rapporto di mobilitazione nel terreno;
- nonostante il decadimento dei parametri di resistenza del terreno, se non si operano

scavi nella zona di versante posta direttamente al di sotto delle proprietà di Elettronica Industriale, i fattori di sicurezza in termini di stabilità globale del versante rimangono superiori a quanto richiesto dalla normativa. Gli interventi di messa in sicurezza devono quindi essere volti all'arresto dei fenomeni deformativi in atto piuttosto che ad un semplice aumento del fattore di sicurezza della stabilità del versante.

Appare evidente dalle analisi svolte che, per la messa in sicurezza delle proprietà di Elettronica Industriale, risultano di fondamentale importanza alcuni interventi da eseguire nell'area della cava, che esulano dal mandato e dagli obiettivi di questo progetto.

**Modello geologico**

L'area di Valcava è ubicata al fronte delle alpi bergamasche, a nord di Pontida, nel settore compreso tra il fiume Adda a ovest e il fiume Brembo a est. La zona è caratterizzata, dal punto di vista geologico, dall'affioramento di terreni appartenenti alle formazioni carbonatiche triassico-cretaciche. In particolare si osserva la presenza di terreni attribuibili alle formazioni del calcare di Zu, della Dolomia a Conchodon e del calcare di Sadrina.



**Indagini eseguite**

Nell'area sono stati eseguiti alcuni sondaggi a carattere stratigrafico in cui è stata installata strumentazione per il monitoraggio geotecnico e idrogeologico. Nell'area della frana sono inoltre state svolte indagini geofisiche finalizzate alla ricostruzione delle caratteristiche del sottosuolo, all'individuazione di eventuali strutture tettoniche e alla caratterizzazione sismica dei terreni. In particolare sono state eseguite le seguenti indagini:

- 2 linee sismiche a rifrazione;
- 3 linee geoelettriche multielettrodo.

A completamento dello studio sono stati eseguiti alcuni rilievi geologico-strutturali speditivi, finalizzati alla valutazione della giacitura dei piani di strato e delle altre discontinuità, e fotointerpretazione da foto aeree dell'area, per il riconoscimento di eventuali lineamenti tettonici.



**Caratteristiche geologiche di dettaglio dell'area di studio**

Nella parte di versante in cui sono ubicate le proprietà di Elettronica Industriale, affiorano estesamente, nel settore nord, i calcari di Zu, separati, tramite una struttura tettonica, verso sud, dalle dolomie a

Conchodon e, a est, sempre tramite una struttura tettonica, dai calcari di Sedrina. Sia la frana avvenuta nell'ottobre 2006 nella cava Italcementi, che l'impianto dell'Elettronica Industriale, sono ubicati interamente entro gli affioramenti dei calcari di Zu, che presentano, localmente nell'area della frana, una giacitura a franapoggio 190/20. Tale giacitura predispone allo scivolamento degli strati, anche per la presenza di livelli marnosi e argillifici entro l'ammasso roccioso.

La zona della sommità del rilievo su cui sorge l'impianto è interessata dalla presenza di alcune strutture tettoniche riscontrabili sia dalle foto aeree, sia dai rilievi a terra e dalle stratigrafie dei sondaggi. Si tratta di faglie tra cui, di grande importanza, quelle aventi direzione NE-SW, che formano un fascio di strutture parallele, tra le quali se ne osservano una che attraversa la zona dell'edificio dell'Elettronica Industriale e una seconda che attraversa la zona della frana. La struttura con andamento circa N-S, che lambisce l'edificio dell'Elettronica Industriale, sembra costituire il limite orientale della frana. È presente anche una struttura con andamento circa NW-SE rilevata in corrispondenza del piede della frana.

Immediatamente a sud dell'area della frana, all'interno della cava Italcementi, alcune strutture tettoniche mettono in contatto le tre formazioni geologiche affioranti nella zona.

Il movimento franoso è avvenuto per scivolamento planare, con una modesta componente rotazionale, di strati calcarei e marnosi della formazione dei calcari di Zu, che in questo settore presentano giacitura a franapoggio con angolo di immersione pari a circa 20°.

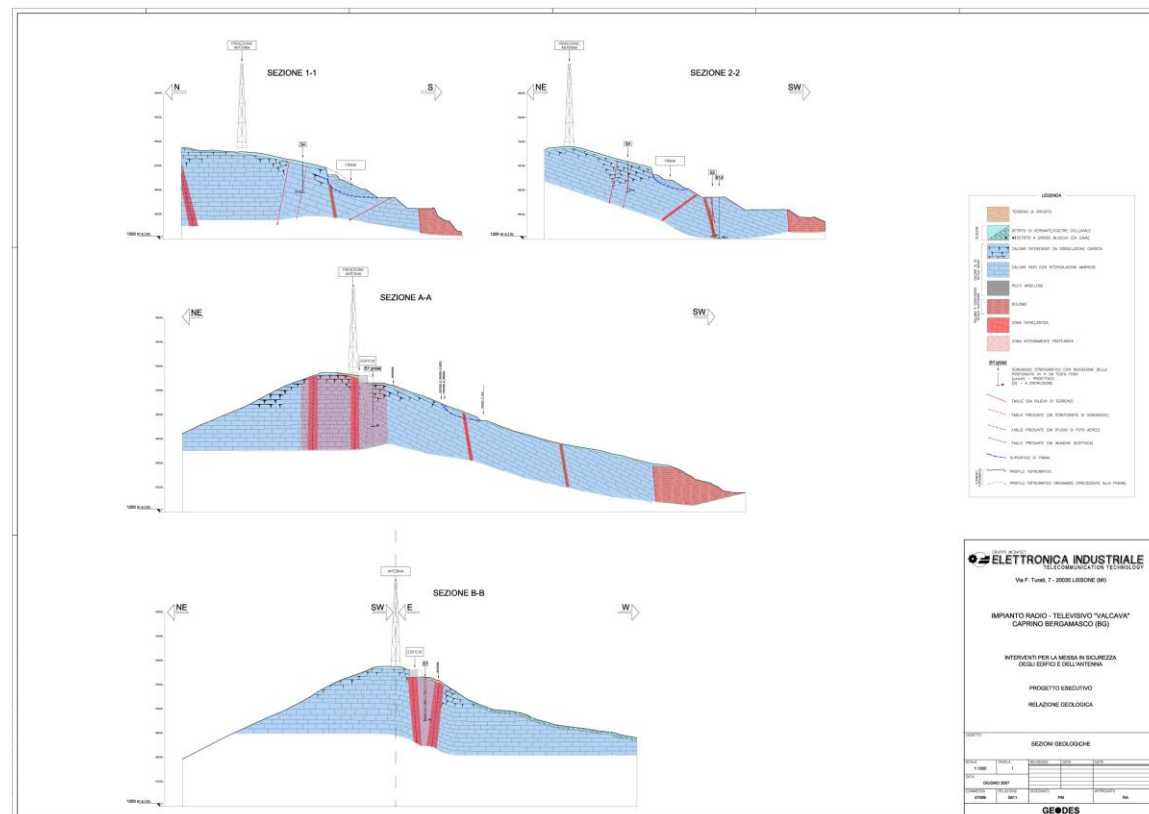
Nei dintorni della frana sono state rilevate numerose fratture di trazione, in particolare in direzione nord-ovest e anche in corrispondenza della recinzione dell'area di proprietà dell'Elettronica Industriale, a nord-est, a indicare che il dissesto ha interessato un'area di estensione maggiore di quella mobilitata.

Si rileva infine che le stesse faglie hanno suddiviso l'ammasso roccioso in settori aventi differenti caratteristiche geotecniche e propensione all'instabilità; si osserva infatti che le fessure di trazione nel terreno e i movimenti strutturali sono attualmente limitati alla zona di versante compresa tra

le due faglie che si intersecano indicativamente in corrispondenza dell'edificio di Elettronica Industriale. Nella parte superiore del versante, sino alla profondità di 20 m, non è stata rilevata presenza di falda; non si dispone di dati relativamente a possibili oscillazioni piezometriche in concomitanza di eventi meteorici.

e, in generale, dalle problematiche di stabilità del versante:

- l'ammasso roccioso indisturbato
  - l'ammasso roccioso nelle zone di faglia.
- Con riferimento al modello di mezzo continuo equivalente, sono stati definiti i valori dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso:



**Modello geotecnico**

La caratterizzazione geotecnica del terreno è stata fatta con riferimento sia ad un modello dell'ammasso roccioso come mezzo continuo equivalente che di mezzo discontinuo. La differenza tra i due modelli è legata alla presenza nell'ammasso roccioso delle discontinuità ed al modo, esplicito o implicito, di considerarle.

I parametri di resistenza, con riferimento al criterio di Hoek-Brown (1997), e di deformabilità dell'ammasso roccioso sono quindi stati stimati, a partire dai valori della roccia intatta, in funzione di correlazioni empiriche con l'indice GSI (Geological Strength Index).

Ai fini del progetto sono state individuate due unità geotecniche interessate dagli interventi

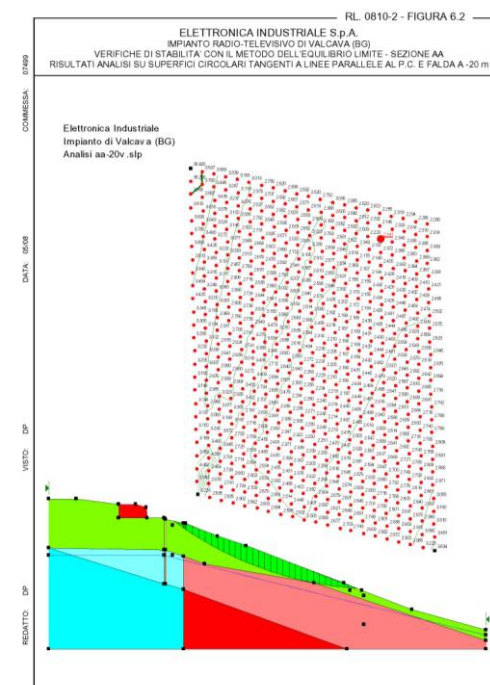
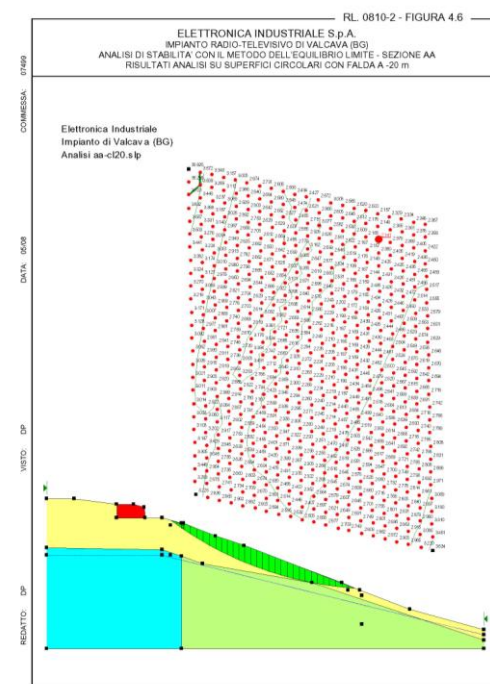
Allo scopo di ottenere i parametri caratteristici del criterio di resistenza di Mohr-Coulomb ( $c'$  e  $\phi'$ ), si è operata una linearizzazione del criterio di Hoek e Brown. I valori di  $c'$  e  $\phi'$  risultanti sono riportati nel seguente prospetto:

Zona	GSI (-)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
Ammasso roccioso indisturbato	55	436	63
	40	297	60
Faglia	25	142	48
	10	85	42

In funzione di GSI sono stati determinati i valori del modulo di deformabilità  $E_d$  ottenuti per le diverse condizioni di qualità dell'ammasso roccioso prese in esame.

Per la definizione delle caratteristiche di resistenza delle discontinuità si è fatto

riferimento ai criteri di Mohr-Coulomb ( $c, \phi$ ) e di Barton-Bandis (JRCn, JCSn,  $\phi_r, i_u$ ). I parametri di resistenza delle discontinuità secondo il criterio di Mohr-Coulomb possono essere ottenuti per linearizzazione del criterio di Barton-Bandis nell'intorno di un determinato valore della tensione normale; nel caso in esame è stato considerato l'intervallo 25÷500 kPa.



Le analisi a ritroso effettuate sulla frana dell'ottobre 2006 hanno indicato che i valori dei parametri di resistenza (coesione/angolo di attrito) lungo la superficie di scivolamento costituita da un piano di strato sono risultati pari a 0 kPa/32°, 4 kPa/30° e 9 kPa/28°. La caratterizzazione geotecnica dei terreni di copertura del substrato roccioso (depositi detritici e coltri colluviali, terreni di riporto), non aventi rilevante interesse ai fini delle problematiche deformative del versante, dato il loro ridotto spessore, è stata effettuata sulla base delle caratteristiche granulometriche e del presumibile grado di addensamento.

**Gli interventi**

Per la messa in sicurezza degli edifici e dell'antenna dell'impianto radio-televisivo di Valcava della Elettronica Industriale S.p.A. si sono valutate necessarie azioni volte da un lato a rimuovere definitivamente le cause che potessero indurre instabilità nel versante e dall'altro a ripristinare condizioni di sicurezza adeguate nel settore di versante interessato dai fenomeni di dissesto, azioni da essere svolte all'interno della cava, proprietà della Italcementi S.p.A.

Si è inoltre individuata come condizione primaria ed essenziale per la messa in sicurezza dell'impianto radio-televisivo di Valcava della Elettronica Industriale S.p.A. che Italcementi non procedesse ad alcuna ulteriore attività estrattiva in prossimità del settore di versante critico ed in generale in prossimità delle proprietà della Elettronica Industriale.

Si è definito che gli interventi volti a ripristinare adeguate condizioni di sicurezza nel versante e ad arrestare i movimenti dovessero essere sia strutturali, finalizzati ad aumentare le forze stabilizzanti del versante, sia mirati a ridurre le forze instabilizzanti nel versante ed in particolare le pressioni idrauliche entro l'ammasso roccioso.

Si è previsto che gli interventi strutturali dovessero essere localizzati:

- al piede delle potenziali zone instabili, in corrispondenza dei piazzali della cava, per ripristinare adeguate condizioni di sicurezza nei confronti della stabilità del settore di versante interessato dai fenomeni di dissesto e arrestare gli spostamenti in tale settore di versante;
- al di sopra della nicchia di frana dell'ottobre 2006, per evitare o quantomeno limitare gli

assestamenti del terreno presente nella parte superiore del versante.

Gli interventi in corrispondenza dei piazzali della cava erano già stati avviati da Italcementi. Questi dovevano garantire adeguati margini di sicurezza per tutti i potenziali cinematismi attivati dalle recenti attività nella cava in prossimità del settore critico evidenziati dallo studio geologico e arrestare ogni movimento in quella zona.

Gli interventi al di sopra della nicchia di frana dovevano prevenire e/o limitare gli assestamenti della parte superiore del versante, che potrebbero verificarsi nel tempo a seguito del detensionamento del terreno avvenuto nel corso del 2006 ed in parte del 2007. Si è definito che tali interventi dovessero consistere nel riempimento delle macro-fessure presenti nel versante e in una serie di interventi strutturali a protezione delle proprietà della Elettronica Industriale.

Per la riduzione delle forze instabilizzanti ed in particolare delle pressioni idrauliche nel terreno si sono previsti i seguenti interventi:

- riempimento delle macro-fessure presenti nel versante e, ove necessario, inerbimento della parte di versante posta tra la proprietà di Elettronica Industriale e i piazzali di scavo alle quote 1345 e 1333 m circa s.l.m. della cava Italcementi, in modo da limitare l'infiltrazione delle acque meteoriche in profondità;
- esecuzione di lunghi dreni suborizzontali e/o leggermente inclinati verso l'alto, costituiti da tubi microfessurati in PVC installati entro fori appositamente predisposti, a partire dal muro di sostegno realizzato al piede della frana dell'ottobre 2006, in modo da drenare le eventuali residue acque di infiltrazione nel versante;
- raccolta delle acque superficiali ruscellanti nella zona sud della proprietà di Elettronica Industriale e loro canalizzazione verso il lato nord, in modo da provvedere al loro scarico nelle zone di versante che non hanno manifestato problematiche di instabilità.

*Interventi strutturali nella proprietà di Elettronica Industriale*

Gli interventi strutturali nella proprietà di Elettronica Industriale, oggetto del presente progetto, hanno lo scopo di assicurare adeguati coefficienti di sicurezza nella parte superiore del versante, anche in caso di presenza di piccole frane superficiali a valle e

di limitare, nella parte superiore del versante, gli effetti deformativi conseguenti al detensionamento del terreno avvenuto nel corso dell'ultimo anno.

Gli interventi interessano il settore sud della proprietà di Elettronica Industriale e sono differenziati nelle varie zone per tipologia e densità, in relazione all'entità dei fenomeni deformativi manifestatisi ed alla propensione al dissesto.

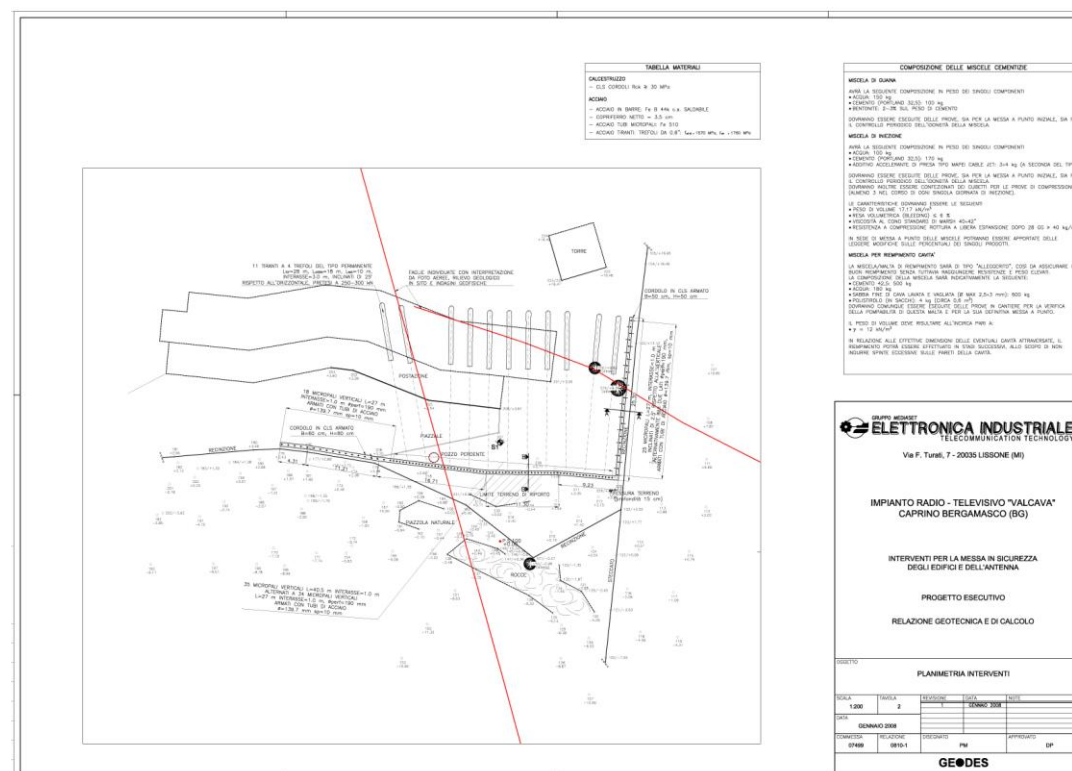
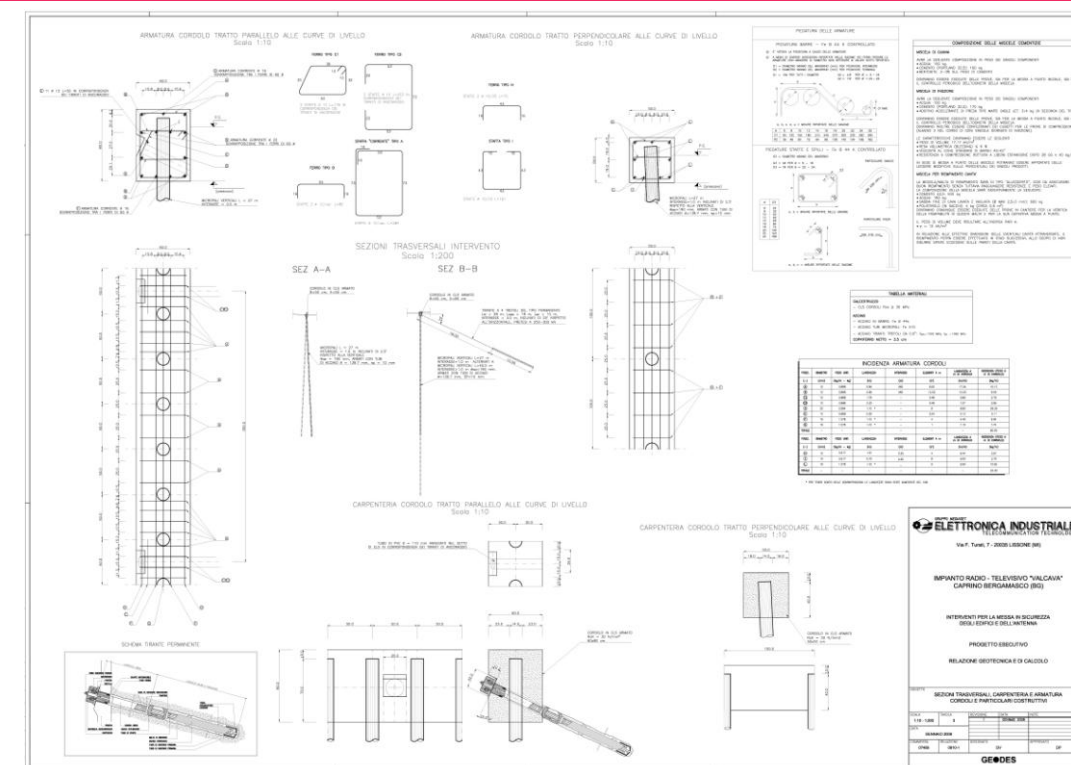
Gli interventi sono costituiti da micropali di lunghezza L=27 o 40.5 m, armati con tubi di acciaio  $\phi=139.7$  mm e sp=10 mm, aventi la funzione di cucitura tra le parti di ammasso roccioso stabili, poste in profondità e agli estremi delle zone di intervento, e quelle instabili, poste in prossimità della superficie e nella zona centrale di intervento. Nel corso della realizzazione della paratia di micropali è previsto l'intasamento delle eventuali cavità carsiche intercettate nel corso delle perforazioni con iniezioni a bassa pressione di malta cementizia.

Sono state individuate 3 zone di intervento; procedendo da nord verso sud si ha:

- un primo tratto di lunghezza pari a circa 17.5 m, con andamento circa parallelo alle curve di livello, ove porre in opera 18 micropali verticali di lunghezza pari a 27.0 m ad interasse di 1 m;
- un secondo tratto di lunghezza pari a circa 34.5 m, con andamento circo parallelo alle curve di livello, sino a circa 1.5-2.0 m di distanza dalla recinzione, ove porre in opera 69 micropali verticali ad interasse di 0.5 m; 35 micropali hanno lunghezza di 40.5 m e interasse di 1 e sono alternati a 34 micropali di lunghezza di 27.0 m e interasse di 1.0 m
- un terzo tratto di lunghezza pari a circa 25 m, con andamento circa perpendicolare alle curve di livello, ove porre in opera 25 micropali di lunghezza di 27.0 m ed interasse di 1 m; in questo tratto è previsto che i micropali siano posti in opera con inclinazione di 2.5° rispetto alla verticale, alternativamente sui due lati, in modo da evitare di avere un unico allineamento di pali verticali lungo la direzione di massima pendenza del versante.

Si è previsto che i micropali siano collegati con un cordolo di testa in calcestruzzo armato avente dimensioni di 60x80 cm, per i tratti di paratia circa paralleli alle curve di livello, e di 50x50 cm, per i tratti di paratia circa perpendicolare alle curve di livello.

Per limitare l'entità degli eventuali cedimenti a monte della paratia di micropali, a fronte di ulteriori spostamenti degli strati più superficiali di terreno a valle, si è ritenuto necessario procedere con l'ancoraggio della parte superiore della paratia per mezzo di tiranti di ancoraggio. Si è prevista pertanto la posa in opera, a partire dal cordolo di testa della paratia, di 11 tiranti a 4 trefoli di lunghezza totale pari a 28 m, di cui 18 m di lunghezza libera e 10 m di ancoraggio, posti ad interasse di 3 m. I tiranti previsti sono del tipo permanente, con doppia protezione sulla parte libera e guaina corrugata nella parte di ancoraggio, pretesi sino a 250-300 kN e con inclinazione verso il basso di 25°. L'iniezione del tratto di ancoraggio è prevista a bassa pressione, da eseguirsi in un'unica fase, in caso di presenza di ammasso roccioso indisturbato, e ad alta pressione in più fasi, in caso di presenza di ammasso roccioso molto fratturato ed alterato e/o di terreni colluviali. Dopo la tesatura dei tiranti è prevista la realizzazione delle protezioni in corrispondenza della testa.



*Caratteristiche dei materiali*

I materiali utilizzati per i lavori di messa in sicurezza dell'edificio e dell'antenna di Elettronica Industriale sono:

- calcestruzzo per cordolo paratia:  $R_{ck} \geq 30$  MPa
- acciaio per barre: Fe B 44 K c.s. saldabile
- acciaio tubi micropali: Fe 510
- acciaio tiranti a trefoli:  $f_{p(1)k} > 1570$  MPa e  $f_{ptk} > 1760$  MPa.

