



**HOLCIM (Italia) S.p.A.**

**AMBITO TERRITORIALE ESTRATTIVO ATE C2 – Polo “6”**

---

**Comuni di TRAVEDONA e TERNATE (VA)**

**PIANO DI COLTIVAZIONE  
e VERIFICHE DI STABILITA’**

**Rapporto n. 009a-09-Rev.3**



**Milano, 30 settembre 2010**

**ALTAIR s.a.s. di Griffini Lamberto & C.**

Uffici e Laboratorio: 20092 CINISELLO BALSAMO (MI) – Via a. Martini, 11

Tel. 0261298274 r.a. – Fax 0261770281 – E-mail: [info@geoaltair.it](mailto:info@geoaltair.it)

R.E.A. n. 1198777 – Registro Imprese Milano - C.F. e p. IVA n. 08041580153

Sede Legale 20149 MILANO Via E. Pagliano, 37

|                        |                       |                                                                                        |              |
|------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                       | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |              |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set .2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA’                                        | pag. 1 di 30 |

## **INDICE**

## **PAG.**

|                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. PREMESSA .....</b>                                                                         | <b>2</b>  |
| <b>2. NORMATIVA.....</b>                                                                         | <b>2</b>  |
| <b>3. MODELLO GEOLOGICO .....</b>                                                                | <b>3</b>  |
| <b>4. INDAGINI IN SITU E PROVE DI LABORATORIO .....</b>                                          | <b>4</b>  |
| <b>5. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO STRUTTURALE E<br/>GEOMECCANICA DELL’AMMASSO ROCCIOSO.....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>6. VERIFICHE CONDIZIONI DI STABILITA’ .....</b>                                               | <b>16</b> |
| <b>7. ANALISI E PRECAUZIONI IN PRESENZA DI EVENTUALI PIANI DI<br/>DEBOLEZZA PERSISTENTI.....</b> | <b>22</b> |
| <b>8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>                                                         | <b>28</b> |

## **ANNESI**

|                                                                                                          |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>ANX 1 – LOG STRATIGRAFICI SONDAGGI SOGETEC</b>                                                        |  |
| <b>ANX 2 – LOG STRATIGRAFICI DI DETTAGLIO S14 ED S19</b>                                                 |  |
| <b>ANX 3 – RILIEVI GEOMECCANICI</b>                                                                      |  |
| <b>ANX 4 – PROVE DI LABORATORIO</b>                                                                      |  |
| <b>ANX 5 – VERIFICHE DI STABILITA’ – MODELLAZIONE EFDM</b>                                               |  |
| <b>ANX 6 – VERIFICHE DI STABILITÀ IN PRESENZA DI PIANI DI DEBOLEZZA<br/>PERSISTENTI MODELLAZIONE DEM</b> |  |



|                        |                      |                                                                                        |              |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |              |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 2 di 30 |

## 1. PREMESSA

Nel presente rapporto sono descritti i risultati delle attività di rilievo e di analisi e delle verifiche effettuate per definire le condizioni geometriche e geomeccaniche ottimali delle operazioni di scavo nel lotto 6 di prossima attivazione.

Sulla base dei risultati di tali verifiche, viene indicata una proposta di modalità di escavazione che permette di ottenere le necessarie condizioni di sicurezza dei luoghi, anche alla scala di cantiere, garantendo nel contempo l'ottimizzazione della coltivazione mineraria.

## 2. NORMATIVA

[1] *Piano cave della Provincia di Varese* (approvato con D.C.R.L. n. 698 del 30.09.2008 e pubblicato sul BURL (2^ suppl. Straord. Al n. 48) in data 25.11.2008

[2] ] D.P.R. 9 aprile 1959, n. 128 - “*Norme di Polizia Mineraria e delle cave*”

[3] ] D.G.R. 22 dicembre 2008, n. 8/8749 - “*Indirizzi e disposizioni tecniche per la conduzione di analisi sulla stabilità e per la progettazione di fronti di scavo in attività estrattive a cielo aperto, di scavi minerari in sotterraneo e di materiali in mucchio* ”

[4] D.M. 14.01.2008 - *Norme Tecniche per le costruzioni*

[5] Circolare 02.02.2009 n. 617 del Consiglio Sup. LL.PP. - *Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*



|                        |                      |                                                                                        |              |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |              |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 3 di 30 |

### 3. MODELLO GEOLOGICO

Il giacimento in coltivazione è costituito da una successione di calcari organogeni e calcari marnosi di color grigio verde, ben stratificati, di età eocenica, appartenenti alla “Formazione di Ternate” che costituisce l’unica formazione affiorante nell’area di coltivazione (Formazione del Flysch Nummulitico, Membro di Ternate degli A.A. precedenti). Localmente sono presenti variazioni litostratigrafiche singenetiche: si tratta di calciruditi medio fini, a stratificazione evidente e ben distinta, talvolta intercalate a lenti o livelli francamente marnosi e marnoso-siltosi, con rare porzioni di brecce.

I depositi quaternari presenti sono riconducibili essenzialmente a depositi fluvio-glaciali e morenici che, nell’area, hanno spessore variabile tra 2 e 16 m. I depositi sciolti sono costituiti da materiali prevalentemente grossolani con ghiaie e sabbie in percentuale sempre dominante, complessivamente maggiore dell’80%; dove la facies morenica è predominante i depositi contengono una maggiore percentuale di sabbia e di limo, comunque sempre nettamente subordinata alla frazione più grossolana, con percentuale di fine sempre inferiore al 15%.

L’ammasso roccioso carbonatico si presenta con una giacitura monoclinale con immersione orientata circa  $270^{\circ}\pm 290^{\circ}\text{N}$ , con modesti fenomeni plicativi, per lo più associati a corpi caotici; non si osservano dislocazioni significative.

Lo stato di fratturazione dell’ammasso è intenso ed uniforme a grande scala; localmente sono presenti zone brecciate comunque cementate o ricementate.



|                        |                      |                                                                                        |              |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |              |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 4 di 30 |

#### 4. INDAGINI IN SITU E PROVE DI LABORATORIO

Nell'ambito degli approfondimenti conoscitivi necessari per la redazione del piano di coltivazione del polo 6, è stata condotta una campagna di sondaggi con installazione di piezometri per il controllo del livello di falda.

La campagna d'indagini è stata condotta dalla Soc. So.Ge.Tec S.r.l. di Villa d'Adda (BG) nei mesi di giugno e di luglio 2009. Complessivamente sono state eseguite 10 perforazioni di cui 5 a distruzione di nucleo e altrettante con avanzamento misto (distruzione di nucleo e carotaggio continuo).

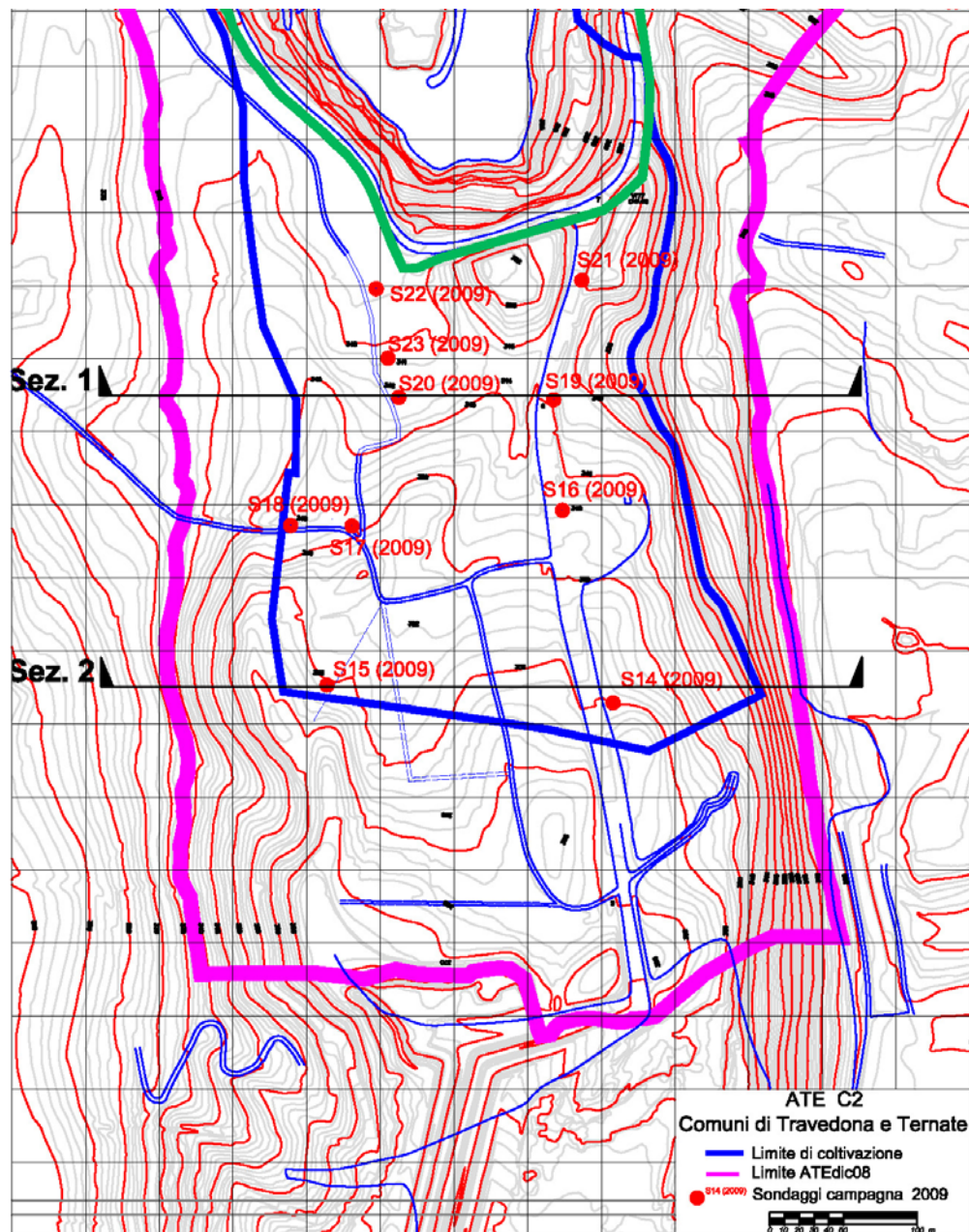
Nella tabella che segue sono sintetizzate le profondità ed il metodo di avanzamento per ciascun sondaggio.

| Sondaggio | Tipo di Perforazione                           | Tubazione        | Pozzetto |
|-----------|------------------------------------------------|------------------|----------|
| S14       | Distruzione ( 0-5 m)<br>Carotaggio (5-80 m)    | Da ( 0-80 m) 3”  | 1        |
| S15       | Distruzione (0-39 m)<br>Carotaggio ( 39/80 m)  | Da (0-39 m) 4”   | 1        |
| S16       | Distruzione ( 0-73 m)                          | Da (0-73 m) 3”   | 1        |
| S17       | Distruzione ( 0-33 m)<br>Carotaggio (33-74 m)  | Da (0-74 m) 3”   | 1        |
| S18       | Distruzione ( 0-28.5 m)                        | Da (0-28.5 m) 4” | 1        |
| S19       | Distruzione ( 0-8 m)<br>Carotaggio ( 8-70 m)   | Da (0-70 m) 3”   | 1        |
| S20       | Distruzione ( 0-67 m)                          | Da (0-67 m) 3”   | 1        |
| S21       | Distruzione ( 0-68 m)                          | Da ( 0-68 m) 3”  | 1        |
| S22       | Distruzione ( 0-18 m)<br>Carotaggio ( 18-68 m) | Da ( 0-68 m) 3”  | 1        |
| S23       | Distruzione ( 0-18 m)                          | Da ( 0-18 m) 3”  | 1        |



|                        |                      |                                                                                        |              |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |              |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA’                                        | pag. 5 di 30 |

In annesso Anx\_1 sono riportate le stratigrafie sommarie redatte dalla società esecutrice dell'indagine. Nello stralcio planimetrico riportato di seguito sono indicate le posizioni delle perforazioni eseguite e la traccia del Limite di Ambito e del Limite di Coltivazione.

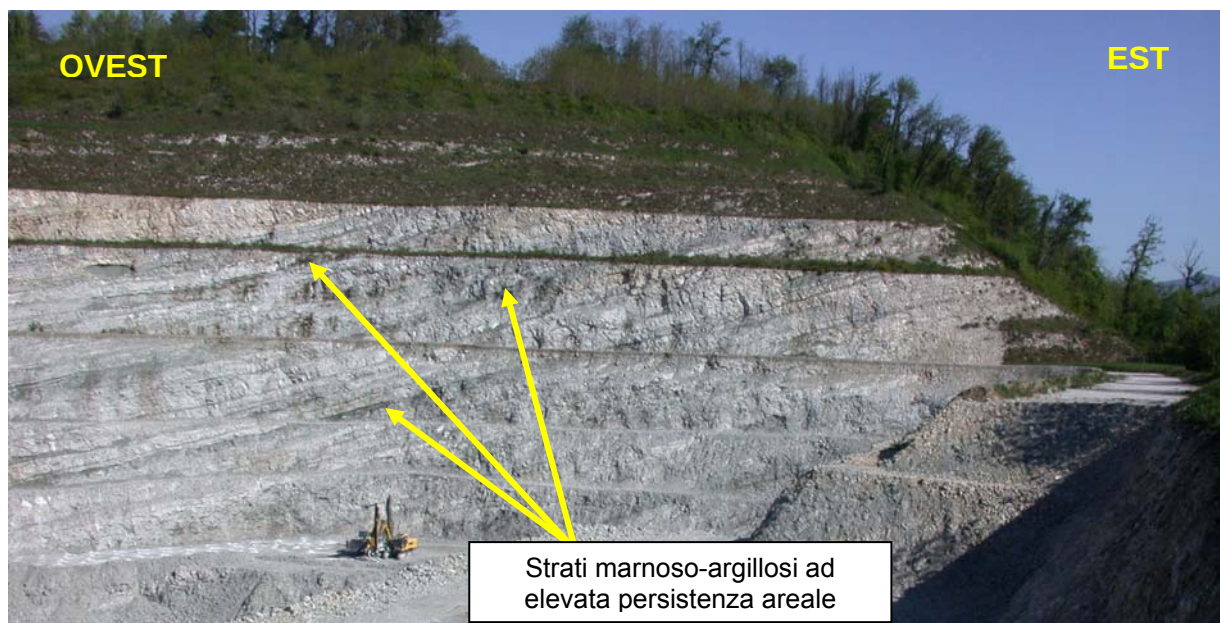


**Fig. 1 – Topografia zona ATE C2 con ubicazione sondaggi**



|                        |                      |                                                                                        |              |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |              |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA’                                        | pag. 6 di 30 |

Allo scopo di definire con il necessario dettaglio le caratteristiche geomeccaniche e geologico-strutturali dell’area, gli scriventi hanno provveduto a redigere una stratigrafia di dettaglio ed al prelievo di campioni delle zone di debolezza rappresentate da livelletti marnoso-argillosi che sono ben visibili anche sul fronte meridionale dell’area attualmente in coltivazione (Cava di Santa Marta); i campioni prelevati sono stati sottoposti a prove di laboratorio per la definizione dei parametri di resistenza. Le stratigrafie di dettaglio sono state condotte sui due sondaggi eseguiti nel corso dello svolgimento del presente incarico (S14 ed S19).



**Fig. 2: Fotografia del fronte cava Santa Marta contiguo al nuovo polo estrattivo**

Questi approfondimenti sono stati decisi in quanto, pur nella generale semplicità dell’assetto strutturale dell’area – almeno alla scala dell’area di coltivazione – i livelletti marnoso-argillosi con elevata persistenza areale, presenti localmente e concordanti con i piani di strato, già in passato hanno provocato fenomeni di scivolamento planare. Si è pertanto deciso di individuare, per quanto possibile attraverso i sondaggi, la loro posizione spaziale rispetto agli scavi previsti.

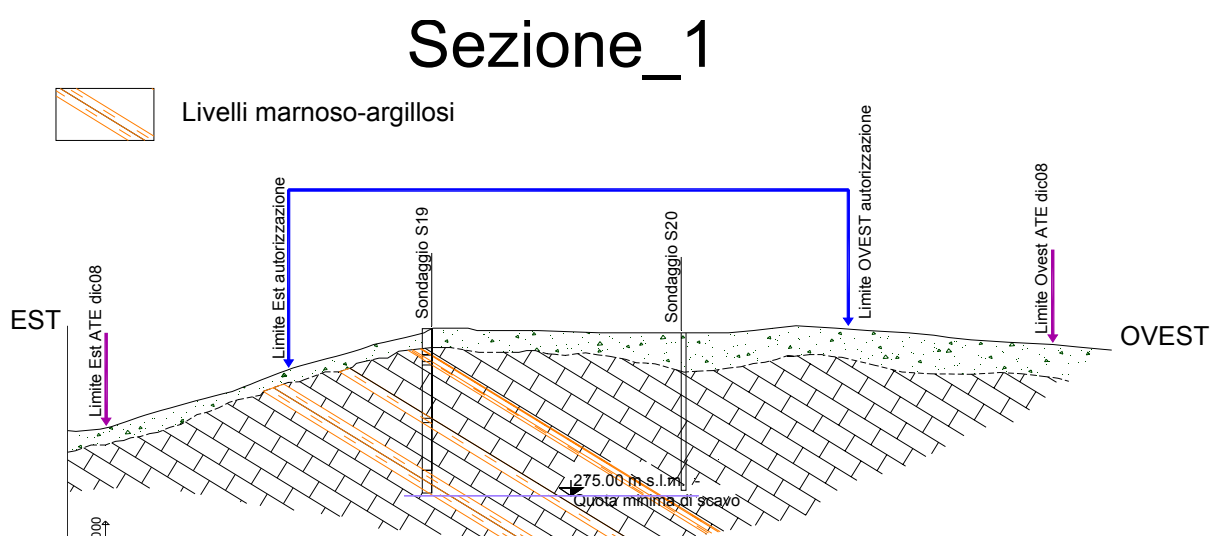


|                        |                      |                                                                                        |              |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |              |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 7 di 30 |

Il lavoro di analisi di dettaglio dei sondaggi ha permesso di evidenziare la presenza di tre fasce principali caratterizzate da straterelli argillosi ripetuti ed alternati agli strati più francamente marnosi, che costituiscono, come detto, piani di debolezza preferenziali dell'ammasso roccioso.

Come si può rilevare dalle sezioni geologiche riportate di seguito, la posizione dei piani di debolezza rispetto ai limiti di scavo cambia in funzione della sezione considerata:

Nella sezione 1, ubicata circa a metà dell'area di coltivazione autorizzata (approssimativamente in asse ai sondaggi S19 ed S20), con direzione Est-Ovest, è presente una fascia di piani di debolezza che affiora circa in corrispondenza del limite di escavazione autorizzato. Questa situazione geometrica fa in modo che, col proseguire della coltivazione verso il basso, i fronti di scavo intercettino i piani di debolezza con conseguenti potenziali problematiche di stabilità e con la conseguente necessità di adattare i fronti di scavo, sul lato Est, a questa situazione.

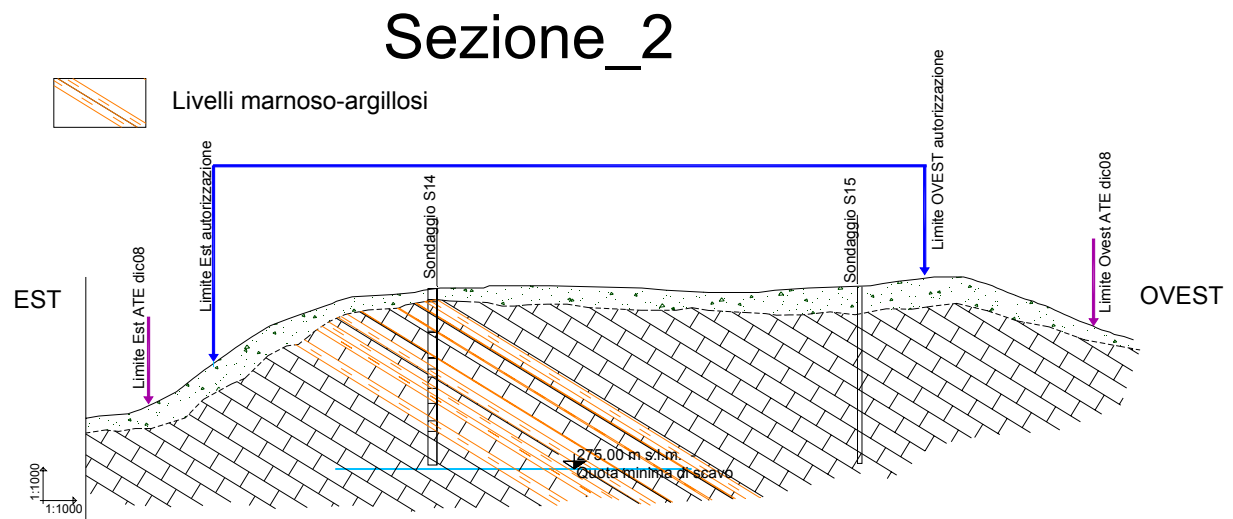


**Fig. 3 – Modello geologico in corrispondenza della Sez. 1 (cfr. Layout di Fig. 1)**



|                        |                      |                                                                                        |              |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |              |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 8 di 30 |

- nella sezione 2 ubicata al margine meridionale del polo di estrazione (circa in asse ai sondaggi S14 ed S15), con direzione Est-Ovest, i piani di debolezza non interferiscono con i limiti di scavo ma rimangono all'interno dell'area di coltivazione autorizzata. Ciò comporta che, anche proseguendo in profondità con gli scavi, i fronti non saranno attraversati dai piani di debolezza e, pertanto, le condizioni di stabilità dei fronti non saranno influenzate dalla presenza dei piani di debolezza citati.



**Fig. 4 – Modello geologico in corrispondenza della Sez. 2 (cfr. Layout di Fig. 1)**

In annesso Anx. 2 sono riportate le stratigrafie di dettaglio dei sondaggi S14 ed S19 redatte dallo scrivente Studio.

Sulla base di questo modello geologico-strutturale si è proceduto alla definizione delle possibili geometrie di scavo ed alla elaborazione delle verifiche di stabilità come dettagliato più avanti.



|                        |                      |                                                                                        |              |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |              |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 9 di 30 |

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO STRUTTURALE E GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

L'analisi delle caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso è stata effettuata sulla base delle misurazioni e prove condotte sulle carote estratte dai sondaggi S14 ed S19 integrate da appositi rilievi geomeccanici eseguiti sui fronti rocciosi dell'area in esame.

L'ammasso è costituito da calcari appartenenti alla Formazione di Ternate (Formazione del Flysch Nummulitico, Membro di Ternate degli AA. Precedenti, di età Eocene medio); lo stato di fratturazione è da moderato ad intenso a causa del modesto spessore degli strati. Localmente si rinvencono straterelli argillosi di spessore centimetrico; i livelletti argillosi sono abbastanza diffusi in tutta la sequenza ma solo occasionalmente presentano una persistenza areale plurimetrica o pluridecаметrica: in questi casi, come già detto, i livelli argillitici costituiscono veri e propri piani di debolezza all'interno dell'ammasso roccioso.

Sulla base dei risultati delle osservazioni effettuate ai rilievi geomeccanici (cfr. ANX. 3), si evidenzia che l'ammasso roccioso è caratterizzato dalla presenza di tre famiglie principali di discontinuità, con le seguenti giaciture medie:

| Stazione | S        | K2       | K3       |
|----------|----------|----------|----------|
| 1        | 281 / 26 | 315 / 61 | 234 / 83 |
| 2        | 288 / 27 | 322 / 61 | 229 / 80 |
| 3        | 289 / 37 | 325 / 73 | 231 / 82 |
| 4        | 293 / 28 | 321 / 80 | 225 / 80 |
| 5        | 288 / 28 | 325 / 78 | 231 / 80 |
| 6        | 293 / 38 | 142 / 68 | 231 / 77 |



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 10 di 30 |

La spaziatura delle discontinuità è dell'ordine dei 15÷20 cm per la stratificazione e sempre superiore - mediamente - a 50÷70 cm per le due famiglie k2 e K3. Lo stato di alterazione è basso. Tranne che per i livelletti argillitici di cui si è ripetutamente detto, le fratture non presentano materiale di riempimento di alcun genere.

Il valore di resistenza a compressione monoassiale della matrice roccia integra, rilevato mediante apposite prove di compressione monoassiale, risulta generalmente superiore a 90 MPa.

La caratterizzazione geomeccanica e geotecnica è stata eseguita sulla base dei dati rilevati in sito e delle prove di laboratorio, confrontando ed integrando i dati rilevati con quelli pregressi, raccolti nei medesimi luoghi (o in prossimità degli stessi), nel corso di lavori e studi precedentemente svolti.

Per quanto concerne la caratterizzazione geotecnica dei terreni si è fatto riferimento alle indagini già eseguite in passato e alle caratteristiche granulometriche e di stato di addensamento rilevate in sito.

Per la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi si sono utilizzati i dati ricavati dagli appositi rilievi geomeccanici eseguiti nelle zone di interesse mentre, per i necessari valori di resistenza del materiale roccia si è fatto riferimento ai risultati di prove di laboratorio eseguite (cfr. Anx. 4).

I parametri caratteristici della curva di inviluppo di rottura del materiale roccia sono espressi secondo l'equazione proposta (e ormai universalmente adottata) da Hoek E., Brown E.T. che assume la seguente forma generale:



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 11 di 30 |

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c (m * \sigma_3 / \sigma_c + s)^a$$

dove:

$\sigma_1$  e  $\sigma_3$       tensioni principali massima e minima

$\sigma_c$               resistenza a compressione uniassiale del materiale roccia

**m, s ed a**      parametri caratteristici della curva di involucro della resistenza che dipendono dalle caratteristiche della roccia e dell'ammasso roccioso; per la roccia integra i valori di **s** ed **a** sono delle costanti indipendenti dal tipo e dalle caratteristiche della roccia e sono rispettivamente uguali a:

$$s = 1 ; a = 0.5$$

per cui, per la roccia integra, l'equazione generale assume la seguente forma:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c (m * \sigma_3 / \sigma_c + 1)^{0.5}$$

Sulla base dei dati relativi alle curve di involucro della resistenza del materiale roccia integro e delle caratteristiche di fratturazione dell'ammasso, si è proceduto alla definizione dei parametri geomeccanici relativi all'ammasso roccioso delle zone interessate dalla coltivazione.

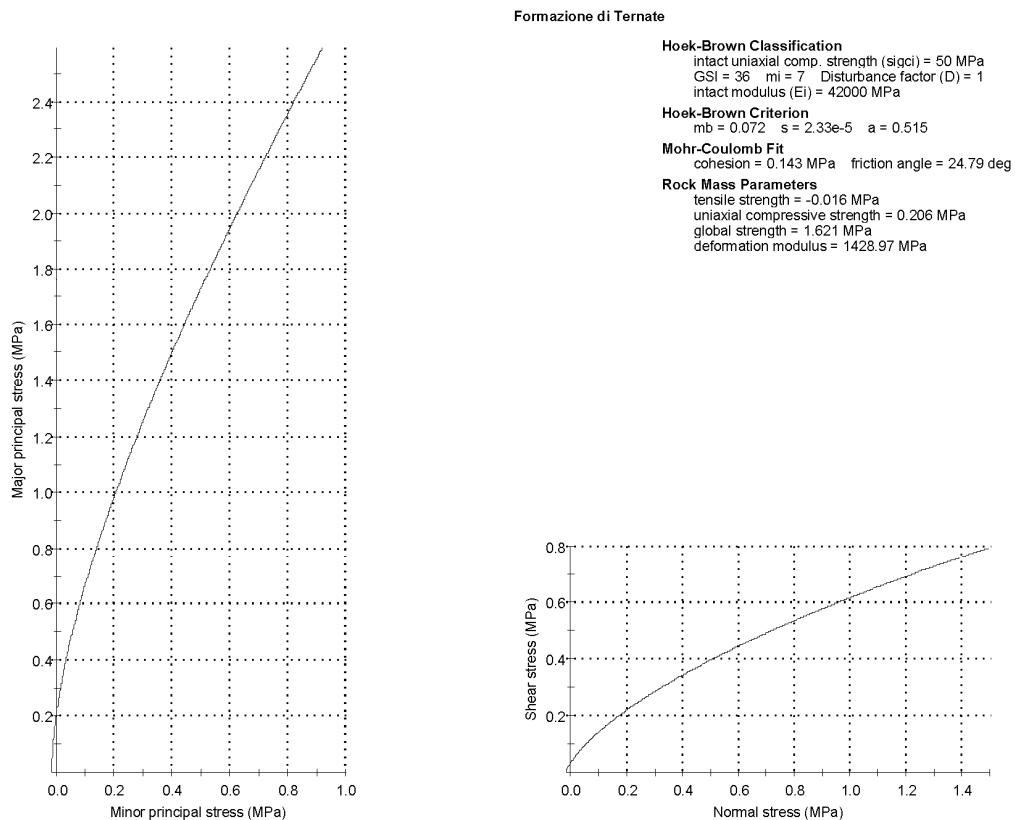
Ai fini della definizione dei nuovi parametri d'ammasso si è proceduto anche al calcolo del valore di qualità di ammasso B.RMR secco e, da questo, al calcolo di GSI (Geological Strength Index) e alla elaborazione della curva di involucro della resistenza di ammasso, secondo Hoek E. (2000,2002). Le elaborazioni sono state condotte utilizzando i dati di ciascuno dei rilievi geomeccanici di dettaglio eseguiti; i risultati indicano una sostanziale



|                               |                              |                                                         |                      |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>HOLCIM (Italia) S.p.A.</b> |                              | <b>Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”</b> |                      |
|                               |                              | <b>Comuni di Travedona e Ternate (VA)</b>               |                      |
| <b>R 009a-09-<br/>Rev. 3</b>  | <b>12.11.09<br/>set.2010</b> | <b>PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA’</b>  | <b>pag. 12 di 30</b> |

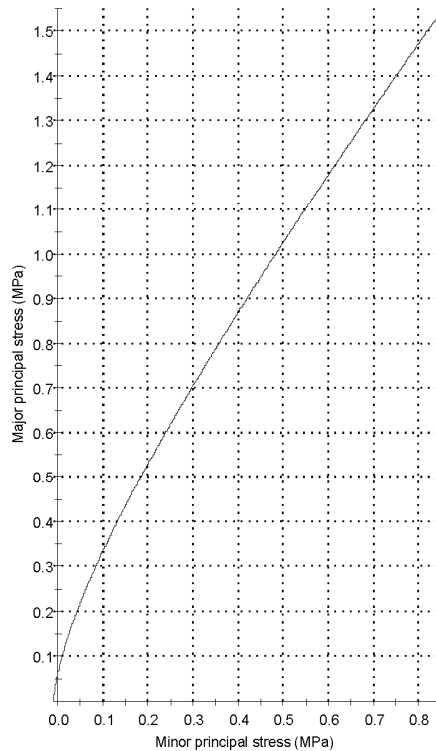
omogeneità sia nei dati di campagna raccolti all'interno della zona di interesse sia, di conseguenza, nei risultati delle elaborazioni per la definizione dei parametri di resistenza e deformabilità di ammasso.

Di seguito sono riportate le elaborazioni delle curve di involucro della resistenza d'ammasso caratteristiche della formazione calcareo-marnosa e delle zone interessate dai livelli argillitici.



|                               |                              |                                                         |                      |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>HOLCIM (Italia) S.p.A.</b> |                              | <b>Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”</b> |                      |
|                               |                              | <b>Comuni di Travedona e Ternate (VA)</b>               |                      |
| <b>R 009a-09-<br/>Rev. 3</b>  | <b>12.11.09<br/>set.2010</b> | <b>PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA’</b>  | <b>pag. 13 di 30</b> |

Formazione di Ternate - Piani Debolezza

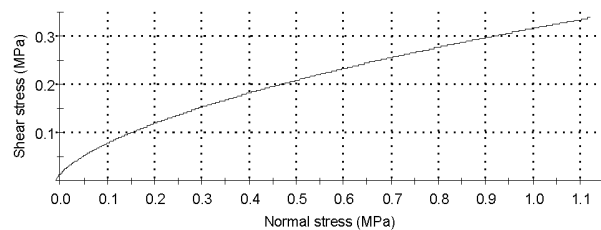


**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 35 MPa  
 GSI = 28     $m_i$  = 4    Disturbance factor (D) = 1  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 36000 MPa

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 0.023     $s$  = 6.14e-6     $a$  = 0.526

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.068 MPa    friction angle = 14.42 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.009 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.064 MPa  
 global strength = 0.580 MPa  
 deformation modulus = 967.54 MPa



Dai risultati delle elaborazioni descritte si sono, quindi, potuti definire i parametri caratteristici di resistenza e deformabilità della roccia integra e dell'ammasso roccioso da utilizzare nelle verifiche numeriche, come di seguito indicato.



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 14 di 30 |

### **MATERIALE ROCCIA**

| <i>Parametro</i>                     | <i>Valore medio caratteristico</i> |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Peso di volume                       | 24.0 ÷ 24.5 kN/mc                  |
| Resistenza a compressione uniassiale | 70 ÷ 80 MPa                        |
| Resistenza a trazione                | 1.5 ÷ 3.0 MPa                      |
| Parametro $m_i$                      | 7.0                                |
| Modulo di Young                      | 148 ÷ 155 GPa                      |
| Coefficiente di Poisson              | 0.25 ÷ 0.28                        |
| Modulo di deformazione volumetrica   | 98 GPa                             |
| Modulo di deformazione di taglio     | 59 GPa                             |
| Intercetta resistenza (Coesione)     | 16E3 kPa                           |
| Angolo d'attrito interno             | 42.5°                              |

### **AMMASSO ROCCIOSO**

| <i>Parametro</i>         | <i>Valore medio caratteristico</i> |
|--------------------------|------------------------------------|
| Peso di volume           | 23.5 ÷ 24.5 kN/mc                  |
| Parametro $m_b$          | 0.072                              |
| Parametro $s_b$          | 2.33e-5                            |
| Modulo di Young          | 1.40 ÷ 1.45 GPa                    |
| Coefficiente di Poisson  | 0.25 ÷ 0.30                        |
| Angolo d'attrito interno | 38°-40°                            |

### **GIUNTI NATURALI**

| <i>Parametro</i>                 | <i>Valore medio caratteristico</i> |
|----------------------------------|------------------------------------|
| Rigidezza Normale                | 1.5 GPa                            |
| Rigidezza per taglio             | 1.5 GPa                            |
| Intercetta resistenza (Coesione) | 140 kPa                            |
| Angolo d'attrito interno         | 25°                                |

### **GIUNTI NATURALI DEI LIVELLETTI ARGILLITICI (PIANI DI DEBOLEZZA)**

| <i>Parametro</i>                 | <i>Valore medio caratteristico</i> |
|----------------------------------|------------------------------------|
| Rigidezza Normale                | 0.95 GPa                           |
| Rigidezza per taglio             | 0.95 GPa                           |
| Intercetta resistenza (Coesione) | 70 kPa                             |
| Angolo d'attrito interno         | 14-18°                             |



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 15 di 30 |

Come detto, per quanto riguarda i terreni di copertura si è fatto riferimento ai dati pregressi definiti mediante apposite indagini e prove eseguite nel corso di precedenti studi (1997-2004) relativi alle medesime formazioni ed al medesimo ambito. I parametri sono sintetizzati nella tabella che segue:

**DEPOSITI SCIOLTI NATURALI DI ORIGINE MORENICA E DEPOSITI ANTROPICI PER RIPRISTINO MORFOLOGICO**

| <i>Parametro</i>         | <i>Valore medio caratteristico</i> |
|--------------------------|------------------------------------|
| Peso di volume           | 17.5 ÷ 20.5 kN/mc                  |
| Classe USCS              | GW-GM SW-SM                        |
| Stato di addensamento    | da addensato a cementato           |
| Modulo di Young          | 0.8÷1.2 GPa                        |
| Coefficiente di Poisson  | 0.30÷0.35                          |
| Coesione                 | 0÷50 kPa                           |
| Angolo d'attrito interno | 38° ÷ 40 °                         |

I parametri geotecnici dei terreni di copertura, sono stati definiti su base empirica in funzione dello stato di addensamento rilevato in sito e delle caratteristiche granulometriche del deposito. Benché i terreni presentino una debole resistenza al taglio per coesione, data la variabilità dei valori di coesione e l'incerta possibilità di mobilitazione di questo fattore, nelle analisi delle condizioni di stabilità si è ritenuto, in via cautelativa, di adottare, per questo parametro, un valore nullo.



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 16 di 30 |

## 6. VERIFICHE CONDIZIONI DI STABILITA'

Le analisi di verifica delle condizioni di stabilità del versante sono state condotte implementando un modello di calcolo alle differenze finite, utilizzando un apposito codice di calcolo (FLAC, Rel 6.0).

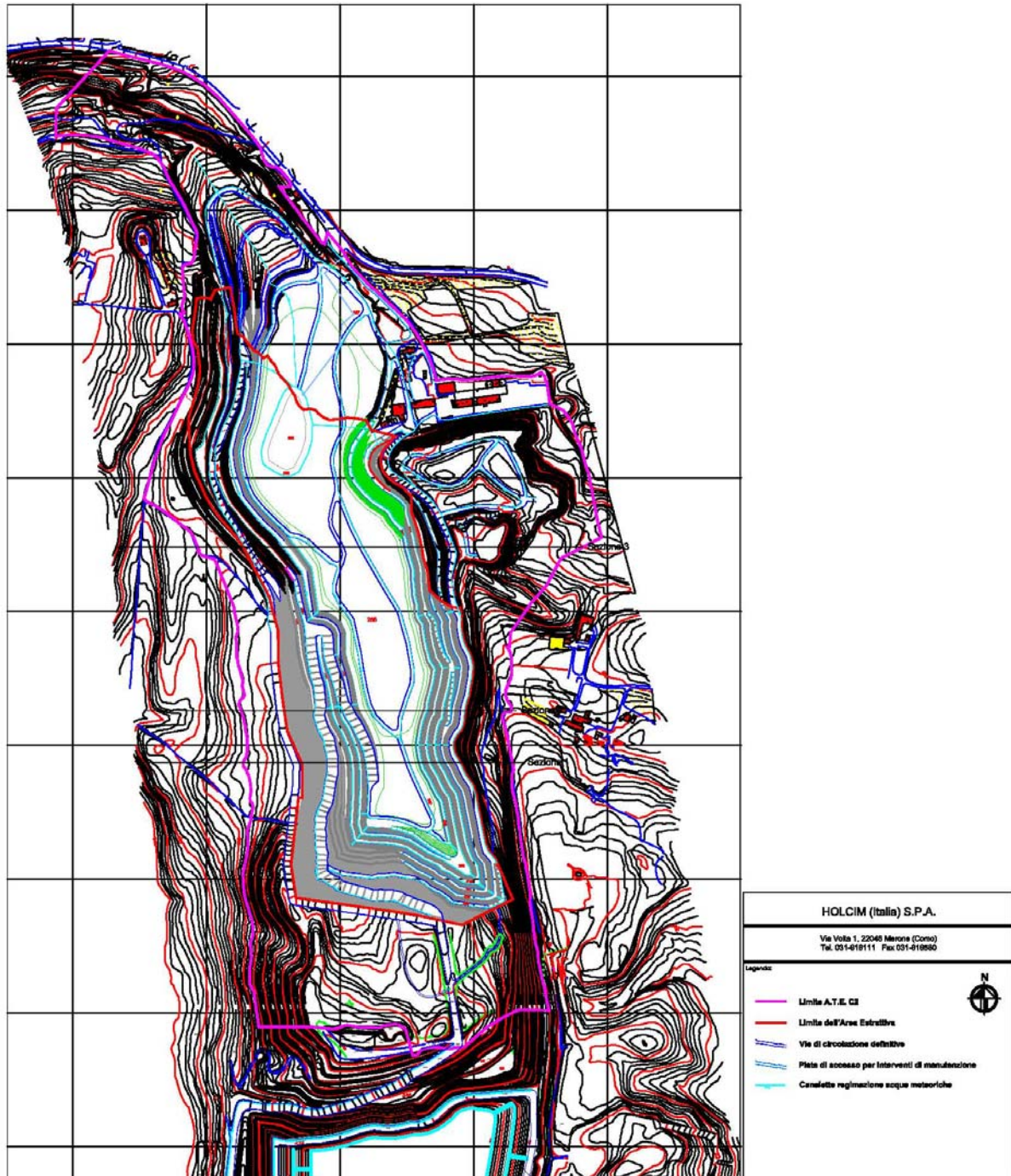
La verifica è stata eseguita elaborando una sezione (Sez. 1 come indicato nel layout di Fig. 5) in asse trasversale alla zona di coltivazione nella porzione potenzialmente più critica sia per condizioni geometriche dello scavo sia per le caratteristiche geotecniche e geomeccaniche dell'ammasso roccioso.

La sezione di verifica ha preso in considerazione la geometria di scavo che appare più appropriata in termini di efficienza dei lavori e sicurezza degli scavi, entro i limiti imposti dal Piano Cave della Provincia di Varese che, per l'ambito in esame (ATE\_c2), prevede i seguenti vincoli:

- Quota massima di scavo: 360 m s.l.m.
- Quota minima di scavo 275 m s.l.m.
- Parametri geometrici di scavo durante la coltivazione:
  - o altezza massima 15 m
  - o pedata minima verifica da progetto
  - o inclinazione massima verifica da progetto
- Parametri geometrici a fine coltivazione:
  - o Altezza massima 15 m
  - o pedata minima H/2, comunque sempre > 4 m
  - o inclinazione massima verifica da progetto



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA’                                        | pag. 17 di 30 |



**Fig. 5 – Layout piano di coltivazione**

Le analisi sono state condotte in condizioni di deformazione piana. I modelli sono generati con elementi a quattro nodi, per ciascuno dei quali si procede alla risoluzione diretta



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 18 di 30 |

delle equazioni di equilibrio dinamiche, sino a raggiungere condizioni di stabilità della soluzione numerica

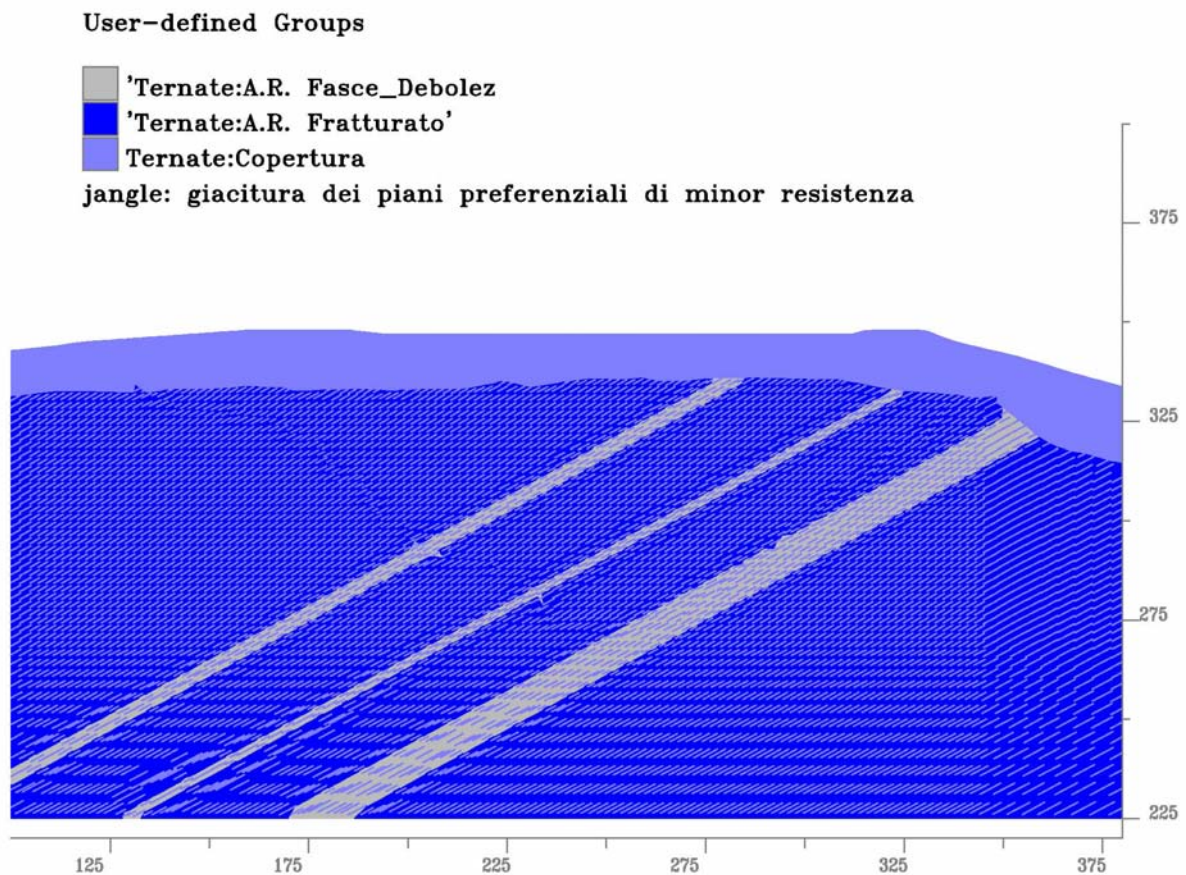
Il processo di calcolo comporta le seguenti fasi:

- Definizione del modello geometrico e fisico da analizzare (dimensioni e geometria della regione da analizzare, maglia degli elementi costitutivi e numerazione dei nodi ed elementi, condizioni al contorno);
- Scelta delle leggi costitutive e dei criteri di resistenza dei materiali;
- Definizione dello stato tensionale iniziale;
- Elaborazione del modello con variazioni e modifiche delle diverse condizioni da analizzare.

Le calcolazioni sono state condotte adottando un modello di comportamento elasto-plastico ideale con superficie di plasticizzazione definita dalla curva di inviluppo alla Mohr-Coulomb. Il modello di comportamento adottato è del tipo “Ubiquitous Joint” ossia un modello elastoplastico alla Mohr-Coulomb con una direzione preferenziale di minor resistenza che è stata fatta coincidere con la giacitura dei piani di strato. Lungo questi piani di minor resistenza sono stati attribuiti i parametri di resistenza caratteristici dei giunti di strato. Nel modello sono, inoltre, stati inseriti i piani di debolezza coincidenti con i piani di massima concentrazione dei livelletti argillitici; a queste fasce sono state attribuiti i valori caratteristici definiti precedentemente ( “parametri dei Giunti naturali dei piani di debolezza”).



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA’                                        | pag. 19 di 30 |



**Fig. 6 – Modello geotecnico tipo Ubiquitous Joint**

Le condizioni al contorno sono state definite imponendo alle superfici laterali del modello un vincolo agli spostamenti orizzontali (carrelli), al limite inferiore l'impedimento a spostamenti in direzione verticale (carrelli) e agli spigoli inferiori, necessariamente, vincoli agli spostamenti sia verticali che orizzontali (cerniere). La superficie superiore è stata lasciata libera. Il modello è stato esteso lateralmente ed in profondità a sufficienza affinché gli effetti dei vincoli imposti al contorno fossero di entità trascurabile per le zone di interesse dell'analisi.

I parametri geotecnici fondamentali necessari per eseguire le analisi numeriche sono quelli riportati al precedente capitolo 5, relativo alla caratterizzazione geotecnica dei materiali.



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 20 di 30 |

Preliminarmente, si è elaborato un modello nelle condizioni antecedenti i lavori di scavo: condizioni attuali. A partire da queste condizioni si è proceduto alla simulazione delle condizioni che si avranno con il procedere dei lavori di scavo.

La sequenza di calcolo completa della modellazione EFDM ha comportato lo sviluppo delle seguenti fasi specifiche:

 **Fase 00 Elaborazione del modello iniziale in condizioni antecedenti i lavori di scavo**

- o 0\_1 - equilibratura del modello (equilibrio geostatico)

 **Fase 1 – Scoperta del giacimento**

- o 1\_1 - Analisi spostamento
- o 1\_2 – Analisi deformazioni per taglio indotte
- o 1\_3 – Verifica condizioni di stabilità e calcolo Fattore di sicurezza minimo

 **Fase 2– Scavi di approfondimento sino a q. 320 m s.l.m.**

- o 2\_1 - Analisi spostamento
- o 2\_2 – Analisi deformazioni per taglio indotte
- o 2\_3 – Verifica condizioni di stabilità e calcolo Fattore di sicurezza minimo

 **Fase 3– Scavi di approfondimento sino a q. 310 m s.l.m.**

- o 3\_1 - Analisi spostamento
- o 3\_2 – Analisi deformazioni per taglio indotte
- o 3\_3 – Verifica condizioni di stabilità e calcolo Fattore di sicurezza minimo

 **Fase 4– Scavi di approfondimento sino a q. 300 m s.l.m.**

- o 4\_1 - Analisi spostamento
- o 4\_2 – Analisi deformazioni per taglio indotte
- o 4\_3 – Verifica condizioni di stabilità e calcolo Fattore di sicurezza minimo

 **Fase 5– Scavi di approfondimento sino a q. 290 m s.l.m.**

- o 5\_1 - Analisi spostamento
- o 5\_2 – Analisi deformazioni per taglio indotte
- o 5\_3 – Verifica condizioni di stabilità e calcolo Fattore di sicurezza minimo

 **Fase 6– Scavi di approfondimento sino a q. 283 m s.l.m.**

- o 6\_1 - Analisi spostamento



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 21 di 30 |

- o 6\_2 – *Analisi deformazioni per taglio indotte*
- o 6\_3 – *Verifica condizioni di stabilità e calcolo Fattore di sicurezza minimo*

 **Fase 7– Scavi di approfondimento sino a q. 275 m s.l.m. (Stato a fine coltivazione)**

- o 7\_1 - *Analisi spostamento*
- o 7\_2 – *Analisi deformazioni per taglio indotte*
- o 7\_3 – *Verifica condizioni di stabilità e calcolo Fattore di sicurezza minimo*

Nella tabella che segue sono riportati i valori del Fattore di Sicurezza ed il valore del massimo spostamento dei fronti calcolati mediante le analisi di verifica, relativi a ciascuna fase di scavo sino all'approfondimento massimo a q. 275 m s.l.m.

| <b>Fase</b> | <b>Descrizione</b>                                                          | <b>Fattore di Sicurezza minimo<br/>FoS</b> | <b>Max spostamento fronti<br/>[mm]</b> |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|
| Fase 1      | Scoperta del giacimento                                                     | 3.29                                       | 24.8                                   |
| Fase 2      | Scavi di approfondimento sino a q. 320 m s.l.m.                             | 3.29                                       | 26.4                                   |
| Fase 3      | Scavi di approfondimento sino a q. 310 m s.l.m.                             | 2.69                                       | 26.9                                   |
| Fase 4      | Scavi di approfondimento sino a q. 300 m s.l.m.                             | 1.84                                       | 27.0                                   |
| Fase 5      | Scavi di approfondimento sino a q. 290 m s.l.m.                             | 1.49                                       | 29.6                                   |
| Fase 6      | Scavi di approfondimento sino a q. 283 m s.l.m.                             | 1.41                                       | 28.5                                   |
| Fase 7      | Scavi di approfondimento sino a q. 275 m s.l.m. (Stato a fine coltivazione) | 1.38                                       | 29.3                                   |

Come si può osservare, il fattore di sicurezza risulta sempre superiore ai valori minimi di normativa. Gli spostamenti massimi dei fronti si sviluppano quasi totalmente nella prima fase di scoperta del giacimento, successivamente gli spostamenti aumentano in modo molto contenuto con un incremento di meno di 5 mm dalla fase di scoperta del giacimento sino alla fase finale a lungo termine; il leggero decremento del vettore spostamento massimo tra la fase



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 22 di 30 |

5 e la fase 6 è dovuto all'asportazione della zona di massima deformazione coincidente con quel passaggio di lavorazione.

In annesso 5 sono riportati i grafici dei modelli delle varie fase di analisi, dei vettori spostamento (Displacement) della distribuzione delle deformazioni per taglio (Shear Strain Increment) di tutte le fasi di scavo sino allo stato finale a lungo termine.

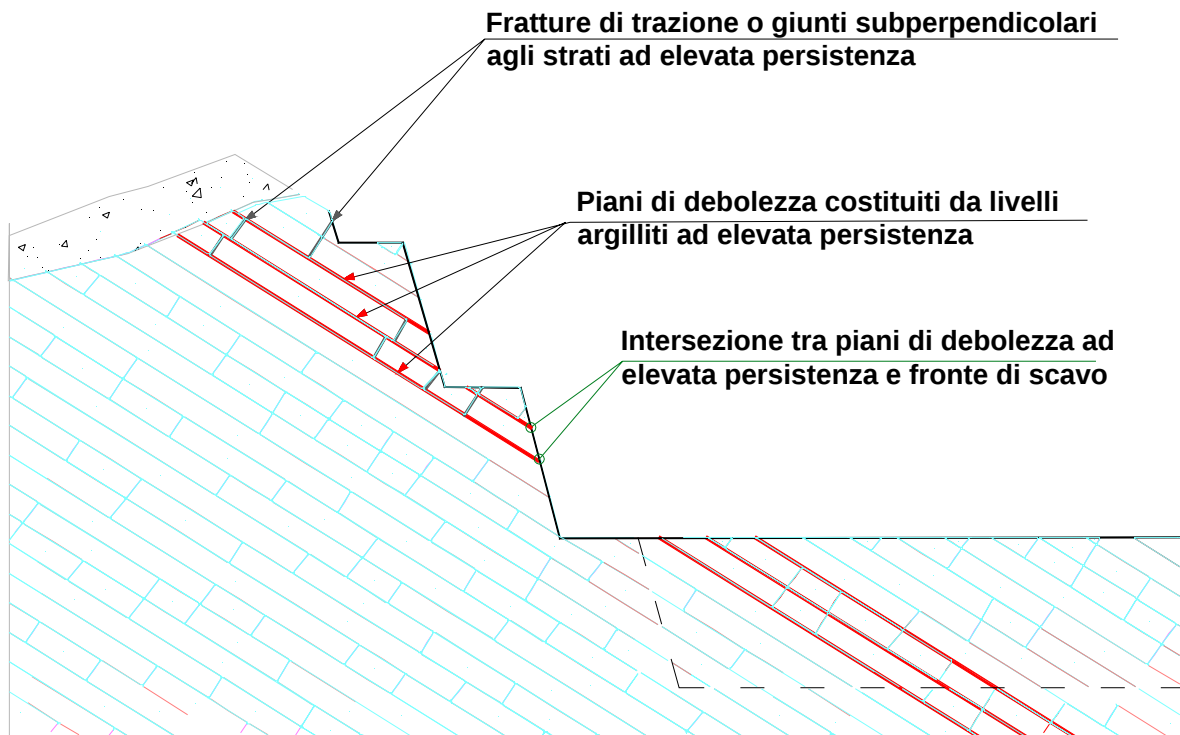
## **7. ANALISI E PRECAUZIONI IN PRESENZA DI EVENTUALI PIANI DI DEBOLEZZA PERSISTENTI**

Come descritto nel Modello Geologico di Riferimento (MGR), l'ammasso roccioso è interessato dalla presenza di livelli argillitici che costituiscono piani o fasce di debolezza. Nella generalità dei casi questi livelli hanno persistenza areale non sufficientemente estesa per realizzare condizioni di potenziale instabilità; queste condizioni geomeccaniche generali sono quelle attese e sono state considerate nelle analisi precedentemente descritte che hanno fornito risultati positivi.

Condizioni di instabilità potenziale o reale si verrebbero d instaurare solo con la presenza di livelli di strato argillitici di elevata persistenza areale intercettati dai fronti di scavo e con la concomitante presenza di fratture subverticali o sub-perpendicolari ai piani di strato, anch'essi caratterizzati da persistenza molto elevata; solo in queste condizioni si realizzano quei gradi di libertà sufficienti a far avvicinare i valori delle azioni instabilizzanti ai valori delle resistenze mobilizzabili e, quindi, a causare condizioni prossime al limite di stabilità. Queste condizioni, in presenza di acqua lungo strato, possono far superare il valore limite e provocare il collasso di porzioni di ammasso.



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 23 di 30 |



**Fig. 7 – Modello schematico del meccanismo di potenziale scivolamento planare lungo strato**

Il meccanismo di potenziale franamento connesso alle geometrie descritte è di scivolamento planare lungo strato con frattura di trazione a monte. Si tratta di un tipico modello di pendio indefinito che, peraltro, non considera gli effetti positivi dell'azione di confinamento tridimensionale nella dimensione perpendicolare al modello bidimensionale.

Allo scopo di valutare le condizioni di stabilità/instabilità e di individuare le azioni da intraprendere nel caso di rinvenimento di queste condizioni geometriche e geomeccaniche, si è proceduto ad una analisi numerica implementando un modello di calcolo ad elementi distinti (DEM), utilizzando un apposito codice di calcolo (UDEC, Rel 4.01 - Univesal Distinct Element Code - Cundall, 1971). Il procedimento permette di eseguire un'analisi di tipo dinamico, considerando le equazioni del moto applicate a ciascun blocco del modello discretizzato, introducendo nel calcolo, oltre che le componenti delle forze utilizzate nelle analisi statiche,



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 24 di 30 |

anche le componenti dell'accelerazione lineare  $x''$  ed  $y''$  e l'accelerazione angolare  $\theta''$ . Questo approccio permette di simulare il comportamento di un sistema di corpi discreti, interagenti tra loro, particolarmente adeguato per l'analisi dell'ipotesi descritta.

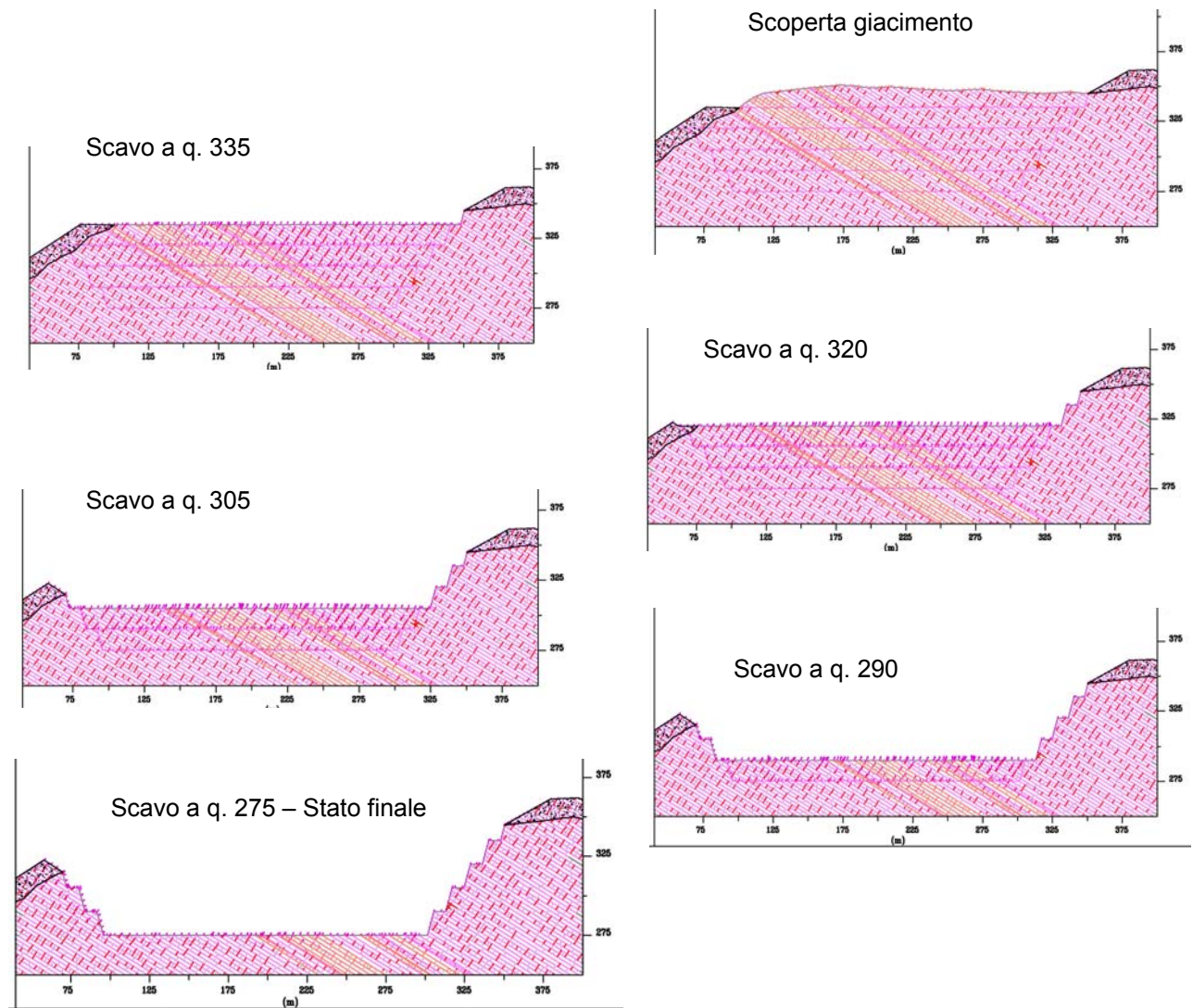
Il codice di calcolo numerico adottato è specifico per l'analisi di problemi di geomeccanica (problemi di stabilità di versanti, opere in sotterraneo, ecc.) dove l'influenza delle discontinuità sul comportamento meccanico dell'ammasso roccioso assume rilevanza. La scelta di implementare un modello DEM è stata dettata proprio dalla considerazione che, a questa scala, i potenziali fenomeni di crollo sono connessi a meccanismi di rottura caratterizzati da un comportamento prevalentemente rigido dei singoli elementi.

Le modellazioni hanno previsto le seguenti fasi:

- **Fase 0** : Stato iniziale (condizione attuale ante scavi)
- **Fase 1** : Scoperta del giacimento
- **Fase 2** : 1° fase di scavo con formazione del gradone di q. 335 (ove presente)
- **Fase 3** : 2° fase di scavo con formazione del gradone di q. 320;
- **Fase 4** : 3° fase di scavo con formazione del gradone di q. 305,
- **Fase 5** : 4° fase di scavo con formazione del gradone di q. 290,
- **Fase 6** : 5° fase di scavo con formazione del gradone di q. 275,
- **Fase 7** : analisi processo deformativo a lungo termine.



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 25 di 30 |



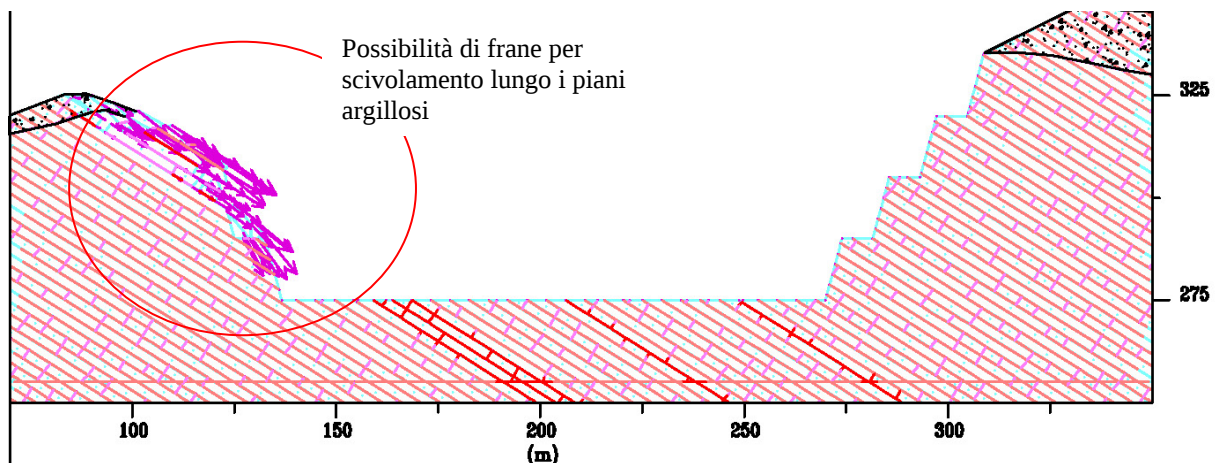
**Fig. 8 – Sequenza lavorazioni simulata con la modellazione DEM (cfr Nota <sup>1</sup>)**

<sup>1</sup> Il modello numerico implementato per le verifiche DEM è orientato con l'Est a sinistra e l'Ovest a destra, contrariamente al modello EFDM



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 26 di 30 |

Le verifiche di stabilità con questa geometria di scavo e condizioni geomeccaniche indicano, per il fronte Est della sezione 1, la possibilità di formazione di franamenti per scivolamento lungo i piani di debolezza intercettati dai fronti di scavo, nel caso in cui questi siano sufficientemente persistenti ed in presenza di fratture subperpendicolari ai piani di strato.



**Fig. 9 – Schema di franamento per scivolamento lungo strato risultante dalla modello DEM**

Nell'evenienza di una simile condizione geomeccanica sono state ipotizzate due diverse soluzioni:

- una prima soluzione prevede la modifica dell'inclinazione dei fronti di coltivazione rendendoli subparalleli ai piani di strato. Questa soluzione è praticabile solo nel caso in cui le geometrie risultanti non comportino una eccessiva perdita dei volumi di produzione, rendendo antieconomica la coltivazione mineraria; in pratica, la soluzione potrà essere adottata solo nel caso in cui i piani di debolezza ad elevata persistenza siano rinvenuti ad una quota relativamente bassa, comunque al di sotto di q. 315 circa.
- La seconda soluzione comporta la stabilizzazione artificiale dei piani di potenziale movimento mediante la realizzazione di chiodature o placcaggi e potrà essere applicata



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 27 di 30 |

anche nel caso, improbabile, di rinvenimento di piani di debolezza molto persistenti già al di sopra di q. 315.

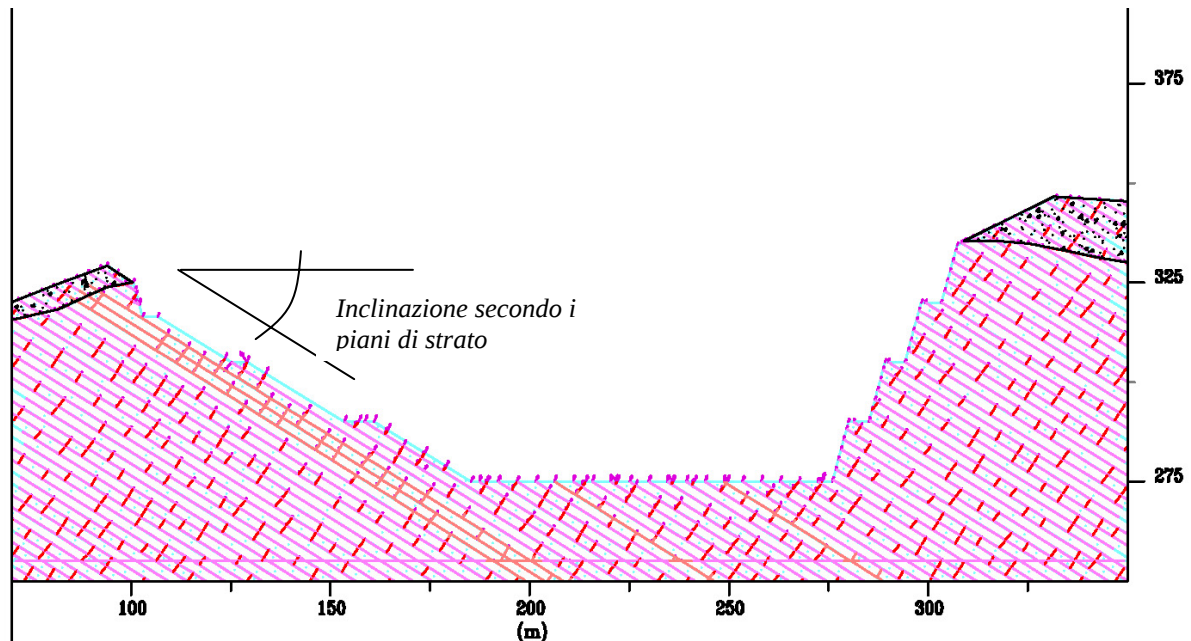
La prima soluzione (soluzione “a”) è stata verificata numericamente mediante l’implementazione di un modelli DEM del tutto analogo al precedente, considerando una diversa geometria di scavo con inclinazione dei fronti uguale a quella dei piani di strato al di sotto di quota 315 m.

La sequenza ipotizzata e verificata è la seguente:

- **Fase 0** : Stato iniziale (condizione attuale ante scavi)
- **Fase 1** : Scoperta del giacimento
- **Fase 2** : 1° fase di scavo con fronte inclinato a 75° e formazione del gradone di q. 320;
- **Fase 3b** : 2° fase di scavo, con fronte inclinato a 75°, sino a raggiungere il piano di debolezza (previsto a q. 315 circa) e formazione di un gradone di larghezza pari ad H/2 (circa 4-5 m);
- **Fase 3c** : 3° fase di scavo con inclinazione del fronte pari all’inclinazione degli strati (circa 30°) sino alla quota 305 e formazione di un gradone di larghezza pari ad H/2 (circa 4-5 m);
- **Fase 4** : 4° fase di scavo con inclinazione del fronte pari all’inclinazione degli strati (circa 30°) sino alla quota 290 e formazione di un gradone di larghezza pari ad H/2 (circa 7.5 m);
- **Fase 5** : 5° fase di scavo con inclinazione del fronte pari all’inclinazione degli strati (circa 30°) sino alla quota 275;
- **Fase 6** : analisi processo deformativo a lungo termine.



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA’                                        | pag. 28 di 30 |



**Fig. 10 – Modello di scavo con fronti subparalleli agli strati (Modellazione DEM)**

Adottando la sequenza di scavo modificata sopra descritta vengono verificate le condizioni di stabilità anche in presenza di una fascia di debolezza strato-parallela come ipotizzata nel modello geomeccanico precedentemente descritto.

In annesso Anx\_6 sono riportati gli elaborati di calcolo della modellazione descritta; la “soluzione 1” è quella che simula le condizioni con il profilo di scavo di progetto, mentre la “soluzione1b” rappresenta il progetto modificato con fronti subparalleli alla stratificazione al di sotto di q. 315.

## 8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le verifiche numeriche hanno confermato che secondo il MGR (Modello Geologico di Riferimento) atteso, le condizioni di stabilità a scala globale e locale sono garantite, con le



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 29 di 30 |

geometrie di scavo proposte, con ampio margine sia nelle condizioni di stratificazione a reggipoggio (fronti Ovest) sia in quelle di stratificazione a franapoggio (fronti Est).

Sulla base delle indagini svolte (sondaggi geognostici e rilievi di superficie) si rileva la presenza di piani di debolezza costituiti da straterelli di argille e argille-marnose di varia distribuzione, spessore e persistenza; quest'ultimo aspetto (la persistenza areale), è rilevante ai fini delle condizioni di stabilità dei fronti di scavo.

Infatti, nel caso di concomitanza delle seguenti condizioni:

- presenza di interstrati argillitici con persistenza areale elevata,
- presenza di fratture verticali o sub-perpendicolari ai piani di strato anch'essi ad elevata persistenza,
- fronti di scavo che intersecano i piani di debolezza costituiti dai livelletti argillitici ad elevata persistenza

si creano condizioni di possibili scivolamenti planari lungo strato.

Per persistenza “elevata” si intende una continuità dello strato di argillite dell'ordine di alcune decine di metri in direzione perpendicolare ai fronti e di altrettanti in direzione parallela e, comunque del medesimo ordine di grandezza del fronte “libero”.

In base alle conoscenze acquisite, non vi sono dati che facciano ritenere probabile l'esistenza di una simile situazione; tuttavia gli elementi rilevati nei sondaggi S14 ed S19, indicano la presenza di livelli argillitici concentrati e ripetuti in fasce di spessore plurimetrico (da 4 ad 8 m). Uno spessore così rilevante degli strati contenenti i piani di debolezza suggerisce anche una loro elevata persistenza areale.



|                        |                      |                                                                                        |               |
|------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                      | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |               |
| R 009a-09-<br>Rev. 3   | 12.11.09<br>set.2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | pag. 30 di 30 |

Questa situazione geologico-strutturale è stata comunque analizzata inserendo fasce di debolezza nel modello di calcolo (cfr. Fig. 1.0 in Annesso 5).

Il caso più gravoso di concomitanza delle geometrie di fratturazione sopra indicate è stato analizzato mediante un modello DEM che ha indicato la possibile instaurazione di condizioni di equilibrio limite: in questo caso si dovrà provvedere con la modifica del piano di coltivazione con fronti inclinati come la stratificazione o, in alternativa, con opere di stabilizzazione mediante chiodature e placcaggi.

L' effettiva presenza di un assetto geologico-strutturale di quello ipotizzato (concomitanza di piani di debolezza sin-stratificazione, di piani di frattura di trazione sub-perpendicolari ai primi e di intercettazione dei piani di debolezza sin-strato da parte dei fronti di scavo) dovrà essere accertato coltivazione nel corso dell'avanzamento degli scavi.

In conclusione, le geometrie di scavo di progetto permettono di garantire le condizioni di stabilità generali e locali nel caso, in fase di avanzamento, risulti verificato il MGR atteso. Le lavorazioni dovranno, pertanto, essere condotte secondo un procedimento osservazionale, così come definito nella normativa vigente (DM 14.01.2008) adottando le modifiche già ipotizzate nel caso il MGR sia quello caratterizzato dalla presenza di piani di debolezza ad elevata persistenza.



|                        |                       |                                                                                        |         |
|------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                       | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |         |
| R 009a-09<br>Rev. 3    | 12.11.09<br>set .2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | Annessi |

**Anx.1**

**LOG STRATIGRAFICI SONDAGGI SO.GE.TEC**



|                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Cantiere TERNATE (VA)               | N. sondaggio 14                     |
| Committente Holcim                  | Scala sondaggio 380                 |
| Perforatore Armando Magri           | Geologo Longhi Gianmaria            |
| Coord.                              | Quota (p.c.)                        |
| Metodo perf. Distruzione/carotaggio | Data ultimazione Giugno /Luglio2009 |

| Profondita' | Potenza | Stratigrafia                                                                      | Descrizione                                                                                   | Falda | Piezometro | Scala 1:380 |
|-------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|-------------|
| 3.50        | 3.50    |  | Terreno sciolto ( sabbie e ghiaie con ciottoli sparsi). Perforazione a distruzione di nucleo. |       |            | 3           |
| 5.00        | 1.50    |  | Roccia fratturata e alterata ( cappellaccio). Perforazione a distruzione di nucleo.           |       |            | 6           |
| 7.80        | 2.80    |  | Roccia fratturata .Perforazione a carotaggio continuo                                         |       |            | 9           |
|             |         |                                                                                   | Roccia . Perforazione a carotaggio continuo.                                                  |       |            | 12          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 15          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 18          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 21          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 24          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 27          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 30          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 33          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 36          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 39          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 42          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 45          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 48          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 51          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 54          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 57          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 60          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 63          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 66          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 69          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 72          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 75          |
|             |         |                                                                                   |                                                                                               |       |            | 78          |
| 80.00       | 72.20   |                                                                                   |                                                                                               |       |            |             |

|                                     |                              |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Cantiere TERNATE (VA)               | N. sondaggio 15              |
| Committente Holcim                  | Scala sondaggio 380          |
| Perforatore Armando Magri           | Geologo Longhi Gianmaria     |
| Coord.                              | Quota (p.c.)                 |
| Metodo perf. Distruzione/carotaggio | Data ultimazione Maggio 2009 |

| Profondita' | Potenza | Stratigrafia                                                                        | Descrizione                                                                                   | Falda | Piezometro | Scala 1:380                                                                                                                                                                                        |
|-------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|             | 34.50   |   | Terreno sciolto ( sabbie e ghiaie con ciottoli sparsi). Perforazione a distruzione di nucleo. |       |            | <div></div> 3 <div></div> 6 <div></div> 9 <div></div> 12 <div></div> 15 <div></div> 18 <div></div> 21 <div></div> 24 <div></div> 27 <div></div> 30 <div></div> 33                                  |
| 34.50       | 4.50    |  | Roccia fratturata e alterata ( cappellaccio). Perforazione a distruzione di nucleo.           |       |            | <div></div> 36 <div></div> 39                                                                                                                                                                      |
| 39.00       | 41.00   |  | Roccia . Perforazione a carotaggio continuo.                                                  |       |            | <div></div> 42 <div></div> 45 <div></div> 48 <div></div> 51 <div></div> 54 <div></div> 57 <div></div> 60 <div></div> 63 <div></div> 66 <div></div> 69 <div></div> 72 <div></div> 75 <div></div> 78 |
| 80.00       |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            |                                                                                                                                                                                                    |

|                                    |                              |
|------------------------------------|------------------------------|
| Cantiere TERNATE (VA)              | N. sondaggio 16              |
| Committente Holcim                 | Scala sondaggio 318          |
| Perforatore Armando Magri          | Geologo Longhi Gianmaria     |
| Coord.                             | Quota (p.c.)                 |
| Metodo perf. Distruzione di nucleo | Data ultimazione Luglio 2009 |

| Profondita' | Potenza | Stratigrafia                                                                       | Descrizione                                                                                   | Falda | Piezometro | Scala 1:319                                                                                                                     |
|-------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.00        | 3.00    |   | Terreno sciolto ( sabbie e ghiaie con ciottoli sparsi). Perforazione a distruzione di nucleo. |       |            | 3                                                                                                                               |
| 6.00        | 3.00    |   | Roccia fratturata e alterata ( cappellaccio). Perforazione a distruzione di nucleo.           |       |            | 6                                                                                                                               |
|             | 67.00   |  | Roccia . Perforazione a distruzione di nucleo.                                                |       |            | 9<br>12<br>15<br>18<br>21<br>24<br>27<br>30<br>33<br>36<br>39<br>42<br>45<br>48<br>51<br>54<br>57<br>60<br>63<br>66<br>69<br>72 |
| 73.00       |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            |                                                                                                                                 |

|                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Cantiere TERNATE (VA)               | N. sondaggio 17                      |
| Committente Holcim                  | Scala sondaggio 380                  |
| Perforatore Armando Magri           | Geologo Longhi Gianmaria             |
| Coord.                              | Quota (p.c.)                         |
| Metodo perf. Distruzione/carotaggio | Data ultimazione Maggio /Giugno 2009 |

| Profondita' | Potenza | Stratigrafia                                                                        | Descrizione                                                                                   | Falda | Piezometro | Scala 1:380                                                                |
|-------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|----------------------------------------------------------------------------|
|             | 28.50   |   | Terreno sciolto ( sabbie e ghiaie con ciottoli sparsi). Perforazione a distruzione di nucleo. |       |            | 3<br>6<br>9<br>12<br>15<br>18<br>21<br>24<br>27                            |
| 28.50       | 4.50    |  | Roccia fratturata e alterata ( cappellaccio). Perforazione a distruzione di nucleo.           |       |            | 30<br>33                                                                   |
| 33.00       | 41.00   |  | Roccia . Perforazione a carotaggio continuo.                                                  |       |            | 36<br>39<br>42<br>45<br>48<br>51<br>54<br>57<br>60<br>63<br>66<br>69<br>72 |
| 74.00       |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            |                                                                            |

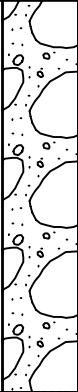
|                                    |                              |
|------------------------------------|------------------------------|
| Cantiere TERNATE (VA)              | N. sondaggio 18              |
| Committente Holcim                 | Scala sondaggio 135          |
| Perforatore Armando Magri          | Geologo Longhi Gianmaria     |
| Coord.                             | Quota (p.c.)                 |
| Metodo perf. Distruzione di nucleo | Data ultimazione Maggio 2009 |

| Profondita'    | Potenza | Stratigrafia                                                                        | Descrizione                                                                                   | Falda | Piezometro | Scala 1:135                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | 28.00   |   | Terreno sciolto ( sabbie e ghiaie con ciottoli sparsi). Perforazione a distruzione di nucleo. |       |            | <div>1</div> <div>2</div> <div>3</div> <div>4</div> <div>5</div> <div>6</div> <div>7</div> <div>8</div> <div>9</div> <div>10</div> <div>11</div> <div>12</div> <div>13</div> <div>14</div> <div>15</div> <div>16</div> <div>17</div> <div>18</div> <div>19</div> <div>20</div> <div>21</div> <div>22</div> <div>23</div> <div>24</div> <div>25</div> <div>26</div> <div>27</div> <div>28</div> |
| 28.00<br>28.50 | 0.50    |  | Roccia fratturata e alterata ( cappellaccio). Perforazione a distruzione di nucleo.           |       |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

|                                     |                              |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Cantiere TERNATE (VA)               | N. sondaggio 19              |
| Committente Holcim                  | Scala sondaggio 323          |
| Perforatore Armando Magri           | Geologo Longhi Gianmaria     |
| Coord.                              | Quota (p.c.)                 |
| Metodo perf. Distruzione/carotaggio | Data ultimazione Luglio 2009 |

| Profondita' | Potenza | Stratigrafia                                                                       | Descrizione                                                                                   | Falda | Piezometro | Scala 1:323 |
|-------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|-------------|
|             | 6.00    |   | Terreno sciolto ( sabbie e ghiaie con ciottoli sparsi). Perforazione a distruzione di nucleo. |       |            | 3           |
| 6.00        | 2.00    |   | Roccia fratturata e alterata ( cappellaccio). Perforazione a distruzione di nucleo.           |       |            | 6           |
| 8.00        |         |  | Roccia . Perforazione a carotaggio continuo.                                                  |       |            | 9           |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 12          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 15          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 18          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 21          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 24          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 27          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 30          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 33          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 36          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 39          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 42          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 45          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 48          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 51          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 54          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 57          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 60          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 63          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 66          |
|             |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            | 69          |
| 70.00       |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            |             |

|                                    |                                      |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| Cantiere TERNATE (VA)              | N. sondaggio 20                      |
| Committente Holcim                 | Scala sondaggio 318                  |
| Perforatore Armando Magri          | Geologo Longhi Gianmaria             |
| Coord.                             | Quota (p.c.)                         |
| Metodo perf. Distruzione di nucleo | Data ultimazione Maggio /Giugno 2009 |

| Profondita' | Potenza | Stratigrafia                                                                        | Descrizione                                                                                   | Falda | Piezometro | Scala 1:319 |
|-------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|-------------|
|             | 16.50   |    | Terreno sciolto ( sabbie e ghiaie con ciottoli sparsi). Perforazione a distruzione di nucleo. |       |            | 3           |
| 16.50       | 3.50    |   | Roccia fratturata e alterata ( cappellaccio). Perforazione a distruzione di nucleo.           |       |            | 6           |
| 20.00       | 47.00   |  | Roccia . Perforazione a distruzione di nucleo.                                                |       |            | 9           |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 12          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 15          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 18          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 21          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 24          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 27          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 30          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 33          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 36          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 39          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 42          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 45          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 48          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 51          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 54          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 57          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 60          |
|             |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 63          |
| 67.00       |         |                                                                                     |                                                                                               |       |            | 66          |

|                                    |                              |
|------------------------------------|------------------------------|
| Cantiere TERNATE (VA)              | N. sondaggio 21              |
| Committente Holcim                 | Scala sondaggio 318          |
| Perforatore Armando Magri          | Geologo Longhi Gianmaria     |
| Coord.                             | Quota (p.c.)                 |
| Metodo perf. Distruzione di nucleo | Data ultimazione Luglio 2009 |

| Profondita' | Potenza | Stratigrafia                                                                       | Descrizione                                                                                   | Falda | Piezometro | Scala 1:319                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.50        | 1.50    |   | Terreno sciolto ( sabbie e ghiaie con ciottoli sparsi). Perforazione a distruzione di nucleo. |       |            |  3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 6.00        | 4.50    |   | Roccia fratturata e alterata ( cappellaccio). Perforazione a distruzione di nucleo.           |       |            |  6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|             | 62.00   |  | Roccia . Perforazione a distruzione di nucleo.                                                |       |            |  9<br> 12<br> 15<br> 18<br> 21<br> 24<br> 27<br> 30<br> 33<br> 36<br> 39<br> 42<br> 45<br> 48<br> 51<br> 54<br> 57<br> 60<br> 63<br> 66 |
| 68.00       |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                     |                              |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Cantiere TERNATE (VA)               | N. sondaggio 22              |
| Committente Holcim                  | Scala sondaggio 323          |
| Perforatore Armando Magri           | Geologo Longhi Gianmaria     |
| Coord.                              | Quota (p.c.)                 |
| Metodo perf. Distruzione/carotaggio | Data ultimazione Giugno 2009 |

| Profondita'    | Potenza | Stratigrafia                                                                       | Descrizione                                                                                   | Falda | Piezometro | Scala 1:323                                                                                  |
|----------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | 16.50   |   | Terreno sciolto ( sabbie e ghiaie con ciottoli sparsi). Perforazione a distruzione di nucleo. |       |            | 3<br>6<br>9<br>12<br>15                                                                      |
| 16.50<br>18.00 | 1.50    |   | Roccia fratturata e alterata ( cappellaccio). Perforazione a distruzione di nucleo.           |       |            | 18                                                                                           |
|                | 50.00   |  | Roccia . Perforazione a carotaggio continuo.                                                  |       |            | 21<br>24<br>27<br>30<br>33<br>36<br>39<br>42<br>45<br>48<br>51<br>54<br>57<br>60<br>63<br>66 |
| 68.00          |         |                                                                                    |                                                                                               |       |            |                                                                                              |

|                                    |                              |
|------------------------------------|------------------------------|
| Cantiere TERNATE (VA)              | N. sondaggio 23              |
| Committente Holcim                 | Scala sondaggio 135          |
| Perforatore Armando Magri          | Geologo Longhi Gianmaria     |
| Coord.                             | Quota (p.c.)                 |
| Metodo perf. Distruzione di nucleo | Data ultimazione Giugno 2009 |

| Profondita'    | Potenza | Stratigrafia                                                                        | Descrizione                                                                                   | Falda | Piezometro | Scala 1:135                                                                                                                                                                                                            |
|----------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | 16.50   |   | Terreno sciolto ( sabbie e ghiaie con ciottoli sparsi). Perforazione a distruzione di nucleo. |       |            | <div>1</div> <div>2</div> <div>3</div> <div>4</div> <div>5</div> <div>6</div> <div>7</div> <div>8</div> <div>9</div> <div>10</div> <div>11</div> <div>12</div> <div>13</div> <div>14</div> <div>15</div> <div>16</div> |
| 16.50<br>18.00 | 1.50    |  | Roccia fratturata e alterata ( cappellaccio). Perforazione a distruzione di nucleo.           |       |            | <div>17</div> <div>18</div>                                                                                                                                                                                            |

|                        |                       |                                                                                        |         |
|------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| HOLCIM (Italia) S.p.A. |                       | Ambito Territoriale Estrattivo ATE C2 – Polo “6”<br>Comuni di Travedona e Ternate (VA) |         |
| R 009a-09<br>Rev. 3    | 12.11.09<br>set .2010 | PIANO DI COLTIVAZIONE e VERIFICHE DI STABILITA'                                        | Annessi |

**Anx.2**

**LOG STRATIGRAFICI DI DETTAGLIO S14 ED S19**



[illegible]

[illegible]

[illegible]

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**

Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità

Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)

Sondaggio: **S14**



Cassa 1

Profondità: 5.00 ÷ 10.00 metri



Cassa 2

Profondità: 10.00 ÷ 15.00 metri

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**  
Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità  
Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)  
Sondaggio: **S14**



Cassa 3

Profondità: **15.00 ÷ 20.00 metri**



Cassa 4

Profondità: **20.00 ÷ 25.00 metri**

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**  
Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità  
Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)  
Sondaggio: **S14**



Cassa 5

Profondità: 25.00 ÷ 30.00 metri



Cassa 6

Profondità: 30.00 ÷ 35.00 metri

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**

Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità

Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)

Sondaggio: **S14**



Cassa 7

Profondità: 35.00 ÷ 40.00 metri



Cassa 8

Profondità: 40.00 ÷ 45.00 metri

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**

Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità

Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)

Sondaggio: **S14**



Cassa 9

Profondità: 45.00 ÷ 50.00 metri



Cassa 10

Profondità: 50.00 ÷ 55.00 metri

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**

Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità

Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)

Sondaggio: **S14**



Cassa 11

Profondità: **55.00 ÷ 60.00 metri**



Cassa 12

Profondità: **60.00 ÷ 65.00 metri**

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**

Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità

Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)

Sondaggio: **S14**



Cassa 13

Profondità: 65.00 ÷ 70.00 metri



Cassa 14

Profondità: 70.00 ÷ 75.00 metri

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**  
Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità  
Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)  
Sondaggio: **S14**



Cassa 15

Profondità: 75.00 ÷ 80.00 metri

[illegible]

[illegible]

Ø 101 mm

|      |     |    |
|------|-----|----|
| Data | dal | al |
|------|-----|----|

[illegible]

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**

Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità

Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)

Sondaggio: **S19**



**Cassa 1**

**Profondità: 8.00 ÷ 13.00 metri**



**Cassa 2**

**Profondità: 13.00 ÷ 18.00 metri**

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**

Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità

Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)

Sondaggio: **S19**



Cassa 3

Profondità: **18.00 ÷ 23.00 metri**



Cassa 4

Profondità: **23.00 ÷ 28.00 metri**

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**

Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità

Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)

Sondaggio: **S19**



Cassa 5

Profondità: 28.00 ÷ 33.00 metri



Cassa 6

Profondità: 33.00 ÷ 38.00 metri

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**

Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità

Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)

Sondaggio: **S19**



Cassa 7

Profondità: **38.00 ÷ 43.00 metri**



Cassa 8

Profondità: **43.00 ÷ 48.00 metri**

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**

Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità

Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)

Sondaggio: **S19**



Cassa 9

Profondità: 48.00 ÷ 53.00 metri



Cassa 10

Profondità: 53.00 ÷ 58.00 metri

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**  
Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità  
Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)  
Sondaggio: **S19**



**Cassa 11**

**Profondità: 58.00 ÷ 63.00 metri**



**Cassa 12**

**Profondità: 63.00 ÷ 68.00 metri**

Committente: **HOLCIM (ITALIA) S.p.a.**  
Commessa: Ambito territoriale estrattivo ATE C2 Polo "6" - Piano di coltivazione e verifiche di stabilità  
Località: Comune di Travedona e di Ternate (VA)  
Sondaggio: **S19**



Cassa 13

Profondità: 68.00 ÷ 70.00 metri