

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

**FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

**CORSO DI LAUREA IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

**DIPARTIMENTO DICMA**

**TESI DI LAUREA**

in

**Cave e Recupero Ambientale**

*CRITERI PROGETTUALI PER LA COLTIVAZIONE SELETTIVA DI  
MINERALE DI GESSO IN UN GIACIMENTO COMPLESSO DELLA  
TOSCANA*

CANDIDATO  
Nicola SALERNO

RELATORE:  
Chiar.mo Prof. Ing. Paolo BERRY

Anno Accademico 2008/09  
Sessione III

1 - IL GRUPPO KNAUF .....	3
1.1 PROFILO DELLA COMPAGNIA .....	3
1.2 Knauf Italia .....	5
Gli stabilimenti di Castellina Marittima e di Gambassi Terme .....	5
1.3 I Centri di Formazione .....	6
1.4 La tenuta Agricola Campo alla Sughera .....	6
1.5 Stabilimento di Gambassi Terme .....	8
2 RELAZIONE TECNICA E PIANO DI COLTIVAZIONE .....	9
2.1 Il giacimento nell'area di cava Treschi .....	9
2.1.1- GEOLOGIA .....	10
<u>2.1.1.1 Inquadramento geologico generale</u> .....	10
<u>2.1.1.2- Geologia locale</u> .....	11
2.1.2- La formazione gessosa .....	12
2.1.3- Tettonica .....	15
2.1.4 – Idrogeologia locale .....	16
Coefficiente di permeabilità .....	18
2.2 Consistenza del giacimento e della copertura .....	19
2.3 Metodo di coltivazione .....	23
2.4 Descrizione delle fasi di scavo .....	25
<u>Fase 1</u> .....	26
<u>Fase 2</u> .....	28
<u>Fase 3</u> .....	29
2.5 Tecniche di Abbattimento .....	30
2.5.1 Calcolo della volata .....	30
2.5.2 Parametri della roccia e dell'esplosivo e disegno della volata .....	31
2.5.3 Detonatori .....	35
2.5.4 Vibrazioni indotte dall'esplosivo ed effetti connessi .....	36
2.5.5 Proiezione di materiale .....	40
2.5.6 Sovrappressioni in aria .....	41
2.6 Organizzazione del Cantiere .....	42
2.6.1 Scopertura .....	43
2.6.2 Perforazione .....	44
2.6.3 Movimentazione del materiale .....	45
2.6.4 Caricamento pala – dumper .....	46
2.6.5 Trasporto .....	46
2.6.6 Smarino .....	48
2.7 Macchine operatrici (perforazione, caricamento ed asporto) .....	49
2.7.1 Perforazione ed Abbattimento .....	49
2.7.2 Caricamento .....	50
2.7.3 Trasporto .....	52
2.7.4 Operazioni di recupero ambientale .....	56
3 LA QUALIFICAZIONE DEL GIACIMENTO CON METODO INNOVATIVO E PRODUZIONE DIFFERENZITA .....	57
3.1 Introduzione .....	57
3.2 Lo Spettroscopio VIS-NIR .....	57
3.3 Produzione differenziata .....	61
3.3.1 Produzione attuale .....	62
4 SISTEMAZIONE MORFOLOGICA ED ASSETTO FINALE DI RECUPERO .....	70
4.1 Opere di sistemazione idraulica .....	72
4.1.1 Indicazioni generali .....	72
4.2 Idrografia ed idrogeologia dell'area rimodellata .....	74
4.3 Fasi di risistemazione e recupero ambientale .....	77
5 RECUPERO VEGETAZIONALE: INDIVIDUAZIONE DI CRITERI PROGETTUALI .....	99
5.1 Premessa .....	99
5.2 Il ripristino dell'ecosistema .....	100
6 RECUPERO VEGETAZIONALE: ANALISI AMBIENTALE PRELIMINARE .....	101
6.1. Il clima .....	102
6.2 Caratteristiche pedologiche dell'area .....	104

6.3	Associazioni vegetali .....	105
<u>6.3.1.</u>	<u>Vegetazione della cava</u> .....	105
<u>6.3.2.</u>	<u>Vegetazione del lotto T2</u> .....	105
<u>6.3.3.</u>	<u>Dinamiche evolutive</u> .....	107
<u>6.3.4.</u>	<u>Processi naturali di ricolonizzazione</u> .....	108
7	RECUPERO VEGETAZIONALE: INTERVENTI DI RINVERDIMENTO .....	109
7.1	Introduzione di specie erbacee: idrosemina e semina a spaglio .....	110
7.2	Introduzione di specie arboree ed arbustive .....	111
7.3	Recupero vegetazionale: costi degli interventi di rinverdimento .....	117
7.4	Costi di risistemazione ambientale.....	117
7.4.1	Calcolo dei volumi .....	118
7.4.2	Costi totali .....	118
<u>7.4.2.1</u>	<u>Anno 3</u> .....	120
<u>7.4.2.2</u>	<u>Anno 6</u> .....	120
<u>7.4.2.3</u>	<u>Anno 10</u> .....	120
<u>VII.4.2.4</u>	<u>Anno 12</u> .....	120

# 1 - IL GRUPPO KNAUF

## 1.1 PROFILO DELLA COMPAGNIA

La compagnia fu fondata nel lontano 1932 a Perl an der Mosel, Saarland (Germania) dai fratelli Alfons Knauf e Karl Knauf; l'industria del gesso fu il nucleo del gruppo Knauf che oggi opera in tutto il mondo. Dopo la Seconda Guerra Mondiale, ebbe una rinascita con la costruzione di uno stabilimento a Iphofen, nel nord della Baviera, che ancora oggi è il quartier generale del gruppo. Con i suoi 150 centri di produzione in 50 paesi (Fig. 2.1), oggi la Knauf è uno dei produttori leader al mondo di materiali per l'edilizia, contando su una forza lavoro di 24000 unità; nel 2009 la compagnia ha fatturato 4,8 miliardi di Euro, 800 milioni in meno rispetto al 2008 ( Fig. 1.1 ).

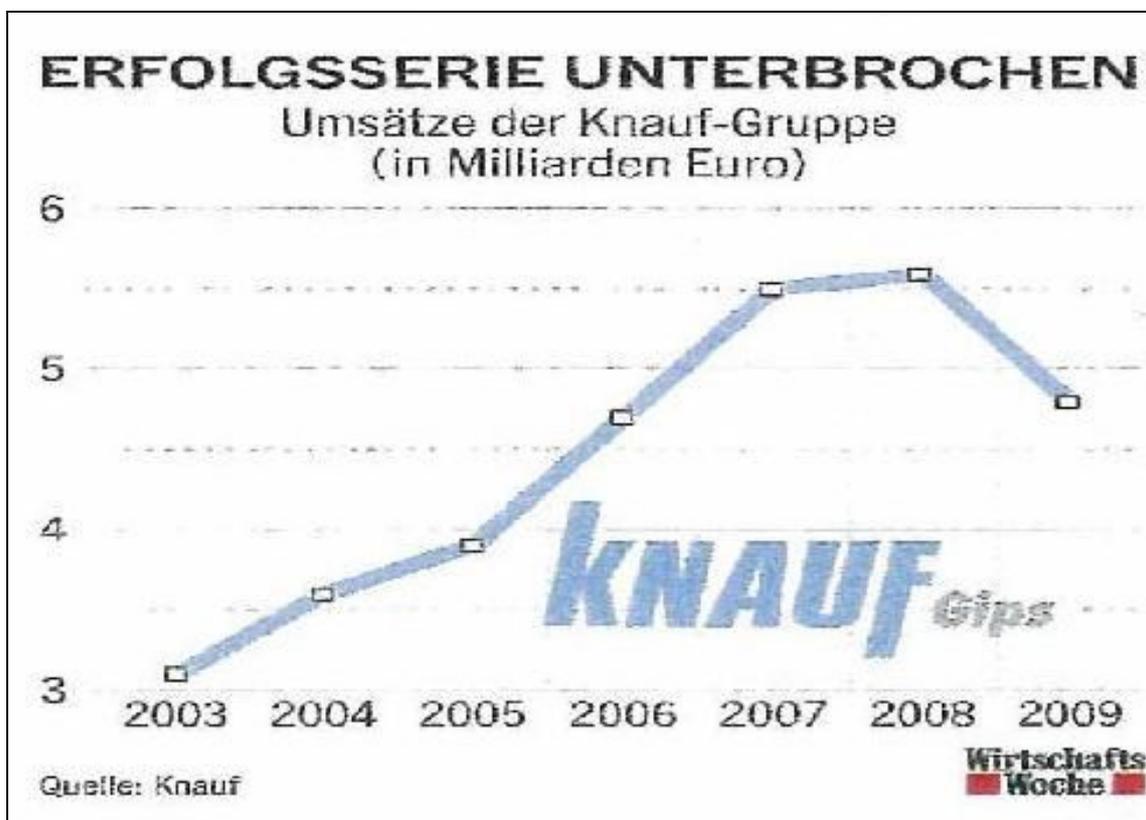


Figura 1.1 Fatturato del gruppo in miliardi di euro

Le riserve di minerale grezzo, che ammontano ad un miliardo e cento milioni di tonnellate, alimentano i vari stabilimenti con un buon margine di sicurezza per le generazioni future. In tutto il mondo, sono operativi più di 60 siti estrattivi, tra cave a cielo aperto e in sotterraneo.

In aggiunta a questo, numerosi stabilimenti sono invece alimentati col gesso sintetico generato quando i gas delle centrali elettriche a carbone vengono desolforati.

Il gruppo iniziò ad assumere carattere internazionale all'inizio degli anni settanta del secolo scorso producendo e vendendo i suoi sistemi costruttivi in tutto il mondo. L'attenzione del gruppo è stata, e lo è ancora, sempre rivolta alla produzione e promozione non di singoli prodotti ma di sistemi completi in grado di rispondere con le soluzioni più appropriate alle diverse esigenze di mercato. Questa filosofia ha portato ad una continua evoluzione del gruppo che da azienda del gesso è diventata con acquisizioni e continui investimenti un protagonista presente in tutti i settori più avanzati dell'edilizia; nel 2010 infatti, come affermato dall'attuale presidente, Mr. Grundke, sono previsti investimenti per 0,5 miliardi di euro in particolare per la costruzione di nuove fabbriche di cartongesso in Siberia, Uzbekistan e una nuova fabbrica di lana di vetro in Francia.

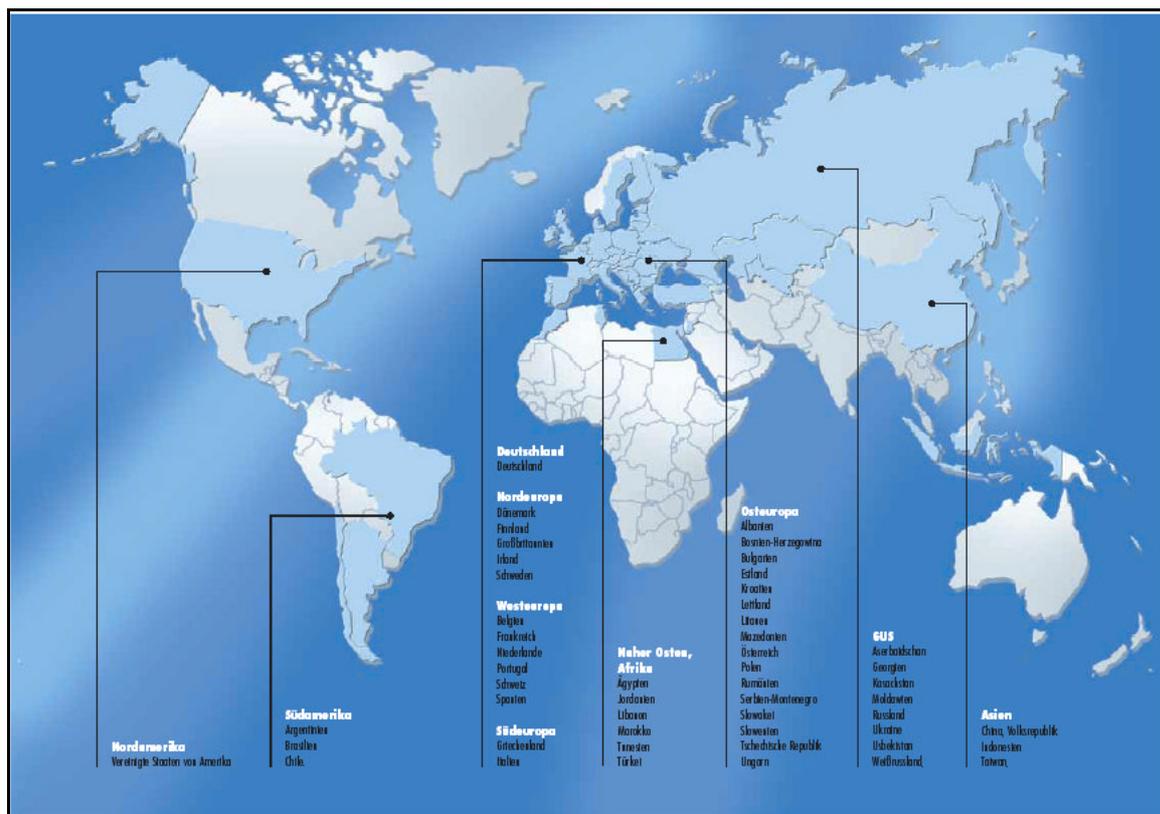


Fig. 2.1 La Knauf nel mondo

## **1.2 Knauf Italia**

### **Gli stabilimenti di Castellina Marittima e di Gambassi Terme**

Nel 1977 viene fondata la KNAUF Italia a Treviso, a partire dal 1985, ha intrapreso un percorso di investimenti nella regione Toscana che hanno portato la società a divenire uno dei maggiori poli industriali, non solo a livello locale, ma anche nazionale e mondiale. Attualmente, in Italia, l'Azienda conta oltre 200 dipendenti, il 70% dei quali provenienti dalla Toscana, e detiene una quota di mercato che, in base ai prodotti, varia dal 20% al 35%.

Le tappe principali che hanno segnato lo sviluppo aziendale hanno inizio nel 1985 con l'acquisto e la ristrutturazione dello stabilimento Intonaci presso Gambassi Terme (FI) e di due cave per un investimento totale di 20 milioni di Euro.

Segue l'investimento presso Castellina Marittima (PI) per lo stabilimento lastre e profili e le cave e i depositi di gesso pari a 70 milioni di Euro al quale si aggiunge il primo raddoppio della linea di produzione nel 2002 e il secondo nel 2008 con un investimento ulteriore di 30 milioni di Euro. Nel frattempo, tutta l'attività di KNAUF Italia si sposta dal magazzino di Treviso, dove inizialmente veniva raccolto il materiale proveniente dall'Austria e distribuito al cliente finale, allo stabilimento di Castellina Marittima, divenuta la sede principale dell'Azienda in Italia.

Infine, nel 2007, l'area produttiva di Castellina Marittima viene ulteriormente ampliata con la costruzione dello stabilimento Profili e Slitter - rivolto al taglio dei nastri di acciaio per i profili - per un investimento di 15 milioni di Euro. Attualmente, lo stabilimento di Castellina Marittima ha una superficie globale di 90.000 mq, copre un'area di 30.000 mq e possiede oltre 100 ettari di terreni sui quali potrebbero aprirsi nuove cave. Lo stabilimento di Gambassi Terme, invece, copre un'area di 3.000 mq e 130 ettari di terreno in cui è inclusa la cava.

Lo stabilimento di Gambassi Terme è specializzato nella produzione e commercializzazione di intonaci premiscelati tradizionali e prestazionali.

Rinnovato nel 1998, con la costruzione di quattro nuovi silos da 600 tonnellate, tutte le fasi di produzione e di caricamento del prodotto sfuso sono state automatizzate ed assoggettate ad un rigoroso controllo qualità.

Dallo stabilimento di Gambassi Terme esce tutta la linea intonaci Knauf; una vasta gamma di soluzioni per la finitura degli edifici.

### **1.3 I Centri di Formazione**

Nelle Scuole di Posa Knauf, l'Azienda mette a disposizione di tutti gli operatori la propria decennale esperienza tecnica nell'applicazione dei Sistemi Costruttivi a Secco.

Le Scuole di Posa Knauf sono anche un luogo dove applicatori e produttori possono condividere le rispettive esperienze e confrontarsi sulle soluzioni migliori.

La gamma dei corsi di aggiornamento e specializzazione si sviluppa su differenti livelli di approfondimento teorico e pratico: dai corsi di primo livello per la formazione dei principianti, fino ai corsi monotematici ad alto contenuto tecnico, per gli operatori già esperti.

**La Scuola di Posa di Castellina Marittima** si trova presso lo stabilimento Knauf, è dotata di un centro attrezzato per lo svolgimento delle pratiche applicative ed è collegata con le aule per le lezioni teoriche.

Nel 2009 nasce il nuovo **Centro di Formazione a Padova**, uno spazio di 500 mq dedicato principalmente alla Formazione.

Con il nuovo centro del Nord Est, Knauf diventa ancora di più un punto di riferimento aperto e accessibile a coloro che vogliono intraprendere un percorso formativo e confrontarsi con i tecnici dell'azienda allo scopo di rafforzare il proprio ruolo e affermare la propria forza in un mercato fortemente ricettivo ai vantaggi dei Sistemi Costruttivi a Secco.

**Knauf Milano** è la struttura multifunzionale dedicata alla formazione degli applicatori di Sistemi a Secco. Un centro polivalente di 600 mq, progettato per dare a tutti gli applicatori o aspiranti applicatori dell'area nord l'opportunità di crescere professionalmente.

I corsi di formazione, di taglio sia teorico che pratico, sono tenuti da personale tecnico altamente specializzato e si rivolgono a tutto il mondo degli applicatori del secco: sia ai giovani alle prime armi che ai professionisti.

Presso Knauf Milano sarà collocata anche un'esposizione permanente dei Sistemi Costruttivi Knauf e dei più innovativi prodotti per l'edilizia.

### **1.4 La tenuta Agricola Campo alla Sughera**

Nel contesto rigoglioso di Bolgheri, celebre per i suoi paesaggi e per i suoi vini di alta qualità, Knauf ha creato nel 1998 la propria tenuta vitivinicola: Campo alla Sughera. Il risultato è un podere ricco di risorse, dal quale si ricava un vino di alta qualità. Il complesso immobiliare della tenuta è stato studiato in funzione dell'azienda vitivinicola: perfettamente

organizzato e completo in ogni sua parte consente di effettuare l'intero ciclo di lavorazione in loco.

La realizzazione del vigneto si è ispirata fin dall'inizio a due principi fondamentali: la massima qualità delle uve prodotte e la massima meccanizzazione della coltivazione.

Knauf ha realizzato un impianto di vigneto altamente specializzato per una superficie di circa 20 ettari. Gli appezzamenti si trovano all'interno della zona Bolgheri DOC, delimitata dal Fosso di Bolgheri, il quale confina con l'azienda stessa, in un territorio particolarmente vocato alla realizzazione di vini di particolare pregio, sia rossi che bianchi. Il microclima sfrutta positivamente la ventilazione proveniente dal mare che dista pochi chilometri.

Gli scopi dell'azienda sono quelli di ottenere una produzione di vino per la maggior parte rosso e la rimanente parte di vino bianco, entrambi di alta qualità. Per realizzare ciò sono stati seguiti i più moderni canoni della viticoltura nazionale ed internazionale, sulla base di quello che stabilisce il disciplinare del DOC Bolgheri con vitigni quali: Merlot, Cabernet Sauvignon, Cabernet Franc, Petit Verdot, Vermentino, Sauvignon Blanc, Chardonnay.

L'impianto, altamente innovativo per la zona e altamente meccanizzato, è stato concepito con basse rese (circa 800 gr. per pianta e circa 60 quintali ad ettaro), con un sesto d'impianto molto stretto (1,30 mt per 0,85 mt, forma di allevamento: cordone speronato basso) ed elevato numero di ceppi per ettaro (circa 9500). La vendemmia, improntata alla massima qualità, è effettuata manualmente e le uve raccolte, scartando tutti i grappoli non perfetti, vengono immesse in cassette da 18-20 kg l'uno. La cantina di vinificazione, costruita per la maggior parte in interrato fino a 10 metri sotto il piano campagna, è stata progettata seguendo le metodologie più avanzate che sfruttano la forza di gravità per aumentare la qualità del vino prodotto, consentendo la lavorazione integralmente "a caduta" e evitando l'utilizzo di pompe meccaniche di sollevamento che possono deteriorare le qualità organolettiche del prodotto. Dopo una diraspatura ed una pigiatura soffice, infatti, i serbatoi di macerazione di acciaio inox, ognuno indipendente e termoregolato, vengono alimentati dall'alto senza utilizzo di pompe o coclee. La macerazione viene condotta per circa 12-15 giorni con intensi rimontaggi e follature, operazioni effettuate a temperatura controllata; dopo la svinatura ed un primo travaso, vengono immediatamente riempite le barriques, ove il vino svolge la fermentazione malo-lattica. I vini rossi provenienti dai diversi vitigni costituenti l'assemblaggio vengono affinati separatamente per un periodo minimo di 12 mesi per Adèo e di 18 mesi per Arnione, in barriques nuove di rovere francese di diverse tostature. Prima dell'imbottigliamento si

procede all'assemblaggio definitivo e il vino poi matura in bottiglia per un periodo minimo di 3 mesi per Adèo e di 12 mesi per Arnione. Anche il bianco Achenio matura per 6 mesi sulle proprie fecce in fusti di rovere e, assemblato e imbottigliato il marzo successivo alla vendemmia, si affina in vetro per almeno 6 mesi.

## **1.5 Stabilimento di Gambassi Terme**

### ***PRODUZIONE INTONACI PREMISCELATI A BASE DI GESSO***

La materia prima per la produzione di intonaci premiscelati per interni a base di gesso è estratta dalla cava, che si trova nell'area sottostante allo stabilimento e trasportata nello stesso mediante dumper. La pietra subisce una prima frantumazione in un frantoio a martelli che riduce la pezzatura fino a 200 mm, da qui la pietra viene trasportata con nastri fino ad un secondo frantoio che riduce la granulometria fino ad un massimo di 50 mm, dopo il frantoio secondario il materiale viene suddiviso da una serie di vagli in due granulometrie una 0 - 12 mm ed una più grossa 12- 50 mm. Le due granulometrie così ottenute vengono successivamente cotte in due forni diversi alimentati a combustibile liquido. La 0-12 va nel forno rotante da cui si ottiene il gesso di bassa cottura (Stuck), mentre la parte più grossa 12-50 va in un forno a griglia da cui si ottiene il surcotto (Estrich). L'impianto è poi costituito da un parco di silos di diverse dimensioni nei quali vengono stoccati i diversi additivi e componenti che costituiscono i prodotti finali. Il contenuto di detti silos viene convogliato e scaricato, nella giusta dose, mediante coclee in un ascensore, il quale solleva il carico fino ad un miscelatore dove avviene l'omogeneizzazione dei componenti.

Il prodotto finito così ottenuto viene stoccato in un silo dal quale può essere inviato ai silos di stoccaggio e caricamento sfuso in appositi camion o alle macchine insaccatrici. L'insaccamento e la pallettizzazione dei sacchi sono realizzati mediante un processo automatizzato, al quale segue lo stoccaggio dei palletts negli appositi magazzini, effettuata mediante carrelli elevatori, in attesa di essere caricati sui camion per la consegna ai clienti.

Sono inoltre presenti un impianto di pre-miscelazione, usato per diluire determinate sostanze (ritardanti alla presa) con del gesso base in modo da aumentare la precisione della dosatura, ed un impianto di espansione della perlite. La perlite espansa è utilizzata nel processo di produzione degli intonaci premiscelati come additivo. Viene acquistata come perlite grezza (granulometria < 1 mm) ed immessa in un forno verticale dove viene espansa ad una temperatura di 850°C per poi essere separata nel ciclone.

Al processo produttivo sopra spiegato si aggiunge un impianto di stoccaggio ed insaccamento di stucchi in forma pulverulenta, denominato “Fugen Fuller”, composto da due silos e da un impianto di insaccamento in sacchi di carta da 5 e 10 kg. Quest’ultimo è totalmente automatizzato e racchiuso in una cabina trasparente al di fuori della quale è possibile sorvegliarne l’andamento.

## 2 RELAZIONE TECNICA E PIANO DI COLTIVAZIONE

### 2.1 Il giacimento nell’area di cava Treschi

L’orizzonte gessoso ha potenze variabili e pertanto, dal punto di vista della coltivabilità, è stato suddiviso in “lenti”, corrispondenti a zone di maggiore ispessimento della formazione utile.

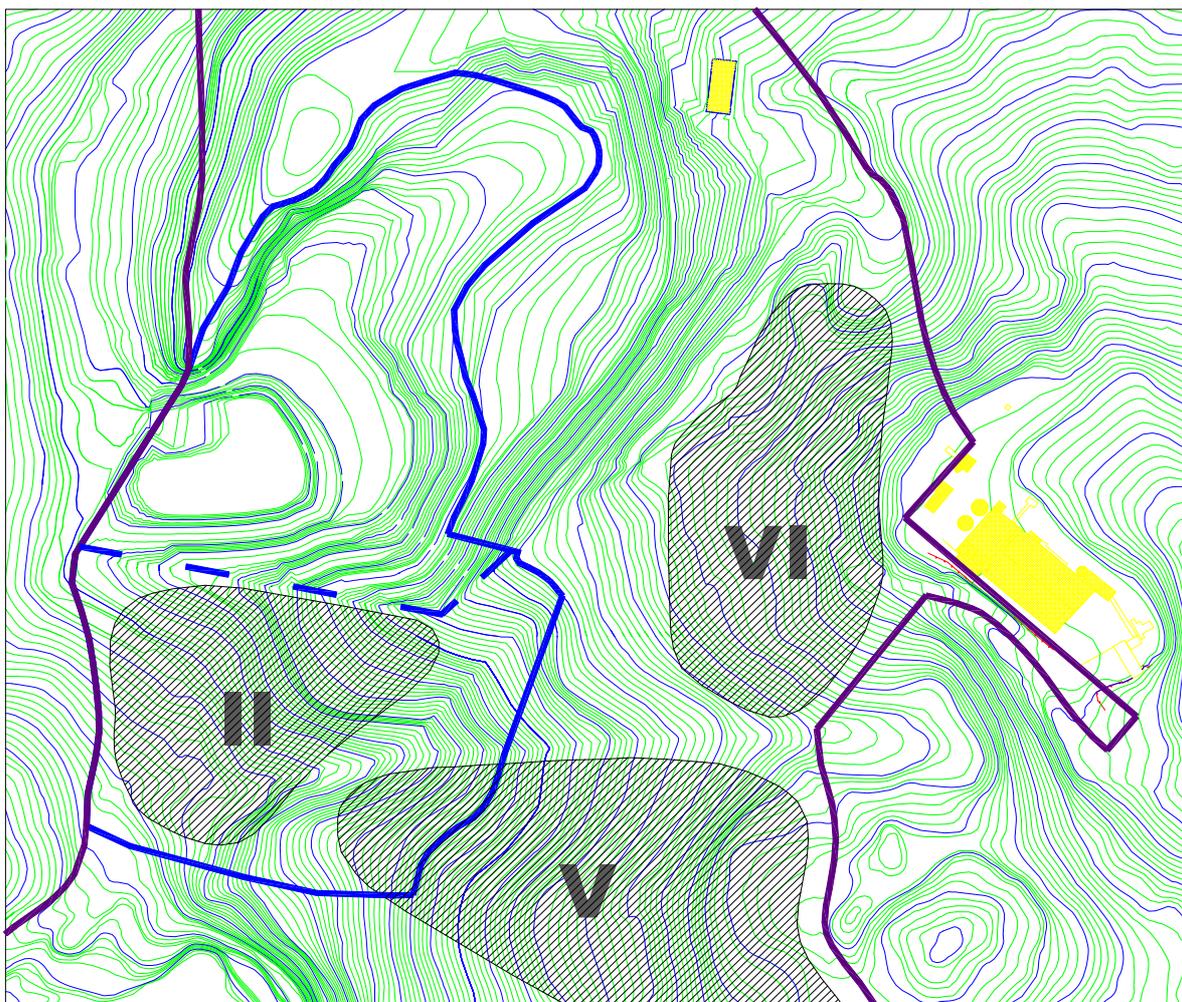


Fig. 1 – Rappresentazione delle lenti ancora non coltivate nei pressi della zona in coltivazione

## 2.1.1– GEOLOGIA

Di seguito viene descritto l'assetto geologico dell'area soggetta all'attività estrattiva e alla ricomposizione ambientale sia a livello di inquadramento generale sia a livello di comparto estrattivo s.s..

### 2.1.1.1 Inquadramento geologico generale

L'assetto geologico della porzione territoriale su cui insiste l'area interessata dal progetto è caratterizzata da:

- terreni di copertura riferibili a depositi detritici e/o accumuli di frana di età recente e/o attuale;
- terreni sedimentari autoctoni e neoautoctoni di età compresa tra il Trias e il Miocene.
- depositi alloctoni costituiti dal complesso delle argille scagliose ofiolitifere.

Il complesso neoautoctono si è depositato sopra i terreni alloctoni in seguito ad un abbassamento generale della zona che ha determinato il ritorno del mare o almeno un accentuarsi delle depressioni preesistenti con formazioni lacustri del Miocene Superiore. Sotto il profilo tettonico si riconoscono movimenti plicativi a pieghe coricate con assi diretti con direzione N-S ed anche E-O. La tettonica recente è evidenziata da faglie distensive post orogenetiche che causano il contatto fra la formazione triassica e i sedimenti continentali miocenici ad ovest e il contatto con le liguridi nelle restanti direzioni venendo a definire una zona ad alto strutturale.

Nello specifico la zona analizzata, avente un'estensione complessiva di circa 5,5 Km<sup>2</sup>, è contraddistinta dall'affioramento delle seguenti unità litologiche e formazionali (procedendo dall'alto verso il basso):

- *Quaternario Detrito (dt) e accumuli di frana (af)*. Questi terreni affiorano in spessori variabili e sono costituiti dallo smantellamento dei terreni più antichi posti alle quote superiori dei rilievi.
- *Miocene Superiore (Neoautoctono)*
- *Argille Mioceniche (Mag) e Marne Lacustri (M2)*. Argille di colore grigiastro talora sabbiose appartenenti al ciclo neogenico e depositatesi in ambiente lacustre. Le argille sono trasgressive ora sulle argille scagliose ora sull'autoctono costituito da anidrite, gesso e dolomia. L'unità M2 è costituita da marne, marne arenacee e arenarie a grana

molto fine.

### **2.1.1.2- Geologia locale**

Il giacimento di gesso di Treschi è un insieme sedimentario evaporitico del Trias Superiore che i movimenti tettonici hanno in parte portato a giorno.

La zona in esame è, infatti, compresa all'interno di una finestra tettonica che pone in contatto gli affioramenti gessiferi di età Triassica (Norico/Retico) con le formazioni più recenti quali:

- le argille ed i calcari a Palombini della formazione caotica alloctona, ad est ed a sud-est;
- le argille e marne lacustri del Miocene superiore ad ovest, sud-ovest e nord-ovest.

La formazione evaporitica oggetto di coltivazione è costituito da gessi, anidriti alternate talvolta con dolomie e calcari cavernosi. I gessi costituiscono la fascia superiore rispetto ai depositi anidritici e presentano spessori variabili da pochi metri ad oltre 40 metri.

L'attuale assetto della formazione Evaporitica è il risultato di una sovrapposizione di fattori deposizionali, diagenetici precoci e diagenetici tardivi.

Gli elementi deposizionali sono rappresentati dalle dolomie massicce, dalle dolomie laminate, dalle anidriti, dalle gessoclastiti e, ma solo parzialmente, dai gessi laminati e da fini commistioni solfatico-carbonatiche-sapropelitiche.

Gli elementi diagenetici precoci sovrainposti su quelli deposizionali, sono dovuti alla precipitazione di solfati all'interno di sedimenti carbonatici precedentemente deposti e alla dolomitizzazione di questi ultimi. Gli elementi sovrainposti durante la diagenesi sotto sepoltura relativamente profonda sono essenzialmente legati alla disidratazione dei gessi; questo fenomeno crea le basi per la fluidificazione dell'anidrite di neoformazione con la produzione di strutture a “palle”, di cuscini e laminazione solfatiche convolute e piano-parallele. Le ultime trasformazioni che possono intervenire sulla compagine solfatico-carbonatica sono legate a fasi sinorogeniche e portano alla progressiva distruzione dell'assetto originario. Queste azioni consistono principalmente nella gessificazione delle anidriti al contatto con acque di circolazione sotterranea di origine continentale e meteorica. Il processo di idratazione (e rigonfiamento), profondo circa 50 metri, può essere seguito dall'asportazione dei gessi di neoformazione (lisciviazione). Direttamente la formazione gessosa è ricoperta da

detriti che ovviamente traggono la loro origine dallo smantellamento delle formazioni esistenti nell'intorno (terreni evaporitici del Trias superiore; argille, marne e calcari palombini alloctoni del Cretaceo ecc.). La potenza della copertura varia da pochi metri (o è addirittura assente), fino a spessori dell'ordine di 40-60 metri. Il letto della compagine gessosa è costituito in genere dalle anidriti.

La Serie Evaporitica affiorante in località "Treschi" si presenta deformata e fortemente fratturata dagli eventi tettonici. Il gesso è macrocristallino, è composto da cristalli con facce ben delimitate; si forma comunemente per precipitazione e per neomorfismo. Rappresenta spesso il prodotto della precipitazione sul fondo o all'interno di cavità e lo spazio all'interno del quale cresce può essere ottenuto a spese dei materiali circostanti che possono essere sostituiti, inglobati o spostati. La formazione gessosa è presente sotto forma di strati intercalati da dolomia e argille in una situazione non monotona e irregolarmente ritmica lungo le tre dimensioni. Il letto del giacimento è formato da depositi anidritici, i quali talvolta si ritrovano frammisti a cristalli di gesso.

Una tale situazione si ritiene possa avere avuto origine da processi di precipitazione (gravitativi o torbidi) dei solfati che hanno prodotto la formazione di strati o banchi di gesso di dimensioni contenute e che, in seguito, hanno inglobato rocce di natura e provenienza diverse a causa di dislocazioni susseguenti il periodo di formazione della Serie Evaporitica.

Questa realtà è chiaramente illustrata dai sondaggi eseguiti.

### **2.1.2- La formazione gessosa**

Il giacimento gessoso è stato esplorato, in una prima fase (anni 1986-1990), mediante l'esecuzione di 66 sondaggi geognostici a carotaggio continuo dislocati all'interno dell'intera area estrattiva. Detti sondaggi esplorativi si sono spinti fino a profondità variabili da 17,00 a 100,00 m dal p.c. di riferimento.

Le suddette risultanze stratigrafiche, interpolate con approfonditi rilievi di superficie, hanno permesso di formulare le seguenti affermazioni:

- l'orizzonte gessoso sull'intera area presa in esame risultava abbastanza continuo anche se con spessori variabili. Da un punto di vista della sua coltivabilità esso è stato quindi suddiviso in "lenti" o zone di maggiore potenza corrispondenti alle zone di maggiore ispessimento della formazione utile;
- nell'area sono state complessivamente individuate 7 aree lenticolari. Nel caso specifico la

coltivazione insiste sulla lente T2, interessante il lotto T2 e parte del lotto T1 e denominata lotto Treschi 3;

- gli spessori inversamente proporzionali del gesso e della copertura dipendono dai fenomeni di asportazione (lisciviazione) dei gessi di neoformazione i cui vuoti a giorno vengono sostituiti per riempimento dai materiali di copertura;
- la qualità della roccia gessosa è risultata in genere buona. I tenori ottenibili nelle lenti coltivabili si attestano in genere tra 70-80% e rispondono quindi alle specifiche richieste dallo stabilimento Knauf.

La situazione geologico-giacimentologica dell'area d'interesse è stata indagata e ricostruita nel dettaglio facendo riferimento ai risultati delle perforazioni di carattere esplorativo effettuate nell'arco temporale 1986/1987 del lotto Treschi 3 (T2) e ad ulteriori approfondimenti conoscitivi risalenti all'anno 2004. I sondaggi geognostici più recenti sono stati indirizzati sostanzialmente alla determinazione della potenza della copertura nella porzione più occidentale dell'area in esame.

Nelle tabelle riportate di seguito sono stati riassunti esclusivamente i principali dati tecnici e stratigrafici delle perforazioni site all'interno del lotto in oggetto.

**ANNI DI REALIZZAZIONE 1986 e 1987**

<b>Sondaggio</b>	<b>Profondità (m da p.c.)</b>	<b>Ascissa</b>	<b>Ordinata</b>	<b>Potenza copertura</b>
1	49,2	4.813.890	1.656.800	14.2
3	54	4.813.880	1.656.890	32
4	44,7	4.813.797	1.656.830	7.75
5	67	4.813.860	1.656.670	3.50
6	66.2	4.813.858	1.656.750	9
7	60	4.813.800	1.656.753	8
8	51	4.813.720	1.656.760	10
10	52,1	4.813.730	1.656.830	8.65
16	27	4.814.090	1.656.850	1.2
20	99.4	4.814.010	1.656.833	-
38	63	4.813.760	1.656.700	3.35

**ANNO DI REALIZZAZIONE 2004**

<b>Sondaggio</b>	<b>Ascissa</b>	<b>Ordinata</b>	<b>Potenza copertura</b>
2	4.813.830	1.656.690	11
3	4.813.800	1.656.730	11
3 bis	4.813.750	1.656.760	14
4	4.813.870	1.656.688	8

5	4.813.860	1.656.727	10
9	4.813.780	1.656.690	3

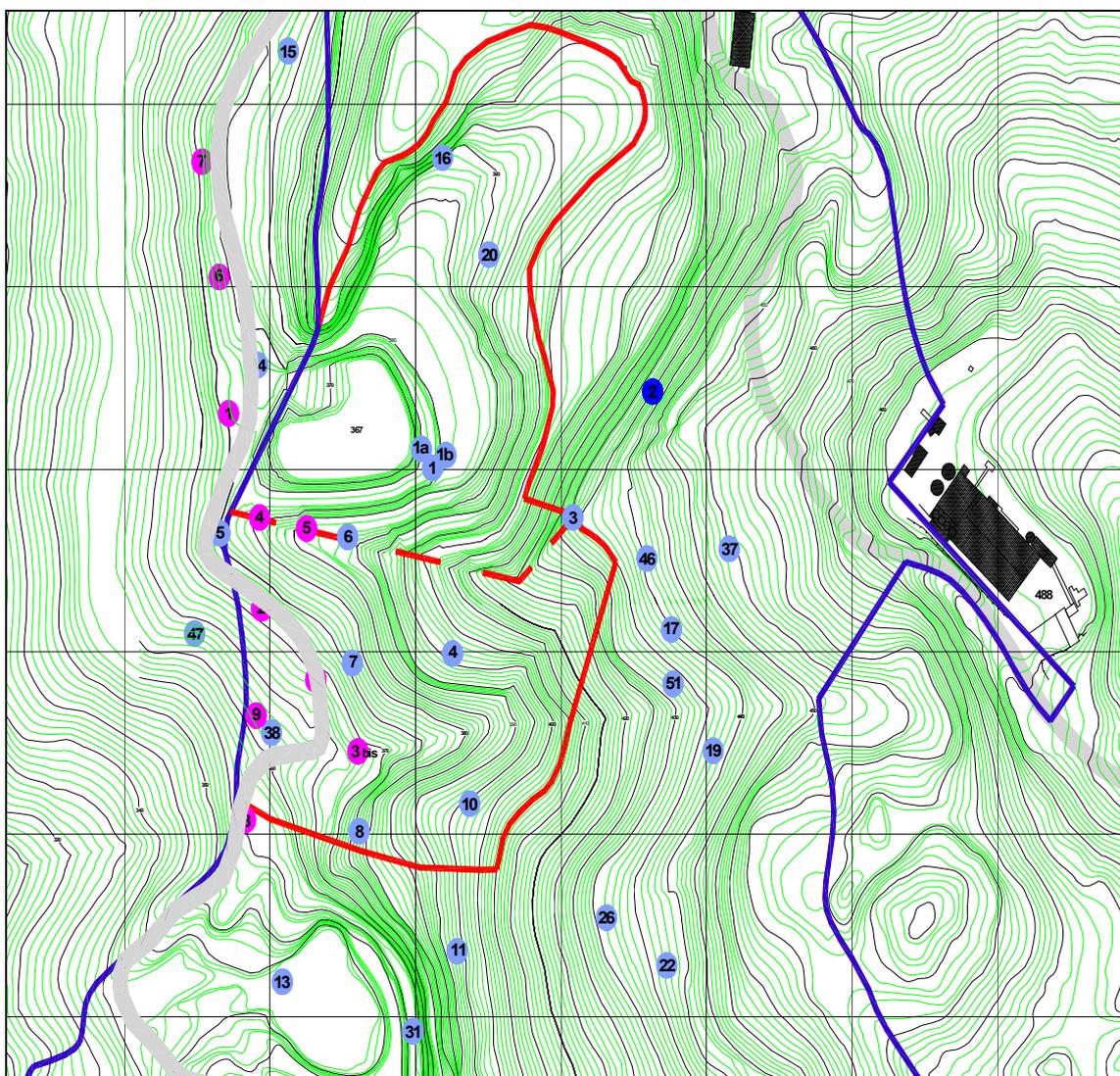


Fig. 2 - Ubicazione dei sondaggi

- ① Sondaggi geognostici (anni 1986-1987)
- ① Sondaggi geognostici (anno 2004)

In particolare la potenza della copertura presunta dalle sezioni giacimentologiche presenta uno spessore da pressoché nullo o molto modesto a significativo (nei punti indagati dell'ordine dei 15-30 m circa).

Le potenze lorde del gesso sono, anche nelle perforazioni con abbondanti spessori di copertura, abbastanza elevate e quantificabili in 40-50 metri od oltre. L'orizzonte gessifero, avente tenori in gesso ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) nella sua parte coltivabile mediamente dal 70 all'80%,

ha un grado di purezza classificabile come buono. Si segnala, tuttavia, la possibilità di reperimento di inclusi sterili costituiti da rocce dolomitiche saline di colorazione da grigio a nera, di dimensioni dell'ordine del cm<sup>3</sup> fino ad estensioni decametriche, che dovranno essere, per quanto possibile, selezionate. Inoltre, nelle formazioni carsiche (qualora presenti) si aggiunge la presenza di impurità secondarie (argilla di grotta in senso stretto), per cui si dovrà partire complessivamente da un fattore di gesso netto attorno al 75%.

Le previsioni riguardanti le volumetrie complessive di copertura e gesso (calcolate con il metodo delle sezioni ragguagliate) indicano rispettivamente volumi di 325.112,4 m<sup>3</sup> e 693.811 m<sup>3</sup>.

### **2.1.3- Tettonica**

La zona studiata è per la metà ad ovest costituita da depositi evaporitici triassici (appartenenti al Dominio Toscano) e per la rimanente parte da argille scagliose e calcari Palombini della successione Ligure del Cretaceo. La formazione evaporitica forma una finestra tettonica i cui depositi risultano a diretto contatto ad ovest con le argille lacustri appartenenti al Miocene superiore; ad est e sud-est con le argille scagliose del Cretaceo. Le due formazioni, quella del Miocene superiore e quella del Cretaceo, sono separate da uno stretto lembo di detriti quaternari, che solo marginalmente (a nord ed a sud-ovest) interessano il contatto dei terreni triassici. La dinamica delle dislocazioni e trasformazioni che hanno dato vita a questa conformazione può essere illustrata facendo riferimento ai due eventi primari corrispondenti a serie cronostratigrafiche terziarie immediatamente susseguenti, l'Oligocene ed il Miocene:

**1** - sovrapposizione delle argille scagliose del Cretaceo (facenti parte della falda di ricoprimento delle Liguridi) ai depositi evaporitici verso la fine dell'Oligocene. Questo fenomeno è convalidato dal fatto che l'evento non ha carattere locale ma interessa una vasta area della Regione Toscana;

**2** - innalzamento della formazione datata Trias superiore (gessi, anidrite, dolomia e calcari dolomitici) rispetto a quella del Miocene superiore, evidenziato da una grossa faglia situata lungo tutto il lato ovest della finestra tettonica, che ne determina la chiusura meridionale.

I terreni triassici innalzatisi sono marcatamente circoscritti da faglie descrittive nel loro insieme una semi-ellisse, interrotta lungo il lato est della finestra tettonica che è invece interessato da evidenti contatti tettonici. La principale frattura della massa rocciosa coincide

con il limite est del Miocene Superiore. Dallo studio della dislocazione si individua una faglia diretta di estensione nella quale il tetto è costituito da argille lacustri ed il letto da gessi, dolomia e calcari dolomitici. Il limite inferiore di questa rottura è intercettato da un'ulteriore faglia avente direzione NW-SE che evidenzia un movimento identico al precedente ma che interessa terreni del Cretaceo anziché quelli Miocenici. Una frattura identica a quest'ultima sia come movimento (traslatorio e rotatorio), direzione ed estensione individua il limite superiore della finestra tettonica della Formazione Triassica. Un'ulteriore faglia, di estensione più limitata delle precedenti, è presente sempre come limite fra formazione Cretacea e Triassica con direzione NE-SW. Probabilmente lo spostamento relativo delle due parti di questa frattura è più contenuto di quello delle strutture descritte precedentemente che sono più spostate ad ovest. Questo perché si può ipotizzare che il movimento dei depositi sia assimilabile ad una rotazione il cui perno può essere identificato con la chiusura est della formazione; per cui l'innalzamento massimo lo si potrebbe individuare lungo la faglia che corre sul lato ovest in direzione nord-sud.

#### **2.1.4 – Idrogeologia locale**

La situazione idrogeologica dell'area estrattiva s.s. è contraddistinta dall'affioramento della formazione evaporitica del Calcere Cavernoso (formazione gessifera con anidride e dolomia), costituente l'acquifero principale della zona in studio. La suddetta formazione, caratterizzata dalla presenza diffusa di discontinuità (giunti, fratture, ecc.), appare contraddistinta da medio-medio/buona permeabilità.

Per la determinazione della permeabilità di un ammasso roccioso fratturato, si può ricorrere alla seguente formula che fornisce il coefficiente  $k$  calcolato sulla base di un modello costituito da un ammasso roccioso interessato da famiglie di giunti paralleli con apertura costante "e" e con distanza media "b" (figura 1). La permeabilità dell'ammasso in una direzione parallela ai giunti è pertanto nel caso di giunti lisci:

$$K=1/12 \times e^3/b \times g/v$$

dove:

$K$  = permeabilità [cm/s];

$g$  = accelerazione di gravità [981 cm/s<sup>2</sup>];

e = apertura dei giunti [cm];

b = distanza media dei giunti [cm];

v = coefficiente di viscosità cinematica [0,01 cm<sup>2</sup>/s per acqua pura a 20°C].

Applicando questo modello alla compagine evaporitica interessata dagli interventi minerari si ottiene un valore della permeabilità mediamente dell'ordine di  $K = 10^{-2} - 10^{-4}$  cm/s.

I lavori estrattivi e di risistemazione ambientale non apporteranno variazioni idrogeologiche nel rapporto tra acque sotterranee e acque meteoriche e relative infiltrazioni. Non viene, infatti, variata realmente l'estensione delle varie formazioni dal momento che le argille lacustri e le liguridi non saranno minimamente interessate dai lavori di escavazione.

In ogni caso è importante conoscere l'entità delle infiltrazioni nel sottosuolo per quantificare l'acqua da regimare, che, potenzialmente, può interferire con le operazioni di coltivazione e ripristino, sempre limitatamente e in connessione agli eventi meteorici. E' possibile, per la determinazione di questo dato, effettuare un bilancio che tenga conto degli apporti (entità delle precipitazioni) e della loro distribuzione (infiltrazione, ruscellamento superficiale, evaporazione).

Per la determinazione dell'entità delle infiltrazioni nel sottosuolo è necessario effettuare una stima dell'apporto idrico, e valutare la distribuzione dello stesso in relazione alla superficie dell'intervento. L'alimentazione in questo caso è dovuta alle precipitazioni efficaci PE date dalla differenza tra le precipitazioni P e l'evapotraspirazione reale ETR conseguente ad un fenomeno di tipo fisico (evaporazione) ed a uno di tipo biologico (traspirazione). Per la stima dell'evapotraspirazione  $E_r$  (mm/anno) si può fare ricorso alla seguente formula empirica che presuppone la conoscenza dell'altezza totale di precipitazione

$$E_r = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P (mm/anno) e della temperatura media dell'aria T (°C) di un unico anno idrologico o di un numero di anni sufficientemente lungo da risultare statisticamente significativo:

I

L (mm/anno) rappresenta il potere evaporante dell'atmosfera e si calcola con la seguente

formula:

$$L = 300 + 25T + 0,05 T^3$$

Trascurando in favore di sicurezza il fenomeno dell'evapotraspirazione, l'acqua delle precipitazioni efficaci sulla superficie del suolo ( $P=PE$ ) si ripartisce in due frazioni fisse, convenzionali e disuguali:

- il ruscellamento R, che alimenta il deflusso superficiale QS alla superficie del suolo;
- l'infiltrazione I, quantità di acqua che attraversa la superficie del suolo e che alimenta la portata del deflusso sotterraneo.

La ripartizione in ruscellamento ed infiltrazione, utile per la determinazione dell'infiltrazione sotterranea, è regolata dal potere ripartitore del suolo, contrassegnato dall'**indice idrogeologico IE**.

Questo indice dipende dai seguenti fattori:

- geomorfologia (pendenza topografica e morfologia della rete idrografica);
- superficie del suolo (litostratigrafia, pedologia, copertura vegetale, umidità);
- profondità della superficie piezometrica;
- sistemazione delle acque e dei suoli (derivazione dei corsi d'acqua, drenaggio di zone inondate, pratiche agricole, ecc.).

Questi fatti non sono tra loro del tutto indipendenti cosicché la geomorfologia e la litostratigrafia risultano determinanti.

Il calcolo dell'indice idrogeologico è basato su una classifica idrogeologica delle formazioni ed è espresso dal rapporto (%) tra le precipitazioni efficaci e l'infiltrazione o il deflusso sotterraneo.

Pertanto, i dati che caratterizzano la formazione da un punto di vista idrologico sono i seguenti:

#### **Coefficiente di permeabilità**

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| - terreni di copertura (argille, marne e calcari, argille lacustri) | $K=10^{-4} - 10^{-6}$ cm/sec |
| - formazione gessifera con anidrite e dolomia                       | $K=10^{-2} - 10^{-4}$ cm/sec |

- argille lacustri K=10<sup>-6</sup> -10<sup>-8</sup> cm/sec
- argille marne con calcari palombini: K=10<sup>-6</sup> -10<sup>-8</sup> cm/sec

### **Indice idrogeologico**

**(valori indicativi di detto parametro per i complessi idrogeologici d'interesse)**

- Formazione gessifera s.s. **IE = 30 - 50 %**
- Terreni di copertura **IE = 15- 25 %**

## **2.2 Consistenza del giacimento e della copertura**

La consistenza del giacimento, dei materiali che saranno scavati ed i volumi di recupero ambientale sono stati dedotti (a partire dalla stratigrafia fornita dalla Knauf, basata su sopralluoghi recenti, sui risultati di sondaggi geognostici e sui dati derivanti dall'attività mineraria nei lotti limitrofi) con il "Metodo delle sezioni equivalenti", utilizzando la formula che calcola il volume tra due generiche sezioni parallele  $A_i$ ,  $A_{i+1}$  a distanza  $L_i$ :

$$V(A_i, A_{i+1}) = (L_i) * [(A_i + A_{i+1}) / 2]$$

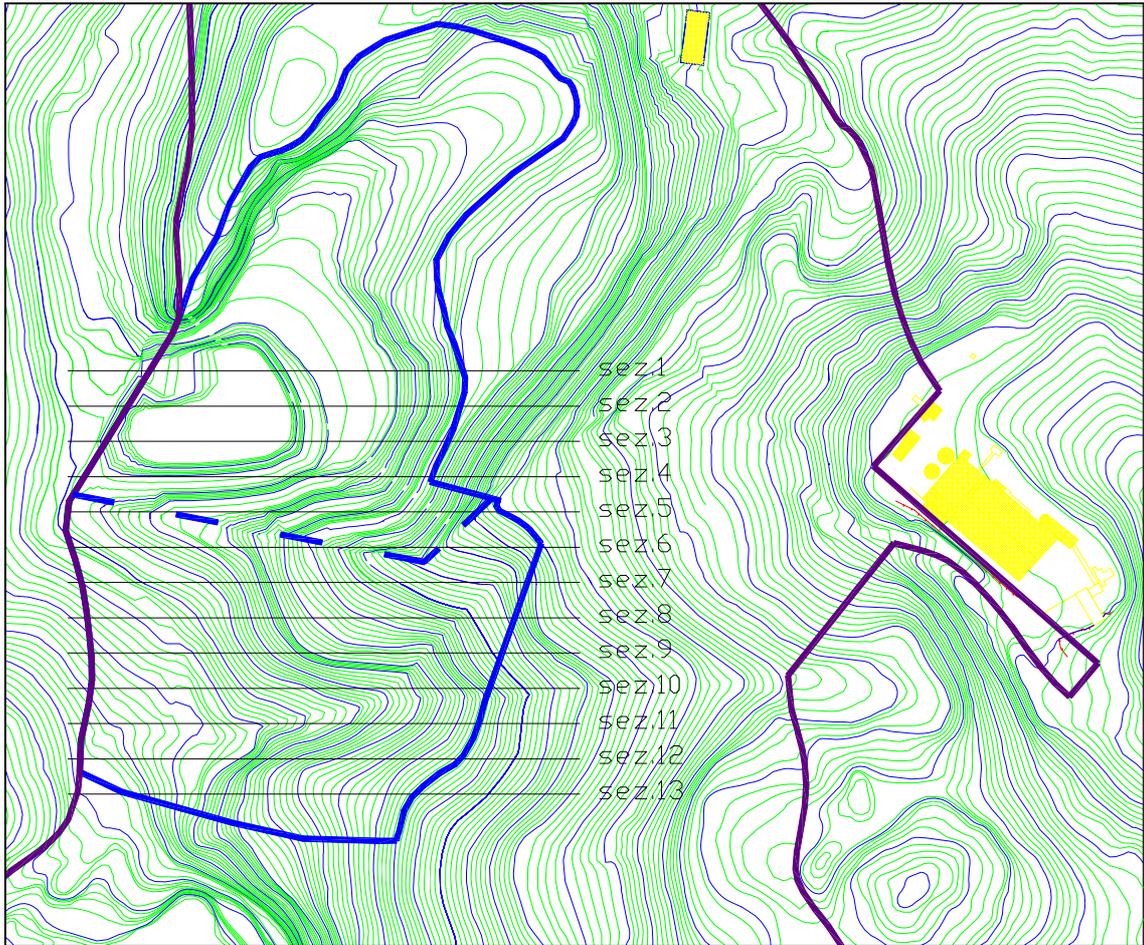
dove:  $V(A_i, A_{i+1})$  = volume tra due sezioni generiche;

$L_i$  = distanza tra due sezioni generiche;

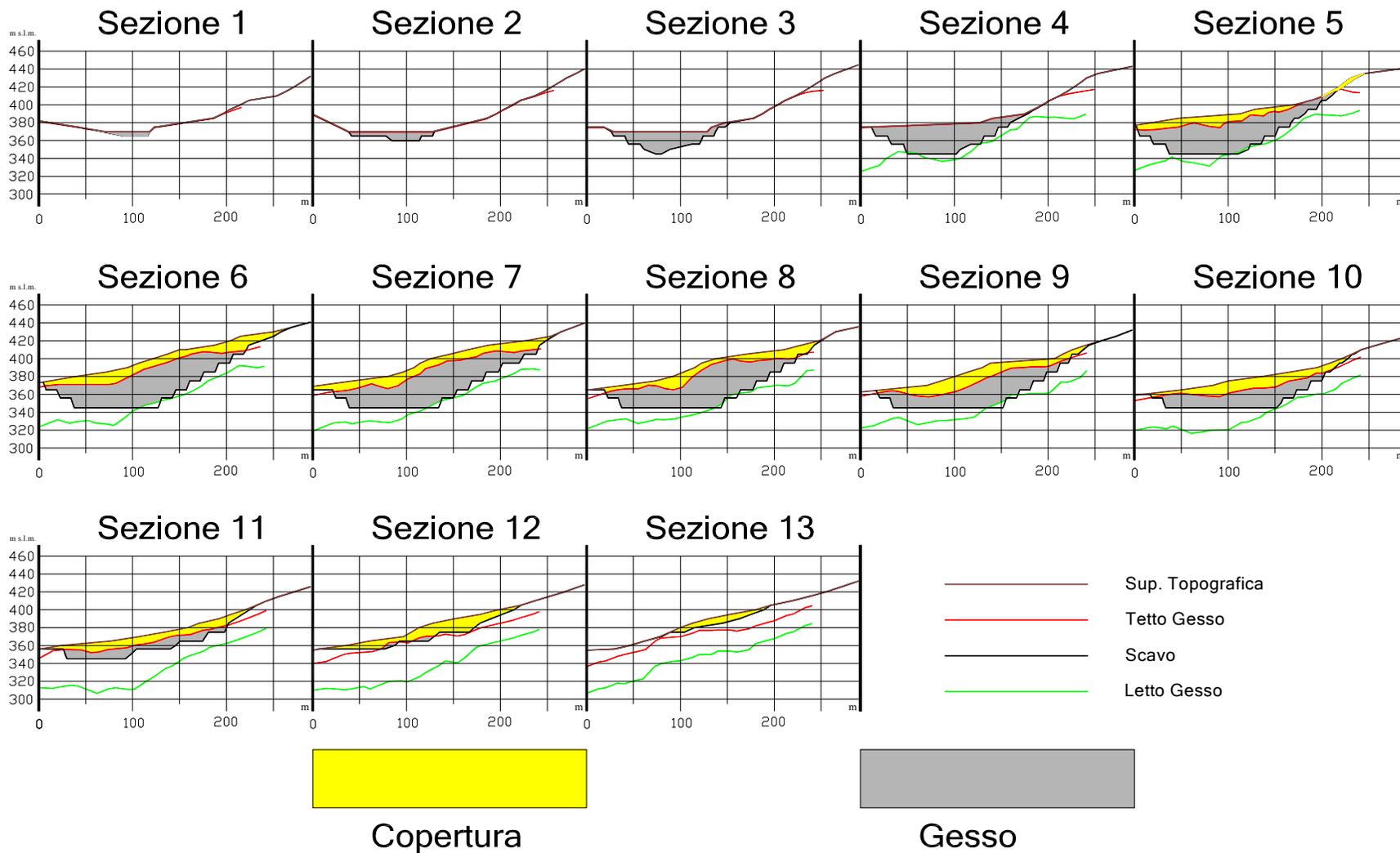
$A_i$  = area contenuta tra il profilo originario (stato iniziale) e il profilo ottenuto alla fine dello scavo (stato finale) della sezione  $A_i$ ;

$A_{i+1}$  = area contenuta tra il profilo originario (stato iniziale) e il profilo ottenuto alla fine dello scavo (stato finale) della sezione  $A_{i+1}$ .

Le stime sono basate su 13 sezioni parallele del lotto T2 (Figg. 3 e 4).

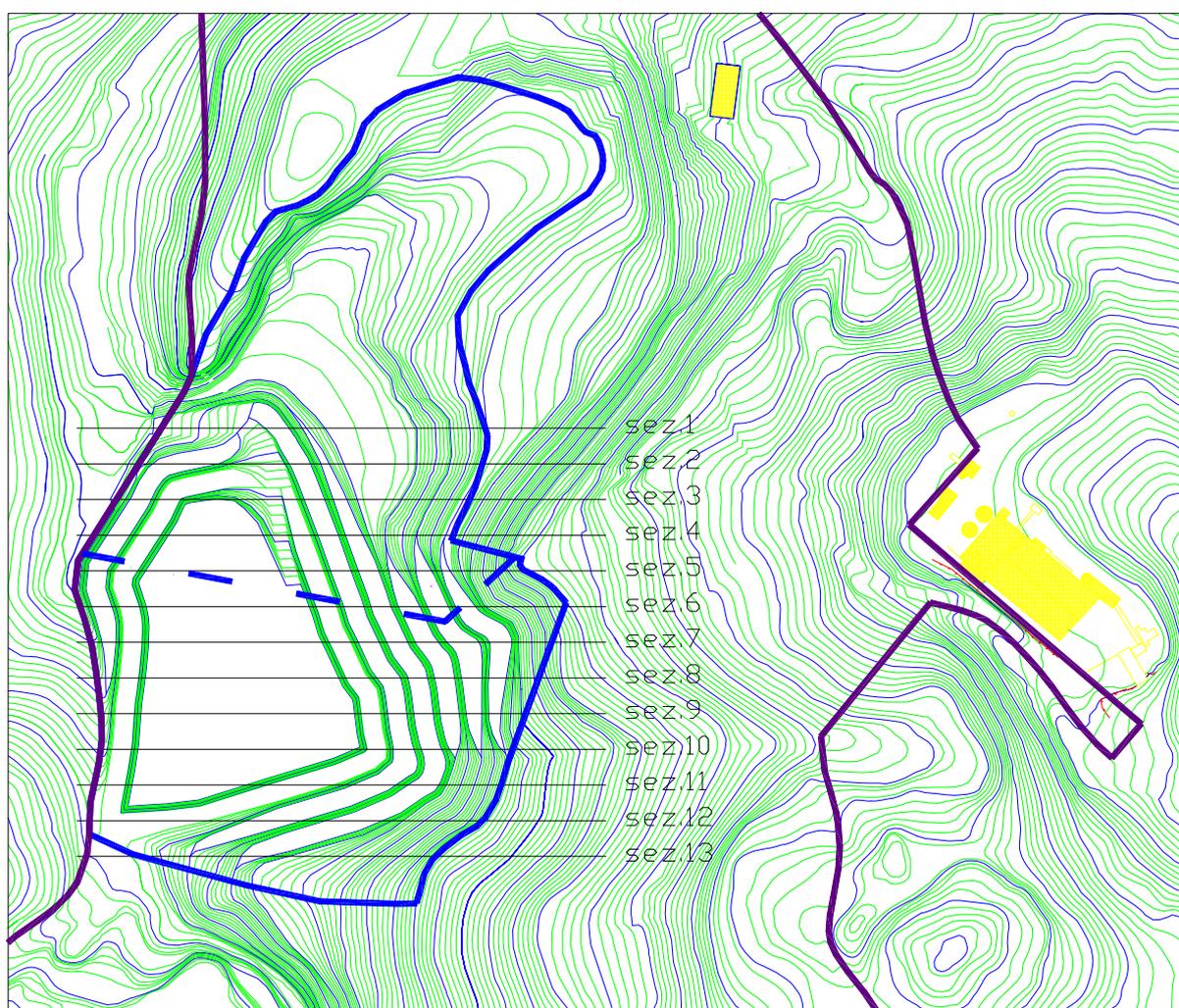


**Fig. 3** – Planimetria con le tracce delle sezioni nel lotto T2



**Fig.4** – Sezioni giacimentologiche del lotto T2

In Fig. 5 è riportata la planimetria dello scavo complessivo che sarà realizzato durante i 10 anni di attività estrattiva, sulla base della quale è stato calcolato il volume totale di materiale (copertura e giacimento) movimentato. La situazione rappresentata è il supporto morfologico per il calcolo dei volumi complessivi rimossi dalla posizione originaria ed è, quindi, del tutto teorica poiché la scoperta e l'estrazione di minerale dal giacimento saranno accompagnati, frequentemente, da rimodellamento dei fronti di scavo con apporto di volumi di sterile. L'estrazione di minerale produrrà anche sterili che saranno utilizzati per le operazioni di rimodellamento ambientale insieme alla copertura detritica. Durante le fasi della coltivazione, gli sterili in eccedenza saranno depositati in un'area del lotto T1 attualmente in fase di recupero.



**Fig. 5** – Planimetria dello scavo realizzato

La Tab. 1 fornisce i valori relativi ai volumi compresi tra le 13 sezioni (più 2 nulle, la prima

e l'ultima) e a quelli complessivi di copertura e di gesso calcolati con il "Metodo delle sezioni equivalenti".

	Area Copertura [m <sup>2</sup> ]	Area Gesso [m <sup>2</sup> ]	Distanza [m]	Vol. Copertura [m <sup>3</sup> ]	Vol. Gesso [m <sup>3</sup> ]
Sez 0	0	0			
Sez 1	0	170,62	20	0	1706,2
Sez 2	0	562,35	20	0	7329,7
Sez 3	0	1636,5	20	0	21988,5
Sez 4	0	3486,99	20	0	51234,9
Sez 5	1351,42	4783,82	20	13514,2	82708,1
Sez 6	2413,5	5411,15	20	37649,2	101949,7
Sez 7	2326,57	5375,43	20	47400,7	107865,8
Sez 8	1837,31	5176,78	20	41638,8	105522,1
Sez 9	2205,38	3789,94	20	40426,9	89667,2
Sez 10	1973,61	2753,01	20	41789,9	65429,5
Sez 11	1726,94	1468,69	20	37005,5	42217
Sez 12	1809,02	75,27	20	35359,6	15439,6
Sez 13	611,87	0	20	24208,9	752,7
Sez 14	0	0	20	6118,7	0
Totale				325112,4	693811

**Tab. 1** – Volumi complessivi di copertura e gesso

### 2.3 Metodo di coltivazione

Il progetto di coltivazione del giacimento di gesso Treschi/Gambassi ha una durata di 12 anni (10 anni di estrazione e 2 di completamento del rimodellamento ambientale) e si svilupperà nel lotto T2. Il progetto prevede una produzione flessibile, dipendente da fattori e parametri tecnico – economici associati alle peculiarità dei diversi fronti di abbattimento e sufficiente a garantire il fabbisogno degli impianti di trattamento (mediamente 59.000 m<sup>3</sup>/anno di gesso utile in banco).

Nell'area di cava di cui a questo progetto non esistono edifici o impianti industriali di alcun genere. Sono disponibili solamente

- macchine (dumper, pale, escavatore, perforatrice);

- collegamento stradale per il trasporto del minerale
- impianto di pompaggio per l'eduzione di acqua.

Nell'area di cava, ma al di fuori del lotto T2 sono presenti:

- capannone con magazzini rimessaggio, servizi per il personale

Nell'area industriale invece, asserviti alla cava, troviamo.

- Impianto di frantumazione primario e secondario
- Uffici e stabilimento di trasformazione

La fase dei lavori di preparazione prevede:

- eduzione di acqua dal livello più basso in caso di piogge
- l'ottimizzazione dell'organizzazione del cantiere;
- la realizzazione delle rampe d'accesso alla zona di cava;
- l'asportazione della copertura nei primi cantieri che entreranno in produzione.

Il progetto, in continuità con la passata attività estrattiva, conserva lo stesso metodo di coltivazione a gradoni multipli con splateamento.

L'abbattimento del gesso sarà effettuato con mine verticali disposte su una o più file. La produzione del gesso nell'orizzonte caotico sarà ottenuta con martello demolitore idraulico per la riduzione delle dimensioni dei massi gessosi inglobati.

Terminata l'estrazione e le operazioni di rimodellamento degli sterili, il fronte di ogni singolo gradone sarà inclinato di circa  $70^\circ$  e le pareti inviluppo dei fronti avranno una pendenza generale minore o uguale a  $35^\circ$  che assicura la stabilità del rimodellamento ambientale.

Il dimensionamento geomeccanico delle morfologie (gradoni e fronti generali) e le verifiche sono trattati nel paragrafo successivo.

L'accesso ai singoli gradoni sarà assicurato da un sistema di rampe realizzato durante la fase di preparazione del cantiere.

Per garantire un'utilizzazione continua dei mezzi di produzione, il fronte generale di cava sarà, generalmente, suddiviso quanto meno in due cantieri delimitati orizzontalmente; che realizzeranno distintamente la fase di abbattimento (perforazione, caricamento delle mine e sparo) e quella del disaggio e smarino.

Il progetto di volata adotta maglia di fori, geometria (diametro, profondità) e tipo di carica (diametro e tipo di esplosivo) idonei a conseguire il risultato ottimale in termini di

granulometria del prodotto mercantile e considera soluzioni che attenuano, fino a livelli minimi, le potenziali interferenze, negative con l'ambiente ed il territorio (proiezione materiali, rumore, vibrazioni).

## **2.4 Descrizione delle fasi di scavo**

Per soddisfare la richiesta dell'impianto di produzione, la cava dovrà estrarre, ogni anno, un volume di giacimento pari a circa 59.000 m<sup>3</sup>. Occorre considerare che solo l'85% del giacimento ha caratteristiche idonee per lo stabilimento; pertanto, tenendo conto che si è stimato un volume di giacimento pari a circa 694.000 m<sup>3</sup>, l'estrazione durerà 10 anni. Come già anticipato, il progetto prevede due ulteriori anni di attività per completare il ripristino ambientale e per il riordino di tutta l'area di cava.

Il volume in situ di copertura detritica misura circa 325.000 m<sup>3</sup>, mentre il 15% del giacimento, non idoneo per il ciclo produttivo dello stabilimento, ammonta a circa 104.000 m<sup>3</sup> in banco.

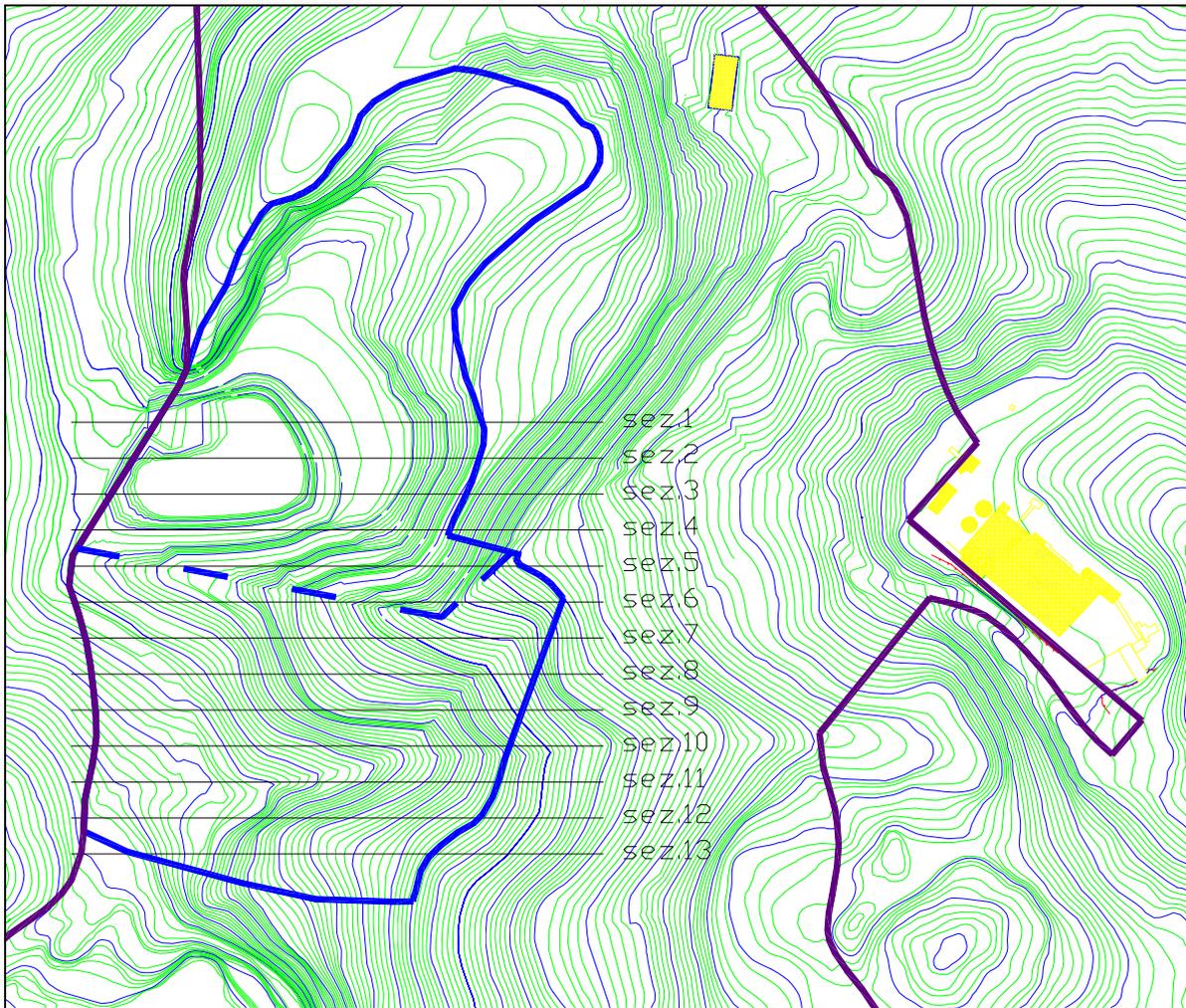
Considerando un fattore di rigonfiamento pari al 30% ed un successivo fattore di ricompattazione del 18%, si stima che possa essere riempito un vuoto minerario avente volume pari a circa 481.000 m<sup>3</sup>.

A partire dallo stato iniziale dell'area di cava (Fig. 13) sono state considerate le seguenti "fasi di coltivazione":

Fase 1: periodo temporale anni 0 ÷ 3;

Fase 2: periodo temporale anni 3 ÷ 6;

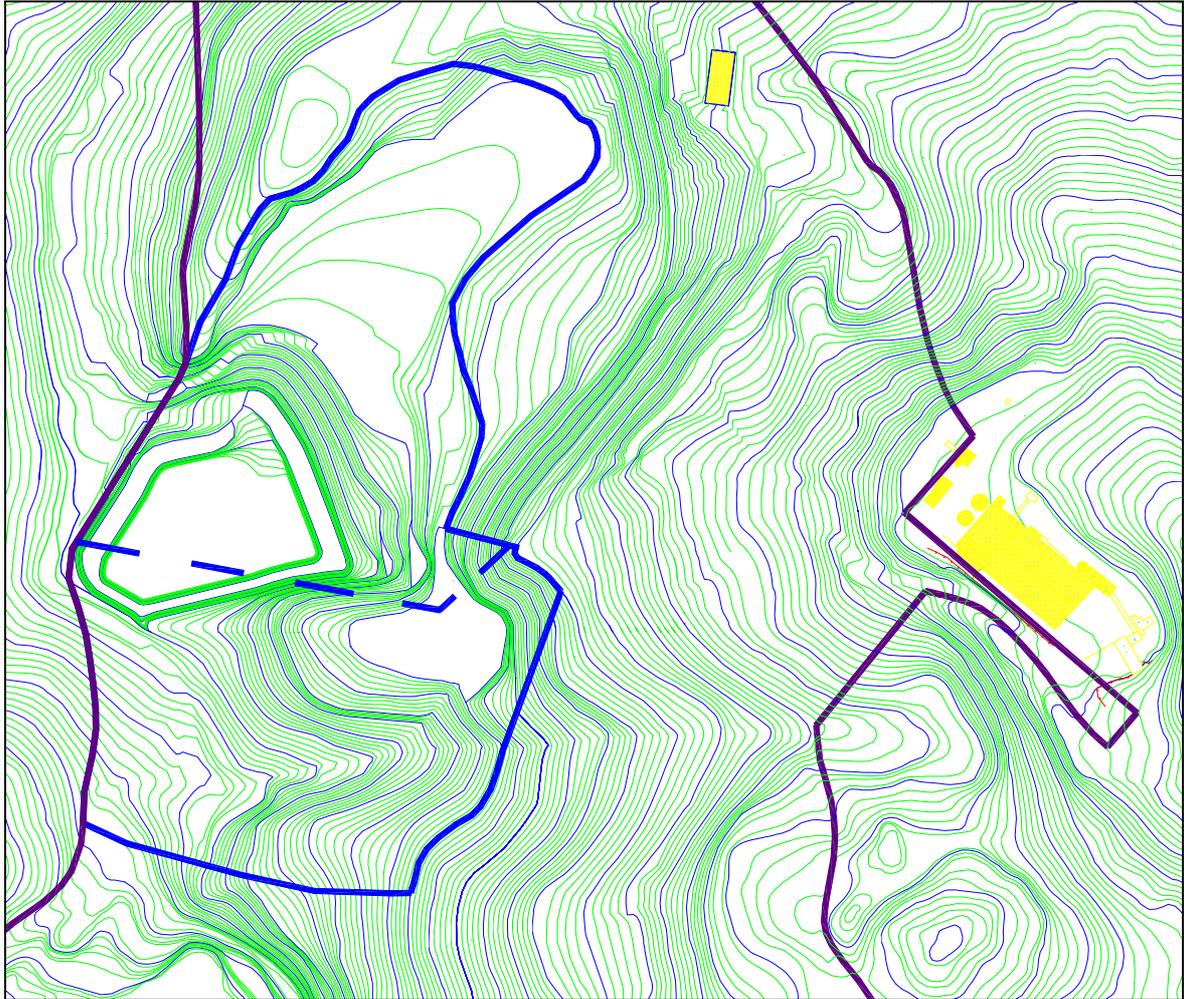
Fase 3: periodo temporale anni 6 ÷ 10.



**Fig. 13** – Situazione iniziale dell'area di cava

**Fase 1**

Durante la prima fase di coltivazione, la cui durata è compresa tra l'inizio del primo anno di coltivazione e la fine del terzo, si eseguirà l'approfondimento della fossa dal livello 366 m s.l.m. al livello 356 m s.l.m. , l'apertura e l'arretramento del gradone che è posto tra il livello 415 m s.l.m. e il livello 405 s.l.m. fino al profilo di rilascio e l'apertura dei due gradoni tra il livello 385 m s.l.m. e il livello 405 m s.l.m. (Fig. 14).



**Fig. 14** – Area cava al termine della Fase 1

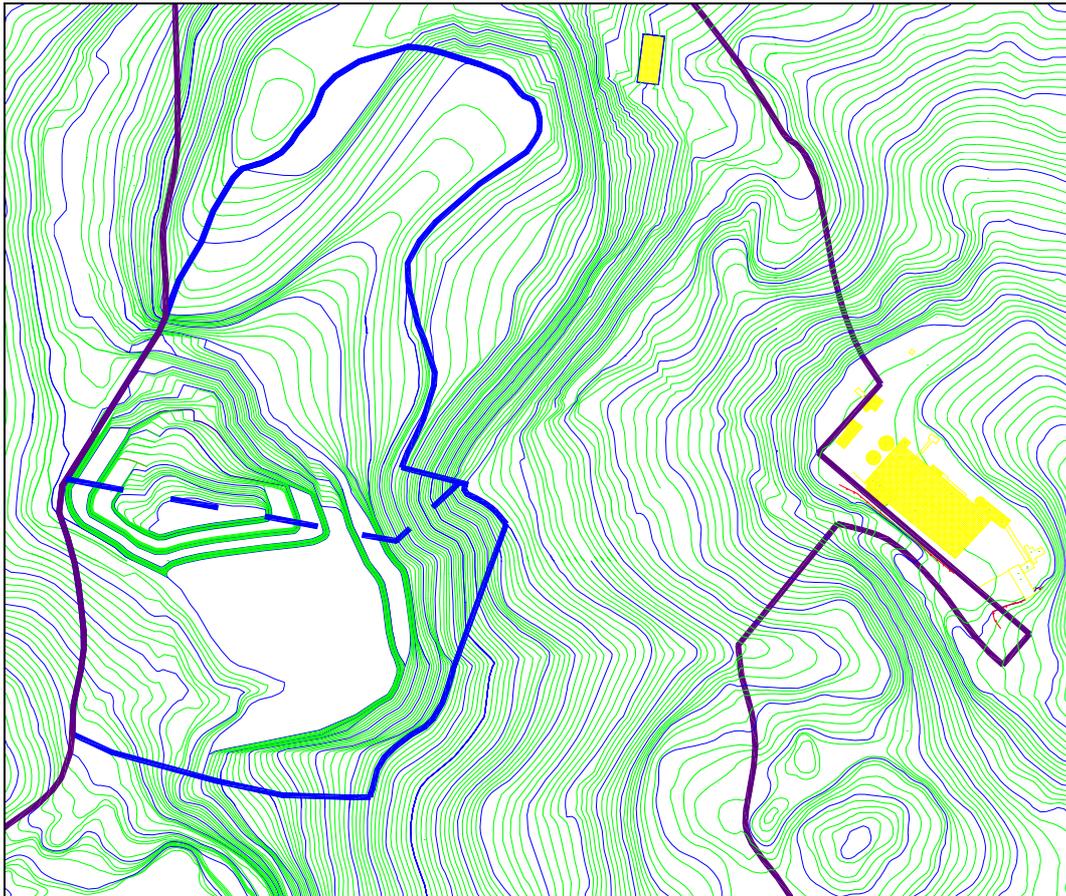
Saranno estratti dal lotto T2, portati al frantoio o messi in opera nel lotto T1 i seguenti volumi complessivi di:

- gesso totale (in banco): 204.653 m<sup>3</sup>;
- copertura (in banco): 104.112 m<sup>3</sup>;
- copertura (messo in opera): 116.605 m<sup>3</sup>;
- gesso di scarto (in banco): 30.697 m<sup>3</sup>;
- gesso di scarto (messo in opera): 34.381 m<sup>3</sup>.

Il volume totale di sterile rigonfiato e ricompattato trasportato dal lotto T2 al lotto T1 (vecchia cava) ammonta a 150.987 m<sup>3</sup>, mentre il volume di gesso utile in banco ammonta a 173.955 m<sup>3</sup> (330.514 t).

### **Fase 2**

Durante la Fase 2, che si estende dalla fine del terzo anno alla fine del sesto anno di coltivazione, si realizzerà l'approfondimento della fossa dal livello 356 m s.l.m. al livello 345 m s.l.m. , l'arretramento fino al profilo di rilascio dei gradoni posti tra il livello 375 m s.l.m. e il livello 405 m s.l.m. , con la conseguente formazione di una platea a quota 375 m s.l.m. (Fig. 15).



**Fig. 15** – Area cava al termine della Fase 2

Nel lotto T2, durante la Fase 2, saranno estratti, movimentati e messi in opera i seguenti volumi di:

- gesso totale (in banco): 211.773,6 m<sup>3</sup>;
- copertura (in banco): 108.547 m<sup>3</sup>;
- copertura (messa in opera): 121.572 m<sup>3</sup>;
- gesso di scarto (in banco): 31.766 m<sup>3</sup>;
- gesso di scarto (messo in opera): 35.577 m<sup>3</sup>.

Il volume totale rigonfiato messo in opera per la ricomposizione morfologica ammonta a 157.150 m<sup>3</sup> (di cui 149.215 m<sup>3</sup> depositati nel lotto T1), mentre il volume di gesso utile in banco ammonta a 180.007 m<sup>3</sup> (342.014 t).

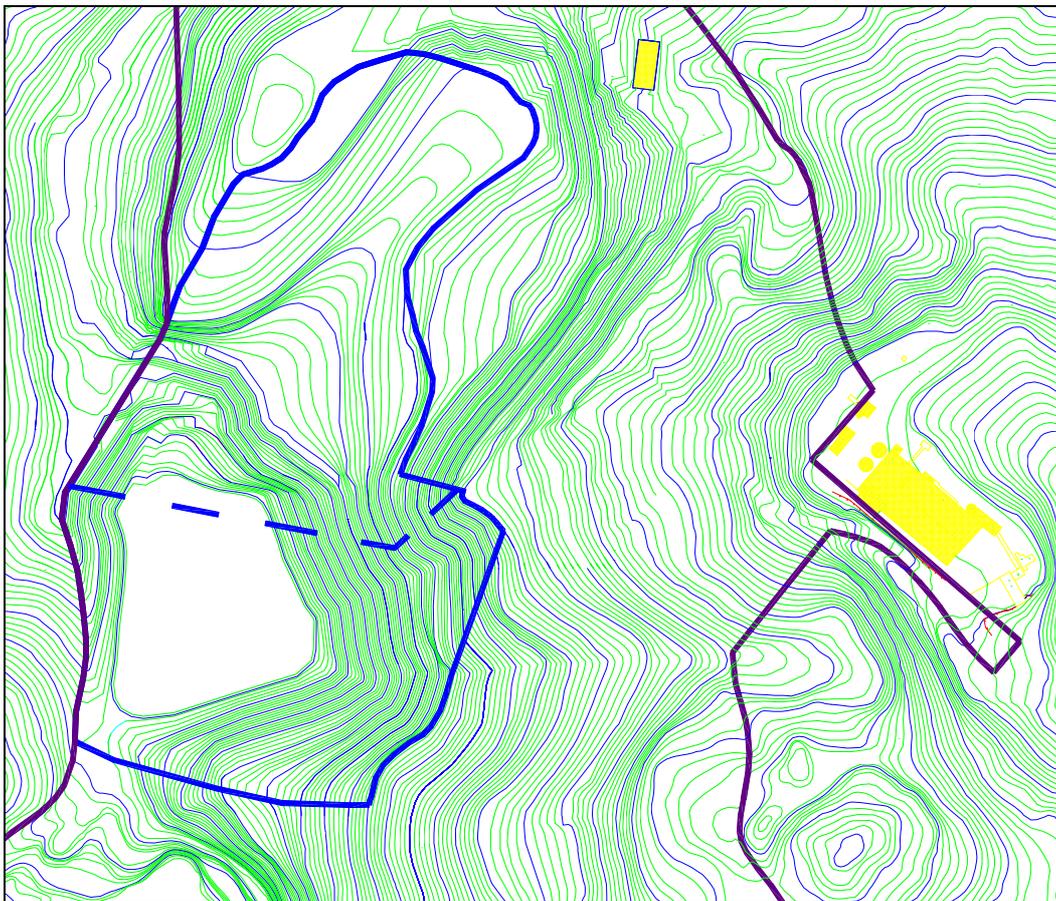
### **Fase 3**

Durante la Fase 3, che si estende dalla fine del sesto anno alla fine del decimo anno di coltivazione, si realizzerà l'ampliamento della fossa e l'arretramento dei restanti gradoni fino al profilo di rilascio (Fig. 16).

Tale fase coinvolgerà i seguenti volumi di:

- gesso totale (in banco): 277.384 m<sup>3</sup>;
- copertura (in banco): 112.453 m<sup>3</sup>;
- copertura (messa in opera): 125.947 m<sup>3</sup>;
- gesso di scarto (in banco): 41.607 m<sup>3</sup>;
- gesso di scarto (messo in opera): 46.600 m<sup>3</sup>;

Il volume totale rigonfiato messo in opera per la ricomposizione morfologica ammonta a 172.548 m<sup>3</sup> mentre il volume di gesso utile in banco ammonta a 235.776 m<sup>3</sup> (447.975 t).



**Fig. 16** – Area cava al termine della Fase 3

Il progetto prevede che, terminata la Fase 3, siano necessari due ulteriori anni per completare gli interventi di recupero morfologico; la durata complessiva dell'attività mineraria è pari a 12 anni.

## **2.5 Tecniche di Abbattimento**

Per la rimozione della copertura sarà utilizzato un escavatore a braccio, con benna rovescia, associato ad una pala cingolata. L'abbattimento in cava sarà realizzato con la tecnica della perforazione e sparo (drill & blast). Per la scelta dei parametri di progetto (tipo di esplosivo ed innesco, diametro e maglia dei fori, quantità di esplosivo, ecc.) si è fatto ampio riferimento alla decennale esperienza nei cantieri delle cave Treschi.

Il progetto ha dimensionato la volata (scelta della carica di esplosivo, calcolo del consumo specifico, dimensionamento della maglia, ecc...), analizzato l'entità degli effetti residui che potrebbero essere indotti sull'ambiente circostante dall'esplosione delle cariche di produzione ed indica gli accorgimenti da adottare in cantiere al fine di una minimizzazione gli stessi.

I principali effetti indesiderati sull'ambiente circostante legati all'impiego di cariche esplosive sono essenzialmente riconducibili a:

- proiezione di materiale;
- sovra-pressioni in aria (rumore);
- vibrazioni del terreno.

Per la riduzione dei blocchi fuori misura (non accettabili dall'impianto di frantumazione primaria in stabilimento) si farà ricorso a martelli demolitori idraulici.

Nei paragrafi che seguono si descrive il disegno della volata, il calcolo della densità d'esplosivo occorrente e l'analisi delle vibrazioni indotte, che debbono essere contenute per non dare luogo a danni dei manufatti adiacenti all'area estrattiva, delle sovra-pressioni in aria; delle proiezioni di frammenti di roccia;

### **2.5.1 Calcolo della volata**

È stata calcolata la minima quantità complessiva ( $\text{g/m}^3$ ) di carica e la maglia dei fori necessarie per ottenere un prodotto con grado di frantumazione accettabile per i processi industriali a valle della cava. Occorre considerare che, una frantumazione troppo spinta non è accettata dallo stabilimento e fa aumentare il grado di inquinamento del minerale utile. Un

prodotto costituito da grossi blocchi incide sull'economia del processo minerario a causa dei successivi interventi di frantumazione.

Com'è noto, i processi dinamici di frantumazione poggiano sul fenomeno della riflessione dell'onda incidente (onda di compressione) prodotta dalla diminuzione del valore dell'impedenza acustica al passaggio dal massiccio roccioso all'aria. Tale riflessione si genera in corrispondenza del fronte del gradone (superficie libera) e l'onda riflessa (che è un'onda di trazione) produce la rottura del materiale per superamento della resistenza a trazione del gesso.

Pertanto, stabilita la geometria del gradone (altezza ed inclinazione), il diametro dei fori (e quindi quello della carica, ovverosia la quantità di esplosivo) si calcola la distanza efficace tra le cariche e la superficie libera e la distanza tra i fori.

Per la determinazione dei parametri della volata (Langefors<sup>1</sup>) si è fatto riferimento ad una perforazione a maglia quadrata o rettangolare e si è basato il dimensionamento della carica specifica di esplosivo e della spalla sui parametri caratteristici della roccia, dell'esplosivo, del grado di contenimento della carica, dell'interazione tra parametri della roccia e dell'esplosivo e del grado di frantumazione richiesto dall'abbattimento.

### 2.5.2 Parametri della roccia e dell'esplosivo e disegno della volata

Si riportano, qui di seguito, le principali caratteristiche del massiccio di gesso e degli esplosivi utili per calcolare la carica specifica  $c$  e la spalla  $V$ .

<b>Caratteristiche del Gesso</b>	
Impedenza acustica ( $\text{kg/m}^2 \times \text{s}$ )	$5,75 \times 10^6$
Energia superficiale specifica di frantumazione ( $\text{MJ/m}^2$ ) $\epsilon_{ss}$	$1,1 \times 10^{-3}$
Dimensione massima abbattuto (m)	0,6 -0,7
Massa riferita all'unità di volume ( $\text{kg/m}^3$ )	1900
Velocità del suono nel mezzo (m/s)	2500

**Tab. 4** – Caratteristiche della roccia

<sup>1</sup> The Modern Technique of Rock Blasting by U. Langefors and B. Kihlström

Gli esplosivi che generalmente saranno impiegati per la carica distribuita lungo il foro e per la carica di fondo hanno valori delle caratteristiche riconducibili a quelli degli esplosivi attualmente utilizzati nella cava in esercizio della Knauf: In altri termini, in cava saranno acquistati esplosivi fabbricati da diversi produttori ma sostanzialmente simili sotto il profilo delle caratteristiche chimico – fisiche:

**Carica di colonna** (esplosivo tipo ANFO o pulverulento)

Massa volumica:  $>0,75 \text{ kg/dm}^3$

Energia specifica: 3,11 MJ/kg

Pressione specifica:  $> 783$

Velocità di detonazione:  $>2600 \text{ m/s}$

Strength: 70%

**Carica di fondo** (esplosivo tipo slurry o gelatinati)

Massa volumica:  $1,15 \div 1,30 \text{ kg/dm}^3$

Energia specifica: 4,09 MJ/kg

Pressione specifica: 872 MPa

Velocità di detonazione:  $>5000 \text{ m/s}$

Strength: 81%

La volata è stata dimensionata considerando:

- lo strength della carica di fondo (81%);
- il diametro dello scalpello della perforatrice in dotazione. A partire da tale valore ( $\emptyset = 80 \text{ mm}$ ) è stata stabilita la larghezza della spalla;
- il diametro a fondo foro è uguale a quello dello scalpello di perforazione;
- Rock Factor del Gesso pari a 1.

L'abaco di Fig. 17 rappresenta graficamente la formula di Langfors e fornisce per la spalla il valore di 2 m.

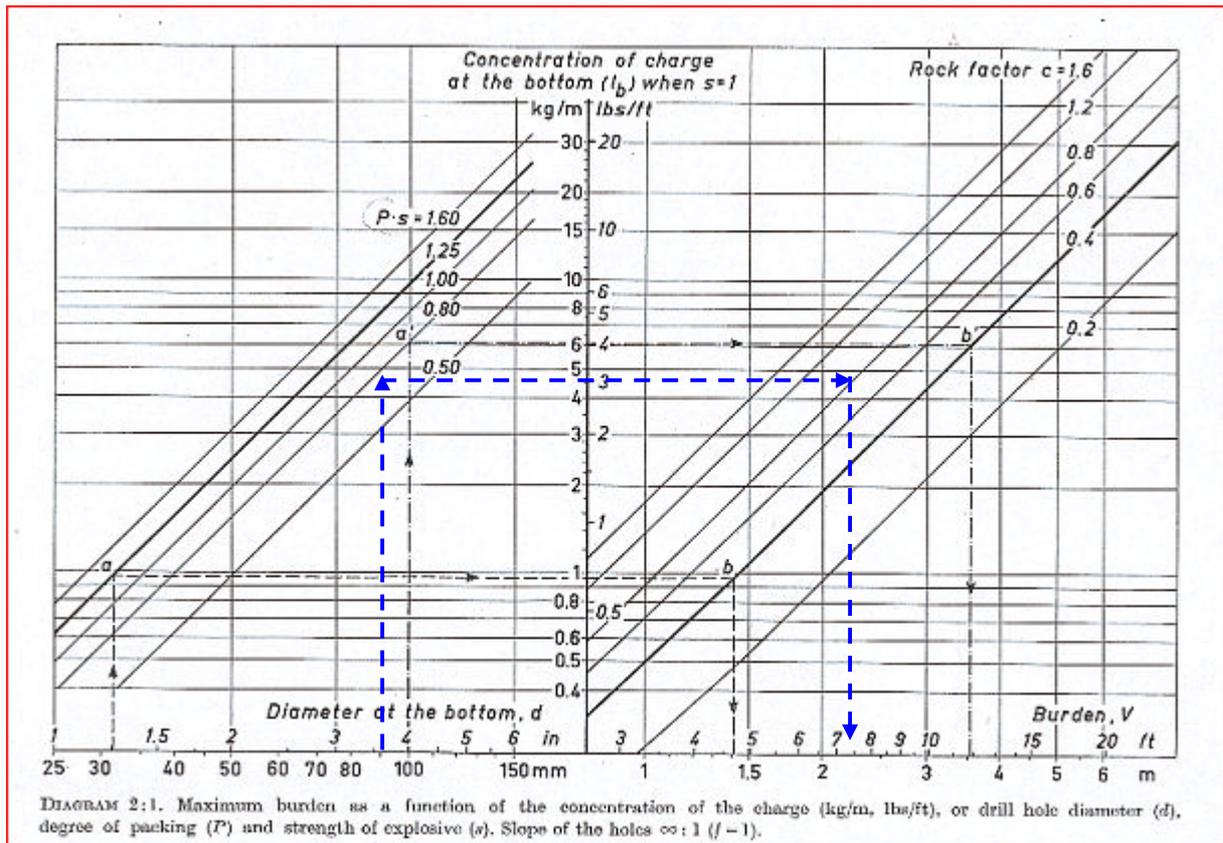


Fig. 17 – Abaco per il calcolo della spalla

Adottando un interesse tra i fori pari a

$$E = 1,3 V$$

il volume totale di materiale abbattuto da ogni foro è pari a:

$$\text{Volume} = K * E * V = K * 1,3 V * V = 52 \text{ m}^3$$

Con fronti inclinati di 70°, i fori da mina saranno lunghi:

$$L = L' + L'' = \frac{K}{\text{sen}(70)} + \frac{V}{\text{tg}(70)}$$

dove  $L''$  = sottoperforazione.

Per altezze medie dei gradoni pari a  $K = 10 \text{ m}$ , la lunghezza dei fori è pari a:

$$L = 10,63 + 0,84 \cong 11,5 \text{ m}$$

La carica specifica ( $\text{kg/m}^3$ ) si ottiene a partire dalla dimensione media del blocco che si vuole ottenere. La bocca del frantoio ha un'apertura quadrata di lato 0,7 m e, pertanto, si impone che il prodotto della volata abbia una dimensione media pari a:

$$L = 0,4 \text{ m}$$

La carica specifica, calcolata su base empirica, ammonta a circa:

$$q = 190 + \frac{24}{\frac{3}{L^2}} + \frac{2.7}{\frac{3}{L^2}} \Rightarrow q = 0,295 \text{ kg/m}^3$$

Sulla base dei valori V e q, la quantità di carica totale per foro è:

$$Q_{\text{tot}} = q * \text{Vol} = 15,3 \text{ kg}$$

L'abaco di Fig. 18 rappresenta graficamente l'approccio di Langefors per il calcolo della carica di fondo, ottenuta imponendo la spalla di 2 m.

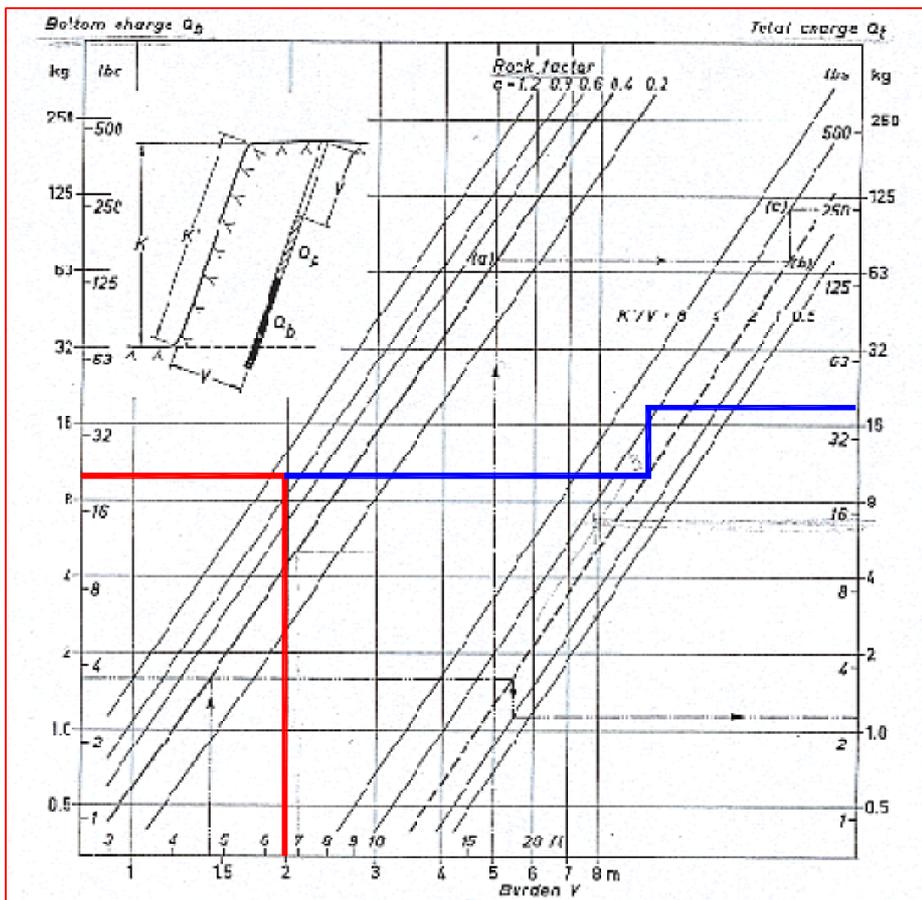


Fig. 18 – Dimensionamento della carica di fondo

Di seguito sono forniti i valori calcolati della carica di fondo e della carica di colonna

Carica di fondo:  $Q_b = 9,63 \text{ kg}$

Carica di colonna:  $Q_c = 15,3 - 9,63 = 5,67 \text{ kg}$

La distribuzione della carica nel foro è pertanto la seguente:

- Borraggio (con lunghezza uguale alla spalla):  $B = 2 \text{ m}$ ;

- Lunghezza carica di fondo:  $V = V + 0,3 V = 2,6 \text{ m}$ ;
- Lunghezza carica di colonna:  $L - 2 V - 0,3 V = 6,9 \text{ m}$ .

I valori delle quantità di carica corrispondono ai seguenti prodotti commerciali:

- Carica di fondo: 4 cartucce 70 x 500; peso-cartuccia: 2270 g circa.
- Carica di colonna: 4 cartucce in confezioni tubolari di politene 70 x 500; peso-cartuccia 1665 g circa.

Considerando che si effettuerà 1 volata/settimana per abbattere  $1000 \text{ m}^3$  di gesso, il numero di fori necessario alla realizzazione della volata è il seguente:

$$N^{\circ} \text{ fori} = \frac{1000}{52} \cong 19$$

Per l'intera volata sono, pertanto, necessarie 76 cartucce dell'esplosivo scelto per la carica di fondo, ed un numero uguale di cartucce per la carica di colonna.

### 2.5.3 Detonatori

Per ridurre la carica che detona nello stesso istante e per ottimizzare la granulometria della volata occorre utilizzare detonatori con differenti numero di ritardo. Nelle cave Treschi si sono utilizzati detonatori elettrici a bassa intensità di cui si riportano caratteristiche tipiche tra quelli commerciali (Tab. 5).

Ritardi	[ms]	Istantaneo, 30, 250
Resistenza alla trazione del reoforo in Fe	[kg]	10
Resistenza elettrica	[ohm/m]	0.40
Intensità di corrente che non provoca accensione con passaggio fino a 5 minuti	[A]	0.18
Intensità di corrente che provoca accensione con passaggio per meno di 0.01 s	[A]	0.8
Non si ha accensione con un impulso di	[mWs/ohm]	0.8
Si ha accensione con un impulso di	[mWs/ohm]	3
Resistenza elettrica del ponticello della testina	[ohm]	1.4 - 1.7
Intensità di corrente necessaria per l'accensione in serie	[A]	1.2
Isolamento dei conduttori	[kV]	5

Potenza esplosiva		8 SI
Stabilità alla temperatura	°C	Fino a 100
Resistenza alla pressione idrostatica fino a 20 metri	[h]	24

**Tab. 5** – Caratteristiche dei detonatori

#### **2.5.4 Vibrazioni indotte dall'esplosivo ed effetti connessi**

Una parte dell'energia di detonazione è trasmessa al terreno dando luogo a fenomeni vibratorii. La quantità d'esplosivo, la distanza tra sorgente ed elemento sensibile, il fenomeno vibratorio (onde P, onde superficiali, ecc.) e le caratteristiche delle formazioni interessate dal passaggio di energia costituiscono i fattori che maggiormente influenzano l'intensità delle vibrazioni.

Il rischio di danni a manufatti o a strutture naturali è correlato ai fattori considerati ed ai parametri che definiscono l'intensità del fenomeno vibratorio (frequenza, accelerazione, velocità). Generalmente il parametro più utilizzato per progettare la volata in sicurezza è la velocità di vibrazione delle particelle (mm/s). La letteratura specialistica internazionale è ricca di tabelle con i limiti imposti dalle norme dei diversi Paesi.

Ad esempio, la normativa della Germania Occidentale (Fig. 18) fissa limiti di velocità della vibrazione delle particelle diversificati a seconda del punto di misura nell'edificio da tutelare, del tipo di costruzione e della frequenza del fenomeno ondulatorio. La frequenza incide notevolmente sulle conseguenze prodotte alle strutture. Conseguentemente, alle basse frequenze (inferiori a 10 Hz), le Norme tedesche ammettono valori di velocità inferiori rispetto a quelli validi per le alte frequenze.

Il movimento delle particelle è il risultato della sovrapposizione di moti armonici semplici diversi per frequenza. Nell'analisi dei fenomeni, si considera la frequenza principale o predominante, che è quella associata alle oscillazioni di maggiore ampiezza, dipendente soprattutto dalle caratteristiche della roccia, sia in corrispondenza dell'esplosione, sia nella zona sotto controllo strumentale. In terreni incoerenti (specie se impregnati d'acqua), le vibrazioni sono caratterizzate da bassa frequenza, in roccia compatta prevalgono le vibrazioni ad alta frequenza. All'aumentare della distanza dal punto di scoppio la frequenza del fenomeno diminuisce perché il terreno assorbe le componenti a frequenza più alta; in altri termini, le componenti a più alta frequenza si attenuano più rapidamente.

L'Italia non ha adottato norme di sicurezza in relazione ai fenomeni vibratorii indotti da

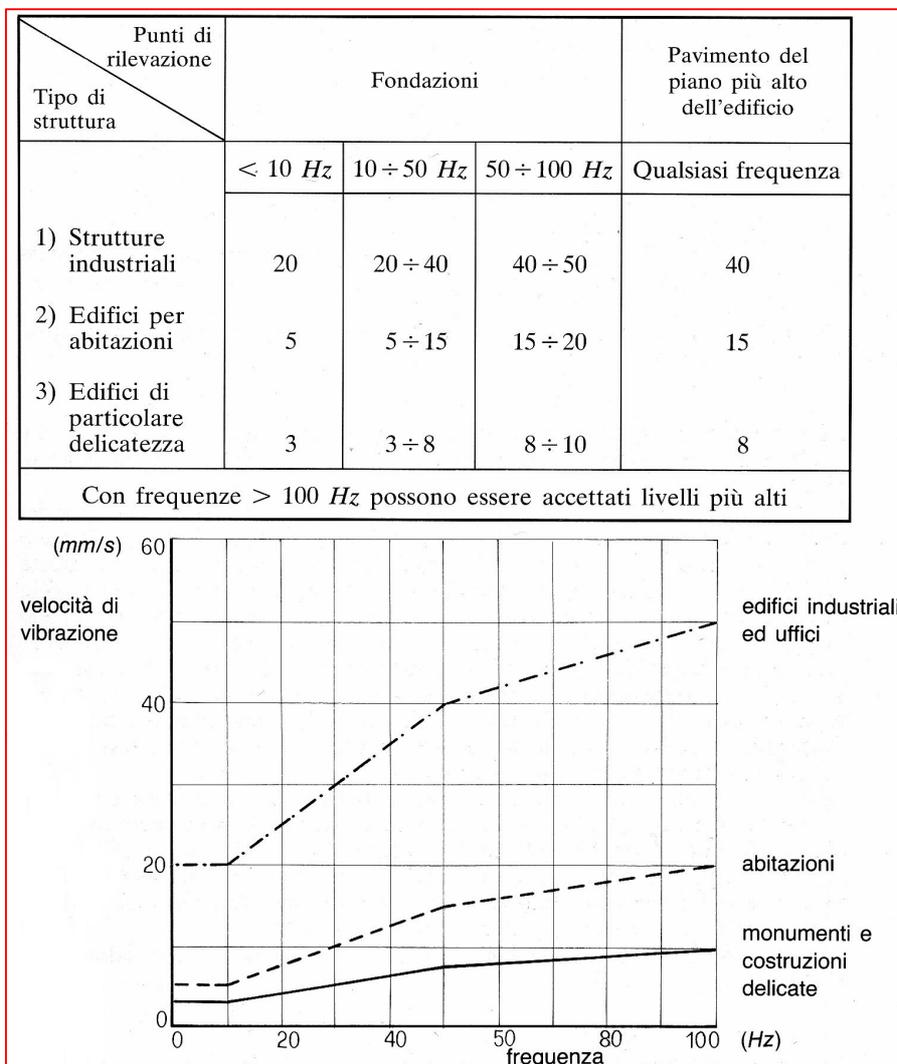
volate, pertanto si è deve ricorrere a normative estere.

Nel caso della volata in esame si è fatto riferimento ai valori di soglia imposti dalla normativa della Germania Occidentale (Fig. 18) poiché, per le grandezze in esame (Frequenza < 10 Hz) tali valori sono tra i più restrittivi.

Una formula empirica proposta per la valutazione della frequenza principale è la seguente:

$$f = (Kf \text{ Log } R)^{-1}$$

dove Kf rappresenta l'influenza delle caratteristiche del terreno sulla riduzione della frequenza ed R la distanza dal punto di esplosione.



**Fig. 18** – Valori limite della velocità di vibrazione (mm/s) per diversi tipi di costruzione in funzione della frequenza e del punto di misura DIN STANDARD 4150 (Germania Occidentale, 1983)

Il parametro  $K_f$  può assumere i seguenti valori (Tab. 6):

TIPO DI TERRENO	$K_f$
Sabbie e ghiaie impregnate di acqua	0,11 ÷ 0,13
Alluvioni di media compattezza	0,06 ÷ 0,09
Rocce dure e compatte	0,01 ÷ 0,03

**Tab. 6** – Valori tipici del parametro  $K_f$  in funzione dei tipi di terreno

In letteratura sono anche riportati i valori tipici della frequenza (Tab. 7):

TIPO DI TERRENO	FREQUENZA
Copertura detritica di elevato spessore	4 - 10 Hz
Copertura detritica media	10 - 20 Hz
Affioramento di roccia compatta	20 - 80 Hz

**Tab. 7** – Valori tipici della frequenza in funzione del terreno

Le rocce, rispetto ai fenomeni dinamici in esame, si comportano quasi elasticamente, assorbono meno energia e trasmettono vibrazioni con frequenza maggiore di quella che caratterizza la vibrazione delle particelle nei terreni sciolti.

Nel caso del progetto per la cava Treschi, la valutazione ha preso in considerazione le condizioni più gravose, sotto il profilo topografico e geologico. Infatti, si considera la distanza minima tra sorgente ed elemento sensibile da tutelare (si ipotizza il punto di scoppio in prossimità del confine della cava, sul lato più vicino, in linea d'aria, al manufatto da salvaguardare). Si considera, inoltre, che il mezzo di propagazione dell'onda sia costituito solo da terreno di copertura, dove le vibrazioni presentano frequenze molto basse  $< 10$  Hz.

Con la precedente relazione empirica si calcola la frequenza principale, funzione a sua volta della distanza media  $R$  tra il punto in cui si prevede di effettuare la volata e la stazione di misura.

Le vibrazioni attese sono state ipotizzate per due diverse situazioni:

1. un edificio di civile abitazione situato a 750 m di distanza dal confine Est dell'area di cava;
2. lo stabilimento Knauf situato a 150 metri di distanza dal confine Est dell'area di cava;

I due manufatti sono ubicati su un terreno costituito da una copertura detritica per il quale si assume un valore del parametro  $K_f = 0,08$ .

Ricordando che  $f = (K_f \text{ Log } R)^{-1}$ , si hanno i seguenti valori :

$$\begin{array}{lll} K_f = 0,08 & R = 750 \text{ m} & f = 4,34 \text{ Hz} \\ K_f = 0,08 & R = 150 \text{ m} & f = 5,34 \text{ Hz} \end{array}$$

Conseguentemente, secondo la Normativa Tedesca (Fig. 18) la velocità massima delle particelle non deve superare i seguenti limiti di soglia:

- 5 mm/s per l'edificio di civile abitazione;
- 20 mm/s per lo stabilimento Knauf.

Come è noto e come è già stato ricordato, i parametri di picco delle vibrazioni dipendono:

- a) dalla quantità (q) di carica che detona istantaneamente;
- b) dalla distanza sorgente – elemento sensibile

secondo le relazioni:

$$s, v, a = k * q^m * d^{-n}$$

ove:

k è l'intercetta;

m è l'esponente della quantità di esplosivo;

n è l'esponente di attenuazione.

Q è la carica singola oppure è la carica per ritardo più elevata.

Le relazioni sulla fenomenologia sismica possono essere anche di diverso tipo:

$$v = k * q^m * d^{-n} * e^{-k_0 d}$$

In generale sono del tipo precedente scritto nel seguente modo:

$$v = k * \left( \frac{d}{m} \right)^{-n} q^n$$

che, semplificata assume la forma:

$$v = k * \left( \frac{d}{q^p} \right)^{-n}$$

ove:

$$\left( \frac{d}{q^p} \right)^{-n} = D_s$$

$D_s$  è la distanza scalata, mentre p è l'esponente della carica che generalmente si pone pari a

0,5 oppure 0,33. Pertanto la relazione può essere scritta nel seguente modo:

$$v = k * (D_s)^{-n}$$

che è la relazione di più largo impiego. I valori di k ed n dipendono dal tipo di sparo, dal tipo di esplosivo, dalla formazione interessata dal fenomeno, dal tipo di fenomeno, ecc.

In tutti i casi è possibile per varie condizioni di esplosioni e fenomenologie sismiche, proporre relazioni che consentono, in mancanza di misure, una stima di quanto atteso. Ad esempio, un'ampia campagna d'indagini ha permesso di ottenere la seguente relazione statistica per spari in cava.

$$v = 726 * (D_s)^{-1,6}$$

Questa relazione rappresenta il limite al di sotto del quale ricade il 95% dei valori misurati. Imponendo il valore di soglia per la velocità di picco (cm/s) e la distanza di ciascuno dei manufatti si ottiene la carica massima che può detonare istantaneamente.

### **2.5.5 Proiezione di materiale**

Il lancio di materiale a distanza di rischio è causato da errori di:

- progetto
- esecuzione del progetto
- perforazione
- caricamento

oppure da:

geometria del fronte

carsismo

vuoti

fratture

In ogni caso è sempre legato ad una ridotta spalla di abbattimento in relazione alla carica di esplosivo (o al diametro del foro).

In rari casi il lancio può essere determinato da cariche superficiali o da cariche molto vicine alla superficie.

Tali evenienze possono essere anche legate all'uso improprio di cariche cave o a scoppi accidentali ma, in generale, si ha sempre a che fare con cariche in foro. In questo caso la massima distanza di lancio è data dalla seguente relazione:

$$D \text{ (m)} = 140 \cdot \Phi \text{ (cm)}^{0,67}$$

ed il diametro del masso è dato da:

$$d = 0,054 \cdot \Phi \text{ (cm)}^{0,67}$$

Esistono regole pratiche ed accorgimenti adottabili in cantiere che consentono di contenere quanto più possibile il rischio:

a) Regolarità del fronte di scavo

La direzione preferenziale per la proiezione del materiale è quella perpendicolare al fronte. Nel caso in cui il fronte di scavo presenti un profilo irregolare possono verificarsi proiezioni di materiale corrispondenti ai punti in cui la spalla è ridotta.

b) Controllo della deviazione dei fori

Un'altra possibile causa di proiezioni di materiale è la eccessiva deviazione del foro. E' necessario pertanto controllare la deviazione durante la fase di perforazione anche se questa è soggetta a molte variabili (struttura geologica, altezza del fronte, attrezzatura di perforazione adottata).

c) Caricamento del foro

L'operazione di caricamento del foro eseguita in maniera corretta è indispensabile per il controllo della proiezione di materiale. È necessario, in generale, che il foro non sia sovraccaricato e che si adotti una lunghezza di borraggio sufficiente (valore ottimale compreso tra 50 e 100 % del valore della spalla), al fine di evitare proiezioni verticali.

d) Organizzazione della sequenza di sparo

È necessario studiare bene la geometria della volata e la distribuzione dei tempi di ritardo delle singole cariche. Nel caso di intervalli di ritardo troppo brevi, l'abbattimento determinato dalle cariche iniziali può non essere sufficiente ed ostacolare il lavoro di quelle successive. Nel caso di intervalli troppo lunghi, invece, il materiale abbattuto può costituire un ostacolo per la superficie libera e provocare proiezioni verticali del materiale.

## 2.5.6 Sovrappressioni in aria

Il fenomeno, che si manifesta sotto forma di rumore, è caratterizzato dai seguenti parametri fondamentali:

- pressione,  $p$  (Pa);

- impulso,  $I$  ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ );
- durata,  $t$  (s).

Tali parametri dipendono da:

- quantità di esplosivo,  $q$ (kg) o energia,  $e$  (J);
- tipo di esplosivo e simmetria della carica (sferica, cilindrica);
- confinamento della carica
  - carica libera,  $q$
  - carica sul terreno  $q_t = 1,5 - 2q$
  - carica confinata in foro,  $q_f = kq$  con  $k < 1$
- distanza,  $d$ (m)
- condizioni ambientali (pressione  $p_0$  e temperatura  $t_0$  dell'aria in funzione dell'altezza dal suolo; velocità e direzione del vento.  $A_0$  è la velocità del suono in aria):

Numerose relazioni, basate su modelli teorici e su risultati sperimentali permettono di stimare i parametri del rumore ed i danni associati in funzione della quantità di carica e degli altri fattori condizionanti.

## 2.6 Organizzazione del Cantiere

La produzione in cava segue la seguente sequenza.

- 1) Perforazione dei fori da mina. L'abbattimento è realizzato con fori subverticali ( $70^\circ$ ) aventi diametro di 80 mm. la loro dimensione e la maglia dipendono non solo da esigenze di produzione e controllo della granulometria, ma anche da condizioni di sicurezza e stabilità dei fronti. La profondità di perforazione è prolungata oltre al piano della platea per favorire un migliore scalzamento al piede e mantenere sub-orizzontale il piazzale.
- 2) Sparo della volata e disgaggio di sicurezza.
- 3) Eventuali interventi di spacco e sezionatura di blocchi di roccia di dimensioni non accettabili per la sezione di frantumazione dello stabilimento.
- 4) Caricamento su dumper del materiale abbattuto.
- 5) a. Trasporto allo stabilimento dell'abbattuto utile;  
b. Trasporto dell'abbattuto di scarto, messa in opera per ricomposizione ambientale

La movimentazione è così realizzata.

Minerale utile:

- con pala su dumper (caricamento diretto);
- spinto ("dozing") o trasportato con pala, sui piazzali o gradoni sovrastanti, per il caricamento su dumper.

Materiale di scarto:

- spinta con "dozing" o trasporto con pala, direttamente nelle aree di recupero quando le distanze sono favorevoli (distanza massima di spinta = 50 m);
- mediante dumper nell'area temporanea di stoccaggio all'interno dell'area di cava autorizzata. Il materiale di copertura prodotto con escavatore con benna rovescia sarà caricato direttamente su dumper e trasportato e scaricato nell'area da rimodellare dove per effetto delle stesse macchine operatrici (dumppers e pale) verrà compattato a strati previo le opportune operazioni di stesura.

La lavorazione è impostata di norma, secondo le vicende climatiche, su due turni giornalieri di 8 ore.

A regime l'organico degli addetti alla cava, oltre al direttore tecnico, sarà il seguente:

1 Perforatore - fuochino

2 Palisti - dumperisti

2 Addetti alla manutenzione ed ai lavori accessori (operazioni saltuarie anche mediante appalto esterno).

### **2.6.1 Scopertura**

Prima dell'esecuzione delle volate di produzione sono necessarie opere di preparazione del cantiere quali la costruzione di rampe d'accesso alla zona di cava e la scopertura dell'area dal manto vegetale e dal materiale di copertura sovrastante il giacimento.

Le piste o le rampe di servizio si sviluppano entro l'area prevista dall'autorizzazione e, contornando il bacino di cava, collegano i ripiani dei gradoni direttamente con il sistema viario. Eventuali altre piste occorrenti saranno realizzate all'interno della cava tra gradone e gradone con pendenze idonee per le macchine operatrici.

La rimozione della copertura del giacimento prevede le seguenti sequenze:

- scavo;
- caricamento su dumper;

- trasporto e sistemazione in un'area già scavata e pronta per il recupero ambientale (lotto T1) o, provvisoriamente, in un'area di deposito in cava in attesa di essere collocata definitivamente.

L'escavatore potrà accedere al lotto T2 direttamente dalla strada che arriva al lotto T1, dove verrà depositato il materiale di copertura.

L'operazione di scopertura precede la realizzazione delle volate di coltivazione con sequenze temporali idonee a limitare il problema dell'impatto visivo. Pertanto, inizialmente si toglierà solo la copertura necessaria per poter iniziare la produzione di gesso, poi i lavori potranno procedere contemporaneamente, in base alle disponibilità dei mezzi.

## 2.6.2 Perforazione

L'organizzazione del cantiere fa riferimento alla condizione a regime della produzione, corrispondente alla coltivazione delle platee.

Per organizzare la movimentazione del materiale si è considerato il volume della produzione giornaliera pari a 1000 m<sup>3</sup> di gesso in banco, equivalenti a 1500 m<sup>3</sup> in mucchio, che sarà conseguita con una volata a settimana.

Il tempo impiegato per l'esecuzione di una volata è calcolato come la somma:

- dei tempi di perforazione di 19 fori, ad una velocità di perforazione di 10 m/h, garantita dalla perforatrice ad A.C. o idraulica su carrello semovente Atlas Copco tipo ROC830 HC;
- del tempo di caricamento dell'esplosivo e di brillamento delle mine.

Considerando che la lunghezza dei fori è pari a 11,5 m e che il tempo di perforazione effettivo è pari al 90%, si è calcolato il tempo di perforazione sarà pari a:

$$T_{\text{perforazione}} = N_{\text{fori}} \cdot \left( \frac{L_{\text{foro}} * 60}{V_{\text{perforazione}} * F} \right) = 1457 \text{ minuti}$$

Supponendo che si effettuino due turni lavorativi di 8 ore (12,40 ore effettive di lavoro al giorno), equivalenti a 744 minuti, e che il tempo di caricamento di un foro sia di 23

minuti, il tempo di caricamento complessivo per una volata sarà pari a:

$$T_{\text{caricamento}} = 23 \text{ minuti / foro} \cdot 19 \text{ fori} = 437 \text{ minuti}$$

Il tempo necessario per effettuare una volata sarà pari a:

$$T_{\text{volata}} = T_{\text{perforazione}} + T_{\text{caricamento}} + T_{\text{brillamento}} = 1894 \text{ minuti}$$

Quindi saranno necessari cinque turni per la perforazione e l'esecuzione della volata.

I risultati indicano che il tempo intercorrente tra due volate successive è più che sufficiente alla perforazione della volata successiva, ed è quindi possibile dedicare un giorno intero (di solito il lunedì) alla preparazione delle mine ed alla manutenzione della perforatrice.

La perforatrice ROC 830 HC è dotata di martinetti idraulici che conferiscono stabilità nella perforazione non in piano; nelle perforazioni con pendenza eccessiva per la stabilità della macchina, sarà utilizzato un escavatore per utilizzare il piano d'appoggio.

In genere dopo una volata è necessario spendere un po' di tempo per verificare la stabilità del fronte di scavo tramite l'operazione di disaggio. Questa operazione è effettuata con un martello demolitore e necessita di circa 2 ore lavorative, equivalenti a 144 minuti (rendimento lavoro orario 80%).

### **2.6.3 Movimentazione del materiale**

I tempi impiegati da ogni mezzo per la movimentazione del materiale saranno calcolati determinando il tempo necessario per ogni ciclo di lavoro della singola pala. Il ciclo di lavoro sarà costituito dalle seguenti fasi:

- Carico del materiale dal mucchio;
- Manovra;
- Scarico;
- Manovra;
- Ritorno in posizione;

Per i tempi di carico e di scarico del materiale, si considera il ciclo riportato nelle schede tecniche della Caterpillar, costituito da:

- Hydraulic Cycle Time – Raise = 6,0 s
- Hydraulic Cycle Time – Dump = 2,0 s
- Hydraulic Cycle Time – Lower = 3,4 s
- Hydraulic Cycle Time – Total = 11,4 s

Cautelativamente è stato assunto un tempo di 12 secondi per il ciclo idraulico di tutte le pale. Dai cronometraggi eseguiti in cava durante le operazione di movimentazione del materiale si è constatato che il tempo di manovra delle pale è mediamente di 10 secondi, da imputare alle 2 manovre. Pertanto, si ha:

Ciclo Idraulico + manovre = 32 secondi.

#### **2.6.4 Caricamento pala – dumper**

I dumper hanno capacità di 26 m<sup>3</sup> e le pale hanno una benna di 3,1 m<sup>3</sup>. Nel calcolo della capacità di trasporto occorre considerare un fattore di riempimento pari all'85%:

Capacità dumper	$26 \cdot 0,85 = 22,1 \text{ m}^3$
Capacità pala 966 E	$3,1 \cdot 0,85 = 2,6 \text{ m}^3$

Il numero di cicli per caricare un dumper è:

$$22,1 / 2,6 = 8,4 \text{ cicli}$$

Considerando che il tempo mediamente impiegato dalla pala per effettuare un ciclo è di circa 32 secondi, il tempo per caricare un dumper (con materiale già radunato) è:

$$8,4 \text{ cicli} \cdot 32 \text{ secondi} = 269 \text{ secondi} = 4 \text{ minuti e } 29 \text{ secondi}$$

Questo ciclo di caricamento è uguale per tutte le fasi di lavorazione.

#### **2.6.5 Trasporto**

Il peso del dumper vuoto è di 17,8 t. La pendenza media effettiva in discesa considerando, una resistenza al rotolamento del 3%, riferita ad un fondo compatto e liscio con superficie polverosa e scarsa flessione, è del 23% per un tratto di 1000 m.

Il grafico delle velocità dei dumper in salita indica un valore massimo 28 km/h, che diventano 16,8 km/h moltiplicandolo per un fattore pari a 0,6.

Nel tratto pianeggiante la pendenza effettiva è data dalla resistenza al rotolamento; quindi la velocità massima è 70 km/h, 35 km/h considerando un fattore di velocità di 0,5.

$$16.8 \text{ km/h} = 4.67 \text{ m/s}$$

$$35 \text{ km/h} = 9.72 \text{ m/s}$$

Il tempo necessario al dumper per percorrere il tragitto indicato è pari a:

$$\frac{1000}{9,72} + \frac{200}{4,67} = 147 \text{ secondi} = 2 \text{ minuti e } 27 \text{ secondi}$$

Il peso del dumper carico è di:

$$17,8 + \frac{22,1 \cdot 1,9}{1,65} = 43,2 \text{ t}$$

dove:

- 17,8 è il peso del dumper vuoto;
- 22,1 è la capacità effettiva del dumper;
- 1,9 è il peso specifico del gesso;
- 0,65 è il fattore di rigonfiamento.

Le pendenze nei vari tratti del percorso rimarranno le stesse, cambieranno le velocità perché il dumper è più pesante e marcia in salita. Nel tratto pianeggiante il dumper carico raggiunge una velocità massima di 12 km/h, 7,2 km/h considerando un fattore di velocità di 0,6. Nel tratto a pendenza 23% la velocità massima è di 63 km/h, 31,5 km/h considerando un fattore di velocità di 0,5.

$$7,2 \text{ km/h} = 2,0 \text{ m/s}$$

$$31,5 \text{ km/h} = 8.7 \text{ m/s}$$

Da quanto precede, discende che il tempo necessario al dumper per tornare agli impianti è:

$$\frac{1000}{8,75} + \frac{200}{2} = 214 \text{ s} = \underline{3 \text{ minuti e } 34 \text{ s}}$$

Dalle tabelle risulta:

- tempo di manovra alla pala: 30 s;
- tempo di scarico al frantoio: 1,30 minuti

L'intero ciclo di trasporto dello smarino dal fronte al frantoio dura:

$$T_{\text{tot}} = T_{\text{andata}} + T_{\text{ritorno}} + T_{\text{manovre}} = 481 \text{ s} = 8 \text{ minuti e } 42 \text{ secondi}$$

### 2.6.6 Smarino

Per questa operazione saranno utilizzati 1 pala e 2 dumper.

Un ciclo di caricamento e trasporto in questa fase di lavorazione dura mediamente:

$$T_{\text{caricamento}} + T_{\text{trasporto}} = 269 \text{ s} + 481 \text{ s} = 750 \text{ s} = 12 \text{ minuti e } 30 \text{ secondi}$$

pari a:

$$n^{\circ} \text{ viaggi all'ora} = \frac{3600}{750} = 5 \text{ viaggi}$$

Considerando che si esegue 1 volata a settimana che abbatte  $1000 \text{ m}^3$  di gesso in banco, equivalenti a  $1500 \text{ m}^3$  in mucchio (coefficiente di rigonfiamento del gesso 0,5), e che i dumper hanno una capacità di  $22,1 \text{ m}^3$ , il numero di carichi necessari per lo smarino di un'intera volata sono:

$$\frac{1500}{22,1} = 68 \text{ carichi}$$

Il tempo necessario per lo smarino sarà:

$$68 \text{ carichi} \cdot 750 \text{ s} = 51000 \text{ secondi} = 14 \text{ ore e } 9 \text{ minuti}$$

Considerando turni di lavoro di 6,20 ore effettive, sarà sufficiente poco più di un giorno per portare a termine tutta l'operazione.

Per i calcoli si è utilizzato un tragitto, lungo circa 1200 m, che può essere considerato come il percorso medio dei mezzi durante l'intero periodo di coltivazione dei lotti T6 e T2.

## **2.7 Macchine operatrici (perforazione, caricamento ed asporto)**

Nella la cava "Treschi" si prevede, per l'esercizio a regime, la dotazione delle macchine ed attrezzature riportate qui di seguito.

### **2.7.1 Perforazione ed Abbattimento**

n. 1 Perforatrice ad A.C. o idraulica Atlas Copco tipo ROC 830 HC (Fig. 19)

-Peso totale, versione standard	kg	12000
-Larghezza in fase di trasporto	mm	2850
-Altezza in fase di trasporto	mm	3350
-Velocità di traslazione	km/h	1,5/3,7
-Distanza da terra	mm	370
-Oscillazione cingoli		+10°
-Pendenza superabile		30° (57%)
-Pressione sul terreno	N/mm <sup>2</sup>	0,071
-Portata		142 l/s a 14 bar

Martello: Martello DTH 3

Diam. foro	80-100 mm
------------	-----------

n. 1 Martello demolitore idraulico alternativo MONTABERT 900 MS

Peso operativo	122 kg
Pressione servizio	125 bar
Colpi al minuto	500 max



**Fig. 19 – Perforatrice Atlas copco ROC 830 HC**

## **2.7.2 Caricamento**

n. 1 - Pala gommata Caterpillar 966 F (Fig. 20)

Potenza	200 HP
Peso	19,5 t
Capacità benna	3,1 m <sup>3</sup>
Forza di spinta	22,01 t

n. 1 - Pala gommata Vlvo 220F (Fig. 21 )

Potenza	250 HP
Peso	22 t
Capacità benna	5.2 m <sup>3</sup>
Forza di spinta	22,01 t



**Fig. 20 - Pala gommata Cat 966F**



**Fig. 21 - Pala Gommata Volvo 220F**

### 2.7.3 Trasporto

- n° 1 Dumper PERLINI tipo DP 255 (Figg. 22 e 23)

Potenza	253 CV
Portata	25 t
Velocità massima	59,2 km/h

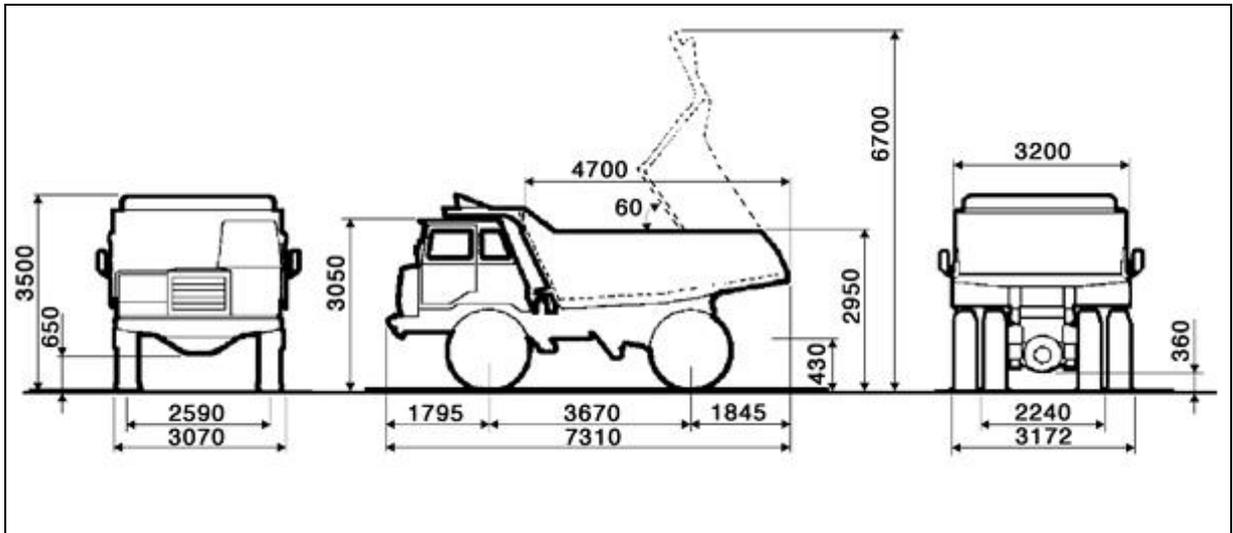


Fig. 22 – Caratteristiche tecniche Dumper Perlini



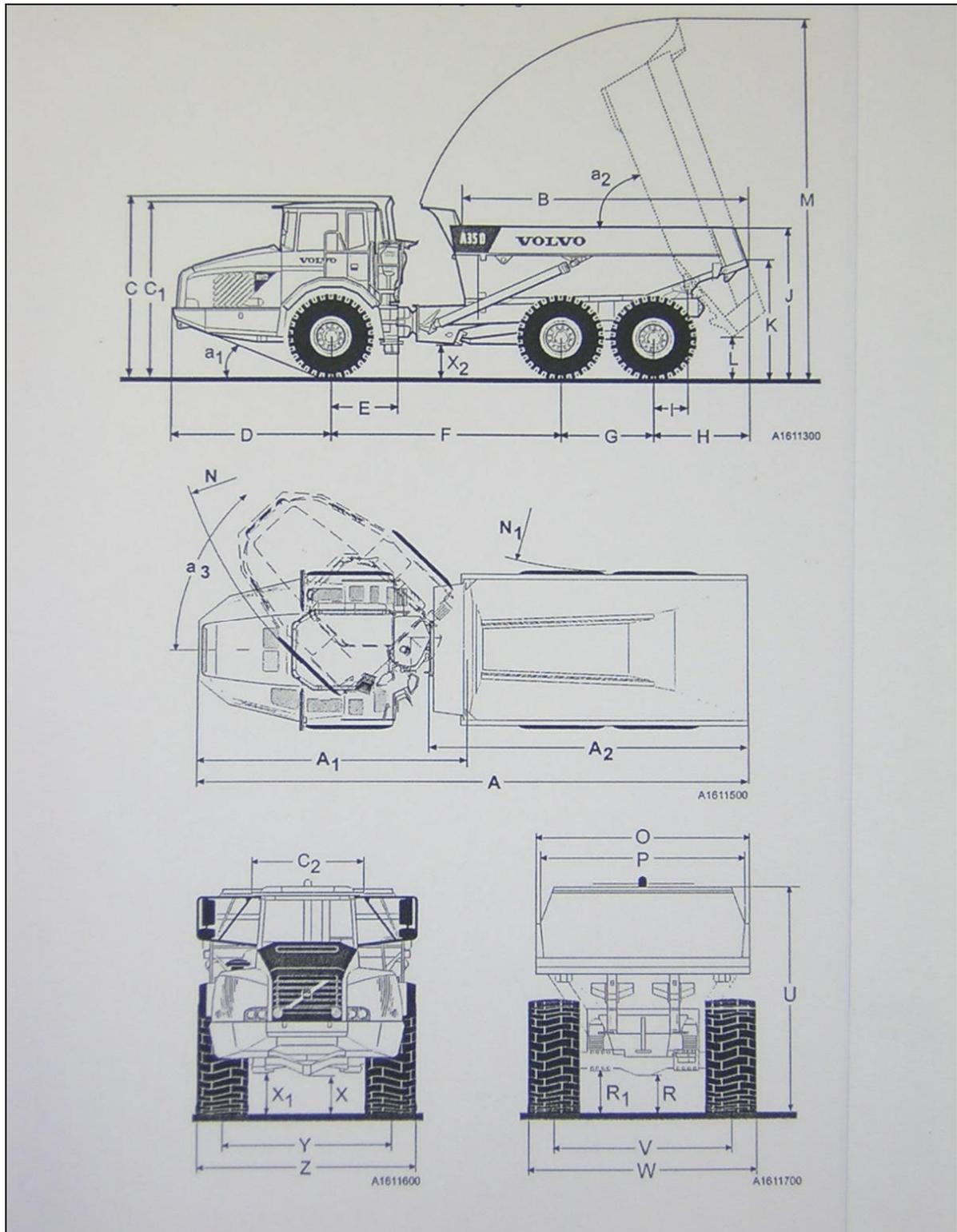
Fig. 23 – Operazione di caricamento con pala gommata e dumper

- n° 1 Dumper Volvo modello A35D ( figg. 24 e 25 )

Potenza	393 CV
Portata	32 t
Velocità massima	56,9 km/h



**Fig. 24**– Operazione di caricamento con pala gommata e dumper



**Fig. 25-** Caratteristiche tecniche dumper Volvo A35D, le lettere nei disegni si riferiscono ai testi riportati nella pagina seguente

<b>Dimensioni</b>		
Lunghezza totale	A	11167 mm
Lunghezza totale, sezione motore	A	5469 mm
Lunghezza totale, sezione di carico	A	6224 mm
Lunghezza cassone, modello standard	B	5527 mm
Altezza totale sul tubo di scarico	C	3681 mm
Altezza sul tetto cabina	C	3560 mm
Larghezza sulla cabina	C	1768 mm
Sbalzo, occhielli di traino	D	3101 mm
Distanza assale anteriore - centro sterzo	E	1276 mm
Passo, assali di trazione	F	4501 mm
Distanza tra i due assali del carrello	G	1820 mm
Sbalzo, posteriore	H	1757 mm
Sbalzo, anteriore	I	728 mm
Altezza di carico	J	2912 mm
Altezza al cassone	K	2302 mm
Altezza di ribaltamento dal cassone	L	915 mm
Altezza totale a cassone sollevato	M	7242 mm
Raggio di sterzata esterno	N	8720 mm
Raggio di sterzata interno	N	4397 mm
Larghezza esterna cassone	O	3101 mm
Larghezza interna cassone	P	2870 mm
Altezza minima dal suolo, sezione di carico	R	584 mm
Altezza minima da terra sull'assale, sezione di carico	R	670 mm
Altezza massima cassone abbassato	U	3528 mm
Carreggiata, sezioni di carico	V	2515 mm
Larghezza totale sezione di carico	W	3208 mm
Altezza minima dal suolo, sezione motore	X	572 mm
Altezza minima dal suolo sull'assale, sezione motore	X	606 mm
Altezza minima da terra all'articolazione	X	720 mm
Careggiata, sezione motore	Y	2515 mm
Larghezza totale, sezione di carico	Z	3208 mm
Angolo di approccio	a	23°
Angolo di ribaltamento	a	70°
Escursione massima del volante	a	45°

n°1 – Escavatore idraulico Caterpillar 320 N<sub>2</sub>(Fig. 26)

Potenza:	96 kW
Capacità benna:	0,7 – 1,4 m <sup>3</sup>
Lunghezza:	4,07 m
Larghezza:	2,5 m
Altezza:	2,9 m (8,06 – 6,05 m)



Fig. 26 – Escavatore Cat 320 N

## 2.7.4 Operazioni di recupero ambientale

n. 1 Macchina seminatrice per idrosemina ( Fig. 27 )

SCHEIER Mod. 2 - Capacità cisterna 2 m<sup>3</sup>



Fig. 27 – Macchina per idrosemina

## **3 LA QUALIFICAZIONE DEL GIACIMENTO CON METODO INNOVATIVO E PRODUZIONE DIFFERENZITA**

### **3.1 Introduzione**

Nel suo percorso evolutivo il gruppo Knauf, sempre più impegnato nello sviluppo di sistemi costruttivi all'avanguardia e qualitativamente superiori, ha sviluppato un metodo di analisi ( VIS-NIR spectroscopy ) per la caratterizzazione integrale dei minerali presenti in campioni base gesso. La particolare attenzione del metodo è sulla caratterizzazione delle impurezze in quanto queste possono avere un ruolo attivo sul processo produttivo e sulla qualità del prodotto finito nonché sulla sua posa in opera.

Essendo un metodo non distruttivo e con risposte immediate, risulta fortemente utile da una parte per la qualificazione dei giacimenti, dall'altra per tenere sotto costante controllo il day by day del processo produttivo, fornendo informazioni di feedback in tempi rapidi per reagire e correggere a monte ed a valle eventuali problematiche.

### **3.2 Lo Spettroscopio VIS-NIR**

La caratterizzazione del materiale grezzo è un'informazione vitale per il processo produttivo poiché permette :

- azioni preventive e correttive in cava ( migliore selezione e/o diluizione del materiale )
- azioni preventive sulla linea di produzione ( quantità di additivi )
- il ruolo delle impurezze nel processo produttivo

I metodi classici di analisi per la caratterizzazione del minerale non sono appropriati per i processi produttivi a causa dei lunghi tempi di analisi, per gli elevati costi della strumentazione necessaria che , inoltre, richiedono elevate competenze del personale addetto.

Lo Spettroscopio VIS-NIR ci dà " l'impronta digitale " delle differenti specie mineralogiche usando la risposta specifica dei legami molecolari degli OH e dell'H<sub>2</sub>O del minerale nella serie tra i 350-3000 nm ( area VIS-NIR ).

Gli spettri risultanti sono considerati " IMPRONTA DIGITALE " delle singole specie

mineralogiche e quindi raggruppate in un unico registro permettono la calibratura degli strumenti per avere analisi in tempo reale.

La forza di questo metodo sta nella rapidità dei risultati e quindi controllo continuo del processo produttivo; è una tecnica non distruttiva e il personale addetto non richiede qualifiche tecniche specifiche poiché è di facile utilizzo.

Altro aspetto da non sottovalutare è il costo non eccessivo dell'attrezzatura ( Fig. 1 e 2 ).

L'operatore inserisce il campione nel recipiente ( 1 ) e da lo start dal PC.



**Figura 1:** attrezzatura



Figura 2

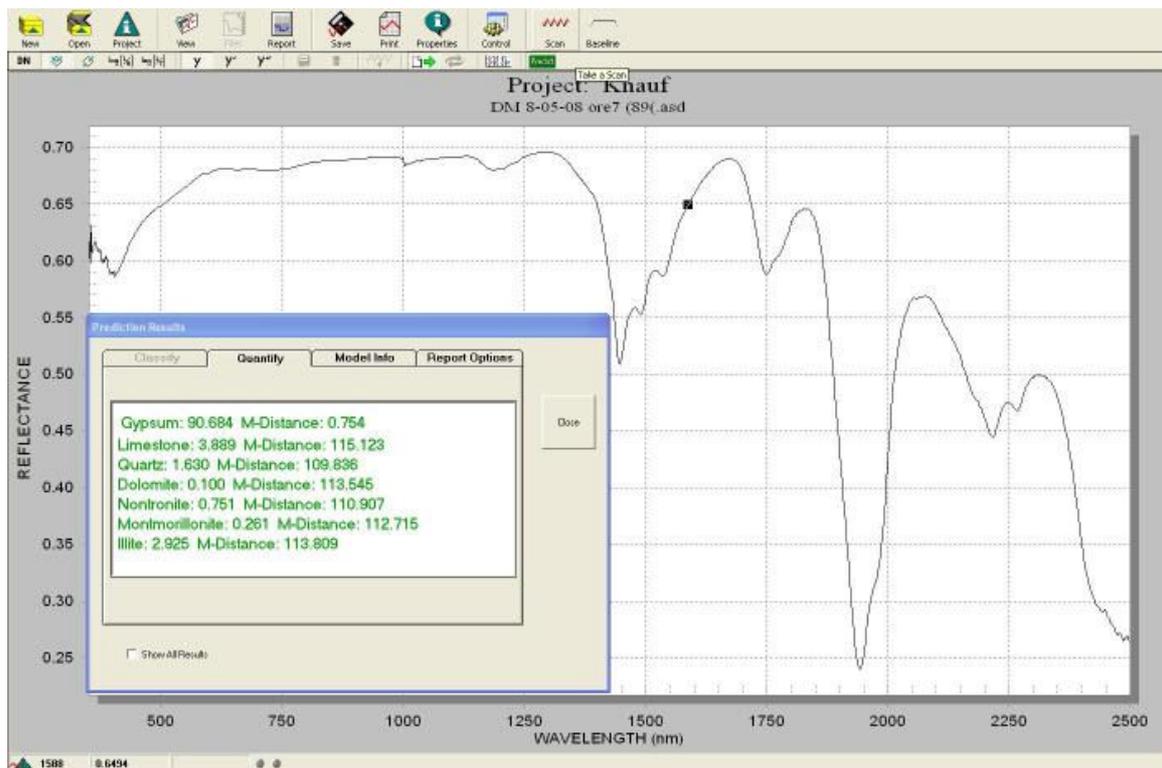


Figura 3

Nella fase iniziale è necessario calibrare e preparare lo strumento per cui vengono coinvolti tecnici altamente specializzati che creano un database degli spettri esatti del materiale presente in cava, quindi:

- campionatura accurata che deve essere rappresentativa della cava
- caratterizzazione qualitativa e quantitativa dei test raccolti
- preparazione di miscele che contengano tutti gli esemplari standard presenti e registrazione dello spettro NIR di ogni miscela nel database di un software appropriato
- identificazione della regione dello spettro dell'impronta digitale per ciascun componente indagato

Il grafico di figura 4 riporta il risultato finale di una analisi di routine giornaliera per il controllo del processo produttivo. La curva blu è rappresentativa del gesso, ciano la calcite, giallo le illiti, marrone il quarzo e magenta le smectiti; la percentuale di gesso aumenta con il diminuire degli altri componenti.

Nel tratto, sulla verticale, evidenziato dal rettangolo marrone benché la quantità di gesso sia costante gli altri elementi presenti hanno un calo il che ci indica la presenza di altri minerali non riconosciuti dallo strumento perché non presenti nel database del programma. Questa carenza è dovuta al fatto che, in questo caso, i minerali sicuramente e potenzialmente pericolosi per il processo produttivo sono quelli presenti nel grafico, il resto, per quantità e composizione non possono danneggiare il prodotto finale.

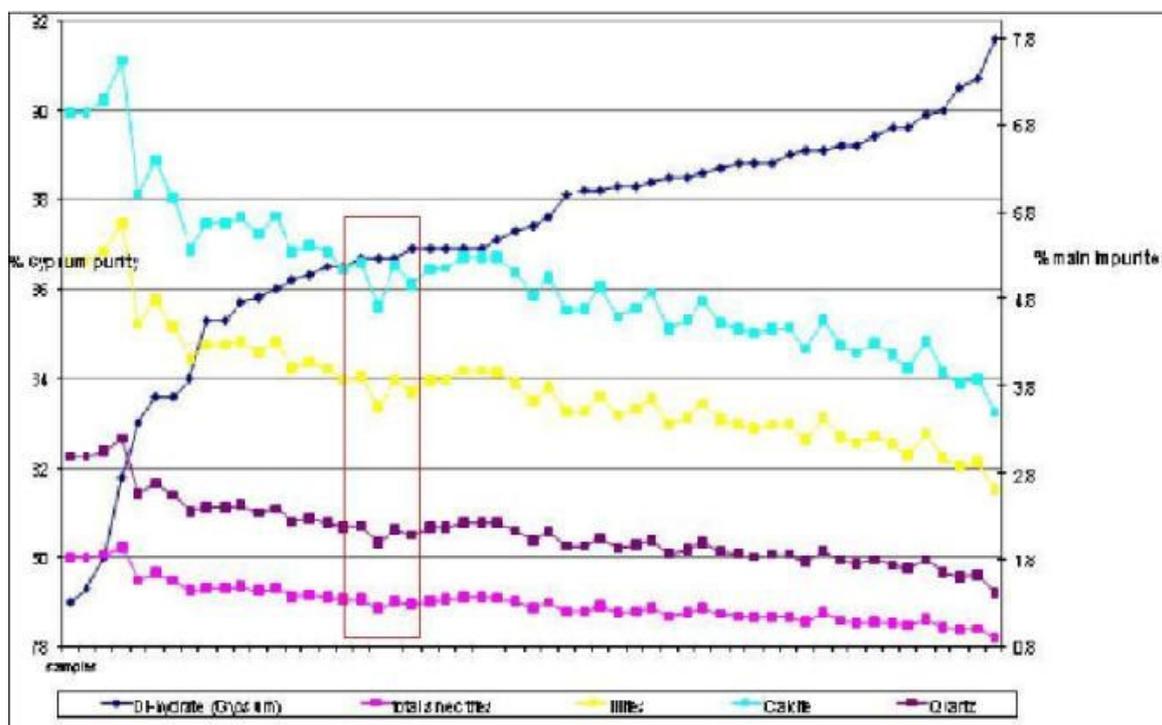


Figura 4

### 3.3 Produzione differenziata

Le caratteristiche morfologiche e fisico-chimiche del giacimento e la produzione di stabilimento hanno sempre ispirato una produzione differenziata della roccia in cava.

Nel 1984, quando il giacimento è stato acquistato dal gruppo Knauf, una delle prime relazioni dei geologi del gruppo recitava :

*nel giacimento di gesso si trovano mescolate, con distribuzione irregolare, rocce dolomitiche nere di grandezza variabile dal centimetro al metro cubo. Sulla superficie del gesso giace, nella maggior parte dei casi, terra argillosa di colore marrone, non legante, mescolata con roccia dolomitica che ricopre il gesso con uno strato dallo spessore irregolare formante incavi e caverne.*

*A circa 25 metri sotto la superficie si osservano anidriti.*

*L'obiettivo è di produrre le seguenti qualità di pietra grezza:*

- *Pietra grezza dalla granulazione da 0 a 40 mm, grado di purezza circa 80-85 % per l'industria del cemento ( percentuale della massa 45 % ).*
- *Pietra grezza dalla granulazione da 0 a 30 mm, grado di purezza circa 85 % per la fabbricazione di gesso da stucco ed intonaco ( percentuale di massa circa 40 % ).*
- *Pietra grezza dalla granulazione da 0 a 30 mm ( compresa la seconda macinazione ) grado di purezza 95 % per la produzione di gesso da ceramica ( percentuale della massa circa 15 % ).*

...( <sup>2</sup> )

Tutto il lavoro di selezione era affidato alla professionalità degli operatori che dalla parete abbattuta sceglievano, con le macchine a disposizione, le pietre migliori disponendole in filari sui quali veniva fatta un'ulteriore selezione manualmente ( Fig. 5 ).

Per produzioni che si aggiravano intorno alle 60.000 t/anno, questo tipo di organizzazione del cantiere richiedeva la presenza di almeno sette operatori:

n° 1 perforazione e mine

n° 2 selezione e carico

n° 2 trasportatori

n° 1 selezione della pietra

---

<sup>2</sup> Friderich Bock febbraio 1985

Nel corso degli anni è aumentata notevolmente la produzione di stucco da premiscelati tanto da assorbire l'intera produzione di cava rendendo antieconomica la selezione del materiale grezzo.

### **3.3.1 Produzione attuale**

Dal 2005 sono state attivate nuove sperimentazioni per la produzione selezionata di gesso da utilizzare per la produzione di stucco per cartongesso e per le finiture. Il gesso in questione deve avere tenori compresi tra 80 e 90 % e colore bianco, cioè ripulito dalle argille e dalla dolomite presenti nel giacimento.

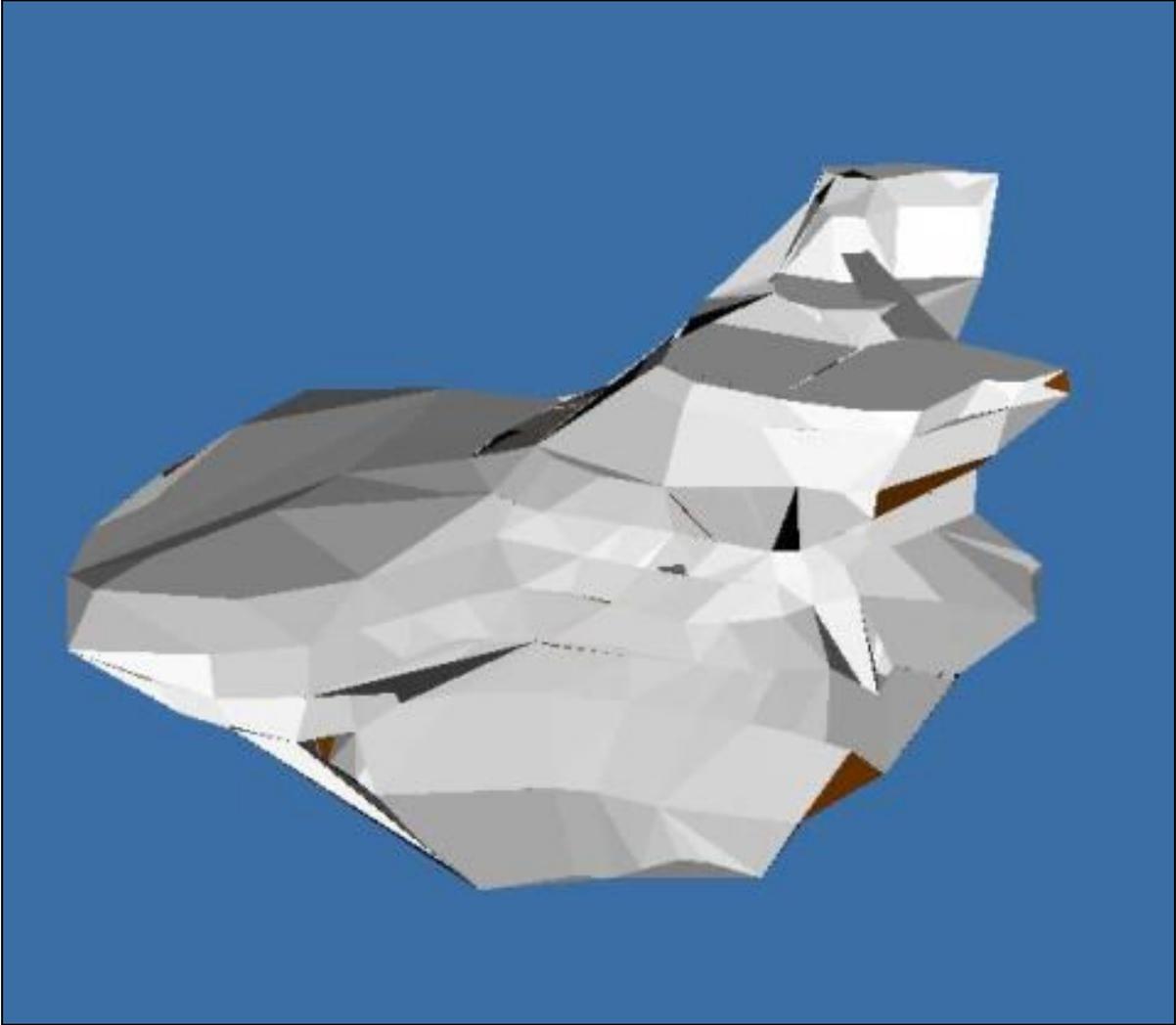
I primi test erano volti ad ottenere questa tipologia di gesso evitando la differenziazione in cava per un eccessivo aumento dei costi.

L'idea di base era di sfruttare il diverso peso specifico dei minerali presenti in giacimento e quindi utilizzare dei separatori a vento in modo da eliminare le argille ed ottenere la granulometria richiesta. Le prove sono state eseguite dallo scrivente alla Eingher Impianti di Milano e alla Cimma Morandotti di Pavia con i seguenti risultati:

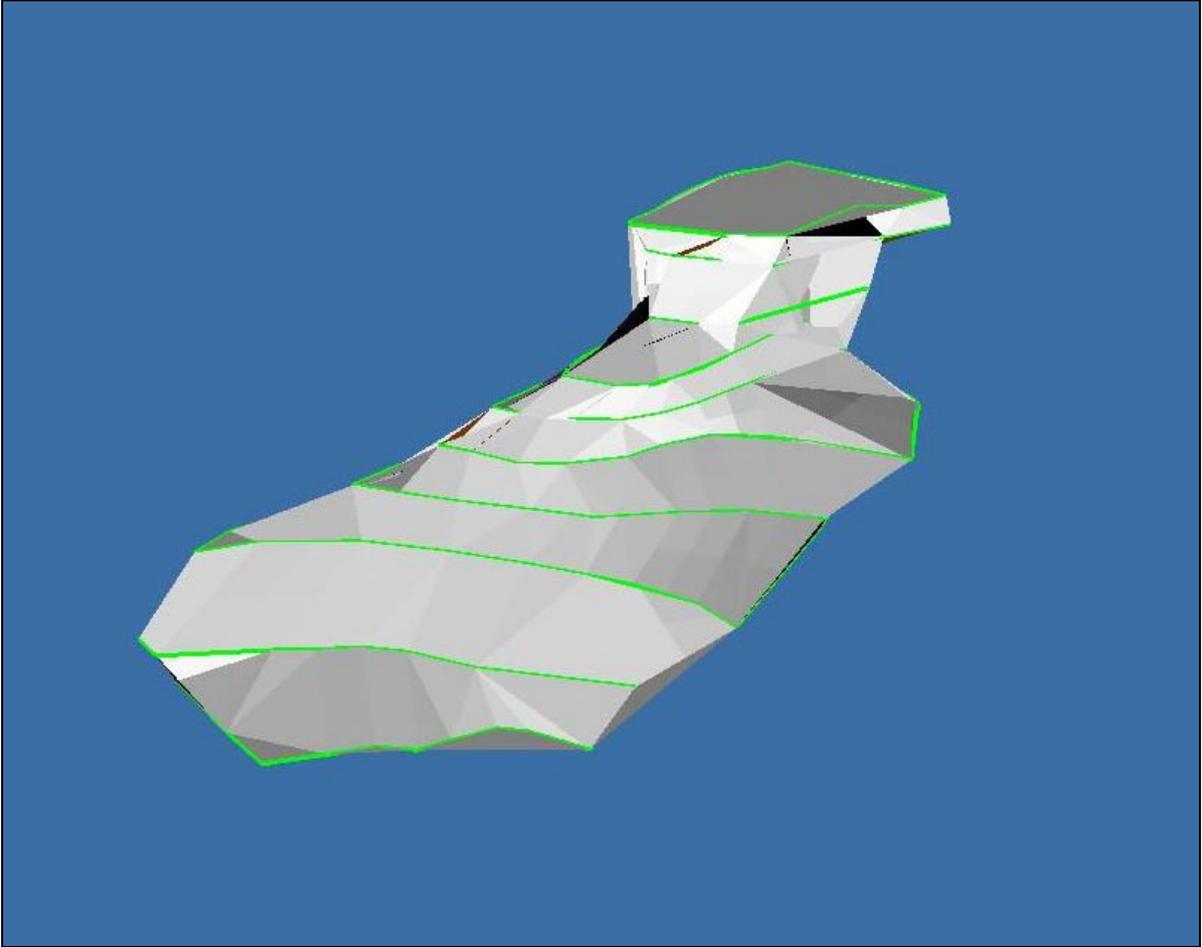
1. un solo ciclo di separazione
  - il colore del materiale non era quello richiesto, le argille non venivano separate se non in minima parte;
  - granulometria accettabile
2. più cicli di separazione
  - il colore migliorava ma utilizzabile in basse percentuali ( 30-40 % ) con materiale esterno
  - granulometria troppo fine, diminuiva la bagnabilità del materiale in acqua
  - basse produzioni con grossi dispendi di energia

Attualmente il “gesso bianco” è prodotto con selezione in cava, riorganizzando il cantiere e gestendo le volate in modo tale da avere a disposizione le quantità di gesso all'inizio della settimana lavorativa. Le quantità calcolate corrispondono al 20 % del totale per cui un giorno alla settimana sarà dedicato alla sola produzione di “gesso bianco”.

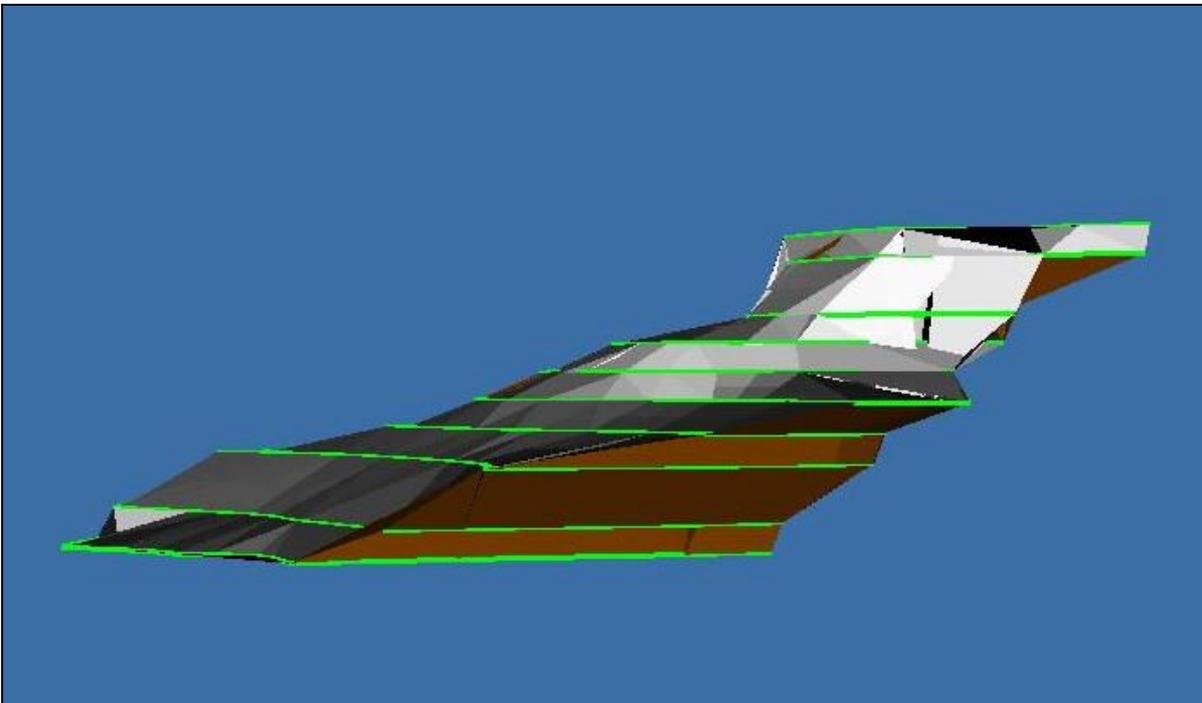
Come già detto, il giacimento è molto incostante dal punto di vista qualitativo della roccia ma è possibile dividere il volume della cava in coltivazione, in due sistemi pressoché uniformi ( Fig. 6 ).



**Figura 6**



**Fig. 7**



**Figura 8**

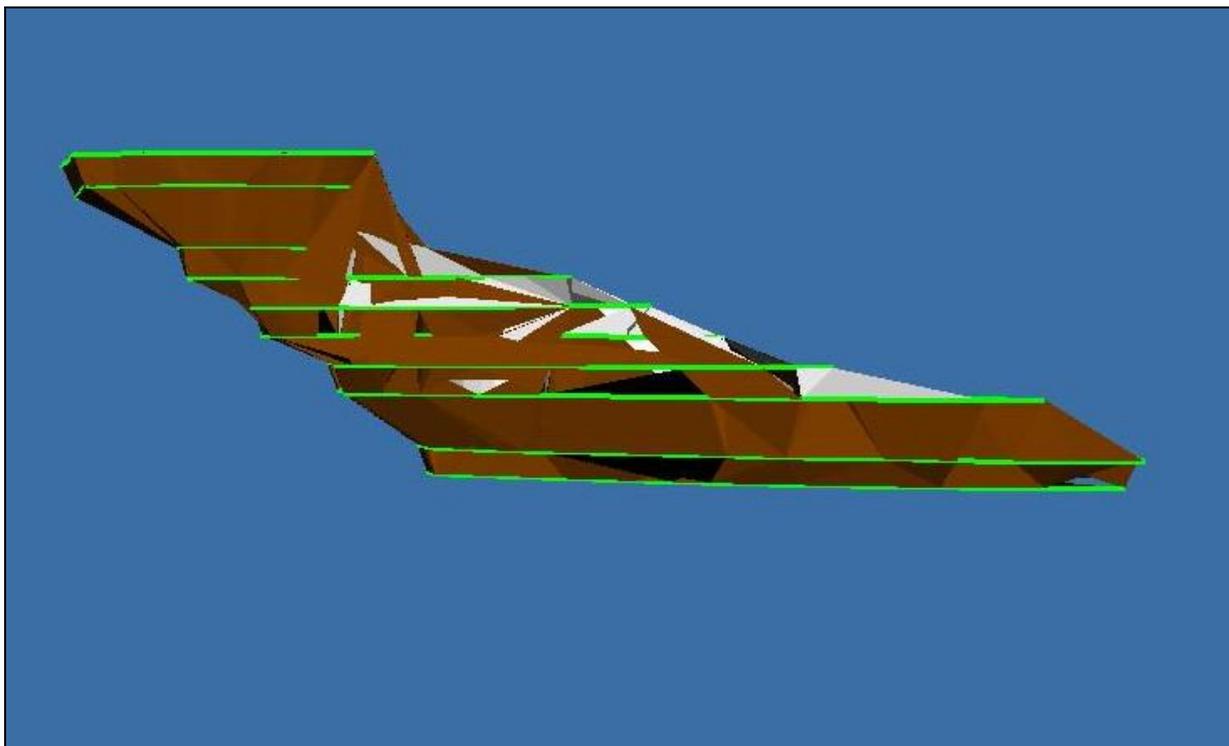


Figura 9

In figura 7 è riportato il tetto del giacimento riguardante la parte “bianca” nella figura 8 e 9 sono riportati i due lati; in verde le sezioni sulle quali è stato fatto il calcolo dei volumi. La parte in marrone rappresenta il profilo di massimo scavo autorizzato, mentre il letto del giacimento raggiunge quote inferiori da pochi metri fino a 20 metri.

Il calcolo dei volumi, eseguito con il metodo delle sezioni equivalenti, è riportato in tabella 1.

Vol Gesso Bianco			
------------------	--	--	--

	area	h	$(A_j+A_{j+1})/2$	
1	1455			
		5	1440	7200
2	1425			
		10	1167	11670
3	909			
		5	1110	5550
4	1311			
		5	1430,5	7152,5
5	1550			
		5	2075	10375
6	2600			

		5	2959,5	14797,5
7	3319			
		5	3987	19935
8	4655			
		10	4561,5	45615
9	4468			
		5	4675,5	23377,5
10	4883			

TOT m <sup>3</sup>	145672,5
--------------------	----------

Tab. 1

Il volume di “gesso bianco” risultano essere circa 145.000 m<sup>3</sup> in banco ai quali sottraiamo un 10 % ( 14.500 m<sup>3</sup> ) per avere dei margini di sicurezza. Ai 130.000 m<sup>3</sup> rimasti sottraiamo un altro 30 % ( 39.000 m<sup>3</sup> ) a causa della vagliatura in impianto o in cava con benna vagliante quindi possiamo considerare un netto di 91.000 m<sup>3</sup> che corrispondono a 9.100 m<sup>3</sup>/anno. Queste quantità soddisfano ampiamente le richieste dello stabilimento che attualmente si aggirano sulle 10.000 t/anno di stucco; infatti 9.100m<sup>3</sup> di roccia ( valutando un peso specifico di 2, a favore di margini di sicurezza ) sono circa 18000 t che nel processo di cottura perdono il 15 % per cui avremo circa 15.000 t/anno di stucco.

Le quantità in eccesso non possono essere stoccate se non parzialmente nei piazzali di cava come pietra grezza, il 30 % di scarto dovuto alla vagliatura viene riutilizzato per lo stucco nella produzione di intonaci premiscelati.

La roccia selezionata in cava è trasportata in stabilimento dove viene sottoposta a vagliatura subito prima della frantumazione e poi segue gli stessi processi del gesso da premiscelati ( nessun investimento per impianti ), solo alla fine, quando è già stucco, viene deviato in un silo di stoccaggio da 200 t ( Fig. 10 )

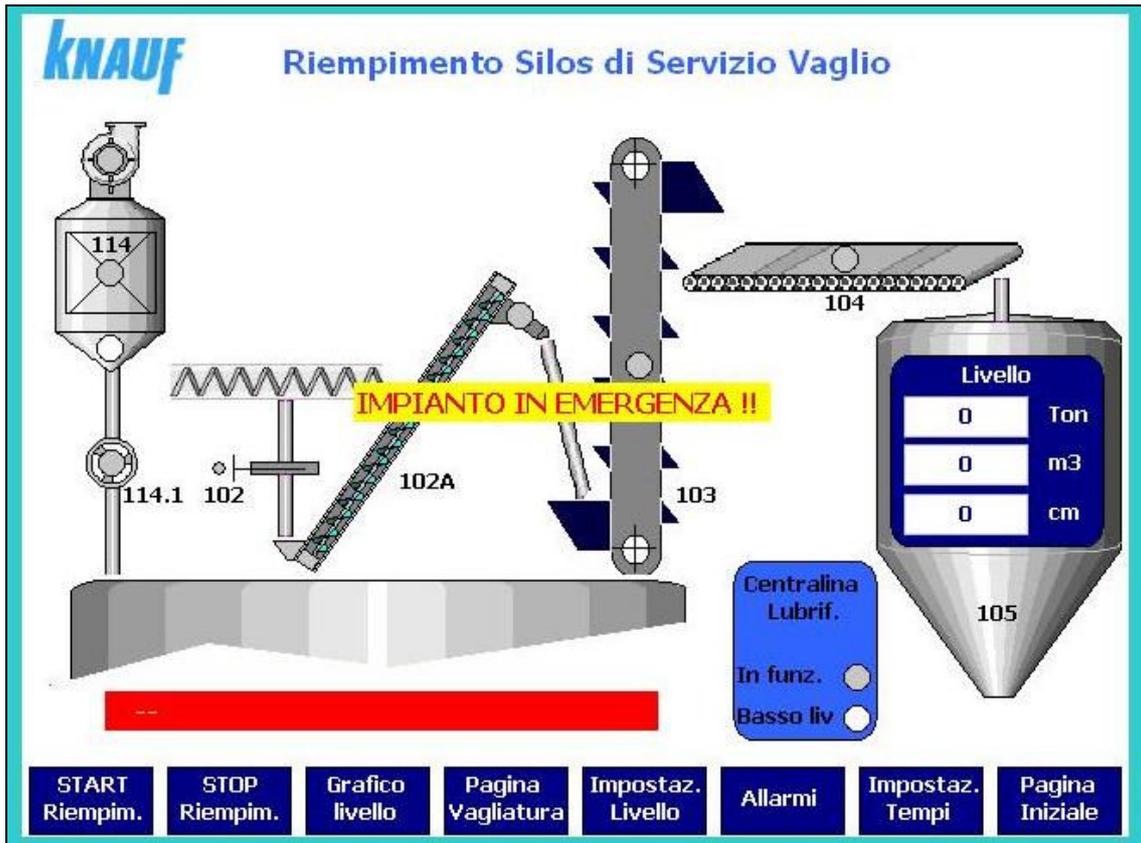


Fig. 10

Il processo di vagliatura eliminando le impurezze aumenta il tenore di gesso nella roccia garantendo una colorazione e un tenore adeguati; nella tabella 1 sono riportati come esempi due test prelevati prima ( 1 A e 1 B ) e dopo la vagliatura ( 2 A e 2 B ).

### Campioni provenienti dallo Stabilimento di Gambassi

Sample name	Gypsum%	Dolomite%	Illite%	Kaolinite%	Calcite%	Sum
1A	88	8	2	2	0	100
2A	92	3.5	2	2	0	100
1B	84	8	2	1	5	100
2B	88	6	1	1	2.5	100

Tab. 1 – Test

Nel caso specifico le uniche impurezze potenzialmente dannose per la qualità del prodotto finito sono i minerali argillosi che oltre a rendere il materiale più scuro, quindi esteticamente

non adeguato, influiscono sui ritentori di acqua creando problemi nell'applicazione e successivamente nell'asciugatura finale; probabilmente diminuisce anche la resistenza meccanica, ma questo sarà oggetto di studi successivi.

Le impurezze sono state determinate con lo spettroscopio VIS-NIR e i risultati ottenuti dal campione B sono riportati in figura:



Fig. 11

Lo stucco così ottenuto necessita di un ulteriore processo di vagliatura per poter essere utilizzato nel sistema finale; la curva granulometrica in entrata è la stessa dello stucco da premiscelati ( figura 12, magenta ) con una percentuale superiore ai 0,2 mm di circa 5 %, mentre lo stucco per finiture non deve avere niente al di sopra dei 0,2 mm ( figura 12, blu ).

Il vaglio utilizzato è della ALLGAIER ed è un vaglio a nutazione ( figura 13 ) inizialmente tarato per produrre 1-1.4 t/h ma che, come è stato fatto in seguito, riesce ad arrivare a 2 t/h con opportuni accorgimenti.

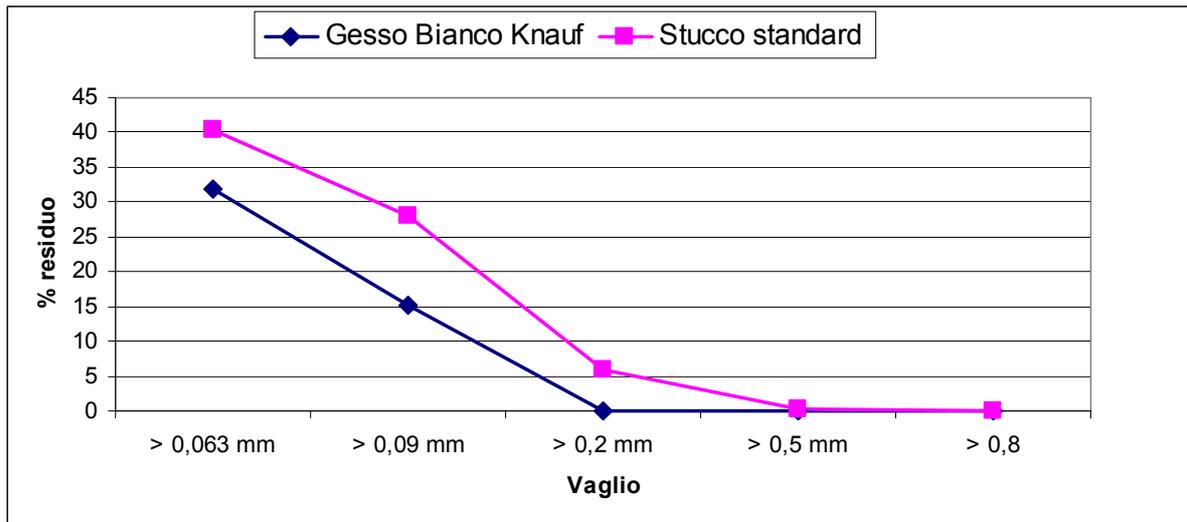


Fig. 12



Figura 13

Il materiale vagliato viene trasportato ai silos dei due impianti di miscelazione pneumaticamente con propulsore da 3, 5 bar ( Fig 14 ).

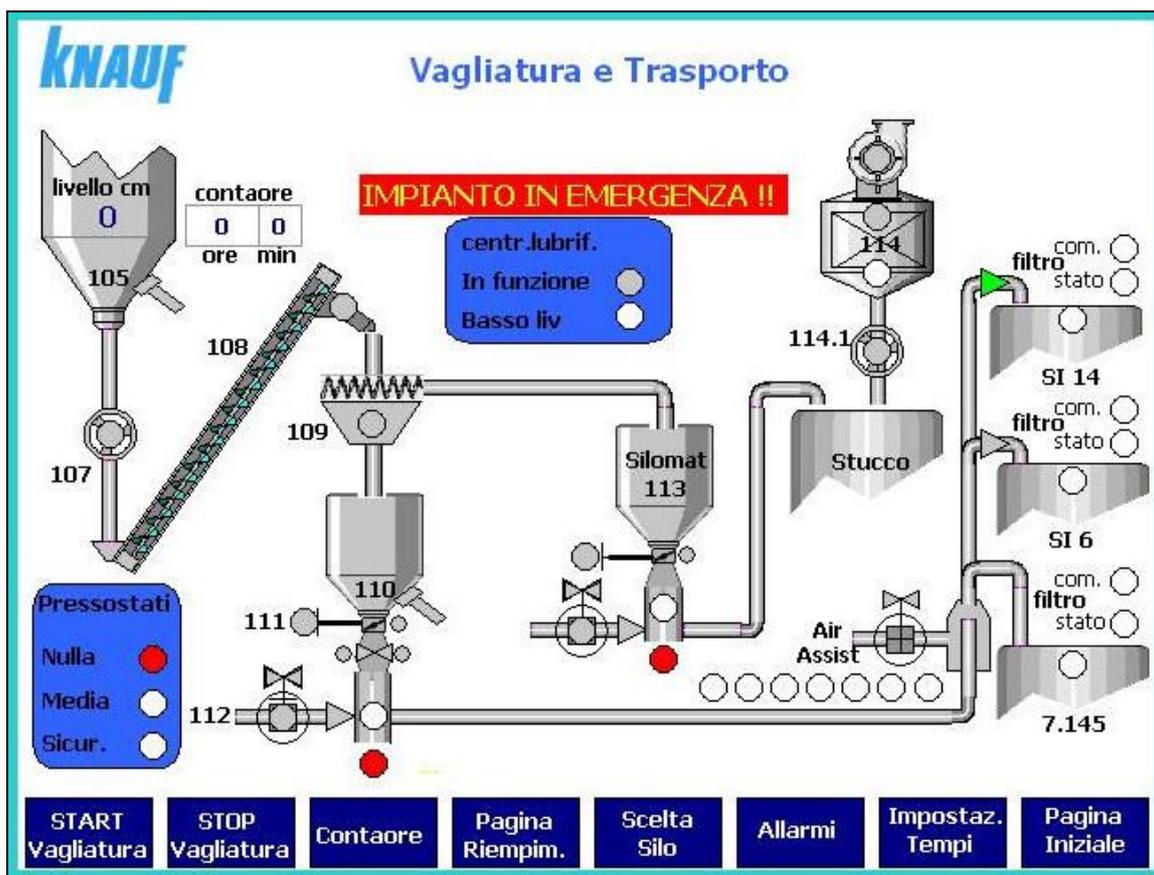


Figura 14

#### 4 SISTEMAZIONE MORFOLOGICA ED ASSETTO FINALE DI RECUPERO

Il metodo di coltivazione adottato permette di portare a meno di 35° le fronti di rilascio del recupero nelle parti acclivi del Lotto.

Il fronte di cava pianeggiante verrà raccordato con il fronte di rilascio nella zona acclive con una rimodellazione più tenue di 10° ÷ 15°.

La metodologia ritenuta idonea al ripristino della cava si articola in diverse azioni specifiche, in riferimento alle diverse zone:

- Rimodellamento morfologico (ritombamento);
- Rinverdimento tramite piantumazione (Vedi par. successivi);
- Idrosemina e rinverdimento;
- Rivegetazione (essenze arbustive e piantumazione di specie autoctone).

Come già precedentemente citato nella descrizione delle fasi di coltivazione (Vedi

Relazione Tecnica) il rimodellamento interesserà la zona in cui si è proceduto per l'approfondimento a fossa, intervenendo con un ritombamento che permetterà il totale recupero del Lotto T2, garantendo la stabilità dei fronti con pendenze inferiori a 35 ° nelle zone acclivi. La parte pianeggiante o di fondo del lotto verrà ottenuta mediante ritombamento, le zone acclivi verranno ottenute dall'attenuazione delle pendenze di 70° per ogni singolo gradone. Tale attenuazione verrà effettuata mediante ritombamento onde ottenere le pendenze prescritte dalle Norme di Attuazione del Comune di Gambassi Terme per le Cave Treschi.

Nel Lotto T1 verranno depositati in parte gli sterili risultanti dalla coltivazione del Lotto T2; successivamente una porzione di tali materiali verrà rimovimentata per il recupero del Lotto T2. Nel paragrafo 3 sono riportati i volumi degli sterili occorrenti per la risistemazione ambientale. Il recupero vegetazionale verrà eseguito sia nella parte piana ritombata che nella zona a declivio inferiore a 35°. Le operazioni di rinverdimento verranno realizzate con specie autoctone.

Le caratteristiche geometriche dell'assetto finale di ripristino dei gradoni sono le seguenti:

- pendenza dei fronti finali di abbattimento: 70°
- altezza dei fronti della platea: 10 metri
- pendenze delle fronti finali di recupero inferiori a 35°
- volume di sterile messo in opera (rigonfiato e compattato) nella risistemazione ambientale (Lotti T1 e T2): circa 500.000 m<sup>3</sup>

Si sottolinea l'importanza della disposizione delle piante in maniera irregolare e nel modo più naturale possibile, per limitare al minimo i contrasti con l'ambiente circostante.

Gruppi di arbusti affiancati da piante rampicanti daranno l'impressione di una maggior naturalità.

La qualità dei terreni detritici in posto e le pendenze che questi avranno alla fine, renderanno possibile nel sito la sistemazione di questi in piccole buche molto vicine, in modo da formare degli aggruppamenti, nelle quali sarà deposto il substrato. In seguito questo substrato verrà piantumato al fine di ridurre l'impatto visivo. Inoltre sarà effettuata, sempre con specie autoctona, una cintura di piante sul bordo esterno delle pedate dei gradoni.

## 4.1 Opere di sistemazione idraulica

### 4.1.1 Indicazioni generali

Prima di affrontare le operazioni di rinverdimento e forestazione, e per la conservazione dell'area recuperata é necessario procedere alla sistemazione idraulica dei versanti oggetto dell'intervento, al fine di ridurre una serie di fenomeni che potrebbero ostacolare tali operazioni.

Si fa riferimento, in particolare, alle piogge battenti (splash erosion) e soprattutto allo scorrimento superficiale in rivi (rill erosion), con forme di dilavamento causate dalla concentrazione in rivoli dei filetti idrici prodotti dalle precipitazioni. Per le caratteristiche fisico-meccaniche del terreno questi fenomeni possono verificarsi laddove esso presenta inclusioni argillose e debole cementazione.

Si ritiene quindi indispensabile realizzare:

- a) una canalizzazione principale disposta attorno al margine superiore e di contorno alla cava, al fine di raccogliere eventuali acque di ruscellamento che, in occasione di eventi meteorici intensi, possono confluire da monte. Questa canalizzazione confluirà in fossi esistenti che si immettono nel Botro Amaro o nei suoi immissari o nelle canalizzazioni interne all'area estrattiva;
- b) una canalizzazione di base delle scarpate di più elevato declivio (35°): essa raccoglierà le acque di versante di cava;
- c) alcune canalizzazioni di fondo cava in corrispondenza dell'impluvio ottenuto dalla rimodellazione;
- d) alcune canalizzazioni secondarie, affluenti in quelle precedenti, interne all'area dell'intervento, ubicate in coincidenza dei camminamenti di controllo dell'area boschiva o posta trasversalmente nella stessa.

In ogni caso si dovrà procedere affinché non si verifichino:

- l'ostruzione, con materiale di scarto, delle vie naturali di scorrimento delle acque nelle aree limitrofe alla cava;
- la deviazione e lo scarico incontrollato dei percorsi dell'acqua nelle aree circostanti la cava;
- lo scarico incontrollato di acque dell'area di cava verso le zone sottostanti.

Si è quindi cercato di affrontare il problema del drenaggio superficiale dimensionando le canalizzazioni e le vasche di decantazione scegliendo le opere di minor impatto ambientale.

Si è tenuto peraltro conto dei fattori geomorfologici e della loro influenza sul convogliamento delle acque di ruscellamento nel ricettore naturale.

Per quanto concerne il trattamento delle acque superficiali prima del convogliamento nei ricettori naturali (Botro Tozzi e Botro di Valliberti), durante la coltivazione del Lotto T2, viene intercettato lo spartiacque morfologico per mezzo di una canalizzazione che parte da quota 450 avente lo scopo di impedire all'acqua piovana di immettersi nell'area di cava; l'acqua, così convogliata, prosegue verso i ricettori naturali, mentre le acque dell'area di cava provenienti dai livelli superiori raggiungono le due vasche di decantazione appositamente create, una a quota 395 e l'altra inizialmente a quota 356 e poi ricostituita in base alle variazioni di quota del piazzale stesso.

Le due vasche di decantazione, in relazione ai parametri idraulici di progetto si prevedono le seguenti caratteristiche:

- dimensioni – lunghezza: 5m; larghezza 4 m; profondità: 3m.
- le vasche saranno scavate nel terreno naturale senza impermeabilizzazione artificiale per non alterare l'equilibrio idrogeologico. Il materiale sedimentato all'interno delle vasche verrà estratto nel procedere dei lavori, ed utilizzato come materiale di risulta per i lavori di risistemazione ambientale della cava. L'estrazione del sedimentato verrà effettuata mediante le pale a benna rovescia in dotazione alla cava. Per quanto riguarda la costruzione delle vasche, essa avverrà mediante scavo con mezzi meccanici.
- Le acque dopo la sedimentazione nella vasca a quota 395, verranno recapitate, attraverso un tubo di troppo pieno, per gravità nelle canalizzazioni che conducono alla seconda vasca alla quota del piazzale di base da cui verrà pompata nella rete di impluvi naturali oppure nell'attiguo lago artificiale ( fig. 2 ). La pompa necessita di una prevalenza di poco superiore alle due atm.

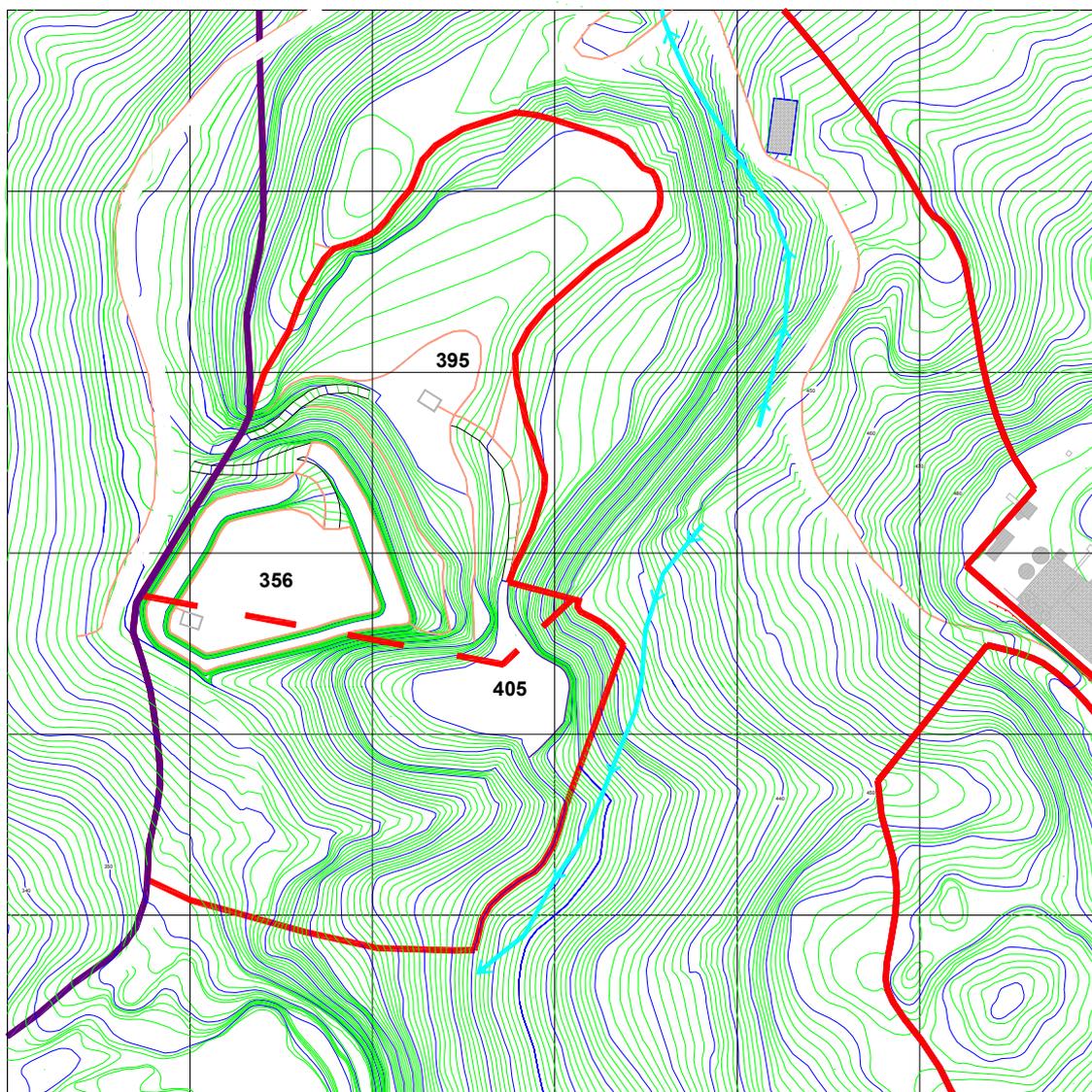


Fig. 2 - Canali e vasche di decantazione

## 4.2 Idrografia ed idrogeologia dell'area rimodellata

La distribuzione superficiale e sotterranea delle acque oggetto del presente studio è condizionata da numerosi fattori che vanno dalla conformazione geologica del territorio in senso lato, alla sua struttura morfologica, alla quantità ed al tipo di precipitazioni, al reticolato idrografico e ad altri elementi minori. L'area della cava non è interessata da alcune falde idriche, che risultino essere emergenti rispetto alle quote di lavorazione più basse. Considerando l'idrografia, attuale e a risistemazione ultimata, delle sole parti più direttamente connesse con l'intervento proposto, l'area è soggetta unicamente alle acque conseguenti alle precipitazioni ed allo scioglimento delle nevi. Le acque verranno convogliate principalmente verso il Botro Amaro e negli immissari. Per quanto riguarda le caratteristiche di permeabilità dei terreni interessati durante e dopo l'attività estrattiva

nell'area interessata, al Capitolo II (*Paragrafo II.4*) sono stati riportati i valori, sia del relativo coefficiente e del calcolo delle infiltrazioni idriche.

Da questi dati può essere dedotta la quantità di acqua residua che verrà riversata nel Botro Amaro e nei suoi immissari.

Da calcoli effettuati, non tenendo conto della evapotraspirazione, si può determinare il massimo evento idrico prevedibile nei prossimi anni.

Il deflusso naturale che interessa la cava Treschi 3 impegna una superficie di circa 12 ettari (120.000 m<sup>2</sup>), comprendenti zone esterne ed interne alla cava.

Per la determinazione dell'apporto dovuto alle precipitazioni nel tempo (necessarie per il dimensionamento adeguato delle opere che abbiano la funzione di contenere le massime portate di piena) è stata effettuata, una previsione del massimo dell'altezza di pioggia  $h_{t,T}$  che si può verificare in un certo periodo di ritorno T pari a: 5, 10, 25, 50, 75, 100 anni, partendo dai massimi annuali  $h_t$  delle altezze massime di pioggia registrate in intervalli di durata di t pari a: 1, 3, 6, 12 e 24 ore dall'ultimo ventennio nella Stazione Pluviometrica di S. Giminiano.

Nel caso in esame, il calcolo delle canalizzazioni per lo smaltimento delle acque meteoriche dal bacino di cava, verrà eseguito in funzione del massimo evento ipotizzabile in un periodo di 100 anni e per una durata della precipitazione di una ora di massima intensità. La media della massima intensità delle precipitazioni di una ora è di 28,3 mm di H<sub>2</sub>O nel periodo compreso tra il 1960 e il 1987.

Dai dati rilevati mediante regressione con il metodo dei minimi quadrati (Formula di Gumbel) è stata determinata la equazione della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica relativa al valore del tempo di ritorno pari a 50 e 100 anni:

$$h_{(T=50 \text{ anni})} = 55,50 * t^{0,560}$$

$$h_{(T=100 \text{ anni})} = 60,75 * t^{0,596}$$

con t espresso in ore e h in millimetri di pioggia.

Da tale equazione si ottiene che, in un tempo di ritorno pari a 100 anni e per una durata di precipitazione pari a 1 ora, si può prevedere come massimo evento un'altezza della colonna d'acqua pari a  $h = 60,75$  mm.

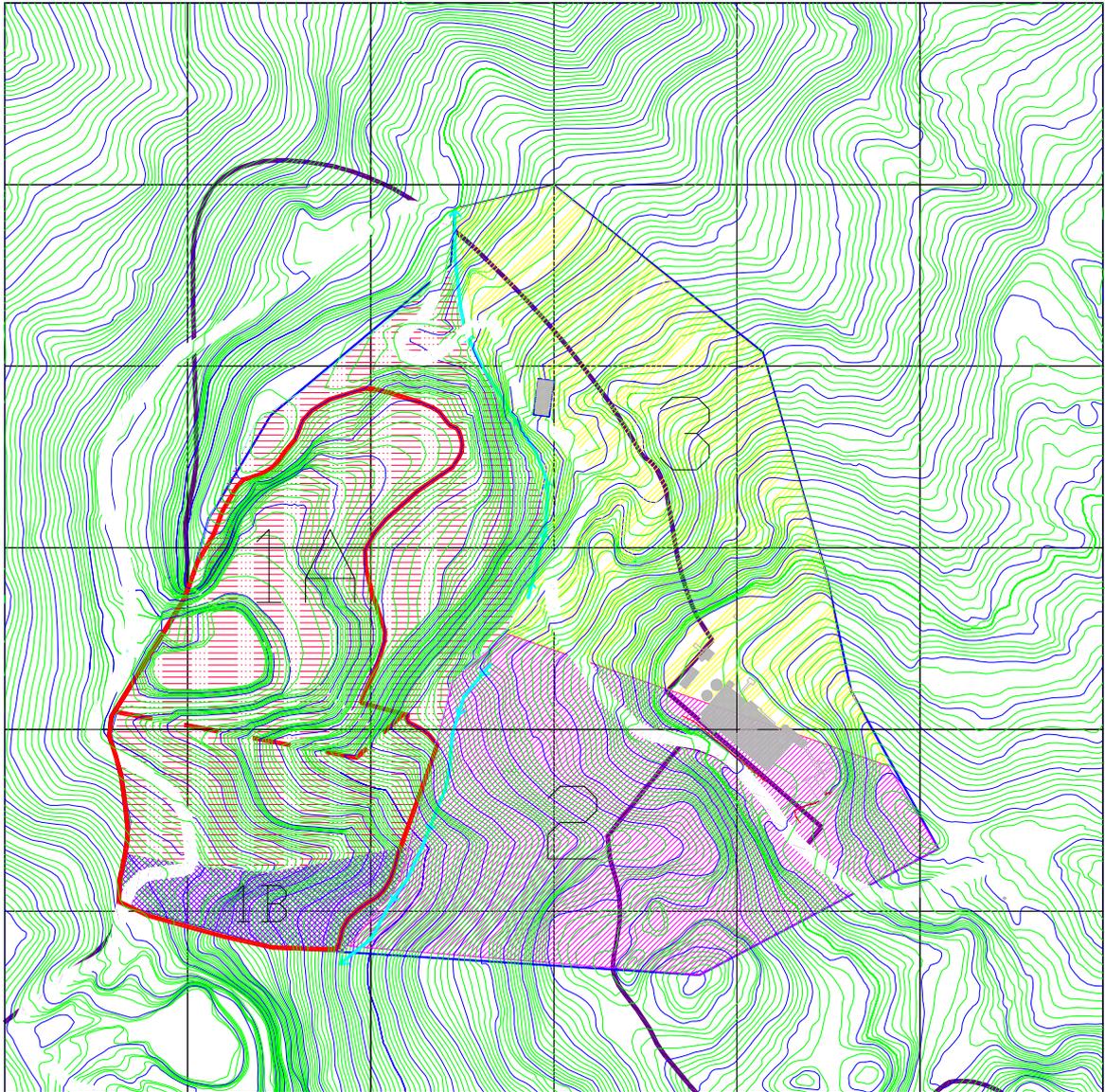
La superficie totale interessata dai lavori di scavo e dal contorno imbrifero è pari a circa 300.000 m<sup>2</sup>. Su di essa pertanto ricadranno in un'ora 60,75 mm di acqua per m<sup>2</sup>, pari ad un totale di 18.225 m<sup>3</sup>. Il coefficiente di infiltrazione dei vari terreni interessati (formazione gassifera e terreni di copertura) si può valutare pari a IE = 35%.

Pertanto, il totale delle acque di deflusso per una precipitazione continua di un'ora risulterà pari a 11.846 m<sup>3</sup>/h, non considerando l'evapotraspirazione. Tale volume di acqua ha differenti vie di deflusso per cui dividendo il bacino imbrifero nelle varie superfici fig. 3, possiamo calcolare che:

- 3.584,8 m<sup>3</sup> andranno in direzione Nord ( 3 ) tramite la canalizzazione esistente come da progetto in vigore per Treschi 1;
- 3.419,6 m<sup>3</sup> andranno in direzione Sud ( 2 ) tramite la nuova canalizzazione esterna all'area di cava Treschi 3;
- 4.841,6 m<sup>3</sup> finiranno nelle canalizzazioni dell'area di cava ( 1A e 1B ).

Da calcoli già eseguiti si possono adottare le seguenti dimensioni delle canalizzazioni:

- Drenaggio delle zone esterne di contorno alla cava: 0,54 m<sup>3</sup> (0,6 x 0,9 m<sup>2</sup>)
- Drenaggio delle aree interne (bacini cava) 0,48 m<sup>3</sup> (0,60 x 0,80 m<sup>2</sup>).



**Fig. 3** - Divisione del bacino imbrifero in superfici con differenti direzioni di raccolta dell'acqua e relative canalizzazioni esterne.

### **4.3 Fasi di risistemazione e recupero ambientale**

Come già detto in precedenza, si prevede l'utilizzazione della porzione non ancora recuperata a verde del Lotto T1 come deposito, in parte definitivo (zona est, più visibile) e in parte temporaneo (zona ovest, meno visibile) degli sterili di copertura e degli inclusi del giacimento che saranno scavati fino al sesto anno di attività mineraria. A partire dal decimo

anno di sfruttamento si attingerà al materiale depositato provvisoriamente nel Lotto T1 per utilizzarlo negli interventi di recupero ambientale del Lotto T2 nei due anni successivi.

I volumi di recupero ambientale nel Lotto T2 , sono stati dedotti con il “*Metodo delle sezioni equivalenti*” (cfr. Capitolo II).

Vengono di seguito riportate le tracce delle sezioni, che saranno utilizzate per il calcolo dei volumi di recupero, sovrapposte alle planimetrie dei Lotti T1 e T2, così come risultano prima dell’inizio della coltivazione del Lotto T2.

N.B. – D’ora in avanti si intenderà “messo in opera” quello sterile che ha già subito sia il rigonfiamento volumetrico (+30%) durante lo scavo che il successivo ricompattamento (18%) a cui è sottoposto durante la ricomposizione ambientale. Il suo volume è perciò maggiorato di un coefficiente 1,12 rispetto a quello calcolato in banco.

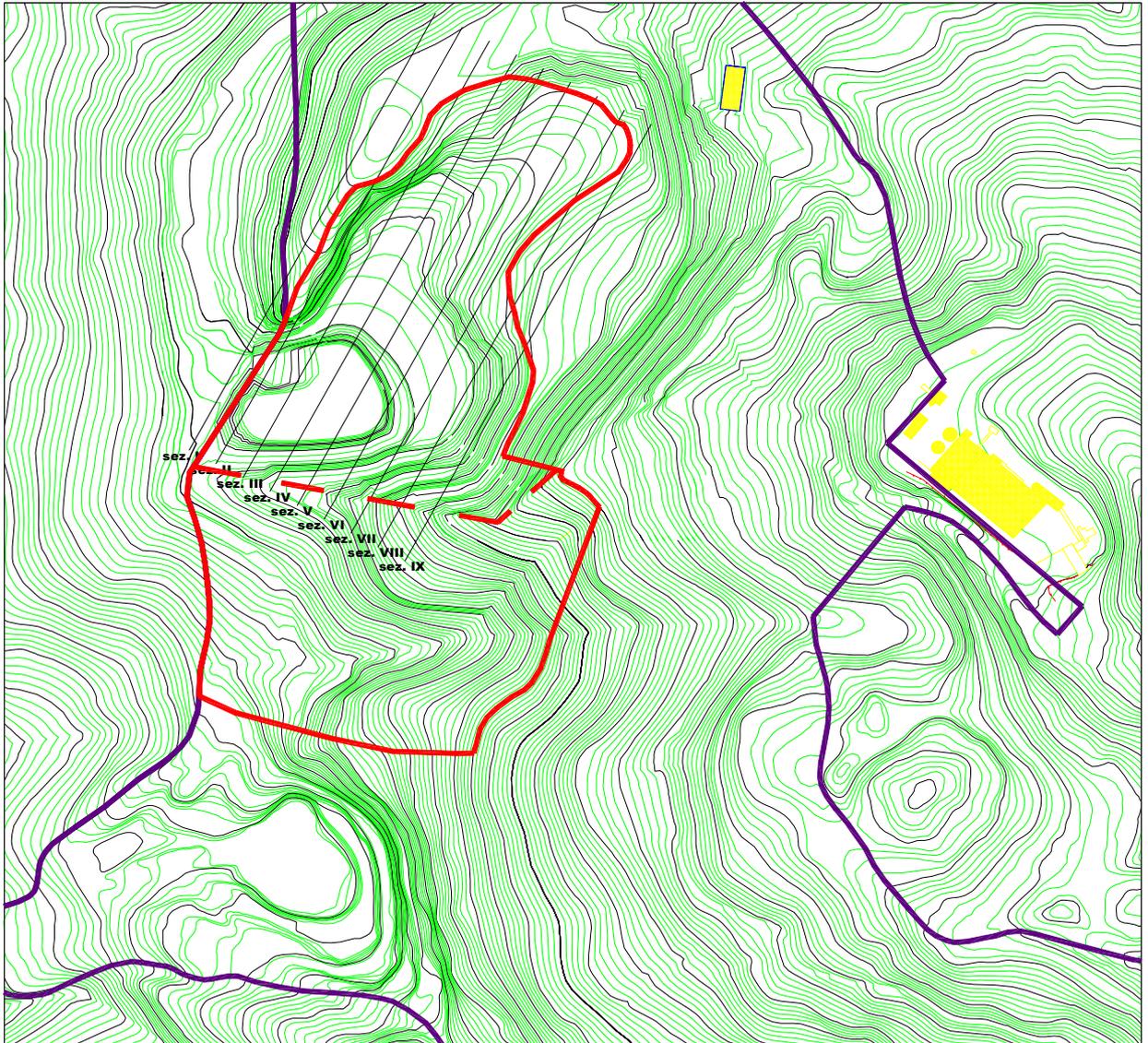


Fig. 4 – Planimetria dello stato iniziale dei luoghi con le tracce delle sezioni riguardanti il Lotto T1

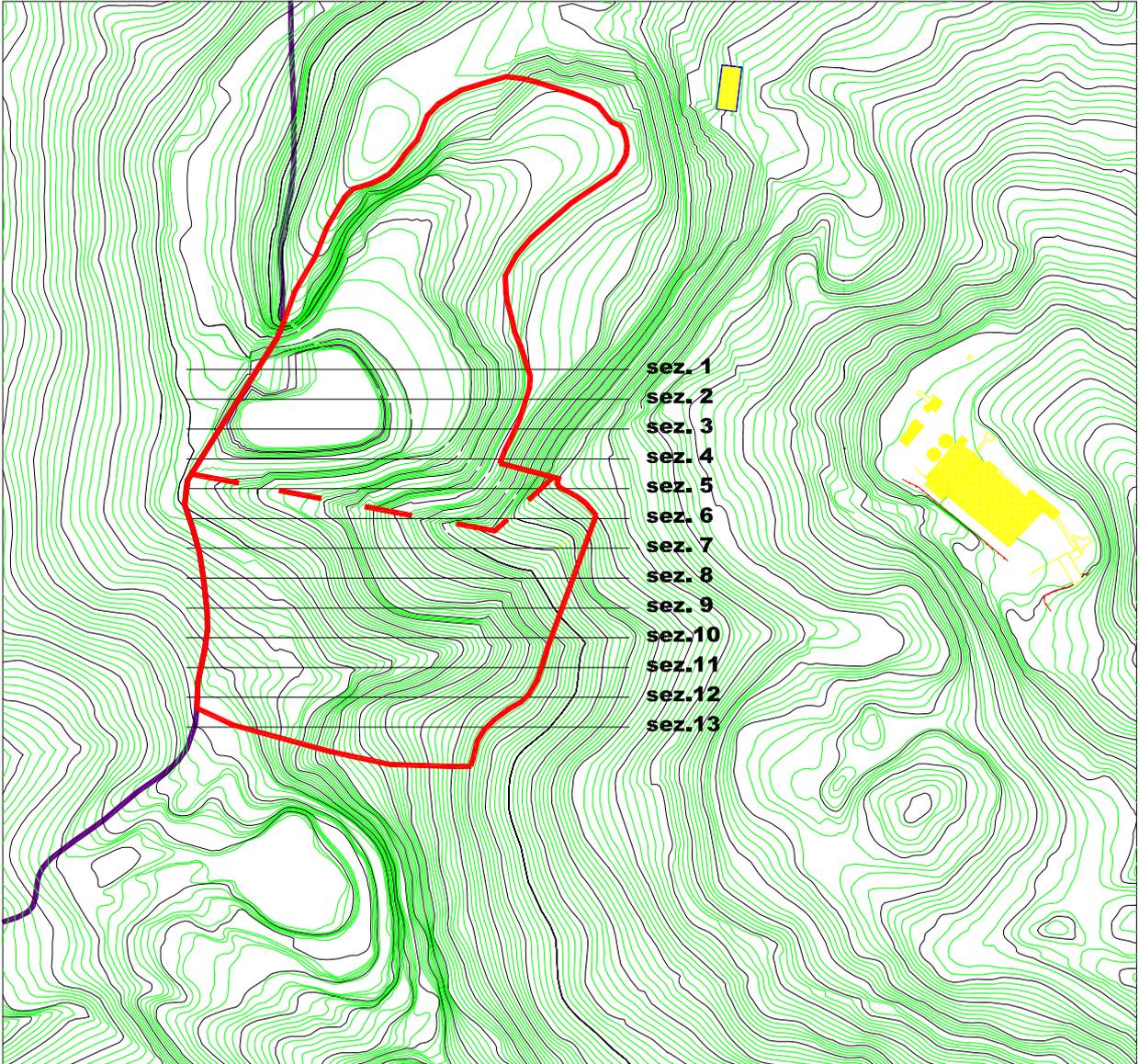
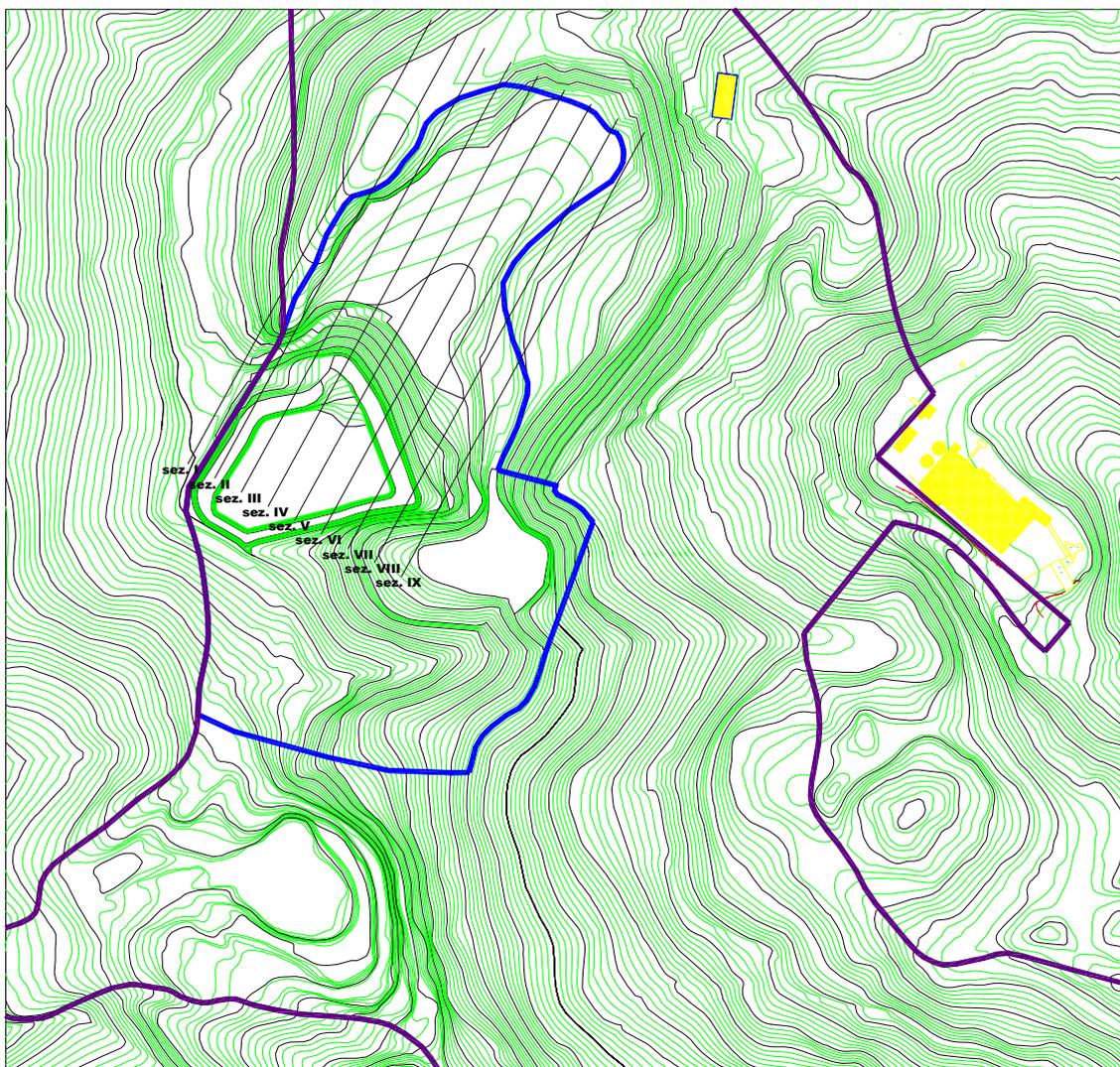


Fig. 5 – Planimetria dello stato iniziale dei luoghi con le tracce delle sezioni riguardanti il Lotto T2

L'allocazione degli sterili sarà scandita dalle seguenti 4 fasi:

1) Anni 0–3:

- deposito nel Lotto T1: circa 150.000 m<sup>3</sup> messi in opera



**Fig. 6** – Planimetria dello stato dei luoghi a 3 anni dopo l'inizio della coltivazione del Lotto T2 con le tracce delle sezioni riguardanti il Lotto T1

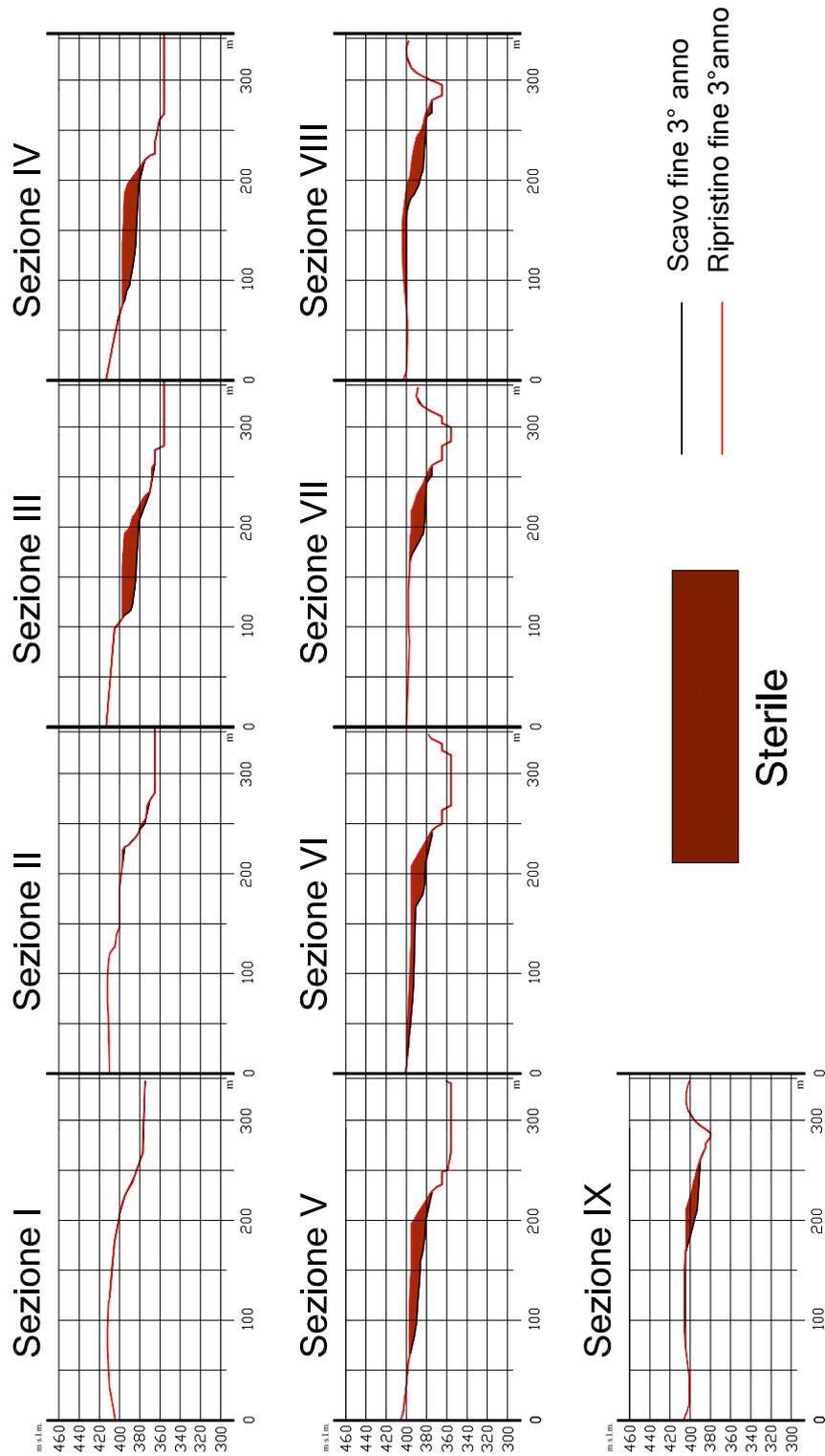


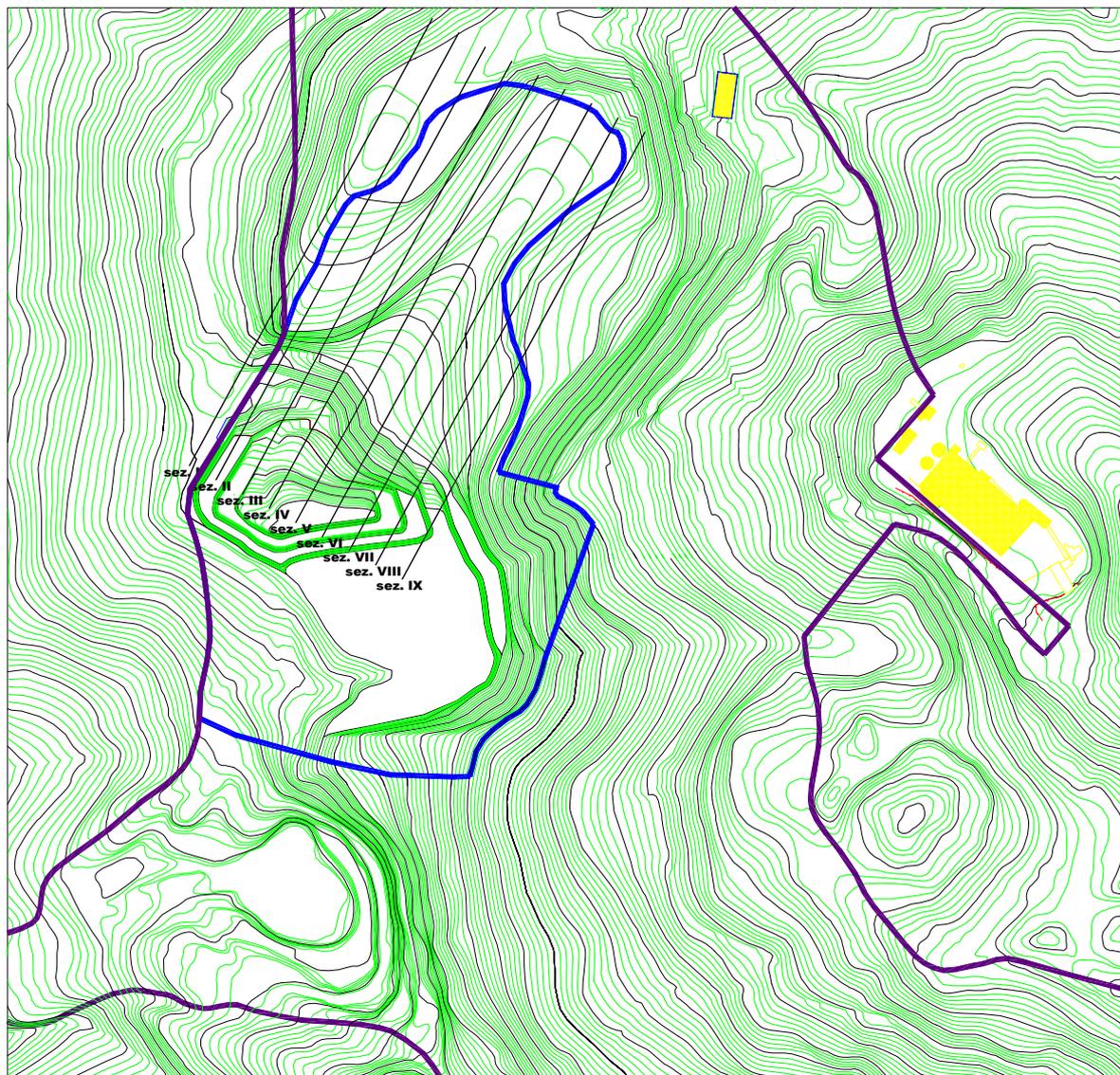
Fig. 7 – Sezioni riguardanti il Lotto T1 3 anni dopo l’inizio della coltivazione del Lotto T2

	Area Copertura [m <sup>2</sup> ]	Distanza [m]	Vol. Copertura [m <sup>3</sup> ]
Sez 0	0		0
Sez 1	0	20	0
Sez 2	14	20	140
Sez 3	1257	20	12710
Sez 4	1393,58	20	26505,8
Sez 5	1309,86	20	27034,4
Sez 6	1190,37	20	25002,3
Sez 7	747,81	20	19381,8
Sez 8	1104,89	20	18527
Sez 9	498,85	20	16037,4
Sez 10	0	20	4988,5
Totale			150327,2

**Tab. 1** – Calcolo volume sterile messo in opera nel Lotto T1 3 anni dopo l’inizio della coltivazione del Lotto T2

2) Anni 3 – 6:

- deposito nel Lotto T1: circa 160.000 m<sup>3</sup> messi in opera



**Fig. 8** – Planimetria dello stato dei luoghi 6 anni dopo l’inizio della coltivazione del Lotto T2 con le tracce delle sezioni riguardanti il Lotto T1

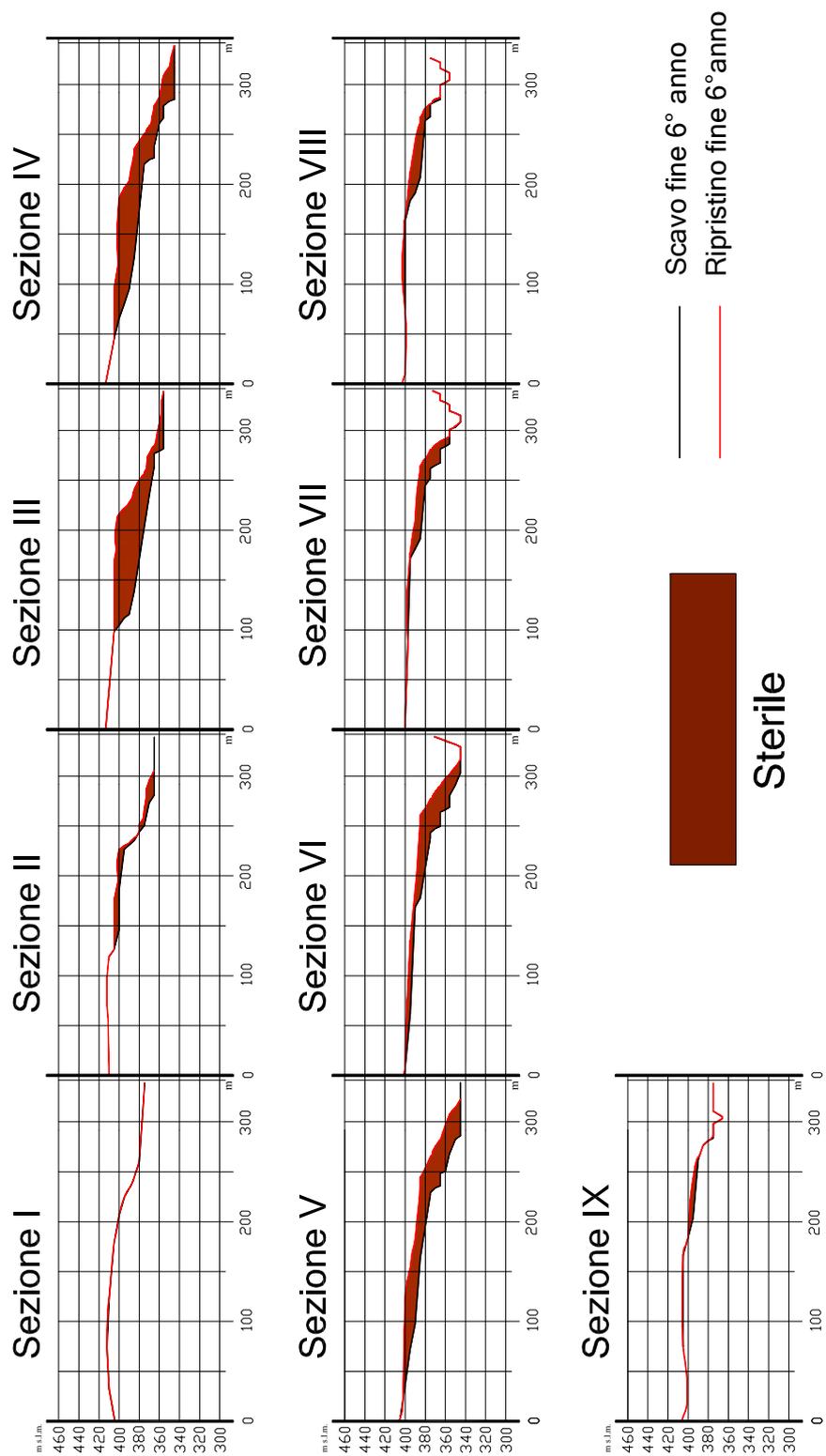
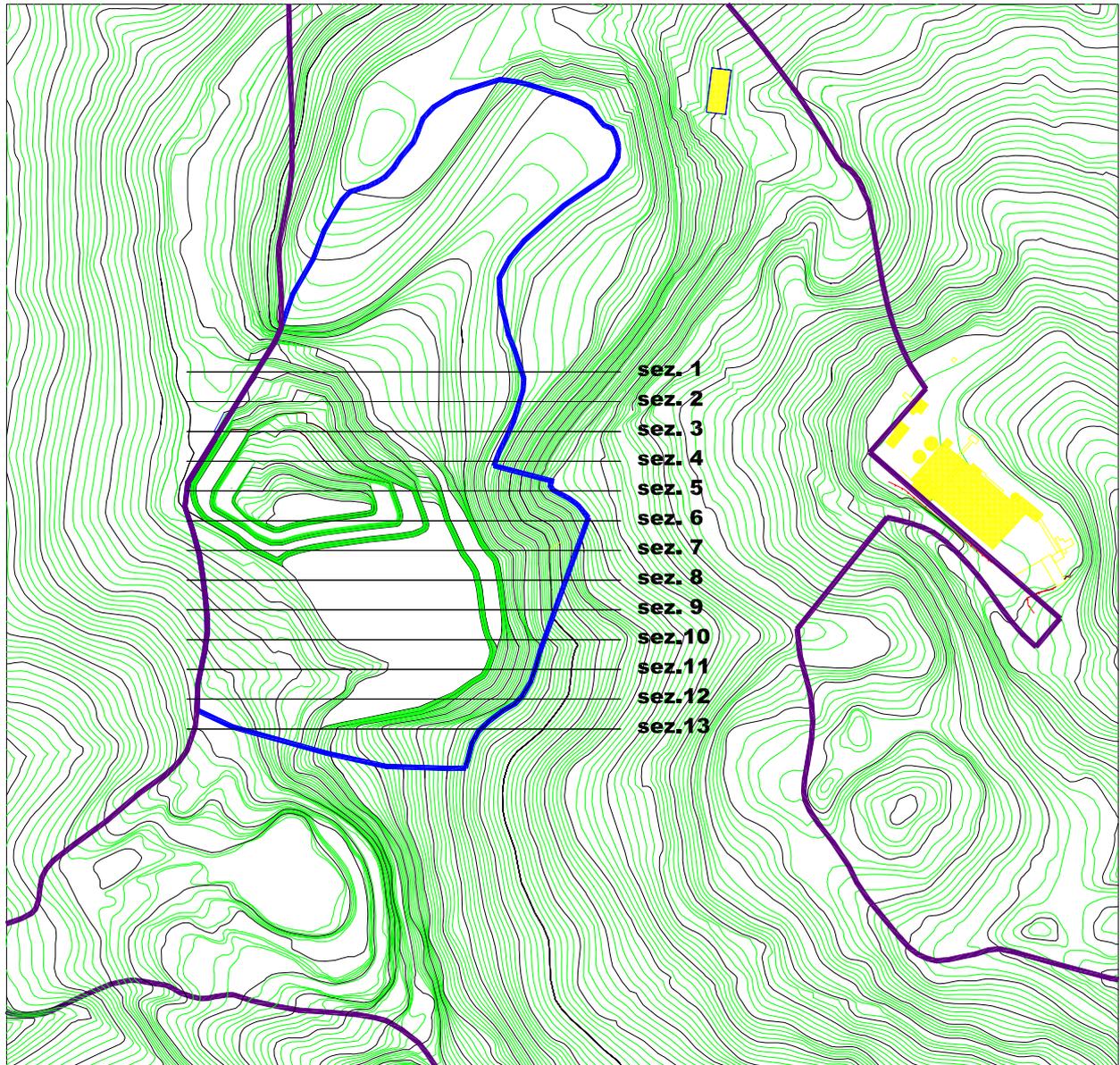


Fig. 9 – Sezioni riguardanti il Lotto T1 6 anni dopo l’inizio della coltivazione del Lotto T2

	Area Copertura [m <sup>2</sup> ]	Distanza [m]	Vol. Copertura [m <sup>3</sup> ]
Sez 0	0		0
Sez 1	0	20	0
Sez 2	718,52	20	7185,2
Sez 3	3572,39	20	42909,1
Sez 4	3849,17	20	74215,6
Sez 5	3112,34	20	69615,1
Sez 6	2125,33	20	52376,7
Sez 7	1139,58	20	32649,1
Sez 8	809,51	20	19490,9
Sez 9	252,98	20	10624,9
Sez 10	0	20	2529,8
Totale			311596,4

**Tab. 2** – Calcolo volume sterile messo in opera nel Lotto T1 6 anni dopo l’inizio della coltivazione del Lotto T2

- ripristino dei gradoni superiori del Lotto T2: circa 10.000 m<sup>3</sup> messi in opera



**Fig. 10**– Planimetria dello stato dei luoghi 6 anni dopo l’inizio della coltivazione con le tracce delle sezioni riguardanti il Lotto T2

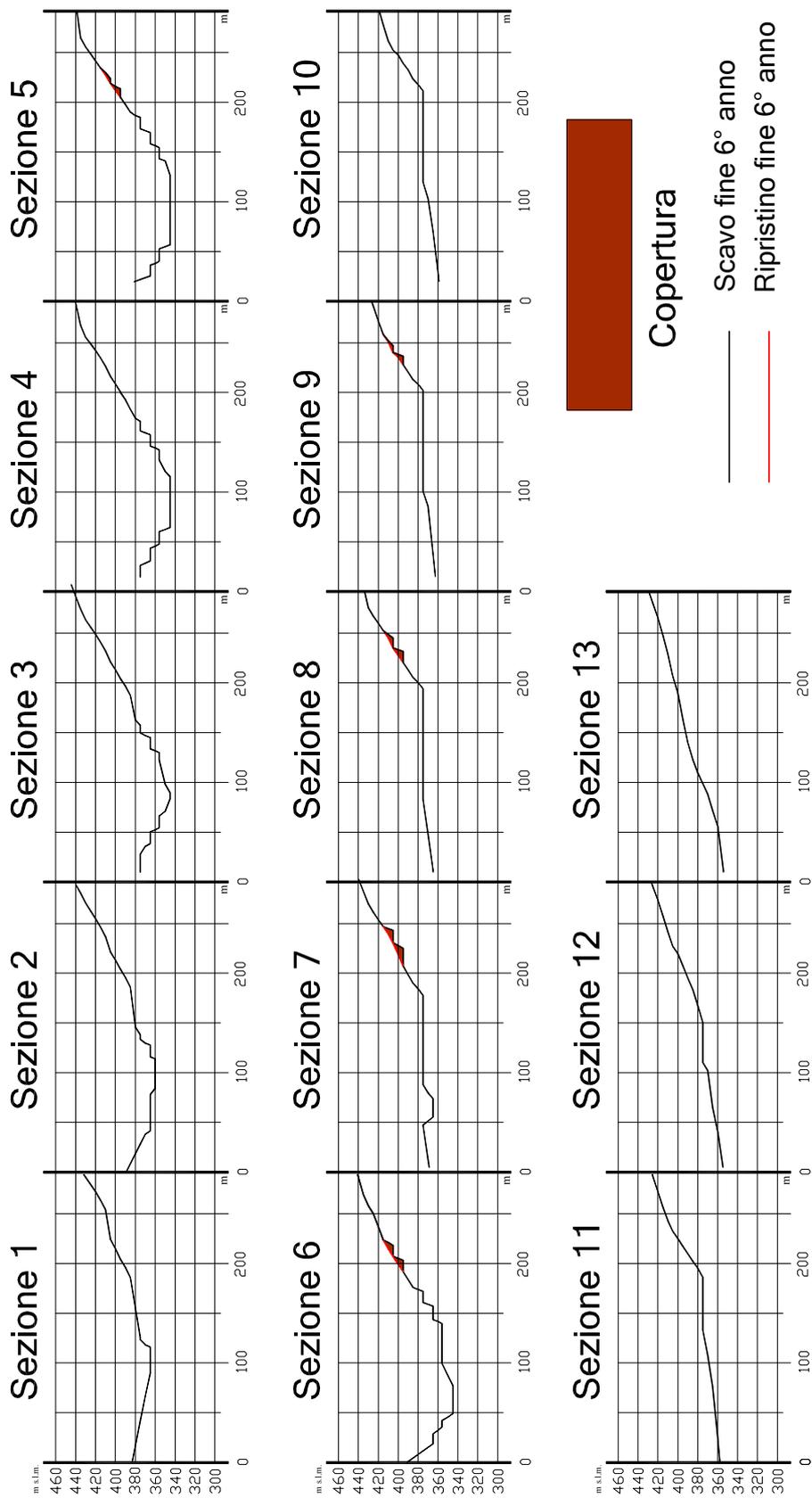


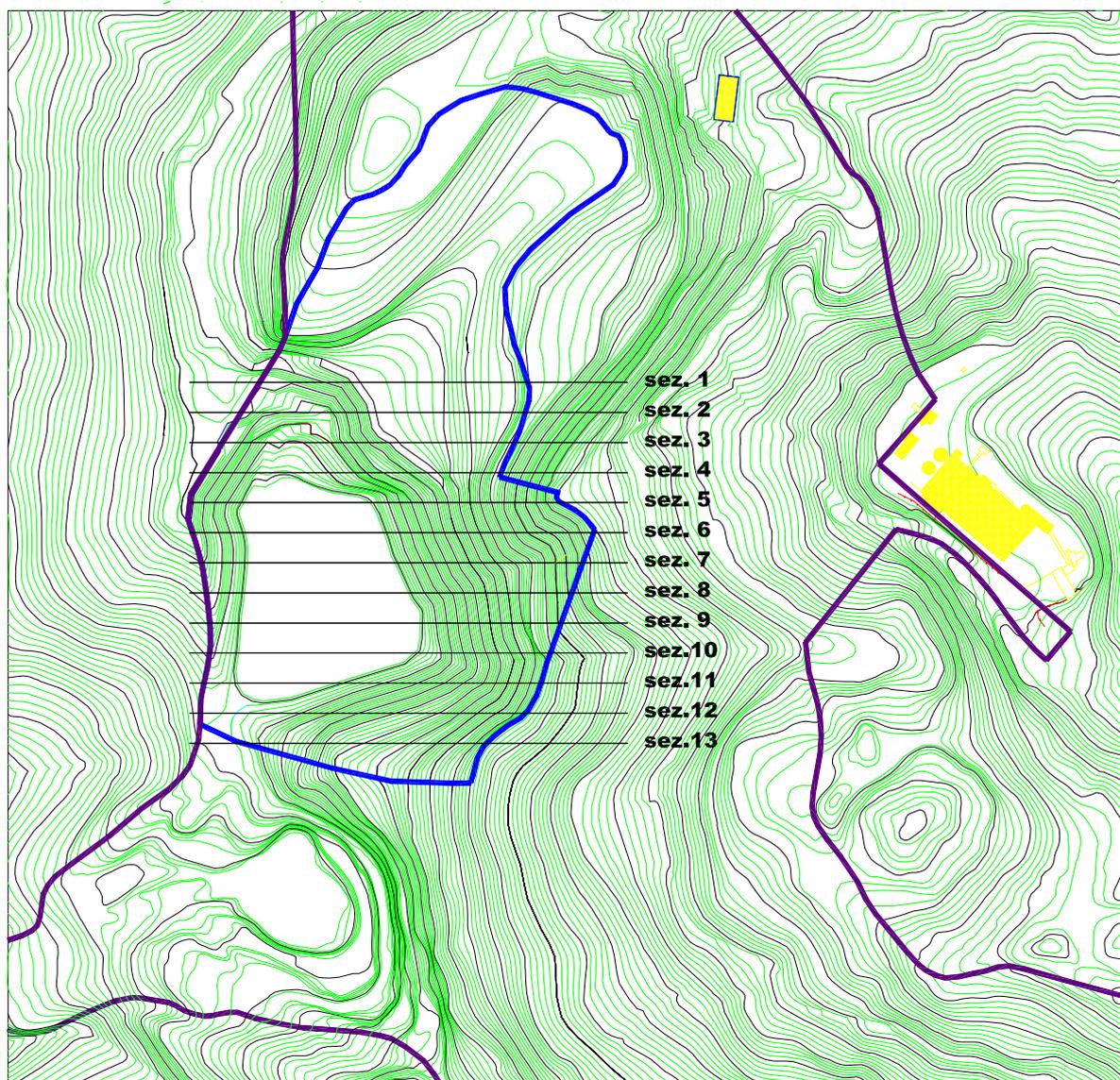
Fig. 11 – Sezioni riguardanti il Lotto T2 6 anni dopo l’inizio della coltivazione

	Area Copertura [m <sup>2</sup> ]	Distanza [m]	Vol. Copertura [m <sup>3</sup> ]
Sez 0	0		0
Sez 1	0	20	0
Sez 2	0	20	0
Sez 3	0	20	0
Sez 4	0	20	710,5
Sez 5	71,05	20	1918
Sez 6	120,75	20	2702
Sez 7	149,45	20	2516,3
Sez 8	102,18	20	1645,5
Sez 9	62,37	20	623,7
Sez 10	0	20	0
Sez 11	0	20	0
Sez 12	0	20	0
Sez 13	0	20	0
Sez 14	0	20	0
Totale			10116

**Tab. 3** – Calcolo volume sterile messo in opera nel Lotto T2 6 anni dopo l’inizio della coltivazione

3) Anni 6 – 10:

- ripristino di tutti i gradoni del Lotto T2: circa 77.000 m<sup>3</sup> messi in opera



**Fig. 12** – Planimetria dello stato dei luoghi 10 anni dopo l'inizio della coltivazione con le tracce delle sezioni riguardanti il Lotto T2

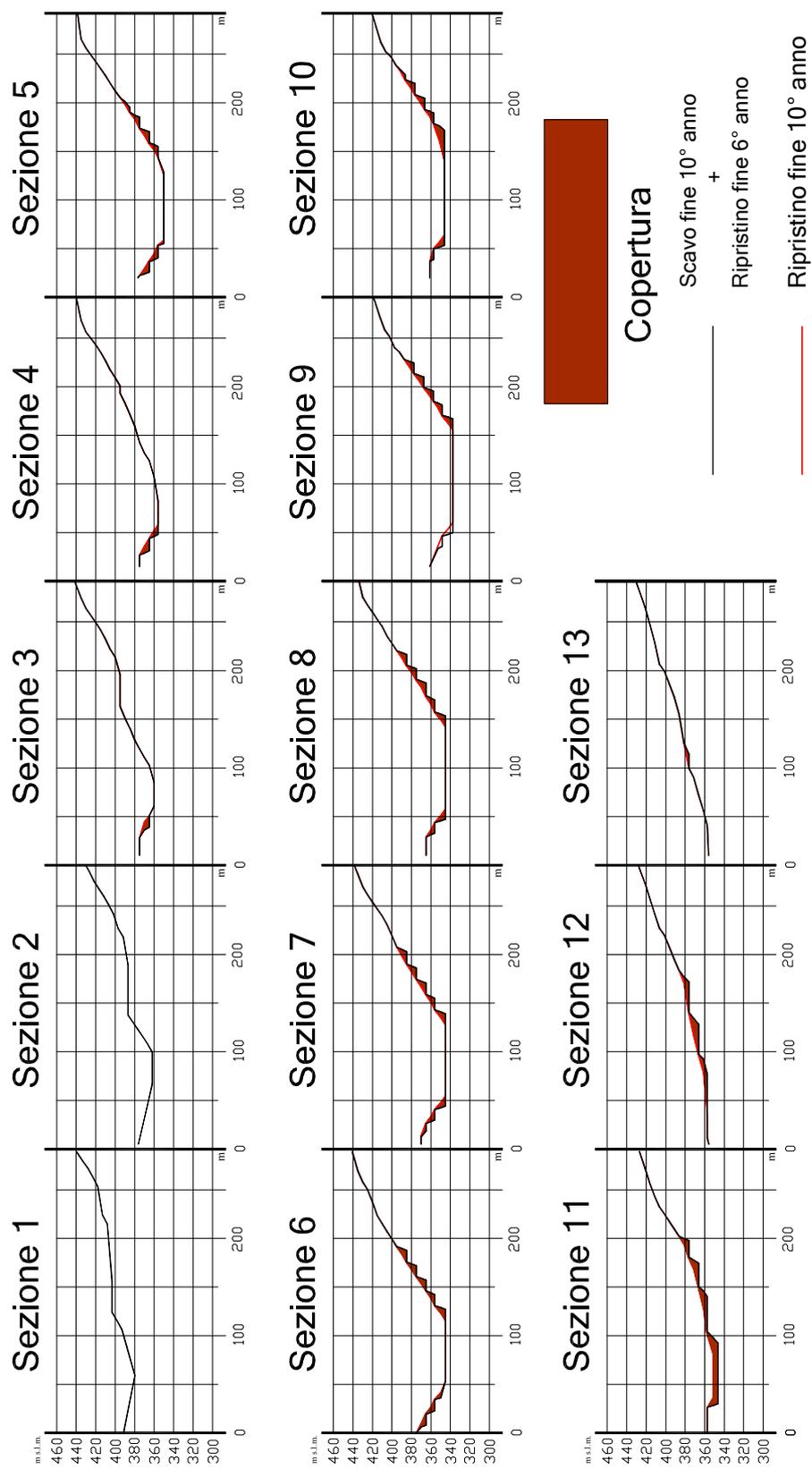


Fig. 13 – Sezioni riguardanti il Lotto T2 10 anni dopo l’inizio della coltivazione

	Area Copertura [m <sup>2</sup> ]	Distanza [m]	Vol. Copertura [m <sup>3</sup> ]
Sez 0	0		0
Sez 1	0	20	0
Sez 2	0	20	707,8
Sez 3	0	20	1875,6
Sez 4	707,8	20	4398,8
Sez 5	1875,6	20	7477,5
Sez 6	4398,8	20	8583,1
Sez 7	7477,5	20	8519
Sez 8	8583,1	20	8611,5
Sez 9	8519	20	12277,4
Sez 10	8611,5	20	12237,8
Sez 11	12277,4	20	4774,2
Sez 12	12237,8	20	4128,6
Sez 13	4774,2	20	3743,9
Sez 14	4128,6	20	0
Totale			77335,2

**Tab. 4** – Calcolo volume sterile messo in opera sui gradoni del Lotto T2 tra la fine del 6° e la fine del 10° anno dopo l’inizio della coltivazione

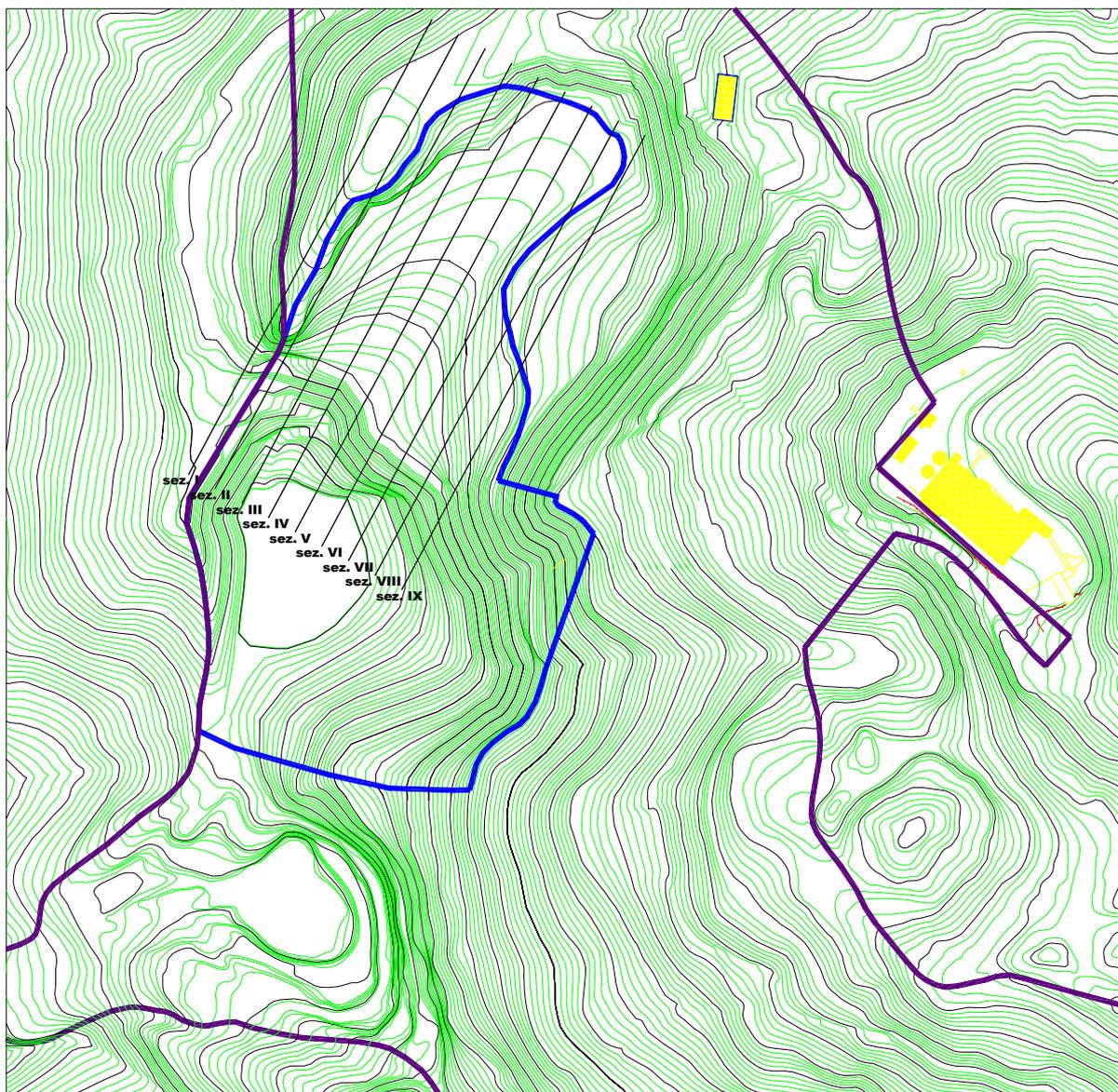
- parziale riempimento della fossa nel Lotto T2: circa 99.000 m<sup>3</sup> messi in opera

	Area Fossa [m <sup>2</sup> ]	Profondità [m]	Vol. Copertura [m <sup>3</sup> ]
Quota 345	8281,57		
Quota 354	13615,57	9	
Totale			98537,13

**Tab. 5** – Calcolo volume sterile messo in opera per il parziale riempimento della fossa nel Lotto T2 tra la fine del 6° e la fine del 10° anno dopo l’inizio della coltivazione

4) Anni 10 – 12:

- prelievo di sterile dal deposito temporaneo posto nell'area ovest del Lotto T1:  
circa 70.000 m<sup>3</sup> messi in opera



**Fig. 14** – Planimetria dello stato dei luoghi 12 anni dopo l'inizio della coltivazione del Lotto T2 con le tracce delle sezioni riguardanti il Lotto T1

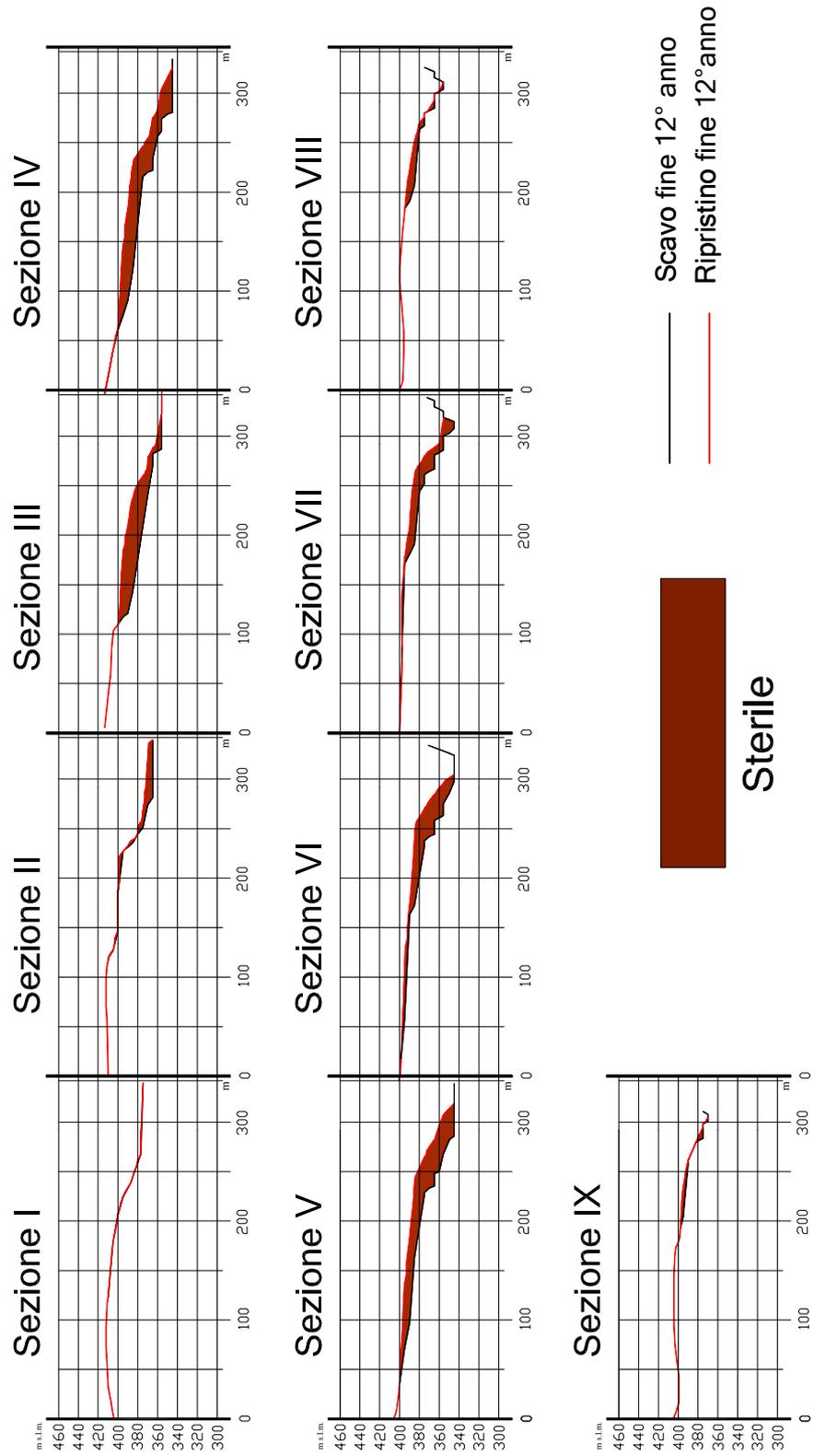
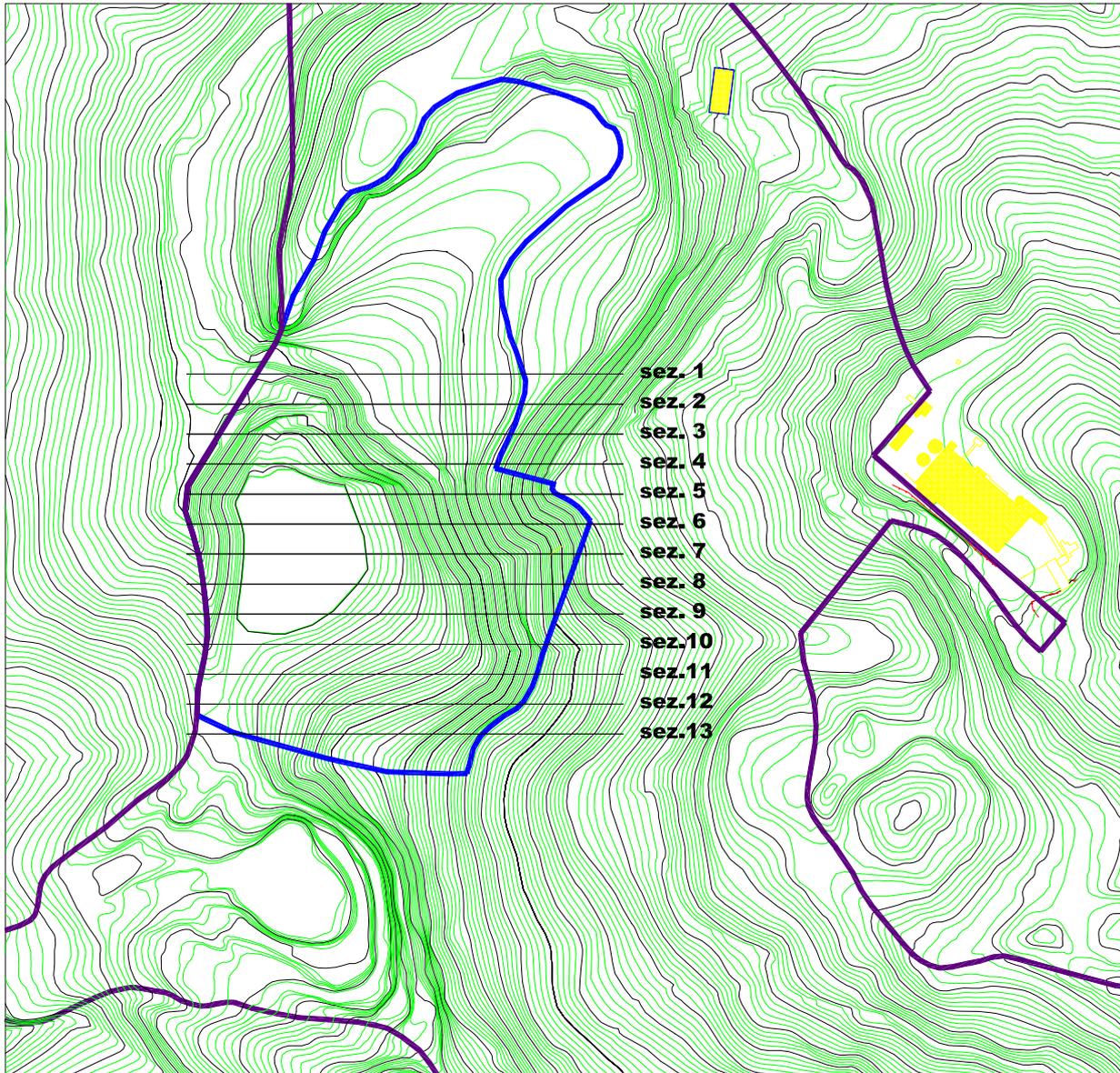


Fig. 15 – Sezioni riguardanti il Lotto T1 12 anni dopo l’inizio della coltivazione del Lotto T2

	Area Copertura [m <sup>2</sup> ]	Distanza [m]	Vol. Copertura [m <sup>3</sup> ]
Sez 0	0		0
Sez 1	0	20	0
Sez 2	512,01	20	5120,1
Sez 3	2214,31	20	27263,2
Sez 4	2885,82	20	51001,3
Sez 5	2674,91	20	55607,3
Sez 6	1794,63	20	44695,4
Sez 7	1284,06	20	30786,9
Sez 8	464,45	20	17485,1
Sez 9	162,68	20	6271,3
Sez 10	0	20	1626,8
Totale			239857,4

**Tab. 6** – Calcolo volume sterile messo in opera nel Lotto T1 12 anni dopo l’inizio della coltivazione del Lotto T2

- allocazione nell'area sud del Lotto T2 dello sterile prelevato dal Lotto T1, al fine di rendere la topografia generata dalla ricomposizione ambientale più armonica al contesto naturale preesistente: circa 70.000 m<sup>3</sup> messi in opera



**Fig. 16** – Planimetria dello stato dei luoghi 12 anni dopo l'inizio della coltivazione con le tracce delle sezioni riguardanti il Lotto T2

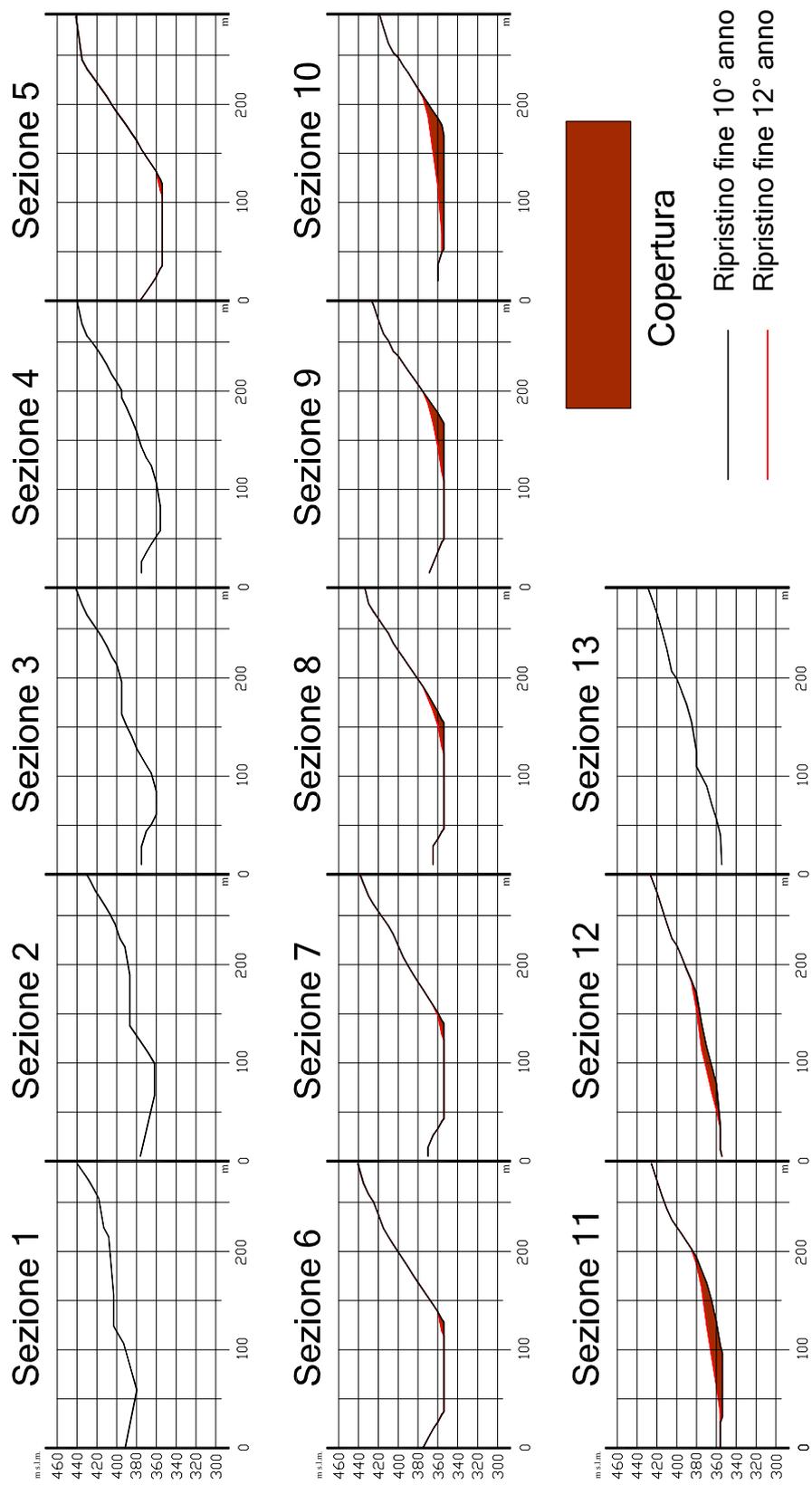


Fig. 17 – Sezioni riguardanti il Lotto T2 12 anni dopo l’inizio della coltivazione

	Area Copertura [m <sup>2</sup> ]	Distanza [m]	Vol. Copertura [m <sup>3</sup> ]
Sez 0	0		0
Sez 1	0	20	0
Sez 2	0	20	0
Sez 3	0	20	0
Sez 4	45,94	20	459,4
Sez 5	50,07	20	960,1
Sez 6	72,96	20	1230,3
Sez 7	230,09	20	3030,5
Sez 8	480,78	20	7108,7
Sez 9	1051,73	20	15325,1
Sez 10	1181,57	20	22333
Sez 11	578,67	20	17602,4
Sez 12	0	20	5786,7
Sez 13	0	20	0
Sez 14	0	20	0
Totale			73836,2

**Tab. 7** – Calcolo volume sterile messo in opera nell’area sud del Lotto T2 tra la fine del 10° e la fine del 12° anno dopo l’inizio della coltivazione

Gli sterili provenienti dall’escavazione nel Lotto T2 (circa 500.000 m<sup>3</sup> messi in opera, cfr. “Relazione tecnica e piano di coltivazione”) saranno quindi ripartiti nella Cava Treschi 3 all’incirca come illustrato nella Tabella che segue.

Cava Treschi 3	Corrispettivi ripienati m <sup>3</sup>
<b>Lotto T1</b>	240.000
<b>Lotto T2</b>	260.000

**Tab. 8** – Sterili messi in opera nella risistemazione

## 5 RECUPERO VEGETAZIONALE: INDIVIDUAZIONE DI CRITERI PROGETTUALI

### 5.1 Premessa

Un ambiente fortemente alterato da perturbazioni profonde, siano esse dovute a eventi naturali catastrofici o ad effetti diretti o indiretti di attività antropiche, necessita di un insieme di attività di ripristino e di stili di approccio al problema del recupero naturalistico e paesaggistico che intervengano a scale diverse. Infatti, la serie di impatti e modificazioni sugli assetti fisici, biotici e antropici dell'ambiente è valutabile a diversi livelli di scala spazio-temporale. Intendiamo, per livelli spazio-temporali, gli ambiti analitici e funzionali, concatenati fra loro, in cui agiscono sia gli aspetti che riguardano la percezione sostanziale dello *Spazio* del singolo organismo (umano, vegetale o animale che sia) e delle comunità che insistono su un insieme di sistemi ecologici, sia le possibilità e limiti, in termini di risorse e modificazione degli habitat, che, nel corso del *Tempo*, ne influenzeranno l'accesso e la permanenza.

Le attività estrattive in generale, e le escavazioni di versante in particolare, sono azioni perturbative fra le più ricorrenti e che necessitano di maggior attenzione nei processi di recupero che devono succedersi alla cessazione dell'attività di scavo. In questo senso, gli interventi di restauro ambientale sono stati molto frequentemente eseguiti con la preoccupazione dominante, se non unica, di ottenere, nel tempo più breve possibile, una copertura vegetale che avesse come finalità principali quella di mitigare gli effetti erosivi di dilavamento causati dalle precipitazioni in suoli privi di copertura e quella di ridurre, se non altro parzialmente nel tempo e nello spazio, l'inquinamento visivo generato dall'escavazione. L'analisi degli impatti e delle condizioni di partenza per il ripristino dovrebbero quindi essere impostate secondo un percorso di approfondimento percettivo, spaziale e temporale, in grado di produrre una serie di meta-informazioni sulle modificazioni che la cava comporta nel corso della sua attività e sulle direzioni che le interazioni fra organismi e popolazioni, vegetali e animali, assumeranno al termine dei lavori di escavazione.

Da alcuni anni i criteri di lavoro per questi tipi di intervento si sono avvalsi di approcci metodologici che affrontano il problema in maniera più articolata. Schematizzando si può scindere questo tipo di approccio a due diverse scale: a livello generale di paesaggio, derivante dalle interazioni di un ecosistema con la storia delle attività umane svolte in quella area geografica, e a livello locale di ecosistema inteso come la massima espressione

possibile per l'ambiente pedo-climatico considerato, in funzione del flusso energetico disponibile e della fase di colonizzazione della vegetazione (fase successionale) osservata nel caso specifico.

## **5.2 Il ripristino dell'ecosistema**

Il corretto approccio nel restauro ambientale è rappresentato dal fatto che i biosistemi non devono essere considerati come entità statiche, descrivibili semplicemente in base alla presenza delle varie specie e dalle modalità della loro distribuzione sul territorio, bensì come complessi in continua evoluzione. Ogni qualvolta si persegue il restauro ambientale limitandosi a ricreare un ambiente vegetazionale simile a quello di aree limitrofe inalterate, si ha una visione statica, ed errata, del biosistema. La differenza nell'approccio è di tipo interpretativo. Sul piano pratico si deve comunque procedere al censimento delle specie e alla registrazione dei modi con cui queste si aggregano o si disperdono sul territorio, ma è sul significato del ruolo che viene svolto da ogni specie che si può interpretare il momento che caratterizza la "traiettoria storica" dello sviluppo del biosistema analizzato. Sulla base di casistiche conosciute diviene così individuabile e riproducibile il complesso di associazioni vegetali che in origine ha permesso l'evolversi del manto vegetale in quello riscontrabile all'attualità.

Un ecosistema è restaurato quando si realizzano le condizioni che determinano la capacità di questo ad evolversi e trasformarsi secondo percorsi il più simili possibile a quelli della vegetazione inalterata. Il successo dell'operazione di restauro può essere valutato sulla base sia di caratteristiche misurabili sia di caratteristiche stimabili indirettamente. Un aspetto importante è rappresentato dalla diversità biologica che si viene a realizzare. Alla flora di impianto artificiale se ne aggiunge altra da diffusione spontanea che spesso è diversa da quella che si osserverebbe se il terreno nudo fosse lasciato alla sua evoluzione. Un insieme di vegetazione di questo tipo, ricca di variabilità specifica, valutabile attraverso appositi indici ecologici, contribuisce a conferire plasticità ecologica al biosistema anche grazie all'instaurarsi di raggruppamenti di organismi in base al loro ruolo funzionale. Più in dettaglio occorre precisare che le fasi evolutive di una copertura vegetale prendono il via dalla prima colonizzazione (fase pioniera) caratterizzata dalla presenza di elementi botanici dotati di rusticità, di facilità di propagazione sia gamica che agamica e di rapido accrescimento (nel caso di specie arboree). Questo complesso floristico ha caratteristiche tali da potere

colonizzare terreni nudi ed è anche capace di rigenerarsi prontamente in caso di nuovi “disturbi” al biosistema (elevata resilienza) ma, soprattutto, è in grado di innescare lente e positive modificazioni ambientali tali da rendere possibile l’ingresso, secondo una strategia di rimpiazzo ordinato, di specie più esigenti che saranno quelle che daranno luogo alla formazione vegetazionale matura (fase climax) generalmente caratterizzata da una minore variabilità specifica a seguito della pressione selettiva dell’ambiente a vantaggio di un sempre più ristretto numero di specie. Ciò conferisce alla formazione climax grande resistenza (capacità di resistere ai disturbi) ma scarsa resilienza (scarsa capacità di autoriparazione).

Alla luce di quanto esposto si è proceduto alle scelte progettuali relative al recupero ambientale dell’area T2 sulla base di:

- analisi pedologica e climatica al fine di caratterizzare l’ambiente su base analitica e, soprattutto, individuare eventuali fattori limitanti o fortemente osteggianti la rinnovazione artificiale;
- analisi vegetazionale a seguito di 1) ricognizione generale con descrizione delle associazioni vegetali e delle forme di trattamento selvicolturale; 2) dettagliato rilievo della vegetazione arbustiva e arborea secondo transect predefiniti;
- interpretazione e ricostruzione della fase successionale (o delle fasi successionali) completa;
- analisi delle morfologie del suolo a seguito delle opere di sistemazione al fine di individuare situazioni più favorevoli al ripristino secondo le fasi più mature della successione;
- individuazione di casi di ripristino e definizione dei consorzi floristici da realizzare artificialmente tramite semine o piantagioni;
- valutazione dell’influenza di eventuali particolari cure colturali nell’accelerare le fasi successionali.

## **6 RECUPERO VEGETAZIONALE: ANALISI AMBIENTALE PRELIMINARE**

La cava è sita ad una latitudine di 43°27'25" e ad una longitudine di 1°30'20" Ovest di Monte Mario.

## 6.1. Il clima

Lo studio del clima è stato condotto sui dati giornalieri del Servizio Idrologico Regionale della Toscana (sez. di Pisa), pubblicati e scaricabili dal sito [www.idropisa.it](http://www.idropisa.it). Le stazioni termopluviometriche considerate sono due, entrambe relative alla città di Volterra (prov. PI): “Volterra cod. 1660” (476 m s.l.m.) e Volterra cod. 1664 (530 m s.l.m.). Alla prima si è fatto riferimento per i dati relativi al ventennio 1981-2000, alla seconda per i dati relativi al periodo 1996-2003. Sono stati inoltre utilizzati i dati di temperature e precipitazioni della stazione di “Volterra” relativi al trentennio (ante 1988) riportati nei precedenti progetti di ripristino ambientale della cava Treschi. Tale procedimento permette di confrontare (tab. 9) dati rilevati nella stessa località in differenti periodi di osservazione al fine di poter rilevare eventuali cambiamenti e tendenze del clima della zona.

La temperatura media relativa al ventennio 1981-2000 è di 14.4 °C, oltre un grado superiore a quella registrata nel precedente trentennio (13.1 °C); anche i valori medi massimi e minimi fanno registrare la stessa tendenza (da 16.8 a 17.9 °C i massimi; da 9.4 a 10.9 °C i minimi). L’escursione annua è pari a 18.2 °C. I valori medi minimi non sono mai inferiori a 0 °C, sebbene si possono verificare fenomeni di gelate tra novembre e marzo. La temperatura minima assoluta registrata è di -11 °C, la massima di 42 °C.

La quantità di pioggia caduta mediamente nel periodo 1981-2000 è pari a 835 mm annui. I mesi in cui si registrano i valori massimi assoluti di pioggia sono ottobre e novembre, in marzo ed aprile si registrano i massimi relativi, secondo un regime di precipitazioni tipicamente mediterraneo.

Nel ventennio 1980-2000 il periodo di aridità è concentrato nel mese di luglio; da quanto emerge dai dati relativi alle stazioni di Volterra cod. 1664 e La Madonnina, il periodo di aridità negli ultimi anni sembra interessare anche il mese di giugno e, per la stazione di Volterra, anche agosto (tab. 10).

Secondo la classificazione fitoclimatica di Pavari (1916) l’area di studio appartiene alla zona del *Lauretum*, tipo con siccità estiva, sottozona media.

Il vento dominante nella zona interessata dalle attività estrattive proviene da Ovest.

**Tab. 9** – Valori di temperatura media annua e di precipitazioni mensili nelle stazioni considerate.

	<b>Volterra</b>		<b>Volterra cod. 1660</b>		<b>Volterra cod. 1660</b>		<b>La Madonnina</b>	
	<i>T med</i> °C	<i>Prec</i> mm	<i>T med</i> °C	<i>Prec</i> mm	<i>T med</i> °C	<i>Prec</i> mm	<i>T med</i> °C	<i>Prec</i> mm
<i>Gennaio</i>	4,5	78	6,0	49,2	6,1	71	4,2	62
<i>Febbraio</i>	5,1	70	6,7	57,6	6,6	60	2,0	40
<i>Marzo</i>	8,0	75	9,5	63,0	10,5	37	9,5	69
<i>Aprile</i>	11,4	78	11,9	85,9	11,9	107	7,2	119
<i>Maggio</i>	15,1	83	16,5	62,8	18,1	52	17,1	58
<i>Giugno</i>	19,6	59	20,1	51,0	22,4	38	23,1	32
<i>Luglio</i>	22,5	37	24,1	36,4	23,3	17	22,6	26
<i>Agosto</i>	22,4	43	24,2	52,8	25,2	36	15,8	69
<i>Settembre</i>	19,4	94	20,3	77,7	18,9	91	18,0	73
<i>Ottobre</i>	14,1	145	15,9	125,0	15,6	94	13,7	74
<i>Novembre</i>	9,6	118	10,3	103,3	11,2	133	10,7	129
<i>Dicembre</i>	5,9	114	6,9	71,1	7,1	68	6,2	80

**Tab. 10** – Mesi con presenza di aridità.

	<b>Volterra</b>	<b>Volterra cod. 1660</b>	<b>Volterra cod. 1664</b>	<b>La Madonnina</b>
Gennaio	non arido	non arido	non arido	non arido
Febbraio	non arido	non arido	non arido	non arido
Marzo	non arido	non arido	non arido	non arido

Aprile	non arido	non arido	non arido	non arido
Maggio	non arido	non arido	non arido	non arido
Giugno	non arido	non arido	arido	arido
Luglio	arido	arido	arido	arido
Agosto	arido	non arido	arido	non arido
Settembre	non arido	non arido	non arido	non arido
Ottobre	non arido	non arido	non arido	non arido
Novembre	non arido	non arido	non arido	non arido
Dicembre	non arido	non arido	non arido	non arido

## 6.2 Caratteristiche pedologiche dell'area

Nel corso di più sopralluoghi sono stati raccolti alcuni campioni del terreno presente nella cava.

Il terreno è costituito prevalentemente da solfato di calcio e subordinatamente da anidrite e dolomia, per quanto riguarda la formazione produttiva, e da sabbie, sabbie argillose, marne argillose, etc. per quanto riguarda la sua copertura. Nelle fasi di recupero ambientale, a causa della rimodellazione della morfologia dell'area, la formazione gessifera verrà nella massima parte coperta e pertanto nei terreni oggetto dell'intervento di ripristino ambientale il termine solfatico si ridurrà pur rimanendo rappresentato da residui derivati dallo sparo delle mine e dalle operazioni di carico, etc.

Le analisi di laboratorio effettuate sui campioni prelevati hanno evidenziato che:

- mediamente la tessitura del suolo risulta essere: scheletro ( $\Phi > 2$  mm) 34,7 % (range 48-21); terra fine ( $\Phi < 2$  mm) 65,3 % rientrante nella classe tessiturale limo-sabbiosa data dalla seguente ripartizione nelle classi granulometriche: sabbia ( $0,05$  mm  $< \Phi < 2$  mm) 43,8 % (range 51,2-38,6), limo ( $0,05$  mm  $< \Phi < 0,002$  mm) 50,0 % (range 56-46), argilla ( $\Phi < 0,002$  mm) 6,2 % (range 10,4-2,8);
- il pH è sub alcalino, prossimo alla neutralità con valore medio pari a 7,76 con valori estremi pari a 8,67 e 7,35;

- la concentrazione dei macroelementi risulta limitata con valori medi per l'azoto totale (N) di 1,4 mg/l (range 3,7-0,35), per il fosforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) di 0,9 mg/l (range 3,7-0) e per il potassio (K<sub>2</sub>O) di 5,8 mg/l (range 10-2,4);
- la concentrazione nel suolo degli altri elementi nutritivi, con le sole eccezioni di calcio, sodio e magnesio, è scarsa;
- la capacità di scambio cationico è bassa e mediamente pari a 0,9 meq/100 g (range 1,4-0,4).

Dai dati sopra riportati emerge che l'ambiente edafico pone limitazioni alla componente vegetale dell'ecosistema in vari processi vitali quali la germinazione del seme, l'accrescimento della parte aerea e lo sviluppo dell'apparato radicale. In particolare la tessitura del substrato determina una scarsa capacità di ritenzione idrica, la bassa capacità di scambio cationico suggerisce la necessità di intervenire con apporti di sostanza organica e la modesta presenza di elementi nutritivi rende auspicabile l'apporto di fertilizzanti, sia organici che chimici, in grado, inoltre, di abbassare i valori di pH.

## **6.3 Associazioni vegetali**

### **6.3.1. Vegetazione della cava**

La vegetazione presente nell'area della cava Treschi è composta in prevalenza da sclerofille sempreverdi (tipiche della vegetazione mediterranea) a cui si accompagnano alcune latifoglie decidue termoxerofile. Fra le sclerofille sempreverdi dominano il leccio (*Quercus ilex*), il corbezzolo (*Arbutus unedo*), il lentisco (*Pistacia lentiscus*), fra le latifoglie decidue termoxerofile la roverella (*Quercus pubescens*) e l'orniello (*Fraxinus ornus*).

Tali boschi possono pertanto essere inquadrati nel tipo forestale della lecceta di transizione ai boschi di caducifoglie oppure nel tipo dell'orno-lecceta con roverella.

### **6.3.2. Vegetazione del lotto T2**

Nel lotto T2 si osservano 2 diverse formazioni vegetali: un ceduo a prevalenza di leccio ed una macchia più bassa sempre a prevalenza di leccio.

Nella prima zona, sottoposta a taglio raso con rilascio di matricine lo scorso anno, è stato effettuato un censimento delle ceppaie su un transect di 50 x 4 m considerando celle

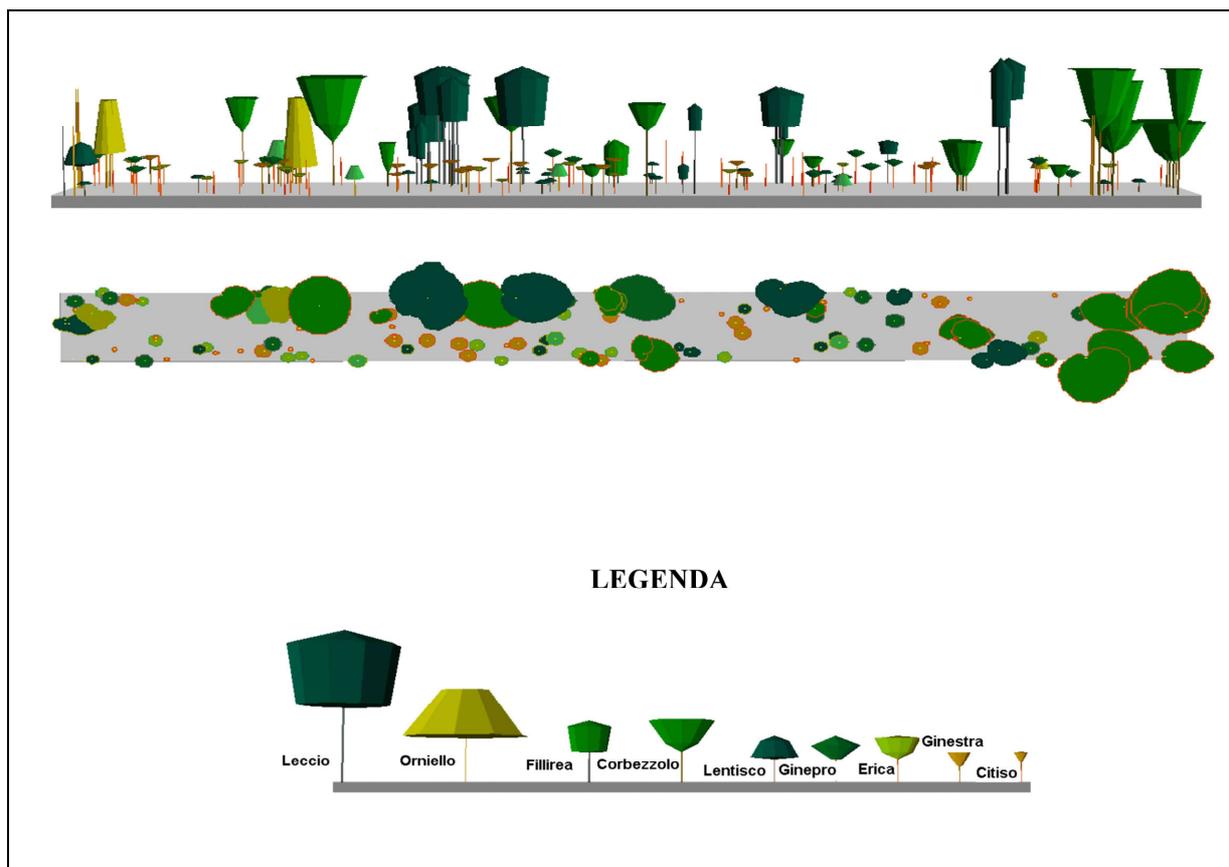
elementari di rilievo quadrati di 2 m di lato. La composizione specifica è evidenziata dai dati in tab. 11.

**Tab. 11** – Composizione specifica presente nel transect.

	Leccio	Corbezzolo	Orniello	Roverella	Corniolo	Acero campestre	Totale
ceppaie	69	12	11	2	2	1	
ceppaie/ha	3450	600	550	100	100	50	4850

Nella seconda zona il terreno risulta sistemato a gradoni e si ritrova una macchia mediterranea a portamento arboreo con dominanza di leccio. La copertura delle chiome è totale e l'altezza del piano dominante è relativamente bassa (5-6 m). Le altre specie che raggiungono il piano superiore sono il corbezzolo e l'orniello.

In questa area alla quota di 400 m è stato condotto un rilievo strutturale della vegetazione arborea ed arbustiva su un transect di 50 x 4 m disposto parallelamente lungo le isoipse. La rappresentazione grafica è fornita in fig. 18.



**Fig. 18** – Rappresentazione grafica della struttura verticale e orizzontale della vegetazione presente nel transect.

Il transect è stato condotto lungo un sentiero utilizzato anche in occasione di alcuni sondaggi del terreno e la copertura delle chiome risulta ridotta non solo perché manca la rappresentazione delle chiome delle piante vicine ma con base esterna al transect, ma anche perché il sentiero è stato sottoposto a pulizia. La minor copertura consente di ritrovare più numerose le specie che hanno invaso l'ex-coltivo (ginepro, ginestra odorosa, citiso e carpino nero).

### **6.3.3. Dinamiche evolutive**

a vegetazione palessa un'evoluzione di post-coltura nella parte sistemata a gradoni ed in passato occupata da attività di tipo agricolo. Sono ancora ben rappresentati il ginepro e la ginestra odorosa, specie arbustive tipiche di queste invasioni in ambiente mediterraneo; l'elevato grado di copertura esercitato dalle chiome ha invece portato ad un depauperamento della componente erbacea. Nella componente arborea ormai prevalgono le specie degli stadi

più maturi che si indirizzano verso la lecceta con presenza di latifoglie anche decidue: dominano infatti leccio e corbezzolo anche se il loro sviluppo vegetativo è ancora limitato ed influenzato da ceduazioni localizzate; sono inoltre associati orniello e roverella. Le specie arboree più pioniere (orniello e carpino) sono presenti in numero assai limitato. A testimonianza che in passato l'area era interessata da attività agricola sono presenti sparsi individui di acero campestre.

Nel ceduo utilizzato di recente si riscontrano i caratteri tipici che indicano la “lecceta mesomediterranea con potenzialità per la roverella” come riportato dalla Carta della vegetazione forestale potenziale” della Regione Toscana (2001, a cura di G.P. Mondino).

Va rimarcato che nel caso in cui le condizioni ambientali si modifichino in senso negativo si tenderà verso la macchia media mesomediterranea o per maggiori intensità del fenomeno verso la macchia bassa mesomediterranea dove il leccio diviene raro e diventano dominanti *Erica arborea*, *Arbutus unedo*, *Cistus* sp.p. (come si vede tutte specie già ben presenti allo stato attuale).

#### **6.3.4. Processi naturali di ricolonizzazione**

In altre aree della cava i rilievi vegetazionali condotti da Gilcher e Pignotti (2001) hanno messo in evidenza la presenza e l'entità dei processi di ricolonizzazione spontanea che si avviano anche prima della fine di attività di scavo. Il manto naturale di vegetazione così formatosi presenta aspetti di un certo valore naturalistico:

- così come in altri casi abbondantemente descritti nella letteratura scientifica e divulgativa la vegetazione “dei gessi” presenta caratteri di composizione specifica e strutturali peculiari;
- sono state osservate 145 specie vegetali;
- fra le specie erbacee, una (*Campanula media*) è specie protetta;
- fra le specie erbacee, 3 (*Malope malacoides*, *Ophrys holoserica* e *Polygala flavescens*) sono specie determinanti per aree di importanza regionale (SIR);
- è presente già nelle prime fasi di colonizzazione un nutrito contingente (29) di specie legnose, arboree ed arbustive.

Tali indicazioni sono sicuramente da tenere in considerazione durante le fasi progettuali e decisionali che riguarderanno il recupero ambientale dell'intera area della cava Treschi, sia dei vari lotti interessati, in periodi successivi, alle attività estrattive.

## **7 RECUPERO VEGETAZIONALE: INTERVENTI DI RINVERDIMENTO**

Gli interventi di introduzione di specie vegetali finalizzati al recupero ambientale del lotto T2 verranno realizzati con modalità diverse a seconda della morfologia del terreno. A tale scopo la superficie dell'area interessata agli interventi è stata così suddivisa: area pianeggiante (7.960 m<sup>2</sup>), area a media pendenza (<35%, 14.780 m<sup>2</sup>), area a forte pendenza (> 35 %, 15.160 m<sup>2</sup>).

La scelta delle specie da utilizzare è dettata dalle loro esigenze ecologiche che devono essere soddisfatte secondo quanto emerso dall'analisi dei fattori stazionali e della vegetazione preesistente. A seconda delle diverse situazioni di morfologia del terreno viene considerata la loro appartenenza alle serie dinamiche della vegetazione cercando così di accelerare la ricostituzione di una copertura vegetale efficace in termini di protezione del suolo da fenomeni erosivi.

Il materiale di propagazione (piantine di vivaio e semi per semina e idrosemina) da impiegare sarà, per quanto possibile, di origine locale in modo da limitare i problemi di attecchimento al momento dell'impianto e da evitare l'inquinamento genetico che si potrebbe avere con l'introduzione di materiale di provenienza geografica sconosciuta o comunque non ben definita e lontana. Per molte delle specie arboree ed arbustive si provvederà alla raccolta all'interno dell'area della cava Treschi e si provvederà alla certificazione (secondo la Legge Regionale 39/2000) della provenienza locale del materiale. Per le specie erbacee si cercherà di utilizzare seme proveniente da superfici in cui si assiste a fenomeni colonizzazione al termine delle attività estrattive (o a seguito di movimento terra) all'interno dell'area di cava oppure da superfici agrarie abbandonate o coltivazioni di tipo biologico situate nelle immediate vicinanze.

Per migliorare le non certo facili condizioni stazionali si provvederà, nelle aree pianeggianti e in quelle a pendenza minore, laddove siano posizionati esemplari arborei, a stendere uno strato della potenza di 15 cm di terreno vegetale. Tale terreno sarà costituito dagli strati superficiali del cappellaccio prelevato sul lotto Treschi 3 (T2) e stoccato in altre aree delle cave Treschi fino al momento del suo utilizzo nelle fasi di recupero ambientale.

L'esito degli interventi di seguito descritti, ma anche quelli già realizzati o in corso di realizzazione nelle aree sottoposte a recupero ambientale, verrà seguito puntualmente grazie a

rilievi della vegetazione effettuati su parcelle permanenti allo scopo di studiare ed interpretare le dinamiche vegetazionali in atto spontaneamente e quelle innescate con l'intervento di recupero. La scalarità degli interventi ed il lungo periodo di anni coperto da questo progetto fa sì che i risultati del monitoraggio possano fornire utili indicazioni sulle modalità operative a cui attenersi nelle fasi successive per giungere ad un migliore risultato in tempi più rapidi.

## **7.1 Introduzione di specie erbacee: idrosemina e semina a spaglio**

Alle specie introdotte si richiedono:

- elevata velocità di attecchimento;
- capacità di coprire (a livello aereo) e trattenere (a livello radicale) efficacemente il terreno;
- proprietà di migliorare le caratteristiche chimiche del terreno (in questo senso sono da privilegiare le leguminose in quanto azotofissatrici).

Sono da evitare le specie lianose che tendono ad essere tappezzanti, come ad esempio *Clematis* spp., *Smilax aspera*, *Lonicera* spp., *Rubus* spp., che sono in grado di fornire una copertura verde in tempi rapidi anche in condizioni ambientali non facili come quelle qui considerate ma che bloccano le dinamiche vegetazionali impedendo l'ingresso e l'affermazione delle specie arbustive e arboree degli stadi successivi.

Nella scelta delle specie da utilizzare per idrosemina andranno privilegiate le specie perenni a discapito delle specie annuali in quanto queste ultime germinerebbero e svolgerebbero il loro ciclo vegetativo favorite dagli apporti nutritivi forniti con l'idrosemina, ma si troverebbero poi a disseminare, e quindi a rinnovarsi, in condizioni molto più limitanti con il risultato di tendere a scomparire a partire dall'anno successivo all'intervento.

Assieme alle specie erbacee vengono seminate anche specie arbustive ed in particolare le leguminose più frequentemente osservate nel corso dei rilievi della vegetazione (*Spartium junceum* e *Cytisus sessilifolius*) provvedendo ad effettuare preliminarmente i trattamenti del seme che consentono di rimuoverne la dormienza. I risultati non soddisfacenti di alcune precedenti esperienze condotte nella cava Treschi e che hanno visto la scarsa germinazione dei semi di queste specie sono molto probabilmente dovuti all'impiego di seme non trattato: in questo caso il seme germinerà negli anni futuri ma non avrà assicurato una rapida copertura del terreno come previsto in sede progettuale.

Nel miscuglio di semi da utilizzare possono quindi essere presenti semi delle seguenti specie:

*Helichrysum italicum*

*Echium vulgare*

*Dittrichia viscosa*

*Hedysarum coronarium*

*Lotus corniculatus*

*Dorycnium hirsutum*

*Bromus erectus*

*Cynodon dactylon*

*Festuca ovina*

*Spartium junceum*

*Cytisus sessilifolius*

a cui si aggiungono altre specie spontanee.

Gli interventi di idrosemina saranno realizzati sulle aree in media e forte pendenza, mentre quelli di semina a spaglio interesseranno le superfici pianeggianti.

Gli interventi di idrosemina saranno condotti impiegando 50-60 grammi di seme per metro quadro di superficie e con l'aggiunta di un concime ternario, di un composto acidificante del terreno (per raggiungere valori di pH più favorevoli ai processi germinativi) e a collanti per evitare il dilavamento dei semi.

L'introduzione delle specie erbacee comincerà al momento in cui si sarà provveduto al rimodellamento definitivo e quindi fin dal 3° anno di coltivazione del lotto T2, molto prima della cessazione delle attività estrattive.

## **7.2 Introduzione di specie arboree ed arbustive**

La piantagione di specie arboree ed arbustive si avvierà l'anno successivo agli interventi di idrosemina o semina a spaglio.

La disposizione delle piante per ottenere un effetto più naturale sarà a gruppi e non mirerà ad ottenere una copertura delle chiome completa in modo da lasciare spazio all'instaurarsi delle

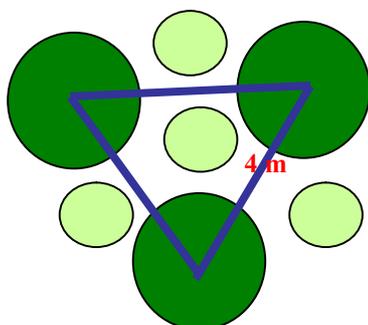
dinamiche vegetazionali influenzate dalle nuove condizioni di morfologia e di substrato.

Verranno impiegati 3 diversi moduli di impianto che prevedono la creazione di nuclei per lo più monospecifici e che vengono di seguito descritti.

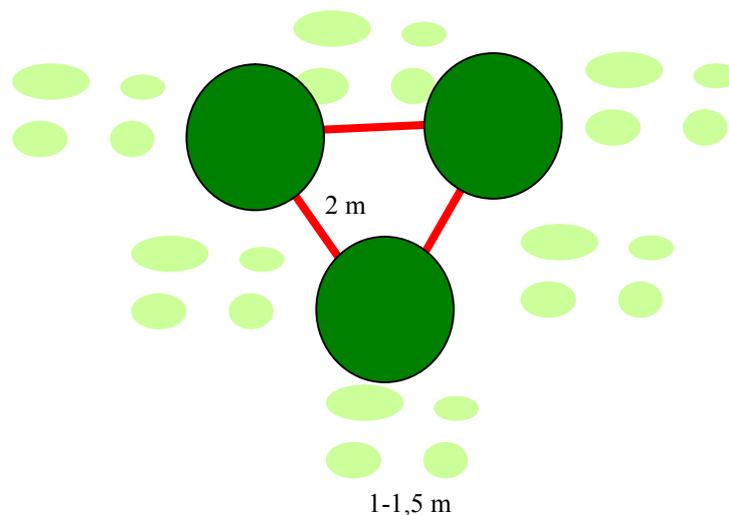
Modulo A: la cella elementare di questo modulo prevede la presenza di 3 piante di specie arboree posizionate approssimativamente ai vertici di un triangolo equilatero di circa 4 m di lato e di 4 arbusti, 3 alternati alle specie arboree e 1 al centro del triangolo secondo la rappresentazione grafica di fig. 19. Si può stimare che la cella elementare del modulo A occupi una superficie di 41 m<sup>2</sup>.

Modulo B: la cella elementare di questo modulo prevede la presenza di 3 piante arboree posizionate approssimativamente ai vertici di un triangolo equilatero di 2 m di lato e di 24 arbusti disposti in 6 gruppi di 4 individui (con interdistanza nel gruppo di 1-1,5 m) attorno alle specie arboree, secondo la rappresentazione grafica di fig. 20. Si può stimare che la cella elementare del modulo B occupi una superficie di 24 m<sup>2</sup>.

A questi si aggiunge il modulo impiegato nelle aree pianeggianti che prevede la costituzione di nuclei misti, ma a prevalenza di leccio, di 7-9 piante poste a distanze di 3,5-4,5 m fra loro.



**Fig. 19** – Rappresentazione grafica della cella elementare del modulo A.



**Fig. 20** – Rappresentazione grafica della cella elementare del modulo B.

Nelle aree a pendenza più accentuata si farà ricorso al solo modulo B in modo da occupare il 30 % della superficie disponibile.

Nelle aree a pendenza più moderata si farà ricorso a entrambi i moduli assegnando loro superfici uguali: il modulo A verrà impiegato in modo da coprire il 60 % della superficie ad esso destinato; il modulo B verrà impiegato in modo da coprire il 50 % della superficie ad esso destinato.

Nelle aree pianeggianti verrà utilizzato esclusivamente il terzo modulo descritto contando per la componente arbustiva sull'apporto dato dalla semina e sui processi di disseminazione naturale.



**Fig. 21** – Rappresentazione dello schema di impianto nelle zone pianeggianti ed in quelle a media ed elevata pendenza.

Le specie da impiegare nell'intervento e il loro contributo specifico risultano:

***Specie arboree***

- Leccio (*Quercus ilex*) 40 %
- Orniello (*Fraxinus ornus*) 20 %
- Roverella (*Quercus pubescens*) 20 %
- Carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) 10 %
- Acero campestre (*Acer campestre*) 5 %
- Pioppo nero e pioppo bianco (*Populus nigra e Populus alba*) 5 %

***Specie arbustive***

- Corbezzolo (*Arbutus unedo*) 35 %
- Ginepro (*Juniperus oxycedrus*) 30 %
- Ginestra odorosa (*Spartium junceum*) 10 %
- Scopa (*Erica arborea*), Lentisco (*Pistacia lentiscus*), Sanguinella (*Cornus sanguinea*) e altre specie disponibili per la produzione vivaistica 25 %

Per quanto riguarda le specie arbustive va tenuto presente che la loro introduzione avverrà anche grazie agli interventi di idrosemina e di semina a spaglio.

La distribuzione delle specie sarà determinata dal profilo definitivo dell'area dato dal rimodellamento finale della morfologia del terreno: nelle aree a pendenza più accentuata saranno preferite le specie pioniere (fra quelle arbustive ginepro e ginestra odorosa e fra quelle arboree orniello, carpino nero e pioppi), nelle aree pianeggianti quelle a carattere più definitivo (fra quelle arbustive il corbezzolo e fra quelle arboree leccio e roverella).

Il materiale vivaistico, di tipo forestale, sarà rappresentato da semenzali S1 e S2 allevati in contenitore. Qualora non sia possibile reperire materiale allevato nei contenitori studiati appositamente per evitare le deformazioni all'apparato radicale, che vasi standard possono indurre su specie fittonanti, si metteranno a dimora piantine a radice nuda.

Quando sarà possibile verranno utilizzate piantine micorrizzate che garantiscono migliori capacità di attecchimento e di accrescimento.

L'intervento di ricostituzione della copertura vegetale prevede anche l'impiego di un limitato

numero di piante di grandi dimensioni fin dal momento della messa a dimora (materiale vivaistico a “pronto effetto”). Le dimensioni diametriche di tali piante saranno di 10-12 cm e la messa a dimora avverrà in buche di 100 x 100 x 100 cm. L’impiego di tale materiale, date le sue caratteristiche (positivo e forte impatto visivo associato però a difficoltà nelle fasi di attecchimento successivo al trapianto), sarà limitato a particolari situazioni più favorevoli e con funzione prevalentemente estetica (e/o di schermo). Se le prove sperimentali che verranno avviate nelle altre aree della cava Treschi già in fase di restauro ambientale forniranno buoni risultati si può prevedere il ricorso al trapianto, dopo opportuni trattamenti colturali, di alberi presenti in loco in sostituzione delle piante di produzione vivaistica.

Le cure colturali avranno una durata di 3 anni.

Al momento dell’impianto le piante a pronto effetto e i semenzali di specie arboree verranno protetti dai danni da selvaggina con appositi tree-shelter (protezioni al fusto in plastica) e alla loro base verrà posto un disco pacciamante di materiale biodegradabile. La pacciamatura così realizzata, oltre a limitare la concorrenza esercitata dalle specie erbacee, eviterà che le piogge possano “cementare” in superficie il terreno, date le sue particolari caratteristiche.

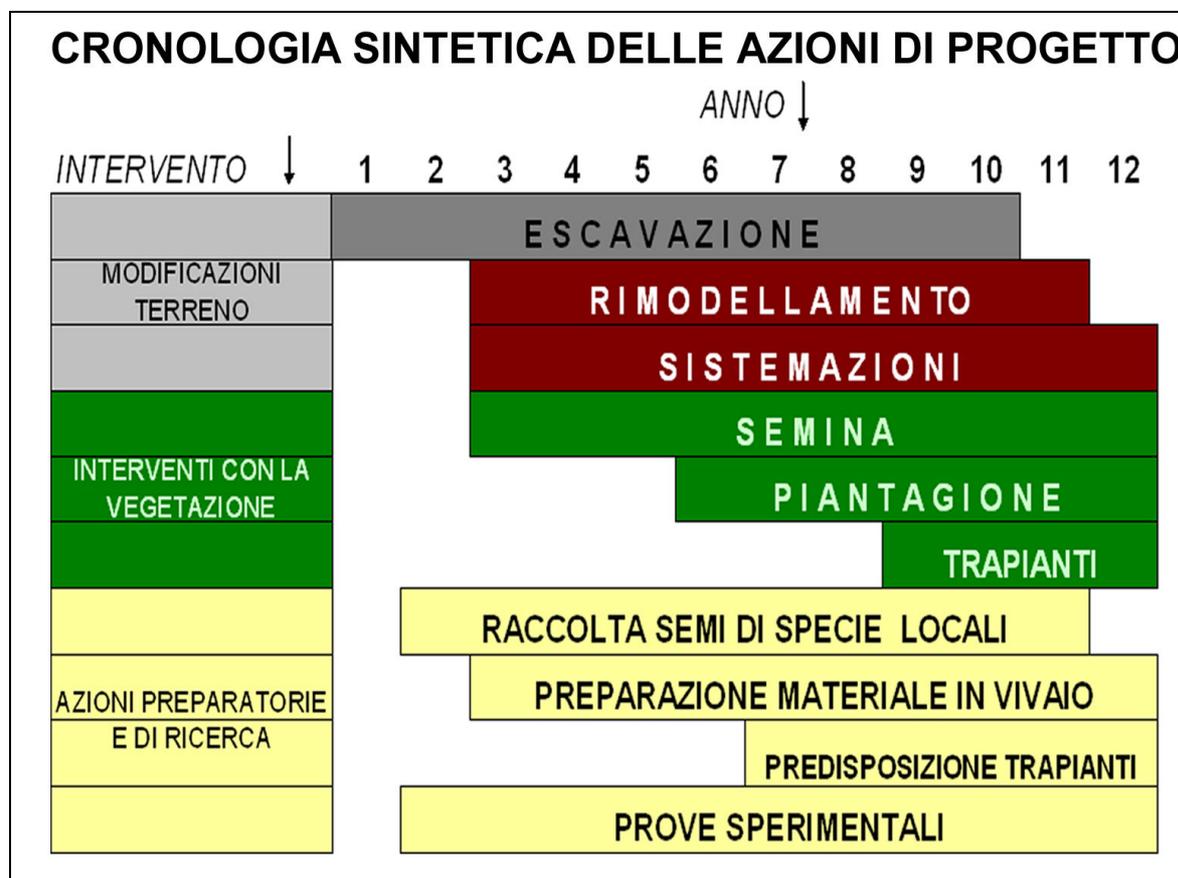
Per i primi 2 anni si provvederà al risarcimento delle piante non attecchite.

Per i primi 2 anni le piante di leccio e quelle a pronto effetto saranno soggette a concimazioni localizzate.

Per i primi 3 anni si provvederà ad effettuare irrigazioni di soccorso localizzate sulle piante di specie arboree.

Le attività cominceranno con la raccolta del seme per la produzione vivaistica delle piantine a partire dal 2°-3° anno di attività estrattiva, proseguiranno con le piantagioni (da effettuarsi l’anno successivo agli interventi di idrosemina e semina a spaglio) e si potranno considerare concluse quindi 5 anni dopo il termine delle attività estrattive (1° anno semine, 2° anno piantagioni + 3 anni di cure colturali).

La successione temporale delle diverse azioni può essere schematizzata dalla seguente rappresentazione.



### 7.3 Recupero vegetazionale: costi degli interventi di rinverdimento

Di seguito si riporta il computo metrico degli interventi di recupero vegetazionale dell'area di cava T2.

Num. Ord.	DESIGNAZIONE	QUANTITA'	UNITA'	IMPOR TO UNITARIO	IMPOR TO TOTALE
<b>01 Azioni preparatorie</b>					
01.01	Lavorazioni del terreno (spandimento di terreno vegetale)		a corpo		37.710,00
01.02	Rifornimento di materiale di propagazione per idrosemina, semina e per produzione di semenzali in vivaio		a corpo		6.000,00
<b>totale lavorazioni terreno</b>					<b>43.710,00€</b>
<b>02 Rinverdimento</b>					
02.01	Idrosemina (specie erbacee e arbustive)		m <sup>2</sup>	1,20	36.000,00
02.02	Semina (specie erbacee e arbustive)		m <sup>2</sup>	0,45	3.600,00
02.03	Semenzali di specie arbustive (apertura buca, materiale vivaistico, messa a dimora)	6.594	U	4,50	28.620,00
02.04	Semenzali di specie arboree (apertura buca, materiale vivaistico, messa a dimora)	1.240	U	4,50	6.079,00
02.05	Trapianti di alberi di grosse dimensioni (apertura buca, materiale vivaistico, messa a dimora, applicazione di palo tutore)	121	U	100,00	12.100,00
<b>totale rinverdimento</b>					<b>86399,50€</b>
<b>03 Cure colturali</b>					
03.01	Shelter (acquisto e posa in opera con palo tutore)		a corpo		2.094,05
03.02	Pacciamatura (acquisto del materiale e posa in opera)		a corpo		2.796,80
03.03	Irrigazioni soccorso (approvvigionamento e distribuzione per il primi 3 anni dall'impianto)		a corpo		1.987,20
03.04	Concimazioni localizzate (acquisto e distribuzione di concime per i primi 2 anni dall'impianto)		a corpo		1.719,09
03.05	Risarcimenti		a corpo		8.775,45
<b>totale cure colturali</b>					<b>17.372,59€</b>
<b>TOTALE</b>					<b>147.482,09€</b>

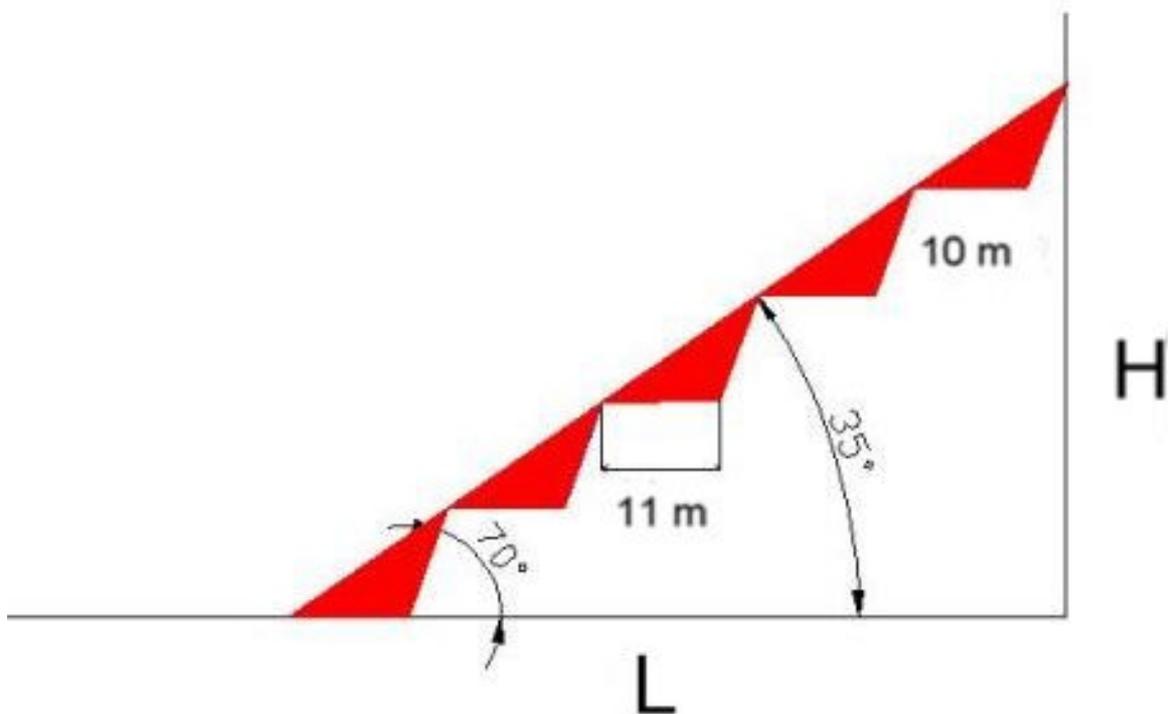
### 7.4 Costi di risistemazione ambientale

Per pervenire al costo totale di recupero ai succitati costi di rinverdimento vanno aggiunti i costi di rimodellamento morfologico.

### 7.4.1 Calcolo dei volumi

Per la valutazione dei costi di recupero vegetazionale si è fatto riferimento al valore medio per ettaro ricavabile dalla tabella di valutazione dei costi presente nel paragrafo precedente, estrapolati a tutte le superfici scoperte sia in T2 che in T1, che risulta di 38.811 € / ha.

Per i costi del movimento terra si è assunto un costo unitario di 1.50 € / m<sup>3</sup> comprendente tutte le modifiche morfologiche ( inclusa la realizzazione dei fossi di regimazione previsti dal progetto ), sia in scavo sia in rinterro necessarie all'ottenimento dell'assetto morfologico finale, sulla base della pratica degli ultimi anni. Il calcolo dei volumi di sterile necessari per il rimodellamento dell'area soggetta a scavo è stato eseguito con un algoritmo semplificato che fornisce cubature per eccesso rispetto alla realtà:



$$Q = 55 * n * l$$

dove Q è il volume di materiale necessario a rimodellare un fronte di scavo di altezza H pari a n gradoni di 10 m e lunghezza complessiva l.

### 7.4.2 Costi totali

Si è scelto di calcolare i costi di rimodellamento e recupero vegetazionale dell'area interessata dal progetto, in corrispondenza alle quattro fasi temporali cui si fa continuo riferimento in questo lavoro.

I risultati sono esposti nella tabella seguente:

	Progetto approvato	Movimento terra in T2		Movimento terra in T1		Recupero Veget. T2		Recupero Veget. T1		TOTALE €
		fideiussione in essere	mc	€	mc	€	ha	€	ha	
Anno 0	322,000 €									322000
Anno 3		6600	10000	34500	53000	1,2	46500	4,5	174000	283500
Anno 6		17300	26000	38000	57000	1,7	75000	4	140000	298000
Anno 10		70000	105000	0	0	2,7	105000	3	115000	325000
Anno 12		Monitoraggio ed interventi manutentivi e migliorativi					15000		15000	30000

#### **7.4.2.1 Anno 3**

In Treschi 1 viene recuperata tutta l'area non interessata dal progetto Treschi 3, 4,5 ha di T1, che sono compresi nel nuovo progetto, dovranno essere risistemati insieme a 1,2 ha di T2 che sono stati scoperti ed interessati da scavo nei primi tre anni. Per il rimodellamento dei fronti di scavo sarà necessario movimentare e mettere in sito circa 42.000 m<sup>3</sup> di materiale sterile da T1.

#### **7.4.2.2 Anno 6**

La superficie delle zone di escavazione cresce, ma una piccola parte di essa è stata anche già recuperata. La superficie di T1 che attende di essere ripristinata è scesa a 4 ha, mentre in T2 troviamo 2,7 ha di fronti di scavo e di piazzali che richiedono rimodellamento e recupero vegetazionale.

La movimentazione di materiale sterile necessaria al rimodellamento dei fronti di scavo è stimata in 55.300 mc, che, come in precedenza, dovranno essere prelevati dal lotto T1.

#### **7.4.2.3 Anno 10**

Dal sesto anno in poi non viene più depositato sterile in T1, tuttavia sarà presente in questa area un quantitativo di 70.000 m<sup>3</sup> che dovrà essere messo in sito in T2, per ottenere una morfologia adeguata.

#### **VII.4.2.4 Anno 12**

I lavori di recupero ambientale sono ultimati ma continuano i lavori di monitoraggio e manutenzione.