

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

## Significato economico, impiego industriale e modalità estrattive del gesso

### **This is the author's manuscript**

*Original Citation:*

*Availability:*

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/97391> since

*Publisher:*

Ed. CIRAAS

*Terms of use:*

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)

## **2. SIGNIFICATO ECONOMICO, IMPIEGO INDUSTRIALE E MODALITÀ ESTRATTIVE**

Le prestazioni del gesso, la sua versatilità e la sua affidabilità tecnologica sono abbondantemente documentate, nella storia dell'architettura, dalla sua applicazione, dall'antichità fino ad oggi. Dal punto di vista scientifico, commerciale e tecnologico, il gesso rimane pertanto uno dei principali materiali di cui i vari comparti industriali, primo fra tutto quello dell'edilizia, possono vantaggiosamente servirsi, data la relativa abbondanza in molte regioni del pianeta, la semplicità ed economicità del trattamento e della lavorazione.

Negli ultimi decenni, in particolare, l'utilizzazione del gesso si è estesa a nuovi campi applicativi, fra cui quello delle materie plastiche e degli elementi prefabbricati per costruzioni, ovviamente privi di una tradizione storica alle spalle. L'affinamento delle tecniche di lavorazione e trattamento del gesso hanno inoltre permesso di immettere sul mercato una gamma molto estesa di prodotti a base gesso, con svariate caratteristiche funzionali, che si prestano alle più diverse applicazioni.

Da una attenta ricerca in merito alle applicazioni del gesso, sono risultati numerosissimi i campi di applicazione di tale materia prima, a testimonianza della sua elevata versatilità, a partire dalle applicazioni del gesso nel settore dell'edilizia, che rappresenta il comparto industriale cui viene destinato quasi tutto il gesso estratto nelle cave del Monferrato.

### ***2.1 Principali impieghi del gesso***

La principale applicazione del gesso cotto si ha tuttora nel campo dei materiali da costruzione, dove è alla base di un gran numero di prodotti ottenuti mediante l'aggiunta di eventuali additivi, dopo successivi processi di cottura e macinazione, secondo diverse modalità. Si ottengono in questo modo diversi tipi di intonaci (tradizionali, speciali alleggeriti, per finiture, spianature, etc.), manufatti leggeri, prefabbricati, malte, sottofondi per pavimenti, pareti non portanti e controsoffitti (cartongesso). Tra le qualità dei materiali a base di gesso impiegati in edilizia, si devono ricordare quelle relative all'isolamento termico ed acustico, la resistenza al fuoco, la funzione di regolazione dell'umidità negli ad esempio aggiunte al clinker di Portland all'atto della macinazione, allo scopo di regolarizzare le fasi iniziali del processo di idratazione dei costituenti il clinker stesso.

Tra gli usi secondari del gesso, si ricorda la sua applicazione in agricoltura, nell'industria chimica, farmaceutica, plastica, vetraria, alimentare ecc. nonché in campo sanitario.

Il gesso crudo viene ad esempio utilizzato in agricoltura come correttivo dell'alcalinità del suolo (il solfato di calcio si combina infatti con il carbonato di sodio, che conferisce alcalinità ai terreni, per dare solfato di sodio, neutro, e carbonato di calcio, che mostra una alcalinità limitata a causa della sua ridotta solubilità) e della sua acidità. In quest'ultimo caso il gesso viene principalmente impiegato per il trattamento dei suoli sodici (caratterizzati da un pH superiore ad 8,5), seguito da successiva irrigazione.

La somministrazione di gesso non può portare il pH alla neutralità, tuttavia si possono raggiungere, o mantenere, limiti intorno a 8÷8,2 che sono soddisfacenti per molte colture. Bisogna peraltro considerare che i sali che scorrono con l'acqua di drenaggio possono contaminare le acque superficiali ed i suoli limitrofi.

Il gesso possiede inoltre delle ottime proprietà come fertilizzante, svolgendo un'azione benefica su tutte le colture ed in particolare su leguminose, vite e tabacco, dove contrasta in particolare la carenza di zolfo.

Per il suo potere fissante nei confronti dell'ammoniaca, particolarmente volatile, il gesso si presta in modo ottimale al miglioramento dell'azione dei concimi naturali, diminuendo la perdita di ammoniaca dallo stallatico mediante trasformazione del carbonato di ammonio in carbonato di calcio e solfato ammonico non volatile. Fin dall'antichità è infine noto l'effetto purificatore del gesso nelle stalle in quanto, oltre a fissare l'ammoniaca, impedendo la diffusione di gas nocivi per il bestiame, svolge un'azione disinfettante in quanto la calce e lo zolfo distruggono buona parte dei germi da cui derivano malattie infettive quali l'Afta epizotica (Turco, 1961).

Si ricorda infine l'impiego del gesso per la produzione di insetticidi e fungicidi in polvere.

Il gesso svolge infatti la funzione di alimento diretto e fissatore di ammoniaca e favorisce la nitrificazione ed il dissolvimento della potassa, che è uno degli alimenti indispensabili per la nutrizione delle piante.

Il gesso crudo svolge inoltre un ruolo primario in numerosi settori dell'industria: è infatti spesso usato come carica minerale, per le sue caratteristiche di neutralità ed inerzia chimica, la sua debole abrasività, la facilità di macinazione fine, oltre che per il suo apprezzato colore bianco. Per tali ragioni, risulta quindi un ottimo materiale da carica, impiegato nei cicli di produzione di vari prodotti, quali materie plastiche, vernici e colle, plastilina, carta, tessuti, vetrerie, insetticidi in polvere e prodotti farmaceutici.

Nell'*industria dei prodotti verniciati e vernicianti*, nonostante il colore bianco brillante, il gesso non possiede un elevato colore coprente e colorante, quindi non costituisce un pigmento vero e proprio, bensì un riempitivo o una carica. Grandi quantità di solfato di calcio vengono utilizzate per

fabbricare i pigmenti di titanio-calcio, pregevoli materie prime per pitture e smalti, sia per interni che per esterni.

Il gesso naturale ha poi una vasta applicazione nelle pitture a tempera (in particolare in quelle vendute allo stato secco), negli smalti correnti oppure come riempitivo o carica nelle pitture grasse e sintetiche.

Dato il suo forte potere riempitivo, il gesso viene infine utilizzato nei prodotti vernicianti di fondo, da applicare sulle superfici porose o irregolari (Turco, 1961).

Il gesso, ed in particolare l'anidrite, sono considerate materie prime nell'industria chimica sia come pigmento, sia nei processi di produzione di solfuro di calcio e zolfo, di acido solforico e di solfato d'ammonio.

Nell'industria alimentare, il gesso è invece utilizzato, ad esempio, per la purificazione dell'acqua nella produzione della birra, oppure per la riduzione del tenore in tartaro e per il processo di filtrazione del vino.

Il gesso rientra inoltre nei processi di produzione dei mangimi per animali: in tali alimenti viene infatti mescolato assieme ad altri sali, assolvendo la funzione di integratore di zolfo che risulta indispensabile per i benefici apportati alle strutture scheletriche.

Altri impieghi si hanno in campo sanitario, ad esempio per fasciature rigide in cui garze e bende vengono immerse in un impasto gessoso finissimo, misto ad altre sostanze agglutinanti che ritardano convenientemente il tempo di presa ed aumentano la plasticità e la resistenza della fasciatura. Numerosi ed in continua fase di evoluzione sono infine le applicazioni nel settore dell'odontotecnica per la produzione di calchi in materiali di facile lavorabilità, inerzia chimica e colorabilità. ambienti chiusi, la lavorabilità e la facilità di messa in opera.

I solfati di calcio crudi (gesso o anidrite) vengono invece comunemente usati come additivo nell'industria del cemento. Mescolati crudi al clinker, essi conferiscono un'azione ritardante sulla presa del cemento, aumentando al contempo la sua resistenza, se presenti in percentuali ridotte. Piccole quantità (< 5-6% circa) di gesso a basso tenore (inferiore di solito all'80 – 85%) vengono ad esempio aggiunte al clinker di Portland all'atto della macinazione, allo scopo di regolarizzare le fasi iniziali del processo di idratazione dei costituenti il clinker stesso.

Tra gli usi secondari del gesso, si ricorda la sua applicazione in agricoltura, nell'industria chimica, farmaceutica, plastica, vetraria, alimentare ecc. nonché in campo sanitario.

Il gesso crudo viene ad esempio utilizzato in agricoltura come correttivo dell'alcalinità del suolo (il solfato di calcio si combina infatti con il carbonato di sodio, che conferisce alcalinità ai terreni, per dare solfato di sodio, neutro, e carbonato di calcio, che mostra una alcalinità limitata a causa della sua ridotta solubilità) e della sua acidità. In quest'ultimo caso il gesso viene principalmente

impiegato per il trattamento dei suoli sodici (caratterizzati da un pH superiore ad 8,5), seguito da successiva irrigazione.

La somministrazione di gesso non può portare il pH alla neutralità, tuttavia si possono raggiungere, o mantenere, limiti intorno a 8÷8,2 che sono soddisfacenti per molte colture. Bisogna peraltro considerare che i sali che scorrono con l'acqua di drenaggio possono contaminare le acque superficiali ed i suoli limitrofi.

Il gesso possiede inoltre delle ottime proprietà come fertilizzante, svolgendo un'azione benefica su tutte le colture ed in particolare su leguminose, vite e tabacco, dove contrasta in particolare la carenza di zolfo.

Il gesso svolge infatti la funzione di alimento diretto e fissatore di ammoniaca e favorisce la nitrificazione ed il dissolvimento della potassa, che è uno degli alimenti indispensabili per la nutrizione delle piante.

Il gesso crudo svolge inoltre un ruolo primario in numerosi settori dell'industria: è infatti spesso usato come carica minerale, per le sue caratteristiche di neutralità ed inerzia chimica, la sua debole abrasività, la facilità di macinazione fine, oltre che per il suo apprezzato colore bianco. Per tali ragioni, risulta quindi un ottimo materiale da carica, impiegato nei cicli di produzione di vari prodotti, quali materie plastiche, vernici e colle, plastilina, carta, tessuti, vetrerie, insetticidi in polvere e prodotti farmaceutici.

Nell'*industria dei prodotti verniciati e vernicianti*, nonostante il colore bianco brillante, il gesso non possiede un elevato colore coprente e colorante, quindi non costituisce un pigmento vero e proprio, bensì un riempitivo o una carica. Grandi quantità di solfato di calcio vengono utilizzate per fabbricare i pigmenti di titanio-calcio, pregevoli materie prime per pitture e smalti, sia per interni che per esterni.

Il gesso naturale ha poi una vasta applicazione nelle pitture a tempera (in particolare in quelle vendute allo stato secco), negli smalti correnti oppure come riempitivo o carica nelle pitture grasse e sintetiche.

Dato il suo forte potere riempitivo, il gesso viene infine utilizzato nei prodotti vernicianti di fondo, da applicare sulle superfici porose o irregolari (Turco, 1961).

Il gesso, ed in particolare l'anidrite, sono considerate materie prime nell'industria chimica sia come pigmento, sia nei processi di produzione di solfuro di calcio e zolfo, di acido solforico e di solfato d'ammonio.

Nell'industria alimentare, il gesso è invece utilizzato, ad esempio, per la purificazione dell'acqua nella produzione della birra, oppure per la riduzione del tenore in tartaro e per il processo di filtrazione del vino.

Il gesso rientra inoltre nei processi di produzione dei mangimi per animali: in tali alimenti viene infatti mescolato assieme ad altri sali, assolvendo la funzione di integratore di zolfo che risulta indispensabile per i benefici apportati alle strutture scheletriche.

Altri impieghi si hanno in campo sanitario, ad esempio per fasciature rigide in cui garze e bende vengono immerse in un impasto gessoso finissimo, misto ad altre sostanze agglutinanti che ritardano convenientemente il tempo di presa ed aumentano la plasticità e la resistenza della fasciatura. Numerosi ed in continua fase di evoluzione sono infine le applicazioni nel settore dell'odontotecnica per la produzione di calchi in materiali di facile lavorabilità, inerzia chimica e colorabilità.

Si ricorda inoltre l'applicazioni nell'industria della ceramica, ad esempio per la preparazione di forme, stampe e modelli per i quali è richiesto un gesso di prima qualità e di grande finezza per la buona riuscita in termini di facilità e rapidità delle operazioni di formatura, durata delle forme ed economia dell'intero procedimento. Per tali ragioni vengono accuratamente valutate la finezza e la capacità di presa della materia prima.

Per la maggior parte delle applicazioni, non sussistono gravi limitazioni per quanto riguarda la presenza di inquinanti nel tout-venant di cava. E' peraltro ben tollerata la presenza di svariate unità percentuali in anidrite e carbonato di calcio; anche modeste percentuali di minerali argillosi o di materia organica non comportano eccessivi problemi; inoltre una bassa percentuale di marna consente una maggiore lavorabilità del gesso, mentre la presenza di clorati, magnesio e sali di sodio e potassio possono comportare problemi di efflorescenze nelle murature e difficoltà di presa. Specie per gli usi più pregiati (intonaci a vista, campo sanitario e campo artistico), sono invece da considerare penalizzanti gli ossidi ed idrossidi di ferro, che conferiscono al prodotto finito una tonalità giallastra.

## **2.2 Tipologie di cava, metodi di coltivazione e tecnologie estrattive**

L'attività estrattiva del gesso - come avviene anche per altri minerali industriali - presenta caratteristiche quali l'esigenza, economica e di mercato, di notevoli produzioni, di una relativamente alta qualità dei materiali prodotti - ottenibile, in certi casi, con prelievi diversificati ed intelligenti miscelazioni in stabilimento - mantenendo una flessibilità produttiva ma, al contempo, rispettando la tipica rigidità di forniture di materia prima agli impianti utilizzatori.

Pertanto, a seconda della tipologia del giacimento, le unità estrattive possono presentare configurazioni diverse da caso a caso, risultando in pratica preferibile, alla formulazione teorica di regole operative non sempre applicabili, l'enunciazione di criteri generali di corretto comportamento imprenditoriale, sia per ciò che riguarda l'aspetto estrattivo che per quello di recupero, che debbono comunque essere rispettati.

Di regola, si presenta, ad esempio, la necessità di massimizzare sia il recupero giacimentologico, sia le rese di cava e di lavorazione, ovvero il rendimento complessivo della produzione. Si tratta allora di tendere, innanzitutto, ad uno sfruttamento, il più possibile completo, delle cave già in attività, specie se intraprese con un certo impatto ambientale, e di valorizzare tutto ciò che viene comunque prodotto, riducendo o, se possibile, addirittura evitando la produzione di scarti che, nel caso dell'industria moderna del gesso, è fortunatamente piuttosto limitata.

Le tecnologie minerarie, oggi disponibili per il reperimento, la messa in produzione e l'utilizzo della materia prima, garantiscono ampie possibilità di soluzioni tecniche per rispondere ai diversi problemi emergenti per ciò che concerne i metodi di coltivazione, le macchine di scavo, gli impianti di trasporto e trattamento, ecc.

Per quanto riguarda il Piemonte, i gessi del Triassico furono quasi sempre coltivati mediante tipologie di cave a cielo aperto, salvo alcune situazioni di archeologia industriale ancora visibili sul territorio in forma di caverne e di stazioni di teleferiche, lungo il versante orografico sinistro della Val Susa (Ulzio). Per quanto riguarda invece i gessi del Messiniano, le coltivazioni a cielo aperto si sono alternate o accompagnate, da sempre, a quelle in sotterraneo, interessando un territorio a prevalente morfologia collinare.

### **2.2.1 Le coltivazioni a campana**

In passato, il gesso era coltivato soprattutto in sotterraneo sia per la mancanza dei macchinari necessari per effettuare eventuali, imponenti scoperture di sterili a tetto del giacimento, sia per la necessità di risparmiare il soprassuolo che veniva invece utilizzato estensivamente in agricoltura.

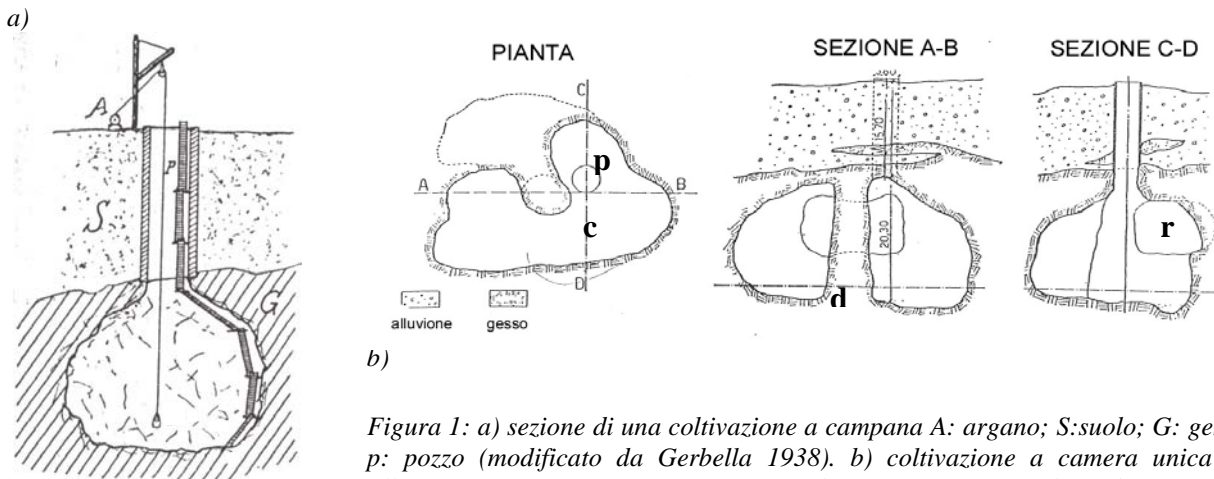
Quando il gesso si presentava in masse potenti, ricoperte da qualche decina di metri di terreno franoso o sciolto, la coltivazione procedeva mediante la realizzazione, attraverso i terreni superficiali, di un pozzo - unica via di accesso e di uscita - spesso rivestito di mattoni per garantirne la stabilità. Raggiunta la massa gessosa, dal fondo del pozzo il cantiere si allargava a campana estraendo il materiale manualmente o con uso di ridotte quantità di esplosivo, per poi

trasportarlo in superficie mediante un secchio manovrato con un argano manuale oppure elettrico (Figura 1).

L'accesso al cantiere era predisposto solitamente con scale che riposavano su ripiani fissati alle pareti del pozzo, il quale non sempre risultava occupare una posizione centrale rispetto alla camera, bensì poteva essere addossato ad una delle pareti della camera stessa. In presenza di acqua si procedeva eduzione con l'uso di secchi o con pompe a motore; nel caso in cui le continue venute d'acqua fossero ingenti e comunque tali da provocare l'allagamento permanente del cantiere di scavo, questo poteva anche essere definitivamente abbandonato.

Di solito il vuoto, progressivamente scavato con cura nel gesso si sosteneva bene sino alle fasi di successivo ribasso dei cantieri, tanto da permettere di realizzare camere fino ad oltre 40 metri di altezza ed altrettanti di diametro. Quando la camera non poteva più essere allargata per il rischio di comprometterne la stabilità, se ne scavavano altre, in tutto simili, accanto (Gerbella, 1938).

Nonostante le cautele adoperate, non era tuttavia raro, in superficie, il manifestarsi nel tempo di fenomeni di subsidenza, dovuti ai cedimenti di vuoti sotterranei. Le camere a campana, in caso di "selettività" nella coltivazione mineraria, risultavano infatti anche estremamente irregolari e spesso potevano manifestare una precaria stabilità.



b)

Figura 1: a) sezione di una coltivazione a campana A: argano; S: suolo; G: gesso; p: pozzo (modificato da Gerbella 1938). b) coltivazione a camera unica (c) allargata ("a capanna") con pozzo (p), diaframma in posto (d) e ribasso in atto (r) (modificato da Occella, 1958).

Negli ultimi anni, per ovvi motivi economici, si è avuto un netto predominio del cielo aperto, con vecchie coltivazioni in sotterraneo "riconvertite", anche se motivi di contenimento dell'impatto ambientale visivo e di contestuale uso del soprassuolo non hanno mai fatto cessare l'interesse per le attività in galleria.



## 2.2.2 L'estrazione a cielo aperto

La coltivazione a cielo aperto si svolge prevalentemente in configurazione di versante (Figura 2), sia per lo sviluppo dei lavori, dopo le fasi di scopertura degli sterili, verso l'interno dei giacimenti, sia mediante ripresa, dall'alto, di cave impostate tradizionalmente con gallerie a mezza costa e poi messa a giorno ("scoperchiate").

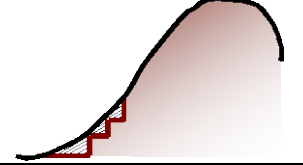
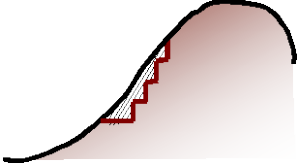

COLTIVAZIONI DI MONTE	Coltivazioni pedemontane (impostate al piede del rilievo)	
	Coltivazioni a mezza costa (svilupate lungo il pendio)	
	Coltivazioni culminanti per splateamenti (impostate sulla sommità)	

Figura 2: tipologie di coltivazioni di monte

Gli approfondimenti a "fossa" di vecchie spianate, ex piazzali delle cave di un tempo, non possono però essere protratti indefinitamente, sia per la ristrettezza degli spazi, dovendo comunque lasciare scarpate stabili perimetrali, sia per l'antieconomicità del lavoro, che deve altresì garantire lo smaltimento delle acque di raccolta. Nel caso del gesso, simili configurazioni sono quindi principalmente utilizzate nel caso di ripresa a giorno di vecchie coltivazioni in sotterraneo, per il recupero delle strutture in gesso precedentemente abbandonate.

È peraltro oggi ricorrente l'adozione di strategie volte a risistemazioni globali di ampie fette collinari, già in parte compromesse da vecchi scavi, con bonifica di eventuali vuoti, ormai impraticabili ai comuni mezzi operativi e con successiva regolarizzazione dei diversi livelli scavati. Tali operazioni presuppongono allora la movimentazione di sterili "minerari" da stabilizzare, seguita da una rivegetazione del suolo, sino ad un recupero ambientale definitivo.

La possibilità, con gli attuali macchinari, di riprofilare l'intero versante mediante gli stessi sterili rimossi e di raggiungere così una configurazione del versante stesso che si inserisca con più naturalezza nel contesto ambientale, compensa in parte il problema dell'impatto ambientale delle coltivazioni a cielo aperto, di per sé particolarmente vantaggiose in quanto consentono un completo recupero giacimentologico.

La scelta del *metodo estrattivo* più adatto dipende dai seguenti fattori:

- potenza e giacitura del giacimento,

- entità e caratteristiche del terreno di copertura,
- caratteristiche litostratigrafiche del terreno circostante e/o incassante,
- proprietà del minerale in posto e presenza di carsismi diffusi.

Nel caso di giacimenti a sviluppo prevalentemente orizzontale, l'escavazione viene generalmente seguita – previa scoperta – per passate successive, ciascuna interessante una potenza compresa tra i 10 e 15 m. Nel caso invece di depositi a sviluppo prevalentemente verticale oppure orizzontale, ma con potenze elevate, viene seguito uno schema a gradoni che, a seconda del senso di avanzamento del fronte dello scavo, viene definito “a fette verticali montanti” o “a fette orizzontali discendenti”.

### **Coltivazione a gradoni per fette orizzontali discendenti su più livelli**

La coltivazione consiste nell'asportazione di “fette” di materiale procedendo sistematicamente dall'alto verso il basso.

Le operazioni di approntamento del cantiere richiedono la realizzazione di impegnativi tracciamenti, tra cui la creazione di una pista di arrocco che raggiunga la sommità del giacimento.

Una volta terminata la fase preliminare di asportazione del materiale sterile di copertura, in corrispondenza della sommità del rilievo, si procede con la realizzazione del piazzale, a partire dal quale, dopo l'apertura di un “canale” e con l'utilizzo di mine verticali, si crea il primo gradino.

Si procede così mediante l'abbattimento a gradoni e con l'asportazione progressiva di fette successive, dall'alto verso il basso, fino a raggiungere la base del pendio. L'accessibilità dei mezzi ai gradoni è assicurata da rampe laterali, solitamente formanti due sistemi viari indipendenti.

L'abbattimento avviene generalmente con esplosivo o con potenti escavatori; il gesso abbattuto viene caricato sul piazzale di base e trasportato all'impianto di frantumazione e cottura, ove previsti.

Nella tabella che segue (Tabella 1) sono riassunte le particolarità delle coltivazioni a gradoni per fette orizzontali discendenti su più livelli.

Condizioni di applicabilità	Aspetti progettuali	Peculiarità
Giacimento selenitico esteso orizzontalmente e di discreta potenza sfruttabile	Uno (o più) livelli suddivisi in platee orizzontali coltivate in sequenza discendente	Possibilità di realizzare produzioni elevate Media produttività dello spazio
	Abbattimento con esplosivo o con mezzi meccanici	Configurazione flessibile Possibilità di selezione
	Piazzali indipendenti, al servizio delle singole trincee	Impatto sul paesaggio medio-basso Facile mascherabilità con quinte provvisorie
	Pista di arroccamento anticipata (interna o esterna alla cava)	Agevole recupero ambientale Opere di ripristino agricolo anticipabili per lotti

Tabella 1: caratteristiche del metodo di coltivazione per fette orizzontali discendenti su più livelli

### **Coltivazione a gradoni per fette orizzontali discendenti su un unico livello (splateamenti)**

È un metodo adottabile in coltivazioni di colle culminali o nel caso di rilievi con basse pendenze intermedie.

Anche in questo caso è perciò necessario provvedere alla realizzazione di piste di arroccamento che raggiungano la sommità del versante, dove verrà realizzato il piazzale superiore allargando progressivamente una trincea scavata a partire da un eventuale fornello di gettito, ove consentito dalla situazione morfologica e litologica. La configurazione di cava è quindi in continua evoluzione e la coltivazione si svolge abbassando progressivamente il piazzale sommitale: non esiste dunque un piazzale “fisso”, in quanto quello originario viene progressivamente abbassato con il progredire della coltivazione.

La risistemazione a monte può comunque avvenire contestualmente allo scavo a mano a mano che le platee risultano esaurite.

Le principali caratteristiche del metodo sono riassunte nella tabella che segue (Tabella 2):

Condizioni di applicabilità	Aspetti progettuali	Peculiarità
Molto variabili in relazione alla stabilità dello scavo, per la corrispondente altezza di versante.	Abbattimento con esplosivo (sull'intera altezza del gradone) o con ripper (platee suddivise in trince verticali prese con passate discendenti)	Possibilità di realizzare produzioni elevate
	Piazzale di servizio mobile	Media produttività dello spazio
	Pista di arroccamento anticipata (interna o esterna)	Configurazione poco flessibile su larga scala
		Possibilità di selezione limitata
		Impatto sul paesaggio piuttosto basso
		Facile mascherabilità con schermo temporaneo
		Agevole sistemazione ambientale al contorno
		Occupazione dello spazio notevole
		Opere di ripristino anticipabili a monte

Tabella 2: caratteristiche del metodo di coltivazione per fette orizzontali discendenti su un unico livello (splateamenti)

### **Coltivazione a gradoni per fette verticali montanti**

La coltivazione per fette verticali montanti inizia con la realizzazione di un ripiano di base, a partire dal quale si procede, con volate di mine appositamente realizzate, alla creazione del primo fronte libero e del piazzale di manovra. Si provvede poi alla creazione, con esplosivo o con mezzi meccanici, del primo gradino e delle rampe per accedere al ciglio superiore.

La configurazione dei fronti è però rigida: non si può modificare l'orientamento relativo dei gradoni, né l'organizzazione del lavoro.

L'impatto ambientale è solitamente gravoso ed il ripristino è di per sé difficile a causa dell'elevata inclinazione dei fronti di scavo; inoltre, gli interventi di recupero possono essere eseguiti solo nelle fasi finali di coltivazione, o, addirittura, a coltivazione definitivamente ultimata.

Le principali caratteristiche del metodo di coltivazione a gradoni per fette verticali montanti sono riassunte nella seguente (Tabella 3):

Condizioni di applicabilità	Aspetti progettuali	Peculiarità
Superficie disponibile limitata	Uno o più livelli suddivisi in fette subverticali coltivate sequenzialmente	Applicabilità di varie tecnologie (esplosivi, escavatori, ripper)
Dimensioni medio-piccole		Doppio sistema di rampe fisse raccordato alle trincee Movimento parziale nei gradoni Produttività dello spazio alta Ispezione e disaggio facilitati Pareti finali molto alte Necessità di berme di protezione Elevato impatto paesaggistico Ripristino rinviato al termine dell'attività

Tabella 3: caratteristiche del metodo di coltivazione per fette verticali montanti

### **Tecniche di scavo nelle coltivazioni a cielo aperto**

Le tecniche di scavo sono sempre dipendenti dalle caratteristiche meccaniche del minerale. Il gesso è peraltro un materiale tenero e poco abrasivo che può essere abbattuto sia con mezzi meccanici che con esplosivo; nel caso in cui la roccia risulti particolarmente stratificata o fratturata, si possono utilizzare ripper od escavatori pesanti; se il gesso è invece sano ed omogeneo è possibile anche l'impiego di surface-miner.

Per ciò che concerne l'asportazione del cappellaccio, a seconda della morfologia dell'area, si può ricorrere a dozer ed escavatori tradizionali od a pale cingolate a benna larga, assai versatili ed efficaci, gommate e cingolate.

L'abbattimento primario con mezzi meccanici presenta alcuni svantaggi, quali la polverosità dei cantieri ed una limitata produzione, soprattutto nel caso di demolitori ad urto, determinata dalla elevata plasticità della roccia. Il martellone è invece molto utilizzato nei lavori di abbattimento secondario o per il disaggio in parete dopo lo sparo mine.

Per quanto riguarda l'abbattimento con mine, occorre sottolineare che il gesso appartiene al gruppo dei materiali definiti "sordi", in quanto tendono a deformarsi plasticamente, assorbendo passivamente parte dell'energia liberata dall'esplosivo.

Il tipo di esplosivo da utilizzare deve essere scelto tenendo in considerazione innanzi tutto la tossicità dei fumi prodotti; tendenzialmente esso deve generare una elevata quantità di gas ad alta temperatura, in un tempo estremamente breve e senza produrre molto fumo. Per tali ragioni il caricamento dei fori avviene solitamente con esplosivi detonanti aventi bilancio di O<sub>2</sub> positivo, se usati in sotterraneo, ad esempio quelli a base di nitrato di ammonio che sono i più usati per la

facilità e sicurezza di impiego, nonostante una certa sensibilità all'acqua. L'ANFO è, per parte sua, un esplosivo economico relativamente potente, poco sensibile agli urti ed agli sbalzi di temperatura; purtroppo però risente molto della presenza di umidità. Per il sistema di innesco, vengono solitamente utilizzati detonatori accoppiati con cartucce di un esplosivo più potente (booster), vista la sua minore sensibilità agli inneschi.

L'uso dell'esplosivo comporta, com'è noto, la ciclica ripetizione delle seguenti operazioni:

- realizzazione dei fori atti ad ospitare l'esplosivo, secondo lo schema di tiro previsto;
- caricamento dei fori con le cartucce e gli inneschi previsti,
- brillamento dell'esplosivo, dopo il controllo del circuito,
- disgaggio e messa in sicurezza del fronte,
- trasporto del materiale abbattuto al frantoio.

L'abbattimento a giorno, con la tecnica convenzionale, può avvenire su più livelli, operando le classiche perforazioni a rotazione fuori foro e caricando con esplosivo in cartucce, in ragione della normativa vigente. La predisposizione dei fori avviene, di solito, in direzione verticale o subverticale, mediante l'impiego di perforatrici pneumatiche o idrauliche. Vengono così eseguite file di fori disposti parallelamente al fronte di scavo, con una profondità variabile che dipende dallo schema di tiro, fino ad un valore massimo di poco superiore all'altezza del gradone (Figura 3).

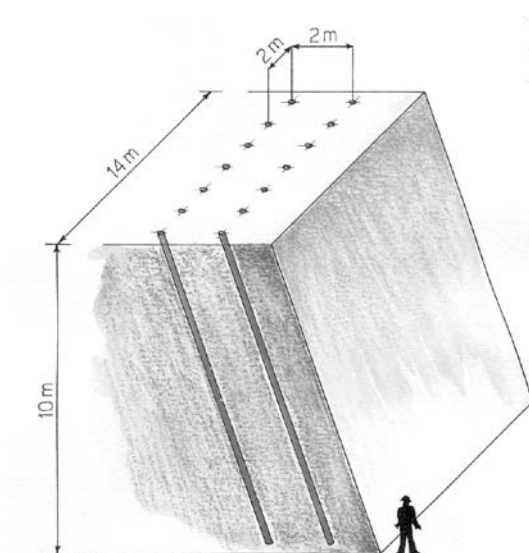


Figura 3: schema assonometrico dei parametri geometrici (Fornaro et al.2001)

Le operazioni di perforazione, caricamento e brillamento seguono la realizzazione di un preciso schema di tiro che stabilisce il diametro, la spalla e l'interasse dei fori di ciascuna fila e la sequenza di brillamento, in funzione della resistenza meccanica del minerale, del grado di fatturazione, dell'esplosivo utilizzato e della granulometria dell'abbattuto che si desidera ottenere.

In ogni caso, dato che il gesso è considerato una roccia “sorda”, è preferibile tenere piuttosto ridotta la spaziatura tra i fori, in quanto, assorbendo le sollecitazioni dovute all’esplosivo, il gesso tende a deformarsi più che a fratturarsi.

In qualche caso l’esplosivo viene però impiegato con la funzione di semplice preminaggio della roccia, su cui intervengono poi mezzi meccanici, quali gli escavatori, per il suo definitivo abbattimento.

La buona qualità del gesso appartenente alla Formazione Gessoso Solifera, unita alla facile accessibilità ed alla elevata cubatura dei singoli giacimenti, determinano *l’economicità* di queste coltivazioni tradizionali.

Nel caso della coltivazione a cielo aperto la convenienza dell’estrazione dipende dall’incidenza dello spessore del cappellaccio ed in modo particolare dal rapporto *potenza del giacimento/ potenza del cappellaccio*. Una volta rimosso il terreno di copertura, infatti, il coefficiente di recupero risulta massimo ed il suo valore dipende solamente più dall’inclinazione da assegnare alla gradonatura finale al fine di assicurarne la stabilità.

### **2.2.3 L’estrazione in sotterraneo**

Le configurazioni di scavo, nel caso di coltivazioni in sotterraneo, prevedono da sempre l’abbandono di pilastri regolari su un unico livello, pilastri sistematici su livelli sovrapposti oppure diaframmi.

In passato, quando si procedeva senza alcun tracciamento topografico preliminare, preoccupandosi solamente di asportare le zone dove il giacimento si presentava migliore, i pilastri erano invece disposti irregolarmente, senza una preventiva programmazione, facendoli corrispondere, quando possibile, a parti rocciose del giacimento di scarso interesse estrattivo (Figura 4). I nuovi sotterranei sono oggetto invece di una moderna progettazione, in funzione delle caratteristiche geotecniche del materiale, delle dimensioni ed esigenze delle macchine di scavo e delle produzioni richieste (Figura 5).



Figura 4: evoluzione nel tempo di una cava di gesso: si passa da una conformazione irregolare (parte alta della figura) ad una più regolare (verso il basso dell'immagine).

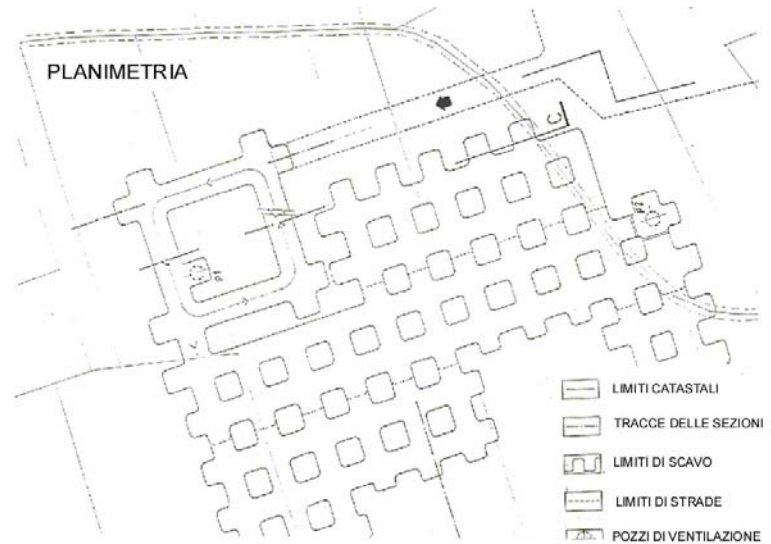


Figura 5: planimetria di una coltivazione a camere e pilastri sistematici, con rampa d'accesso di forma quadrata (scavo convenzionale) e pozzetti di ventilazione

Per quanto riguarda le coltivazione in sotterraneo, è possibile operare su un unico livello oppure su livelli sovrapposti (Figura 6), a seconda delle condizioni geometriche del giacimento.

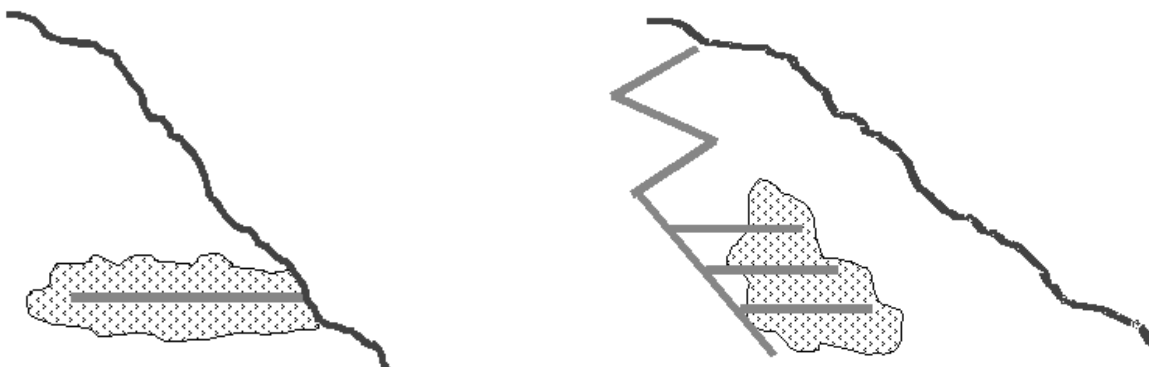


Figura 6: influenza della geometria del giacimento ai fini dell'impostazione della coltivazione (Fornaro et al., 2002).

Il metodo attualmente più utilizzato è perciò quello per camere e pilastri sistematici e consiste nell'abbandono in posto di pilastri di materiale "integro", in grado di garantire la stabilità dei vuoti derivanti dalla coltivazione del gesso.

Il metodo per camere e pilastri è applicato prevalentemente nel caso di giacimenti suborizzontali o debolmente inclinati ( $< 30^\circ$ ) con potenza variabile da qualche metro fino a circa 300 m.

La coltivazione di ogni singolo pannello è attuata procedendo con lo scavo di una serie di gallerie parallele che vengono man mano collegate tra loro da traverse laterali, in modo da isolare pilastri di roccia che vengono appositamente abbandonati.

Tali pilastri devono possedere dimensioni tali da garantire la stabilità delle camere, sostenendo il carico di roccia gravante su di essi (Figura 7).

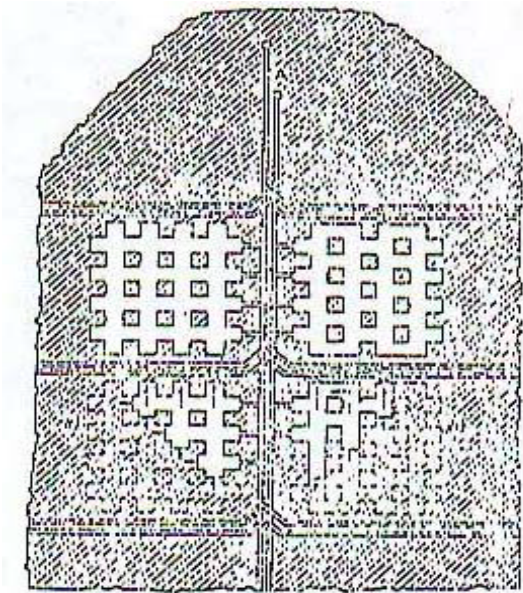


Figura 7: camere e pilastri regolari

Il metodo per camere e pilastri su più livelli è applicabile in particolare a banchi di elevata potenza o a strati suborizzontali sovrapposti separati da intercalazioni sterili. In questi casi si suddivide il giacimento in singoli livelli, esauriti ciascuno con il metodo delle camere e pilastri sistematici, avendo cura di lasciare a tetto una soletta continua.

Tale metodo di scavo è quello maggiormente impiegato nelle cave in sottosuolo di gesso nel Monferrato.

La forma, le dimensioni, gli interassi dei pilastri, gli spessori delle solette e quelli dei paramenti delle gallerie vengono calcolati in funzione di:

- potenza del giacimento di gesso,
- profondità di scavo,
- potenza e caratteristiche del terreno circostante,
- caratteristiche meccaniche del gesso scavato.

Le dimensioni abitualmente adottate per i pilastri sono di circa 6m X 6 m con altezza delle gallerie di 6-7 metri e debole profilatura ad arco della volta. Tali dimensioni, tuttavia, si modificano a seconda della profondità a cui si spinge la coltivazione: maggiore è la profondità di scavo e maggiori sono le dimensioni dei pilastri in risposta all'incremento delle sollecitazioni meccaniche cui sono sottoposte per il crescente carico litostatico.

Qualora la coltivazione avvenga su più livelli, deve comunque essere sempre mantenuta la coassialità dei pilastri sovrapposti verticalmente, in caso contrario è facile incorrere in cedimenti locali, o peggio, delle solette; sino a crolli generalizzato del sottosuolo) (Figura 8).



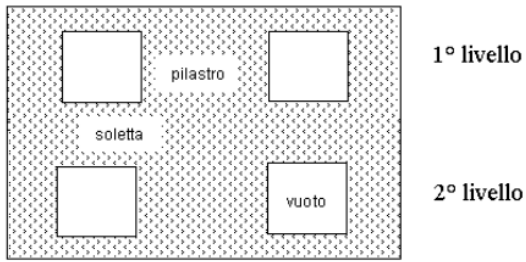


Figura 8: sezione di una coltivazione a camere e pilastri su più livelli con pilastri sovrapposti.

L'accesso al livello di coltivazione avviene attraverso una rampa elicoidale percorribile dai mezzi di scavo e di trasporto del materiale abbattuto.

Talora, quando il giacimento è marcatamente fessurato, anziché pilastri isometrici a sezione quadrata, vengono abbandonati diaframmi con direzione del lato più lungo ortogonale alle linee di fessurazione (metodo a camere e diaframmi).

Tale sistema permette, fra l'altro, la realizzazione di "cantieri indipendenti" che rispondono a particolari esigenze di sicurezza sia in termini di stabilità, sia in termini di gestione del sotterraneo (ad esempio in caso di incidenti o di cedimenti imprevisti in una particolare area di cava, per i quali si renda necessario l'isolamento della zona), tanto per sicurezza che per produttività.

Dalle gallerie di carreggio principali, si dipartono, ad intervalli regolari di alcune decine di metri, gallerie di carreggio secondarie in corrispondenza delle quali per progressivi allarghi, si ricava la camera delle dimensioni desiderate (Gerbella, 1938).

Tuttavia, un simile schema di coltivazione, se da un lato garantisce maggiori condizioni di stabilità, dall'altro comporta l'abbandono di una maggior quantità di materiale utile rispetto al metodo di coltivazione per camere e pilastri.

Nelle cave in sotterraneo l'abbattimento della roccia può avvenire utilizzando un mezzo di scavo "convenzionale" con mine oppure mediante l'uso di "minatori continui" o *frese ad attacco puntuale*.

Tra i mezzi meccanici impiegabili nelle coltivazioni in sotterraneo di gesso figurano, come detto, anche i cosiddetti *minatori continui* (Figura 9): macchine costituite da una testa disgregante (con diversi organi di taglio) e dispositivi per lo smarino dell'abbattuto che viene portato all'impianto.

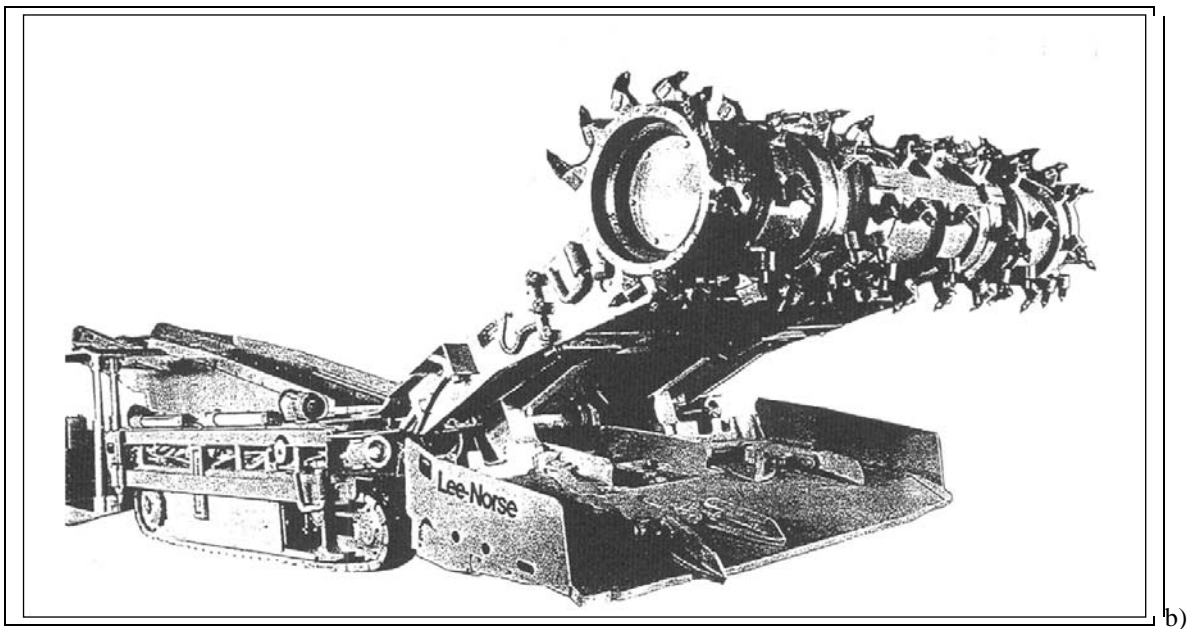
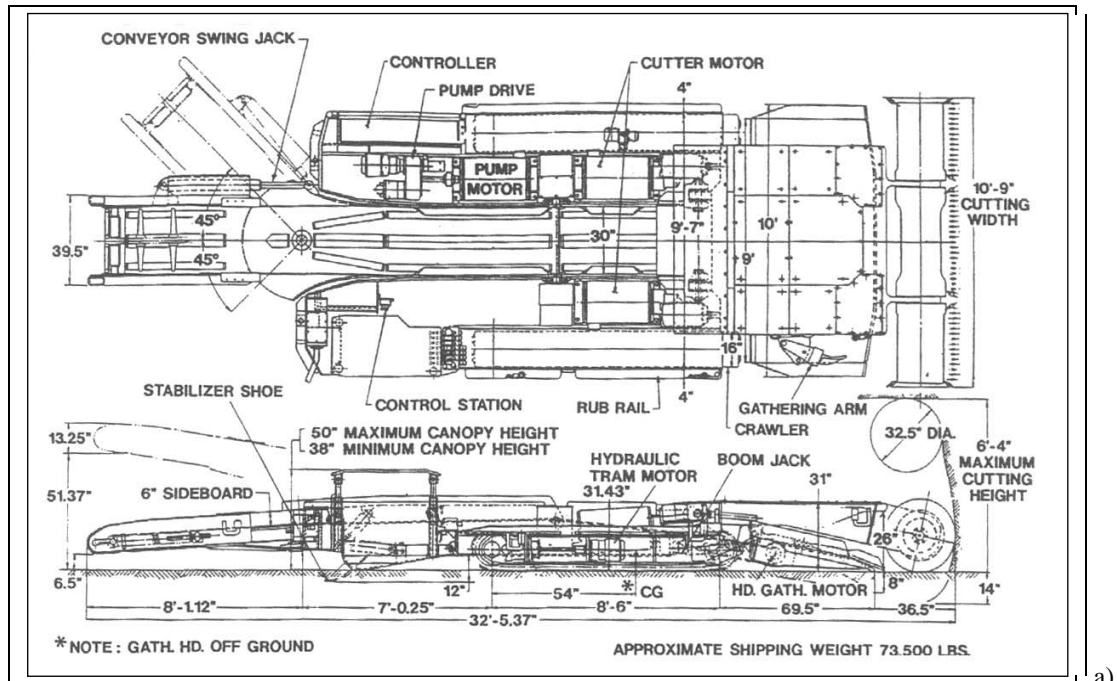


Figura 9 (a, b): minatore continuo con testa fresante a rullo (Fornaro et al., 2002)

Senz'altro più frequente, è oggi l'impiego di *fresce ad attacco puntuale, assiali o trasversali (roadheaders)*, costituite da una testa fresante su braccio brandeggiabile (Figura 10) e da un sottostante sistema di sgombero dell'abbattuto, realizzato in modo tale da poter caricare direttamente, con canale o nastro, i dumper di servizio per il trasporto. Queste macchine –anche le più “piccole”- sono caratterizzate da elevate produzioni (anche 100 t/h); la sezione del fronte viene esaurita per strisce, dando luogo a contorni di scavo molto regolari e caratteristici.

Data la bassa resistenza del gesso e la quasi totale assenza di minerali duri, i minatori continui presentano un'ottima resa produttiva con una buona capacità di taglio e sforzi relativamente ridotti,

data la modesta velocità necessaria agli utensili per effettuare il taglio.

Benché l'abbattimento meccanico mediante minatori continui presenti una serie di vantaggi rispetto all'uso di esplosivo – quali la regolarità del profilo della galleria, il maggior controllo sulla granulometria dell'abbattuto, la riduzione dei costi complessivi di produzione (pari a circa il 13%) e la maggior sicurezza delle condizioni di lavoro - tuttavia presenta una minor flessibilità di impiego. Ad esempio, nel caso in cui si ricorra all'uso di frese, a differenza di quanto accade nel caso in cui si proceda con mine, non è possibile far compiere alla macchina angoli retti e dunque i pilastri e le gallerie saranno disposti secondo uno schema “a losanghe” e non a “scacchi”, come nel caso di uso dell'esplosivo. Un ulteriore limite è inoltre rappresentato dalle pendenze che la macchina è in grado di affrontare: esse risultano piuttosto ridotte (circa  $10^{\circ}$ - $12^{\circ}$ ) e condizionano, quindi, la corretta giacitura ed il relativo disegno dei pannelli di coltivazione.

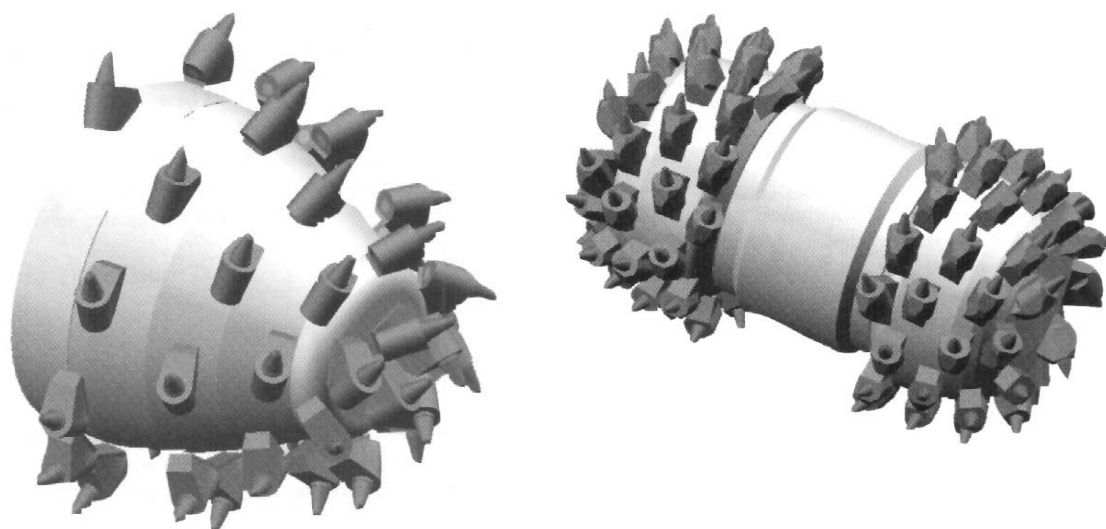


Figura 10: a sinistra, fresa ad attacco puntuale assiale; a destra, fresa ad attacco puntuale trasversale (Fornaro et al., 2002).

L'abbattimento con mezzi meccanici consente, rispetto all'esplosivo - la cui principale caratteristica è evidentemente rappresentata dal carattere ciclico delle operazioni – grazie ad una estrazione di tipo continuo, una produttività più elevata ed una comminazione già spinta dell'abbattuto. Pertanto, nel caso di abbattimento con mezzi meccanici, si può passare direttamente alla fase di macinazione, evitando il primo stadio di comminazione del tout venant (frantumazione primaria), sempre necessario invece nel caso in cui l'abbattimento sia effettuato con esplosivo.

Con l'utilizzo di mezzi meccanici, inoltre, si ottengono inoltre delle sezioni con un contorno più regolare, riducendo il disturbo indotto alla roccia in posto.

Il principale problema creato dall'utilizzo di frese consiste, per contro, nell'elevata produzione di polveri al fronte; per tale ragione, durante l'avanzamento dello scavo, è necessario un condotto di aspirazione per allontanare subito l'aria polverosa dal fronte, che verrà successivamente filtrata

prima di essere nuovamente emessa all'esterno. Una ventilazione forzata del fronte ha inoltre il vantaggio di raffreddare la temperatura in corrispondenza dell'area di lavoro, innalzata dal funzionamento del motore elettrico della fresa.

Per quanto riguarda il *recupero minerario* (rapporto tra la quantità di materiale estratto e quello effettivamente presente) occorre osservare che le coltivazioni in sotterraneo consentono uno sfruttamento solo parziale del giacimento in quanto è sempre necessario lasciare in posto solette e pilastri di materiale utile per garantire la stabilità dei vuoti.

In sotterraneo il tasso di sfruttamento risulta variabile da caso a caso, anche se, in genere, esso assume valori compresi tra il 15% ed il 75%. Quando vengono abbandonati pilastri regolari, con dimensione uguale alla luce delle gallerie, si può calcolare un recupero teorico del 75%. Tuttavia, sia per l'irregolarità delle sezioni resistenti, sia per la necessità di lasciare in posto solette e sole completamente in gesso, il rendimento massimo -pur calcolato con una resa ipotetica unitaria - nella pratica, raramente supera il 50%.

### **2.3 Il ciclo tecnologico del gesso**

L'ampio utilizzo del gesso, documentato, come s'è visto (cfr. capitolo 1), sin dai tempi più antichi, è soprattutto dovuto alla semplicità dei mezzi di estrazione ed ai rudimentali forni di cottura a legna con cui poteva essere trasformato e poi lavorato. Col tempo l'esigenza di ottenere prodotti tecnologicamente sempre più qualificati e con specifiche caratteristiche, a seconda dei singoli impieghi, ha comportato l'introduzione di tecniche di lavorazione e di processi di trattamento sempre più sofisticati. Il ciclo di lavorazione si è industrializzato consentendo attualmente produzioni migliori, sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, grazie anche ad una spinta automazione ed informatizzazione delle fasi di produzione.

Come ricordato in precedenza, il gesso, ed in subordine l'anidrite, sono la base per la produzione del gesso commerciale, sia comune (miscela di solfato di calcio emidrato e della forma  $\alpha$  del solfato di calcio anidro), sia a presa rapida (solo solfato di calcio emidrato). Entrambe queste forme si ottengono per riscaldamento del minerale di cava a temperature attorno ai 130 °C. Il loro diffuso impiego è dovuto, in primo luogo, alla capacità di fare rapida presa, per la presenza del solfato di calcio emidrato che, mescolato con acqua, si ritrasforma, indurendo, nel solfato biidrato.

Facendo variare la temperatura, la durata e le condizioni igrometriche della cottura, si possono tuttavia ottenere varietà di solfato di calcio - con caratteristiche di durata della presa e di indurimento differenti - che possono soddisfare svariate necessità, in risposta a determinate

esigenze tecnologiche (es. isolamento acustico, resistenza al fuoco, uniformità d'aspetto, controllo termoigrometrico, ecc.. Tali qualità possono essere ulteriormente esaltate dall'utilizzo di idonei additivi, la cui scelta è resa complessa dalla necessità di riuscire a favorire maggiori prestazioni specifiche senza per questo comprometterne altre.

Gli odierni processi industriali di produzione del gesso sono articolati fundamentalmente in tre fasi (Croce, 1992):

- una fase preparatoria, preliminare alla cottura, che prevede, in genere, le operazioni di stoccaggio, frantumazione e vagliatura;
- una fase di cottura, nella quale avviene la trasformazione della materia prima;
- una fase di trattamento, successiva alla cottura, dedicata alle operazioni di raffreddamento, di macinazione, di miscelazione, additivazione, di insilamento e di insaccatura.

La materia prima, una volta estratta dalla cava, non è comunque inviata direttamente ai forni, ma solitamente depositata in una o più aree di *stoccaggio*.

Tra le finalità dello stoccaggio vi sono la necessità di assicurare una scorta di pietra da gesso sufficiente a garantire una alimentazione continua del processo di fabbricazione (anche in caso di arresto temporaneo della coltivazione) e l'opportunità di omogeneizzazione del minerale, in modo da immettere nei forni una materia prima uniforme, dalle caratteristiche mediamente costanti.

La *frantumazione* e la *macinazione* sono entrambe effettuate allo scopo di ridurre la dimensione massima dei blocchi di pietra da gesso provenienti dalla cava, con due finalità differenti: rendere la pezzatura del minerale movimentabile eventualmente con nastri e poi ridurre la granulometria ai valori richiesti per la sua immissione nei forni.

Il taglio della pezzatura richiesto per il forno è ottenuto talvolta con un'unica operazione oppure, più frequentemente, con una prima triturazione (*macinazione primaria*), seguita da una seconda (*macinazione secondaria*), in genere abbinata ad una vagliatura finale. In questo caso spesso la macinazione primaria, con eventuale omogeneizzazione e vagliatura del macinato, viene realizzata direttamente in una apposita area del sito di cava, in modo da selezionare e predisporre il materiale per il trasporto, facilitando così le successive operazioni all'impianto.

Alle operazioni di triturazione viene spesso abbinata anche quella di vagliatura, sia in entrata - in modo da separare elementi già sufficientemente fini o eliminare eventuali impurezze quali argilla, marne, loess - sia in uscita dai frantoi per poter controllare la granulometria del macinato e rinviare al frantoio le parti non sufficientemente comminute.

La *disidratazione* o *calcinazione* della pietra da gesso può essere ottenuta con un processo *per via secca* o *per via umida*, a prescindere dai diversi procedimenti produttivi e dalle differenti apparecchiature utilizzate.

Con la cottura per via secca vengono fabbricati l'emidrato  $\beta$  e l'anidrite, (principali costituenti della maggior parte di miscele e prodotti a base gesso utilizzati nell'edilizia), a seconda che la temperatura sia mantenuta al di sotto di  $180^\circ$  oppure superiori i  $350^\circ$ , con condizioni di pressione all'interno dei forni pari a quella atmosferica o comunque con una pressione parziale di vapore d'acqua molto debole.

Per via umida viene prodotto soltanto il gesso emidrato, il quale costituisce il componente base dei cosiddetti gessi speciali che, per la loro particolare durezza, vengono utilizzati prevalentemente ove siano richieste elevata precisione e resistenza all'abrasione (creazione di modelli).

Esistono inoltre diverse procedure industriali durante i quali vengono raggiunte differenti temperature e per le quali vengono utilizzati forni di vario tipo, a seconda delle temperature che devono essere raggiunte per l'ottenimento dei prodotti previsti (Tabella 4).

TEMPERATURA	CONSEGUENZA	CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO OTTENUTO
$130 \div 160^\circ\text{C}$	perdita di $\frac{3}{4}$ dell'acqua (trasformazione da biidrato a emidrato)	il prodotto così ottenuto può riassorbire l'acqua e ricristallizzare dando luogo ad un fenomeno di presa di tipo meccanico tra i cristalli (gesso da modellatori)
$\geq 250^\circ\text{C}$	perdita di tutta l'acqua presente (trasformazione in gesso anidro)	si ottiene gesso da presa che può assorbire molta acqua e, trasformandosi in emianidro, dare buona presa (gesso da fabbrica)
$\geq 300^\circ\text{C}$	produzione di gesso cotto "a morte"	il prodotto ottenuto non ha più la possibilità di assorbire acqua
$\geq 850^\circ\text{C}$	produzione di gesso idraulico (anche da anidrite)	il prodotto ottenuto può essere usato per impasti a presa lentissima, anche miscelato con calce.

Tabella 4.: processo di cottura per l'ottenimento dei diversi prodotti (Fornaro et al. 2002)

### La cottura per via secca

In genere la cottura avviene ad una temperatura compresa tra  $160^\circ$  e  $220^\circ$  C, in **forni a riscaldamento diretto**, nei quali il gesso viene disidratato per diretto contatto con i gas caldi generati da un bruciatore (forni rotativi, forni per cottura flash e forni abbinati ai frantoi).

Negli ultimi anni ha cominciato ad essere utilizzato anche una nuova tipologia di forno che unisce il processo di macinazione e quello di cottura in una unica fase, rendendo il processo produttivo più snello e maggiormente gestibile. Si tratta dei cosiddetti *forni-mulini* che hanno sfruttato il principio dei frantoi essiccatori, utilizzati, ad esempio, nell'industria del cemento, nei quali viene inserito un gas caldo, all'interno del frantoio, che asciuga e cuocere il gesso crudo, trasformandolo in emidrato.

Ciò è possibile in quanto la temperatura richiesta è relativamente contenuta e non rischia di danneggiare i diversi componenti necessari per la macinazione.

Esistono inoltre tradizionalmente *forni a riscaldamento indiretto* in cui il calore necessario passa attraverso una superficie di scambio che riceve calore da un fluido caldo (gas, vapore, oli..) e lo trasferisce alla massa di gesso (forni rotativi a funzionamento continuo, forni a marmitta, forni tipo Holoflite e forni a fluidizzazione). Per l'assenza di un contatto diretto tra la sorgente del calore ed il gesso, questi forni sono particolarmente indicati per la produzione di gessi di elevata purezza, con comportamento non eccessivamente reattivo e quindi idonei anche ad impieghi particolari quali le applicazioni in campo medico ed artistico. Il tempo di cottura risulta più elevato rispetto a quello necessario nei forni diretti, data la mediazione della superficie di scambio, solitamente realizzata in una lega metallica. In questi casi il principale prodotto è l'emidrato con deboli percentuali di anidrite. Data la gradualità del processo di cottura, il gesso emidrato ottenuto presenta una minore reattività ed un tempo di presa più lungo, a volte superiore anche ai 20 minuti.

### **La cottura per via umida**

La cottura per via umida, meno impiegata nel tradizionale trattamento industriale del gesso, può avvenire *in atmosfera satura di vapore* o *in soluzione salina*. Nel primo caso si riempiono delle autoclavi orizzontali o verticali con gesso frantumato, della pezzatura di 40-50 mm, portando la pressione a 2-7 bar. Al termine della cottura l'emidrato così ottenuto viene estratto e fatto essiccare. Nel secondo caso il gesso viene macinato e successivamente cotto in una soluzione di diversi sali ad una temperatura di circa 115 – 120 °C a pressione atmosferica. Tale metodo però è poco utilizzato sia per i ridotti volumi di prodotto ottenibili, sia per la complessità e gli elevati costi di funzionamento dell'impianto.

Alla cottura fanno poi seguito ulteriori operazioni quali il raffreddamento, la macinazione, la miscelazione, l'insilamento e l'insaccatura.

Il raffreddamento avviene attraverso l'impiego di appositi refrigeratori oppure mediante l'aggiunta di gesso crudo.

La *macinazione* ha lo scopo invece di ridurre la granulometria del gesso a valori previsti dalla specifica categoria di prodotto cui è destinato. Il gesso cotto si macina più facilmente del gesso crudo; per tale ragione si utilizzano mulini a sfere e disintegratori ad urto, quali quelli a martelli o a pioli, con l'aggiunta eventualmente di vagli. Il gesso da modellatori, richiedendo un attento controllo granulometrico, è vagliato meccano-pneumaticamente con azione combinata di un ventilatore e di una rete e con successivo ritorno al mulino delle parti più grossolane.

La *miscelazione ed additivazione* avvengono per miscelare gessi con proprietà differenti o per aggiungere ad essi modeste quantità di sostanze additive. Idonei additivi possono infatti esaltare alcune naturali propensioni, onde favorire maggiori prestazioni specifiche senza compromettere le altre. A questo proposito sono presenti sul mercato i cosiddetti premiscelati, messi a punto per rispondere alla richiesta di specifiche applicazioni dei prodotti a base gesso.

L'*insilamento* è l'operazione mediante la quale il gesso viene stoccato negli appositi silos per creare una riserva adeguata e far fronte ad eventuali richieste anomale del mercato.

Infine, si ha l'*insaccatura* del prodotto che avviene mediante insaccatrici a becco, in linea o rotative, seguita da operazioni di *sigillatura ed imballaggio*.

Il ciclo tecnologico per la produzione dei prodotti a base gesso può dunque essere schematizzato come rappresentato nella seguente Figura 11:

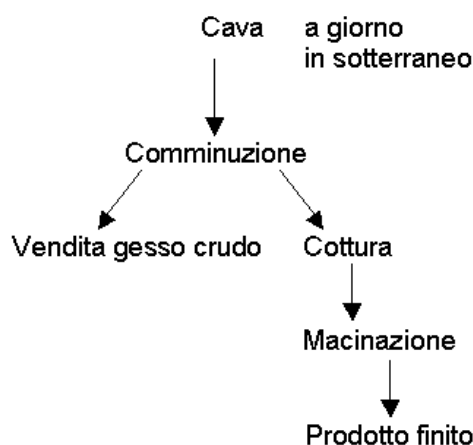


Figura 11: schema semplificato del ciclo Tecnologico per la produzione di gesso (Fornaro et al., 2001)

## 2.4 Evoluzione delle tecniche di produzione

Come già sottolineato, l'utilizzo del gesso nelle costruzioni di tutte le epoche, è probabilmente imputabile, oltre alla sua disponibilità in natura, anche alla semplicità e facilità con cui il gesso può essere lavorato e trasformato. Tuttavia, nonostante i primi segni del suo utilizzo risalgano al 7000 a.c., le proprietà fisico-chimiche del gesso sono state scarsamente indagate ed approfondite nel corso dei secoli, così come accaduto per le tecniche di produzione, le quali si sono mantenute inalterate sino al secolo scorso. Solamente nel 1765 il gesso è stato, per la prima volta, oggetto di ricerca scientifica ad opera di Lavoisier, scienziato francese illuminista che aveva avviato alcuni studi sui metodi di preparazione del gesso, i cui risultati vennero presentati all'Accademia di Francia nel 1768 (Croce et al., 1992).



La composizione chimica della pietra da gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) fu infatti individuata solo nel 1780; grazie a questa scoperta fu poi possibile (diversi anni dopo) interpretare correttamente il processo di cottura, presa ed indurimento.

Ciò che differenzia il gesso da altri leganti o prodotti per l'edilizia è principalmente la temperatura di "cottura" che risulta piuttosto limitata e dunque facilmente ottenibile con metodi anche artigianali.

Il forno tradizionale a fiamma diretta, ad esempio, era costituito da un cumulo realizzato con strati alternati di pietre da gesso e di combustibile di origine vegetale o animale (sterco), al quale veniva dato fuoco. In questo modo si otteneva una certa quantità di gesso emidrato (circa 20-40%), gesso surcotto (45-75%) e gesso non cotto (5-15%). Per ottenere una maggior quantità di surcotto si poteva invece ricorrere ad un altro metodo, simile al precedente, che consisteva nel creare un cumulo che veniva però collocato in una buca. Il processo di cottura e di raffreddamento in questo caso richiedeva parecchi giorni ed il prodotto veniva impiegato prevalentemente nella realizzazione di pavimenti, tendenzialmente su impalcati in legno.

Una valida alternativa poteva essere rappresentata da forni verticali realizzati completamente in elementi di gesso e malta a base gesso, addossati ad una parete naturale in terra o roccia. I singoli elementi venivano assemblati a formare un cilindro con diametro di circa 2 metri ed altezza pari a 3 metri circa, nella cui parte inferiore veniva realizzato un setto a cupola in modo da isolare una camera sottostante in cui stipare il combustibile ed una soprastante in grado di contenere "la pietra da gesso" da cuocere. Questa veniva gettata all'interno di tale cilindro solo dopo opportuna frantumazione, in modo da avere pezzature più fini verso l'alto. Il processo di cottura durava qualche ora e conduceva alla formazione di circa 300 kg di prodotto che tendenzialmente era rappresentato da 50% di emidrato, 25% di surcotto e 25% di gesso non cotto (Figura 12).

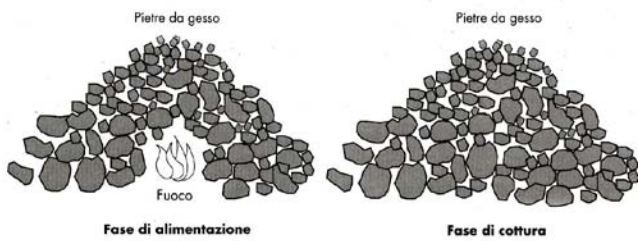
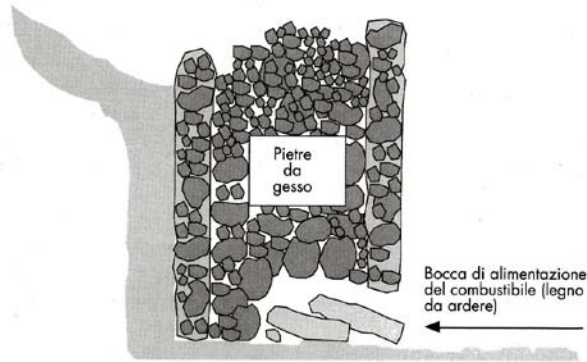


Figura 12: forno tradizionale a fiamma diretta (sopra) e forno tradizionale verticale (sotto) (Croce et al., 1992)



La tecnica utilizzata in Europa fino agli anni '40 consisteva invece nella realizzazione di una tettoia murata su tre lati con un lato suddiviso in tre settore da setti di larghezza pari ad un metro ed altezza pari a circa 2 metri, realizzati in elementi di gesso (Figura 13). A circa un metro di altezza in ciascun settore veniva infine realizzata una “soletta”, composta da strati di gesso e di combustibile (legno, sterco, carbone..), sulla quale si disponeva il materiale da cuocere di dimensione decrescente verso l’alto. Il processo di cottura durava al massimo 2 o 3 giorni, ed altrettanti ne richiedeva il processo di raffreddamento che iniziava nel momento in cui il fuoco veniva estinto ed il materiale cotto ricoperto con gli scarti della precedente lavorazione. Il prodotto così ottenuto era costituito per il 50% da gesso emidrato, 10% da surcotto, 10% da gesso non cotto e circa 20% da anidrite solubile (Croce et al., 1992).

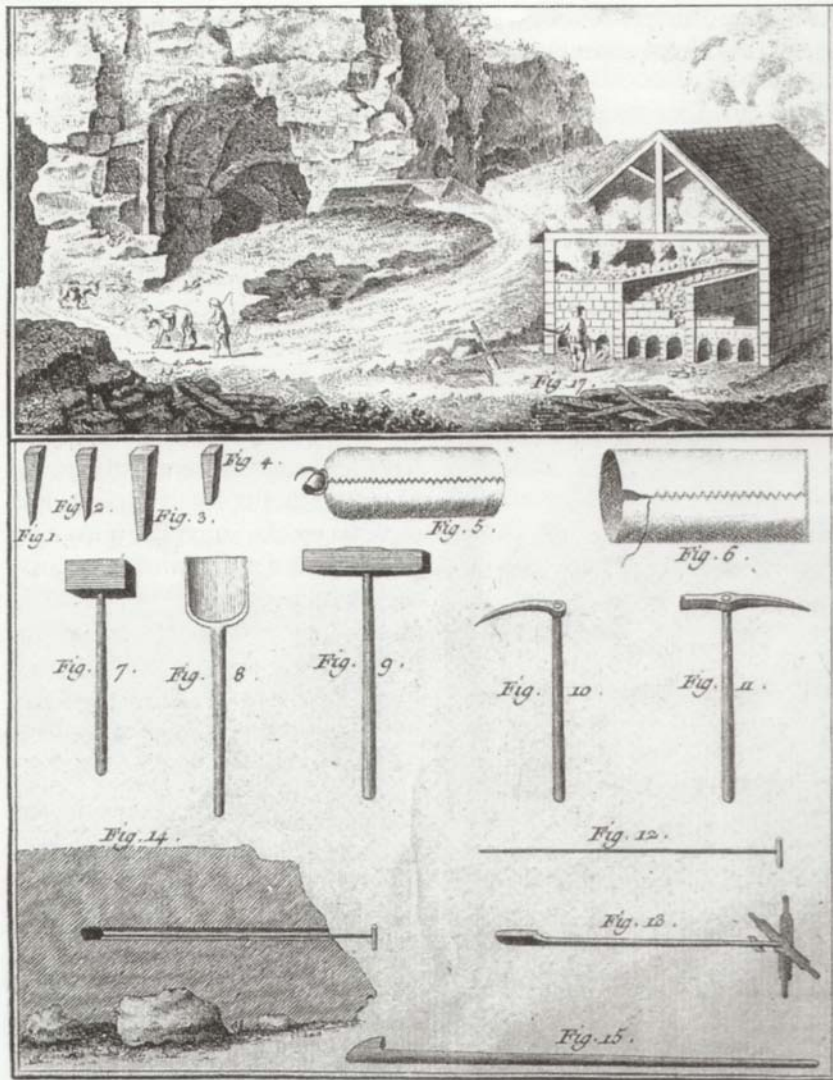


Figura 13: forno “per caduta” ed attrezzi impiegati nell’attività di estrazione del gesso (Enciclopedia Diderot, D’Alambert; Croce et al., 1992). Nella parte superiore dell’immagine si può osservare una sezione delle fornaci impiegate per la cottura del gesso nella prima metà del secolo scorso.

## **BIBLIOGRAFIA**

CROCE S., BOLTRI P., LUCCHINI A. (1992) – “Progettare con il gesso”, BE-MA editrice, Milano.

FORNARO M., LOVERA E. & SACERDOTE I. (2002): “La coltivazione delle cave ed il recupero ambientale”. 2 Volumi, Ed. Politeko, Torino, pagg. 387 e pagg. 263.

GERBELLA L. (1938) – “Arte Mineraria”. Editore Ulrico Hoepli, Milano, vol. II, 412 pp.

TURCO T. (1961) – “Il gesso. Lavorazione, trasformazione, impieghi”, Ulrico Hoepli Editore, Milano.