

Insegnamento di **Progetto di Infrastrutture viarie**

Opere in terra

Caratteristiche di un terreno
Compressibilità e costipamento delle terre
Portanza sottofondi e fondazioni stradali
Instabilità del corpo stradale

Gallerie

Soprastrutture

Materiali stradali
Soprastruttura flessibili
Cenni di calcolo delle soprastrutture

Intersezioni e Impianti stradali

Aree di sosta

Trasporto dei materiali di risulta

Le operazioni di smarino possono essere divise in due momenti: 1) la raccolta ed il caricamento della roccia abbattuta, 2) il trasporto del materiale dal fronte di scavo direttamente all'esterno della galleria.

Tali operazioni dipendono dalle dimensioni della sezione della galleria:

- nelle gallerie di grande sezione (più di 30 m²) vi è la possibilità di utilizzare, come mezzi di trasporto del materiale scavato (marino), i *dumper* che quindi vengono caricati con escavatori o pale meccaniche normalmente utilizzati nel sottosuolo.
- nelle gallerie di media dimensione (da 12 a 30 m²) il problema dello smarino è di non facile soluzione (lo spazio a disposizione non è sufficiente per un corretto impiego delle normali pale caricatori e degli escavatori); l'impiego di mezzi su binario risulta poco flessibile ed oneroso.
- nello scavo a sezione parzializzata, con la realizzazione di rampe con pendenze elevate (fino al 30 %), il problema principale è costituito dall'impiego di pale gommate o cingolate costrette a lavorare su notevoli pendenze ed in spazi ridotti.
- nelle gallerie di piccole dimensioni (fino a 12 m²) si utilizzano piccole pale su binario che scaricano posteriormente su vagoncini molto piccoli (2-5 m³).
- esistono anche sistemi di smarino a monorotaia, a nastro trasportatore o tramite pompaggio (per materiali molto sciolti e mescolati a fanghi bentonitici).

Escavatori

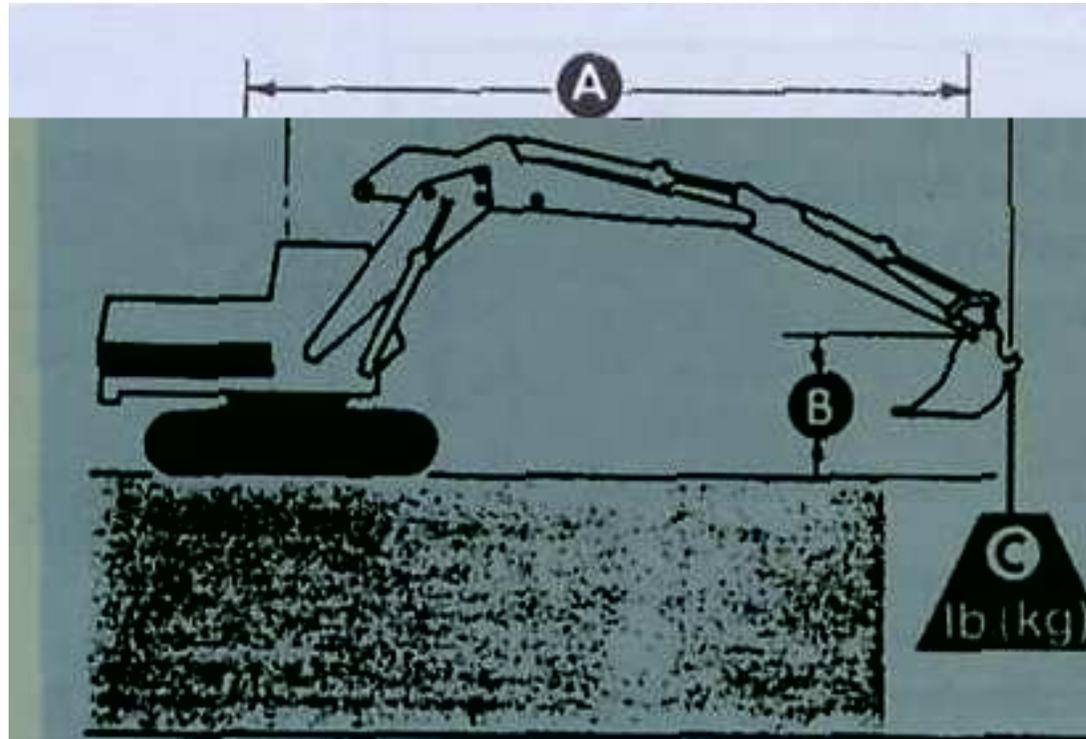
Le *caratteristiche operative* dell'escavatore idraulico riguardano: la sua capacità di sollevamento (peso massimo sollevabile), la sua stabilità (capacità a sollevare un peso rimanendo con i cingoli a terra), capacità idraulica (più capacità idraulica ha la macchina e più peso può sollevare), forza di penetrazione (forza disponibile all'estremità della punta del dente della benna quando viene azionato il cilindro di penetrazione), forza di strappo (forza disponibile all'estremità della punta del dente della benna quando viene azionato il cilindro di benna).

In figura 28 sono riportate le caratteristiche di un escavatore standard.

La *stima della produzione* dipende dal tipo di *benna* impiegato che costituisce un componente importantissimo dell'escavatore in quanto componete della macchina a contatto con il materiale da scavare. La scelta della benna adatta per un dato lavoro non è facile: una regola generale suggerisce che più il lavoro è impegnativo più la benna deve essere piccola e robusta. La produzione dipende dal carico medio della benna, dal tempo di ciclo medio ed dall'efficienza sul lavoro: $mc \text{ reali} / h = mc / h \times \text{fattore d'efficienza sul lavoro}$ (dove $mc/h = \text{cicli/h} \times \text{carico medio della benna}$).

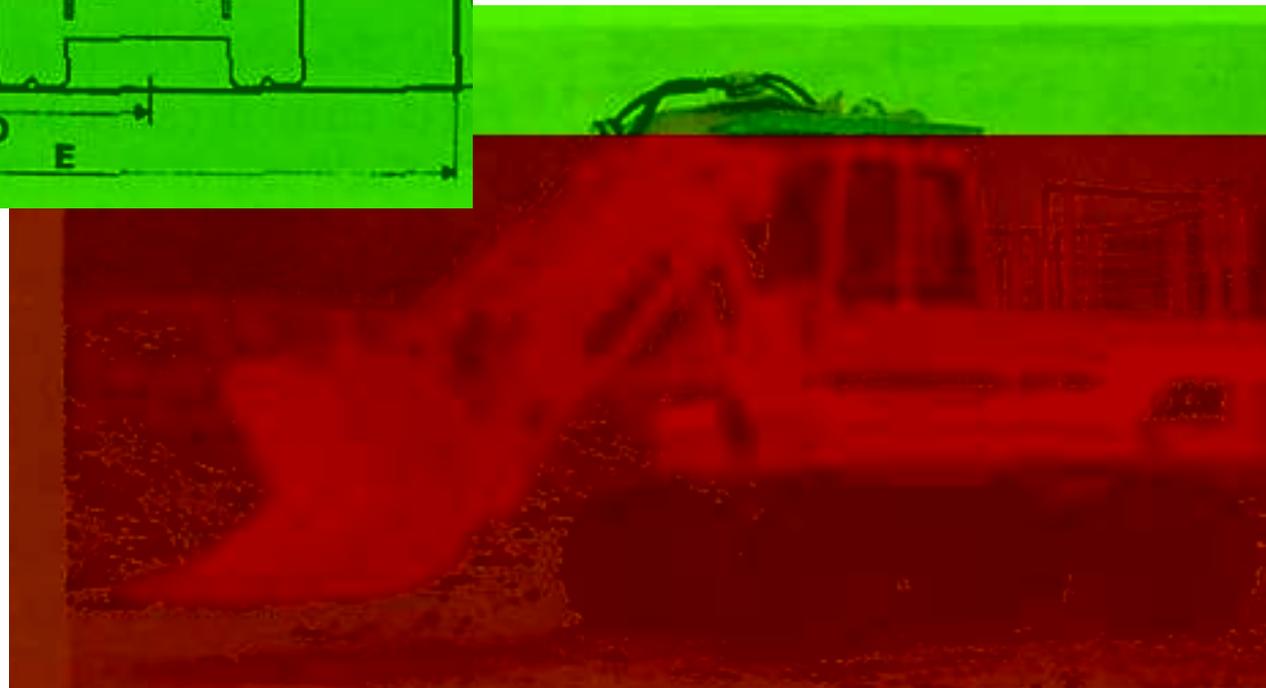
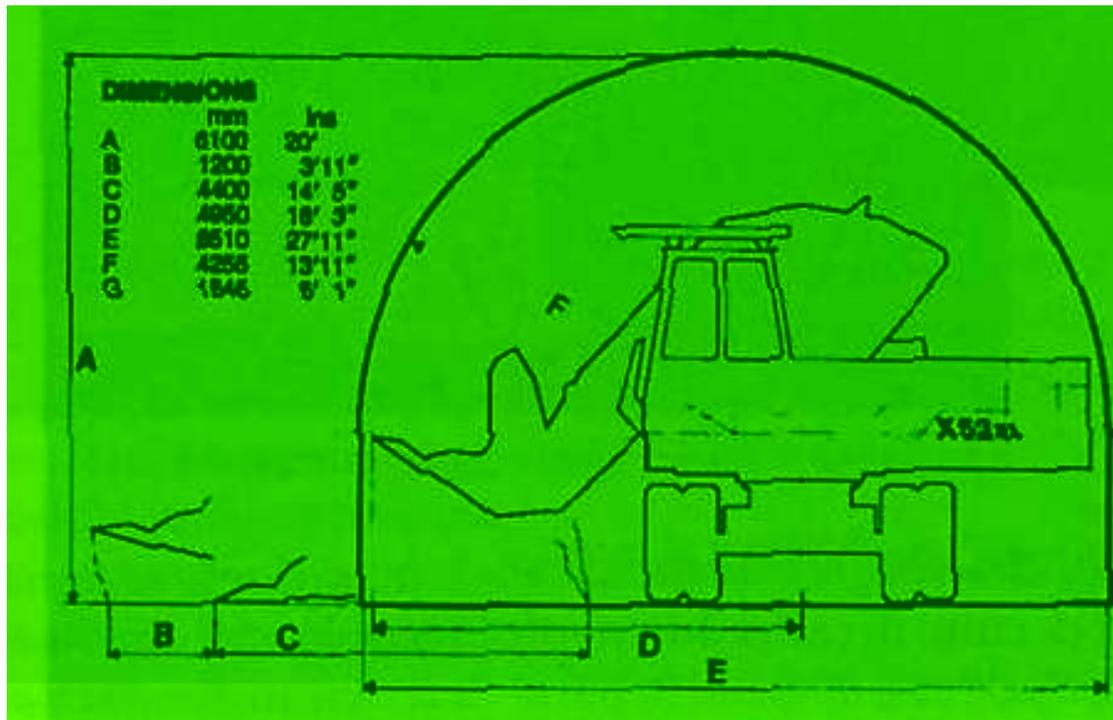
Lo sviluppo delle macchine da carico è databile a partire dal 1964 con l'introduzione della prima macchina a pura benna frontale *Broyt X3* e con l'escavatore *Schaeff*. Gli ingombri operativi dell'escavatore tipo BROYT X52 e tipo SCHAEFF ITC sono riportati rispettivamente nelle figure 29 e 30.

Caratteristiche escavatore standard



- A - Sbraccio dal centro di rotazione
- B - Altezza perno cerniera benna
- C - Capacità di sollevamento

Caratteristiche escavatore tipo BROYT X52



Caratteristiche escavatore tipo SCHAEFF ITC



Pale meccaniche

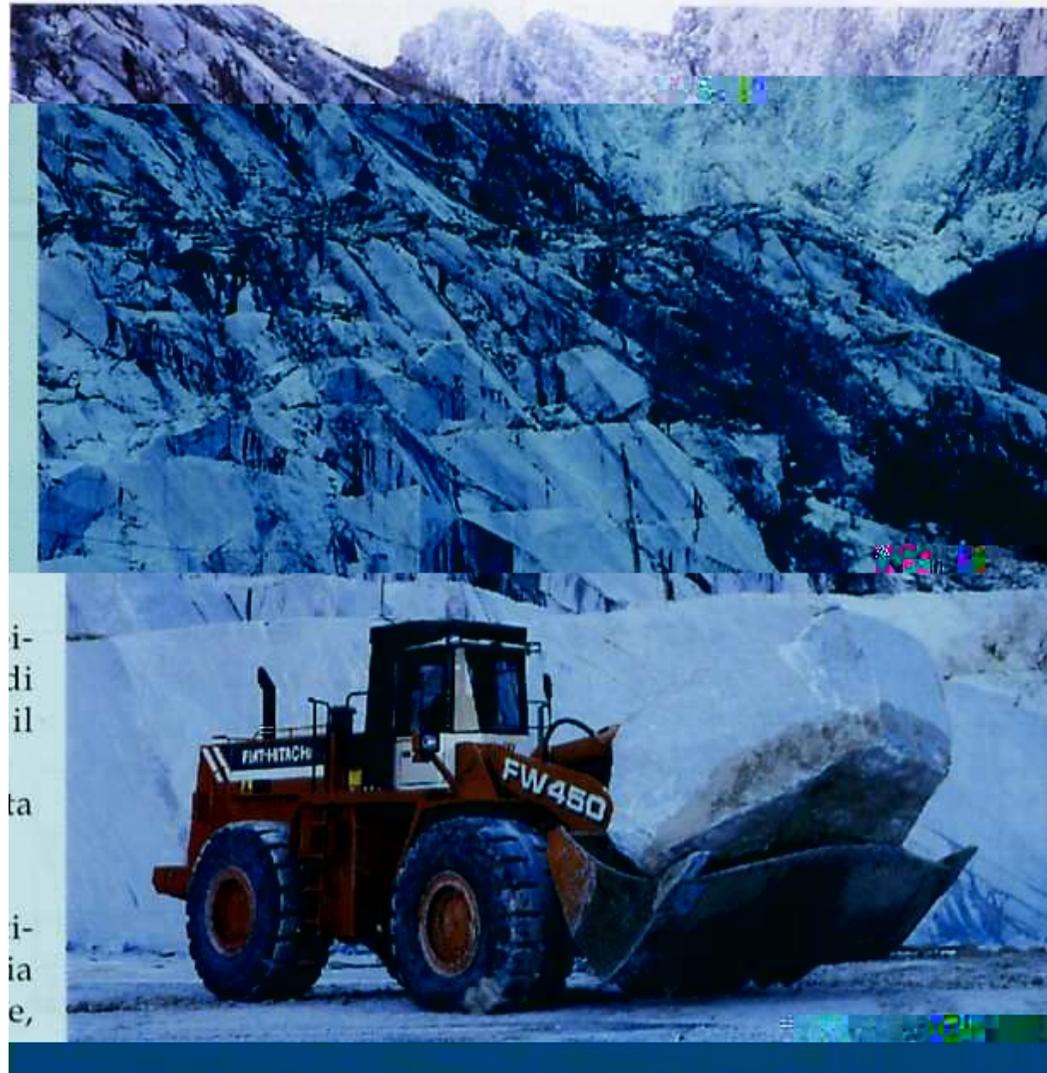
Le pale meccaniche nelle gallerie di medio/grandi dimensioni risultano essere un mezzo spesso insostituibile nei lavori di smarino.

Le pale gommate sono quelle più frequentemente utilizzate per l'elevata velocità di manovra e quindi per i conseguenti minori tempi del ciclo di carico. Nello scavo a tutta sezione (sistema d'avanzamento austriaco di 3 sciolte al giorno) trovano impiego grosse pale cariatrici gommate che riescono a caricare mezzi di trasporto da 18 m³, con 4 bennate e in circa 2 minuti per camion. In figura 31 è riportata una pala gommata FIAT HITACHI FW 450.

Le pale cingolate sono vere e proprie attrezzature speciali per usi civili o minerari: la Dinting Machine è caratterizzata da una benna di carico con profilo a "V" su cui vengono assemblati utensili di taglio azionati a percussione (si veda figura 32); il Side Tipping Loader è pensata per lo scarico laterale del marino caricato (si veda figura 33); la "Brigia" è una macchina per lo smarino rapido in gallerie a sezione ristretta e strozzi (si veda figura 34) che al posto della benna dispone di un grebbiule d'acciaio al quale è fissato al centro il braccio di scavo ed avvicinamento del materiale ed ai cui lati sono incernierati due nastri trasportatori (a raclettes) per trasferire, a tergo della pala, il materiale direttamente sui dumper; il sistema HÄGGLODER (si veda figura 35) è un'attrezzatura in grado di raccogliere direttamente la roccia frantumata e portarla, con nastro convogliatore, sui mezzi di trasporto (vagoncini o dumper) e di solito è accoppiata con l'attrezzatura Shuttletrain.

Progetto di Infrastrutture viarie

Pala FIAT HITACHI FW 450



i-
di
il
ta

i-
ia
e,

Progetto di Infrastrutture viarie

Pala Dinting Machine



Pala Side Tipping Loader



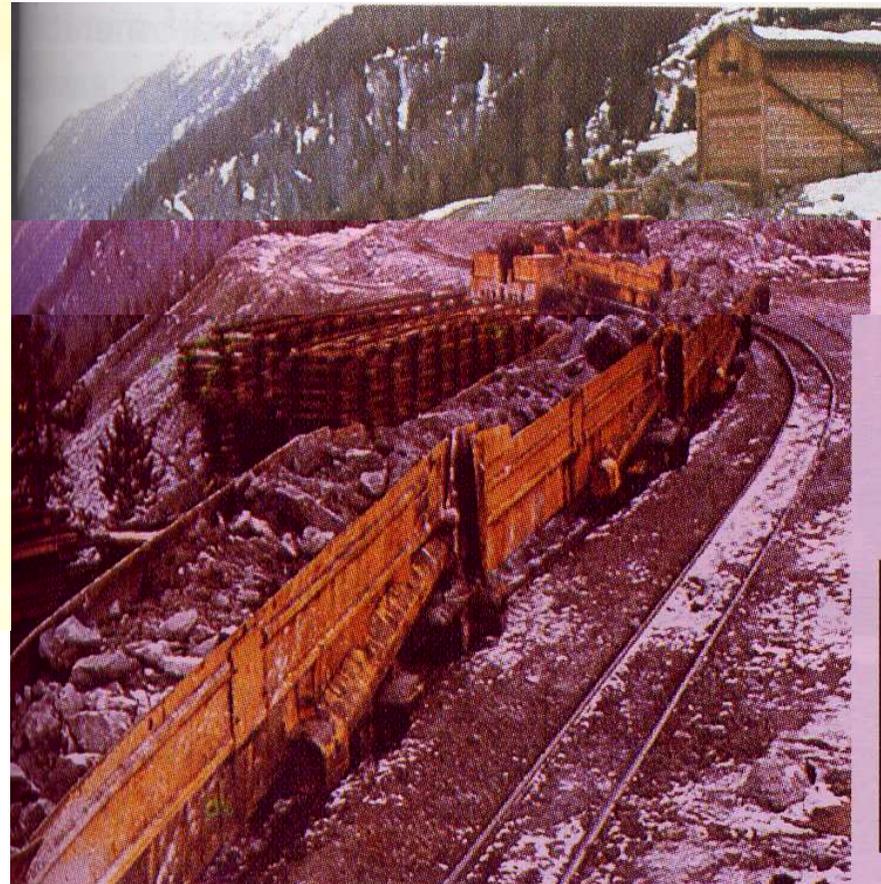
Progetto di Infrastrutture viarie

Pala “Brigia”



Progetto di Infrastrutture viarie

Sistema di caricamento continuo HÄGGLODER



Mezzi di trasporto gommati

La scelta del corretto mezzo di trasporto (autocarro o dumper) del materiale scavato all'esterno della galleria è fondamentale per l'economia del sistema di smarino adottato. Il Codice della Strada (*D.L: n. 285 del 30/04/92 e s.m. all'art. 54, comma 1, lettera n*) definisce "Mezzi d'opera" i veicoli (o complessi di veicoli) dotati di particolari attrezzature per il carico e il trasporto di materiali d'impiego o di risulta dell'attività edilizia, stradale, di escavazione minerarie e di materiali assimilati (che completano, durante la marcia, il ciclo produttivo).

Tali mezzi d'opera sono assoggettati ad autorizzazioni (per circolare su strade ordinarie) e a disciplina amministrativa (pagamenti d'indennità d'usura).

In figura 36 sono illustrati alcuni *mezzi d'opera* Iveco "Eurotrakker" a 3 e 4 assi, cabinati e trattori con masse a terra da 32 , 40 e 56 t e con motorizzazioni da 340, 370 e 420 CV.

In figura 37 è riportato un *dumper idrostatico* da 32 t in fase di carico. Il dumper è stato introdotto abbastanza di recente nel campo movimento materiali (in precedenza affidata agli autocarri); è un veicolo a due assi con 4 o 6 ruote (se le posteriori sono gemellate) adatto quindi alle manovre in spazi ristretti e, se l'impiego avviene fuori strada, non soggetto a limiti di peso, d'ingombro e portata. Possono essere snodati e ribassati, del tipo Sistema KIRUNA Containers o elettrici.

Progetto di Infrastrutture viarie

Mezzi d'opera tradizionali



Progetto di Infrastrutture viarie

Dumper



Sistemi di trasporto con vie ferrate, nastri trasportatori e smarino idraulico

La scelta del sistema di trasporto dipende anche dal tipo di fondo stradale di lavoro: la presenza di fondo fangoso ed irregolare limita molto l'impiego di mezzi gommati (elevati costi di manutenzione e di sostituzione dei pneumatici). Il trasporto su rotaia con mezzi di trazione diesel ed elettrici rappresenta una valida alternativa (comodo e veloce mezzo di trasporto con velocità media di 40 km/h) soprattutto per lunghe tratte e pendenze non troppo elevate (6 %) e con vagoni a scarico dal fondo del cassone, automatico laterale, totalmente rotanti o a cassone scarrabile, come illustrato in figura 38. Esistono anche sistemi sospesi su monorotaia (*Roof Suspended Monorail - RSM*) o sistemi preassemblati su rotaia (*Floor Mounted Rail System - FMRS*). Il trasporto con nastri trasportatori permette un funzionamento del procedimento di scavo in continuo con minori costi (manodopera, manutenzione e ventilazione) e maggior sicurezza (la fase del trasporto presenta il secondo rischio, dopo il distacco del materiale dalla volta), come illustrati in figura 39.

Per particolari tipologie dell'ammasso roccioso scavato (terreni incoerenti, plastici, sabbiosi o misti), è possibile utilizzare

Progetto di Infrastrutture viarie
Trasporto su rotaia



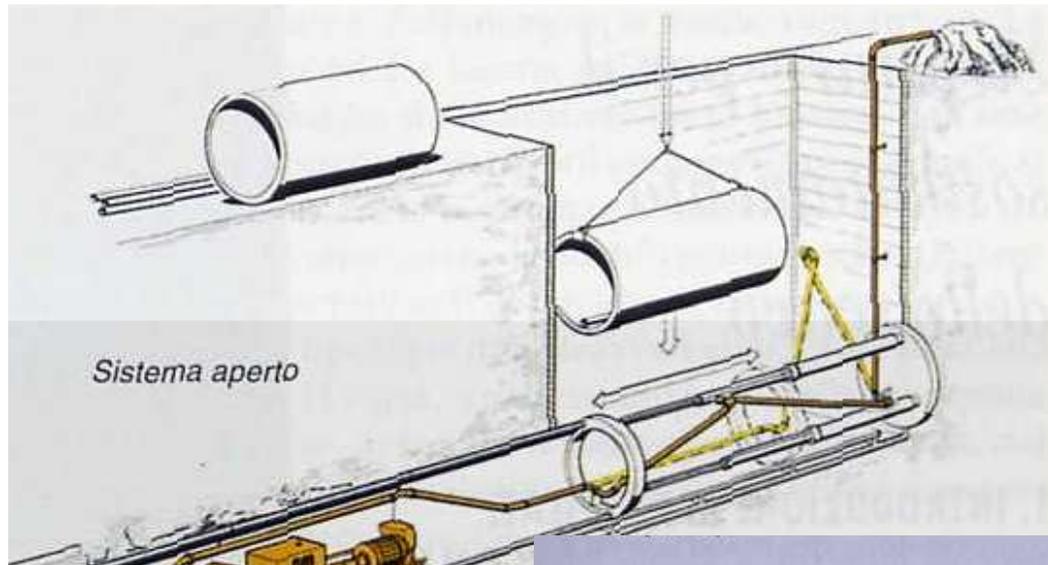
Progetto di Infrastrutture viarie

Trasporto con nastri trasportatori

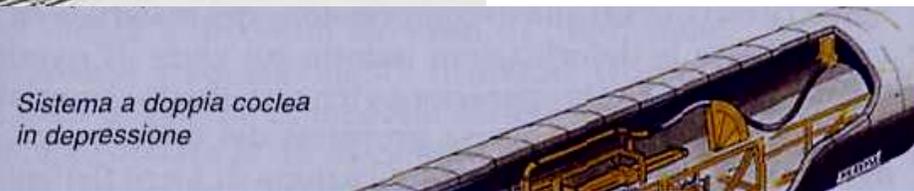


all
di
no
vi
in
te
nu
TE
Il

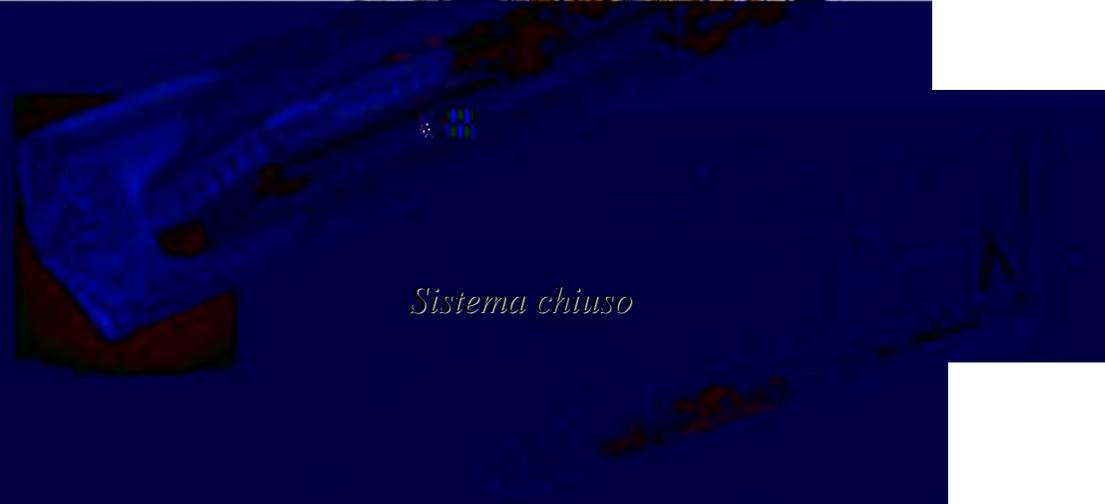
Progetto di Infrastrutture viarie
Smarino idraulico



Sistema aperto



*Sistema a doppia coclea
in depressione*



Sistema chiuso

Sostentamento dello scavo

Il sostentamento moderno dello scavo è realizzato con profilati in acciaio (travi e centine) e rete elettrosaldata o con pannelli metallici; nel suo insieme costituisce l'armatura del prerivestimento che viene completato con l'applicazione del calcestruzzo spruzzato (*spritzbeton*).

In presenza di ammassi rocciosi fratturati o potenzialmente collassabili, il consolidamento in sottosuolo viene effettuato tramite *profilati rigidi in acciaio*, detti *centine*, di sezione ad "H", ad "Ω", *reticolari e tubolari* (si veda la figura 41) e poste ad intervalli prefissati. Vengono pure usate diverse tipologie di *strutture metalliche presagomate* (pannelli bullonati e iniettati, pannelli ad espansione, liner plates, pannelli Bernold) come riportato in figura 42.

Al fine di sostenere una superficie d'aggrappo durante la fase di posa in opera dello spritzbeton, viene impiegata la *rete elettrosaldata* (armatura in barre d'acciaio, ad elevata resistenza e tra loro elettrosaldate, a maglie quadre o rettangolari), come illustrato in figura 43.

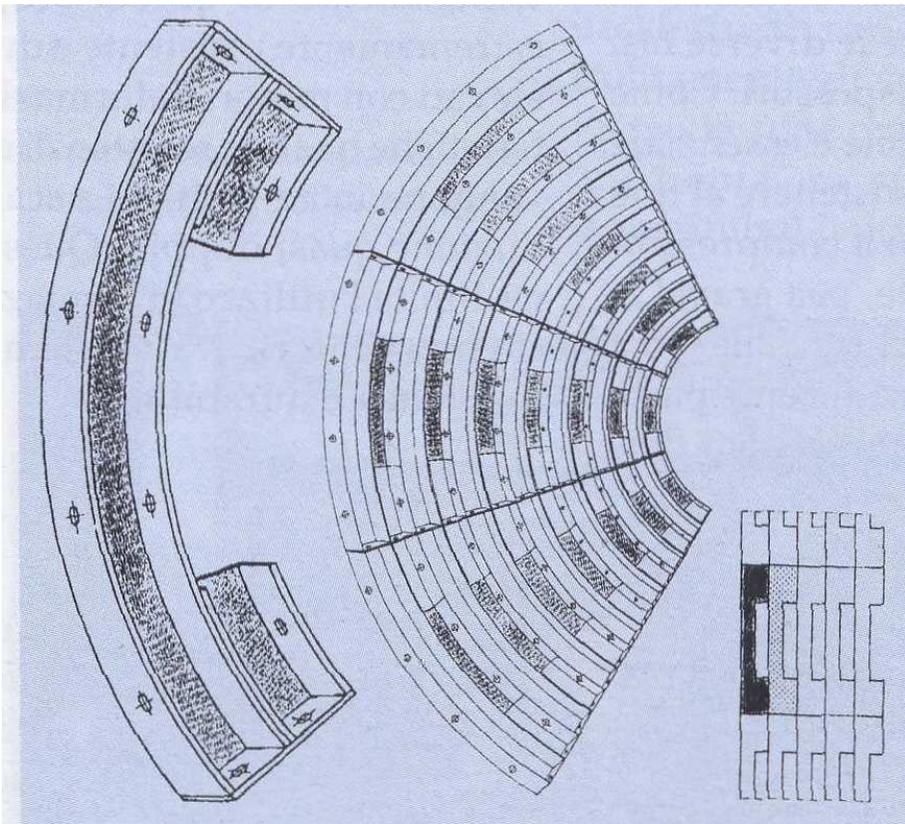
Per quanto riguarda le caratteristiche ed i sistemi di applicazione dello spritzbeton se ne parlerà in seguito. Mentre per la posa in opera dei sostegni metallici prima descritti esistono specifiche attrezzature quali: *posa centine* (semplici o con bracci laterali), *piattaforme elevabili* (a pantografo o a sbalzo) e *cestelli idraulici* (monobraccio o bibraccio). Tali attrezzature devono sottostare alla direttiva europea Macchine (89/392/ CEE) che fornisce criteri e parametri finalizzati alla loro messa in sicurezza.

Progetto di Infrastrutture viarie

Profilati rigidi in acciaio

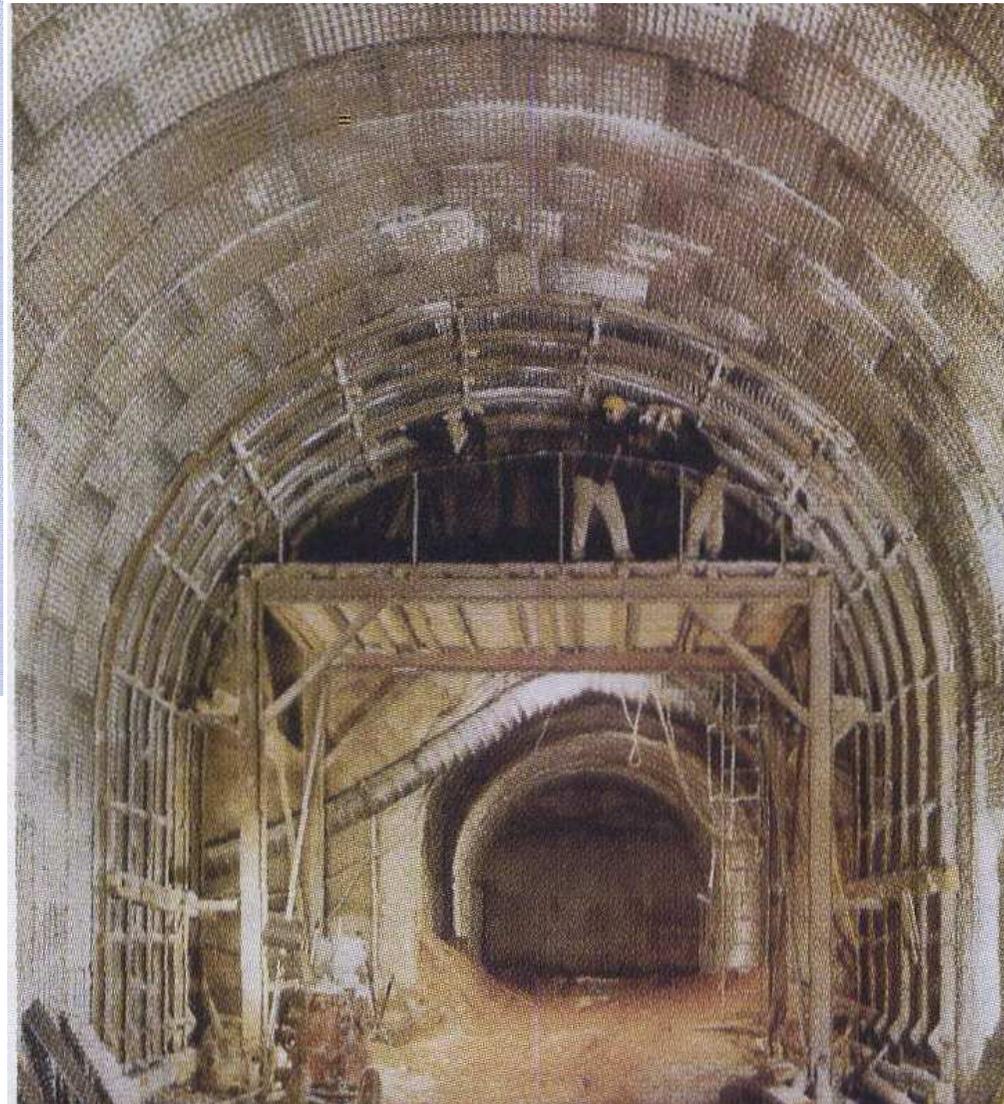
CONTINE Ω	CONTINE H
Elevata resistenza deformativa sotto tensioni eccentriche a causa della comparabilità dei moduli d'inerzia lungo i piani x e y; minore utilizzo di catene	Deformabilità maggiore dovuta al rapporto dei moduli d'inerzia lungo gli assi x e y, rispettivamente 3:1
Più costose a causa della lavorazione degli elementi di connessione	Meno costose per la semplicità delle piastre di collegamento.
Deformazione telescopica	Deformazione plastica
Facilità nello smontaggio e nel utilizzo	Una volta deformate sono praticamente inutilizzabili
Flessibilità e versatilità di utilizzo in differenti situazioni geomeccaniche	Flessibilità di fabbricazione
Eccellenti qualità dei giunti dovutamente alla sovrapposizione degli estremi	Debolezza strutturale nelle zone di giunzione
Possibilità di variare il telescopismo fino ad elevati valori	Necessità di utilizzare sistemi alternativi (trampoli)

Strutture metalliche presagomate



Esempio di profilati scatolari accoppiati

Pannelli Bernold



Progetto di Infrastrutture viarie

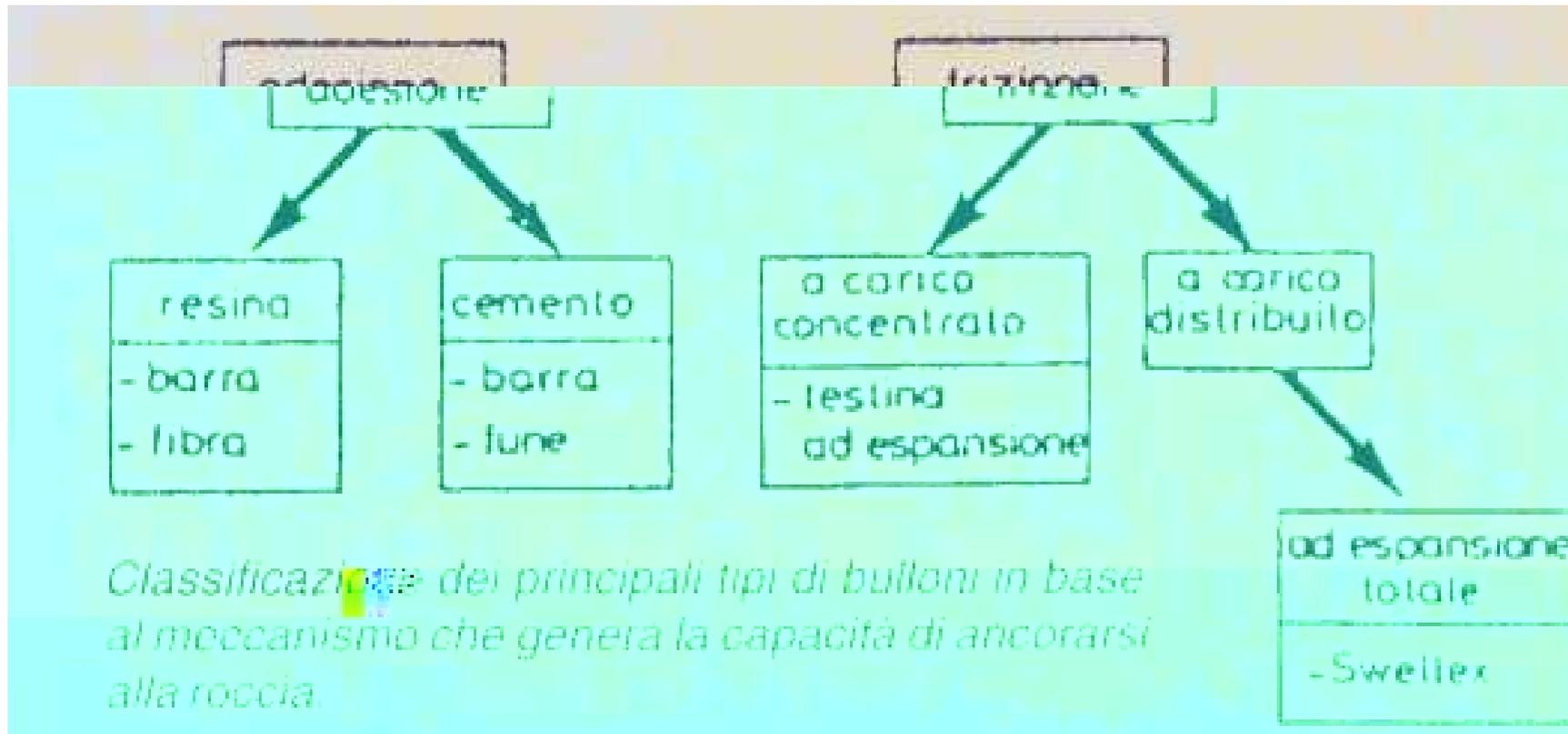
Rete elettrosaldata

TIPOLOGIA STANDARD														Informazioni per il carico					
TIPO RETE	FILI mm		MAGLIA cm		SEZIONE mm ² / m ²		PANNELLO cm		N. FILI		SPORGENZA FILI mm		PESO PANNELLO		N. PANNELLI			CARICO TOTALE kg	
	LONG.	TRASV.	LONG.	TRASV.	LONG.	TRASV.	LARGH.	LUNGH.	LONG.	TRASV.	LONG.	TRASV.	TOTALE kg	kg/m ²	PER PACCO	PER STIVA	PER CARICO		
FORMATO: 225x400 cm	410/2	4	4	10	10	126	126	225	400	23	40	50	25	18.01	2.002	100	600	1600	28816
	415/2	4	4	15	15	84	84	225	400	15	27	50	75	11.95	1.328	100	600	1800	21510
	420/2	4	4	20	20	63	63	225	400	12	20	100	25	9.20	1.023	100	600	1800	16560
	515/2	5	5	15	15	131	131	225	400	15	27	50	75	18.60	2.07	100	500	1500	27900
	520/2	5	5	20	20	98	98	225	400	12	20	100	25	14.32	1.591	100	500	1500	21480
	610/2	6	6	10	10	283	283	225	400	23	40	50	25	40.40	4.49	50	400	700	28280
	615/2	6	6	15	15	189	189	225	400	15	27	50	75	26.80	2.980	50	400	1100	29480
	620/2	6	6	20	20	142	142	225	400	12	20	100	25	20.64	2.290	50	400	1200	24768
	815/2	8	8	15	15	335	335	225	400	15	27	50	75	47.69	5.30	50	300	600	28614
	820/2	8	8	20	20	252	252	225	400	12	20	100	25	36.70	4.08	50	300	800	29360
	1020/2	10	10	20	20	393	393	225	400	12	20	100	25	57.38	6.376	25	200	500	28692
	1220/2	12	12	20	20	666	666	225	400	12	20	100	25	82.58	9.18	25	200	350	28903
FORMATO: 200x300 cm	410/1	4	4	10	10	126	126	200	300	20	30	50	50	11.88	1.980	100	600	2400	28512
	415/1	4	4	15	15	84	84	200	300	14	20	75	25	8.09	1.349	100	600	2400	19416
	420/1	4	4	20	20	63	63	200	300	10	15	100	100	5.94	0.99	100	600	2400	14256
	515/1	5	5	15	15	131	131	200	300	14	20	75	25	12.62	2.100	100	500	2000	25240
	520/1	5	5	20	20	98	98	200	300	10	15	100	100	9.24	1.54	100	500	2000	18480
	610/1	6	6	10	10	283	283	200	300	20	30	50	50	26.60	4.43	50	400	1100	29260
	615/1	6	6	15	15	189	189	200	300	14	20	75	25	18.20	3.03	50	400	1600	29120
	620/1	6	6	20	20	142	142	200	300	10	15	100	100	13.32	2.22	50	400	1600	21312
815/1	8	8	15	15	335	335	200	300	14	20	75	25	32.35	5.37	50	300	900	29025	
820/1	8	8	20	20	252	252	200	300	10	15	100	100	23.67	3.95	50	300	1200	28404	

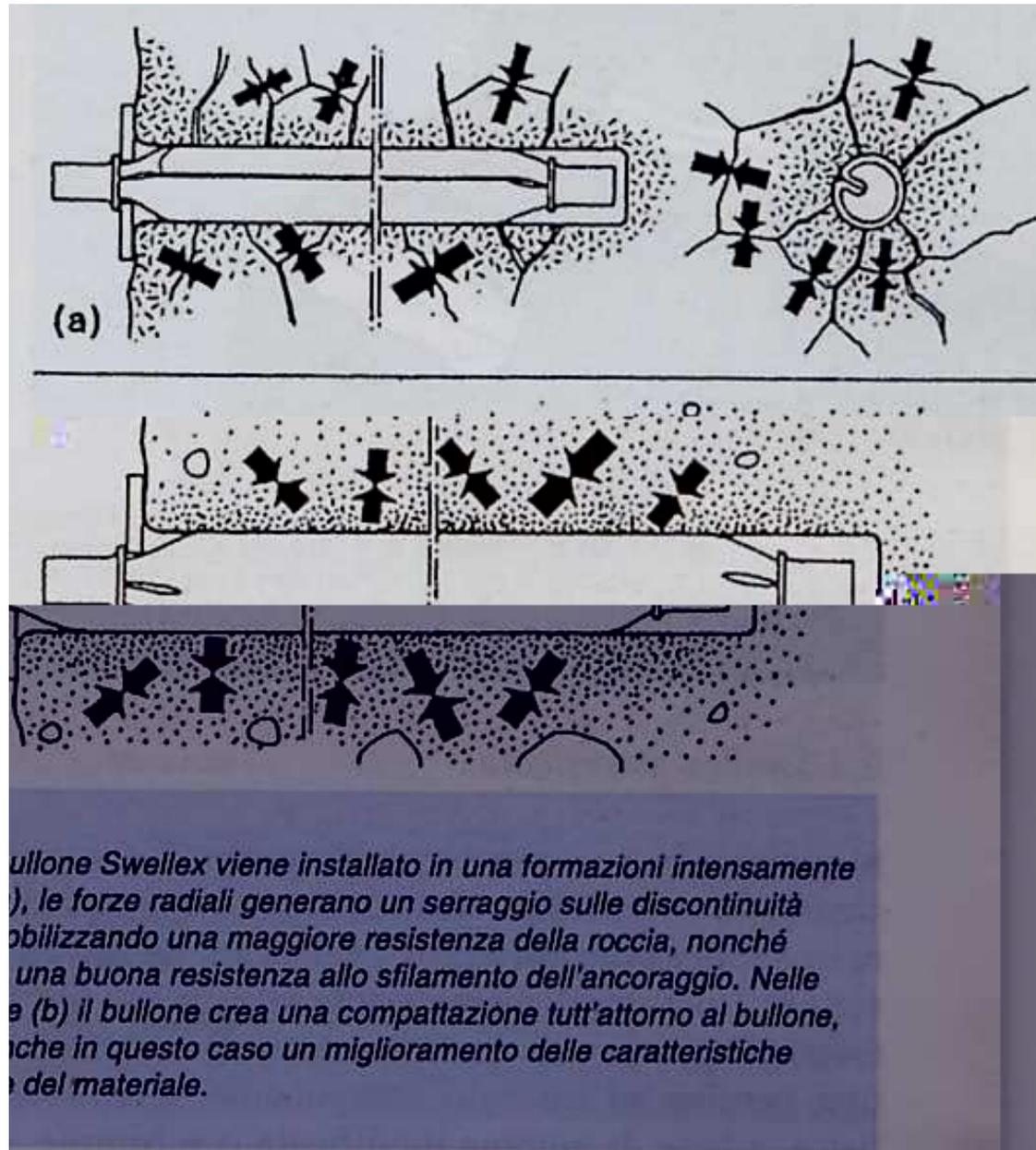
Bullonatura e tiranti

La bullonatura del terreno è uno dei metodi più comuni di sostegno degli ammassi rocciosi e la sua funzione principale consiste nel fornire un controllo dei fenomeni deformativi e di sostenere i prismi di roccia ormai disarticolati. Il tipo di bullone ed il meccanismo di funzionari

Tipo di bullone e meccanismo di funzionamento

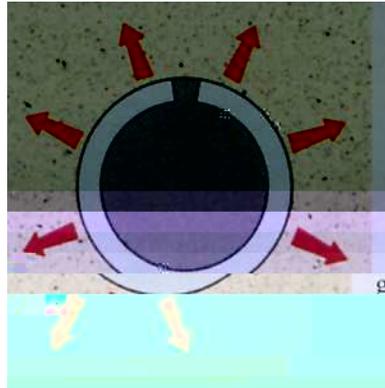
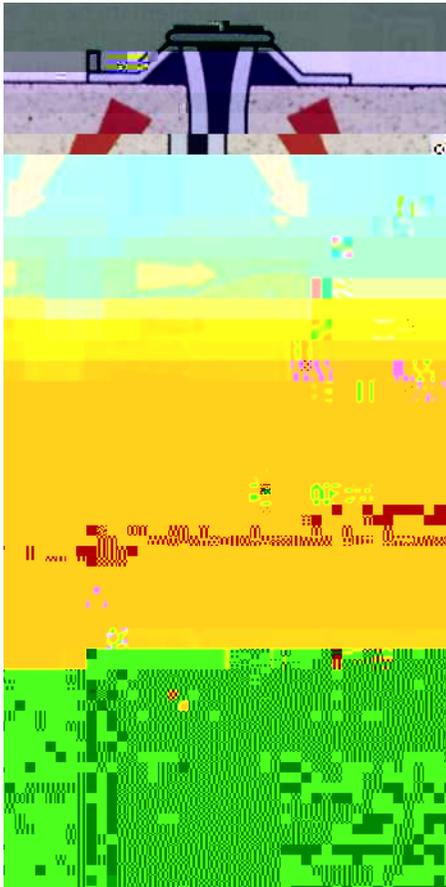


Bulloni Swellex

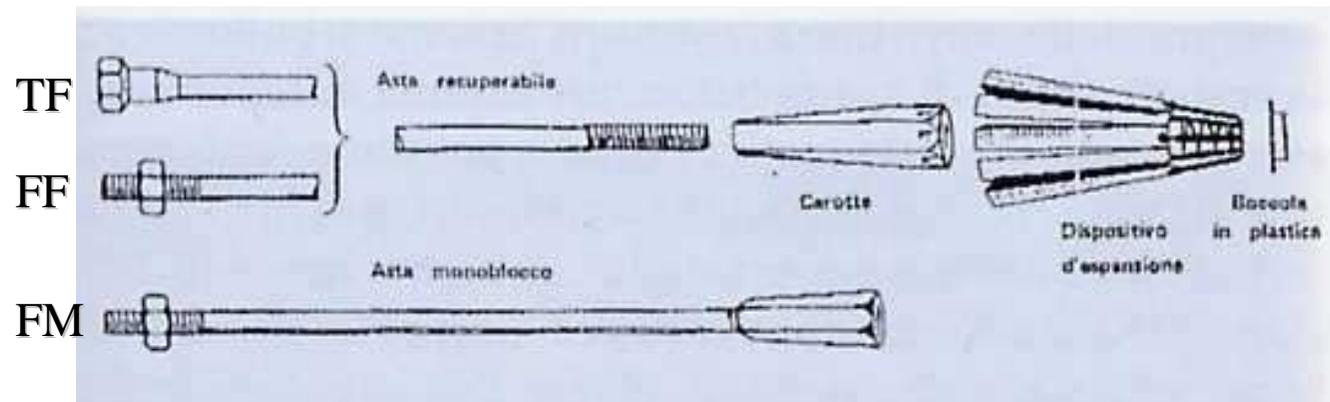


Sistemi di chiodatura Split Set e chiodi tipo Ancrall

Split set



Chiodi Ancrall



Progetto di Infrastrutture viarie

Sprayed concrete

Il calcestruzzo spruzzato (spritzbeton) è un calcestruzzo trasportato sotto pressione in una tubazione chiusa alla cui estremità esce urtando contro una superficie d'applicazione restando contemporaneamente costipato.

Esistono due procedimenti: *a secco* dove l'impasto (miscela asciutta) è costituito da un miscuglio di inerti (asciutti o naturalmente umidi) e di legante, mentre l'acqua d'addizione viene aggiunta nella lancia; *a umido* che invece utilizza un impasto che già contiene l'acqua d'addizione.

Il convogliamento della miscela nella tubazione di trasporto può avvenire *a flusso diluito* (nel procedimento a secco) e *a flusso denso* (nel procedimento a umido).

La *lancia*, attrezzo posto alla fine della tubazione, serve ad aggiungere alla miscela l'acqua d'addizione (nel procedimento a secco), l'aria compressa (nel procedimento a umido) ed eventuali additivi liquidi.

Si distingue la gunite (malta spruzzata) dallo spritzbeton (calcestruzzo spruzzato) in base alle dimensioni massime degli inerti (massime di 8 mm per la gunite) e per il tenore alto di cemento (per la gunite).

La *qualità della superficie d'applicazione* è fondamentale per la perfetta aderenza: quanto è più ruvida, solida e pulita è la superficie d'applicazione, tanto più salda sarà l'aderenza dello spritzbeton.

Occorre tenere in debito conto lo *sfrido provocato dal fenomeno del rimbalzo* tenendo anche conto della zona che si sta rivestendo (in calotta le parti che rimbalzano cadono a terra, su muri verticali invece si produce uno sfrido minore).

Drenaggio delle acque

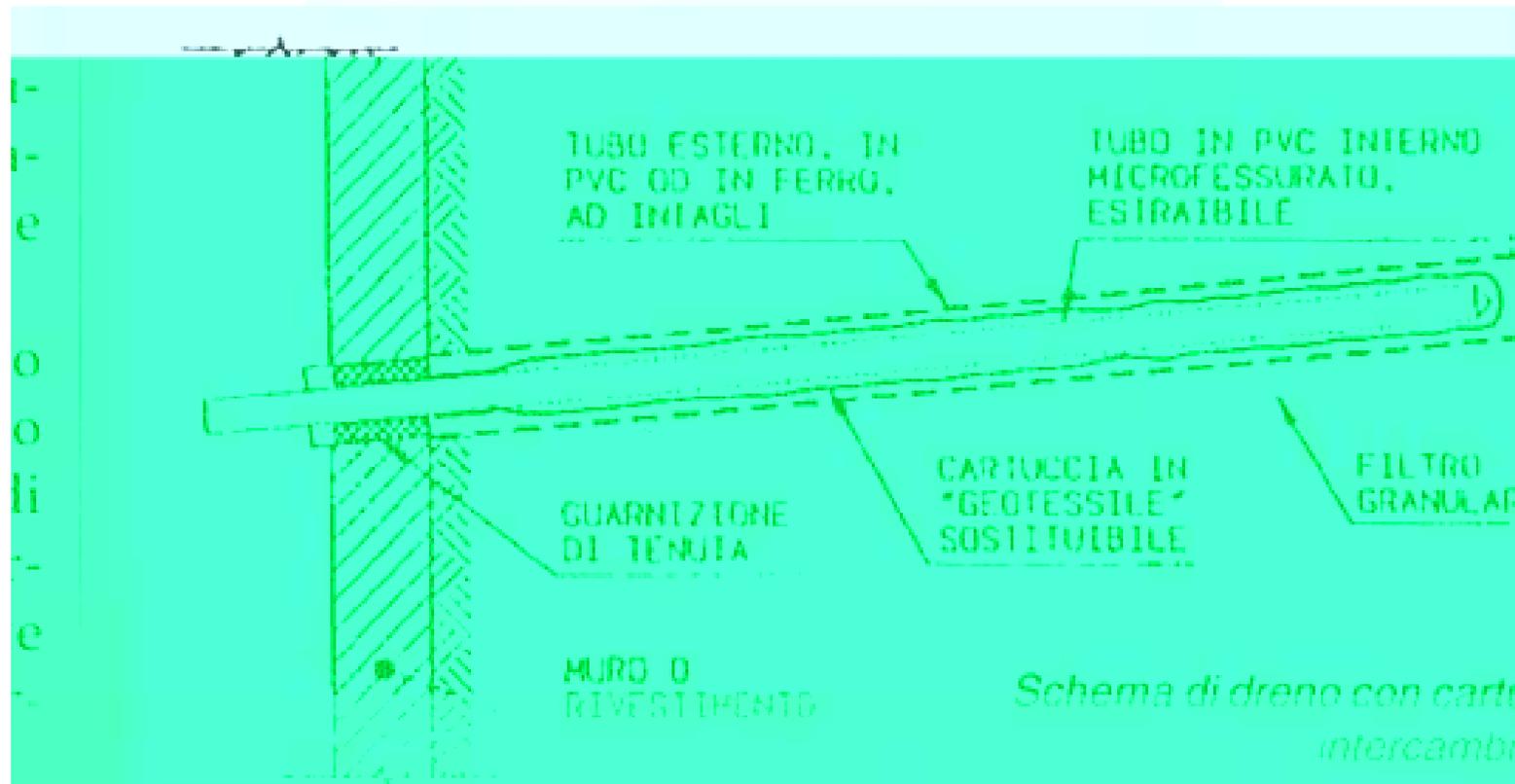
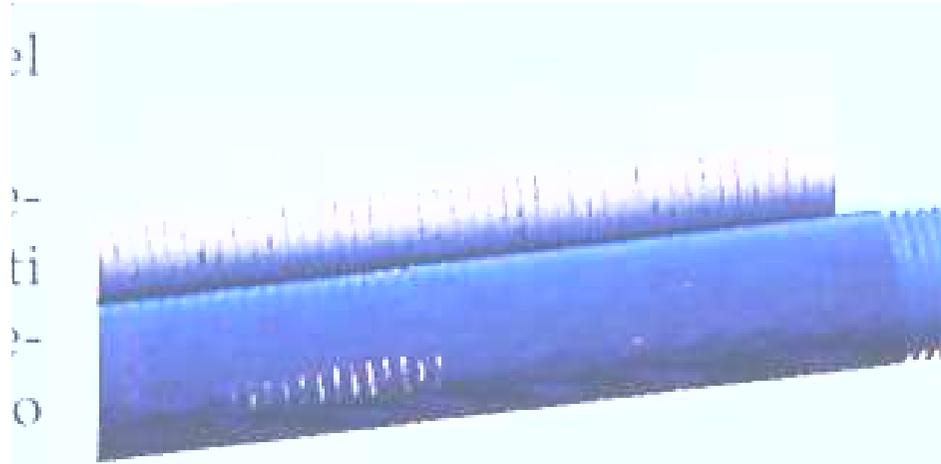
Negli ammassi rocciosi fessurati o fratturati, ma anche in quelli sciolti, l'acqua è sempre presente: da leggeri percolamenti a totale saturazione. A seconda quindi delle situazioni incontrate si dovrà procedere con opere più o meno complesse di captazione di tali venute d'acqua attraverso opere di drenaggio ed al tempo stesso di impermeabilizzazione dell'estradosso del rivestimento definitivo.

I drenaggi possono essere *permanenti* (per rispondere a finalità statiche definitive) o *provvisori* (per far fronte a situazioni legate alla fase realizzativa).

Realizzare dreni in galleria determina un vantaggio tecnico-economico in quanto si risparmia nel numero dei tiranti da applicare. Non sempre infatti è facilmente quantificabile la spinta di filtrazione: solo impiegando celle piezometriche, poste a qualche metro di profondità, è possibile, dietro un paramento di scavo appena umido, evidenziare pressioni interstiziali e gradienti idraulici insospettabili. Pertanto per un ammasso roccioso acquifero, la maglia di chiodature dovrebbe essere integrata da alcuni fori di drenaggio: nel caso più semplice (roccia fessurata, ma sana e stabile) con semplici fori da 50-100-150 mm di diametro, nei casi invece più complessi (roccia alterata o tettonizzata o forme più complesse), in presenza di contropressioni talvolta elevate (10-20 bar, ma anche di 70 bar), occorre adottare particolari *dispositivi di tenuta a boccaforo* per realizzare i fori e poter poi posare i tubi filtranti in tutta sicurezza. In figura 47 sono illustrati un tubo in PVC microfessurato per drenaggio ed un schema di dreno con cartuccia intercambiabile.

Tubo in PVC e schema di dreno

Tubo in PVC microfessurato



Impermeabilizzazione

Al fine di preservare gli acquiferi sottopassati dalla galleria e per proteggere il manufatto dalle acque circostanti, nasce l'esigenza di evitare la percolazione dell'acqua all'interno della galleria.

Il rivestimento impermeabilizzante è realizzato con membrane in polipropilene (400 g/m²) saldate ad aria calda e fissate al sottofondo (prerivestimento in spritzbeton) da chiodi a sparo (lunghi 2-4 cm) e rondelle in PVC, come indicato nello schema di figura 48.

In presenza di forti infiltrazioni è necessario il drenaggio dietro alla geomembrana attraverso una georete per un rapido e sicuro allontanamento dell'acqua dalla calotta e dalle pareti, avendo cura di raccordare tali georeti al drenaggio al piede in modo da permettere il più rapido deflusso dell'acqua, come indicato nel particolare di figura 49.

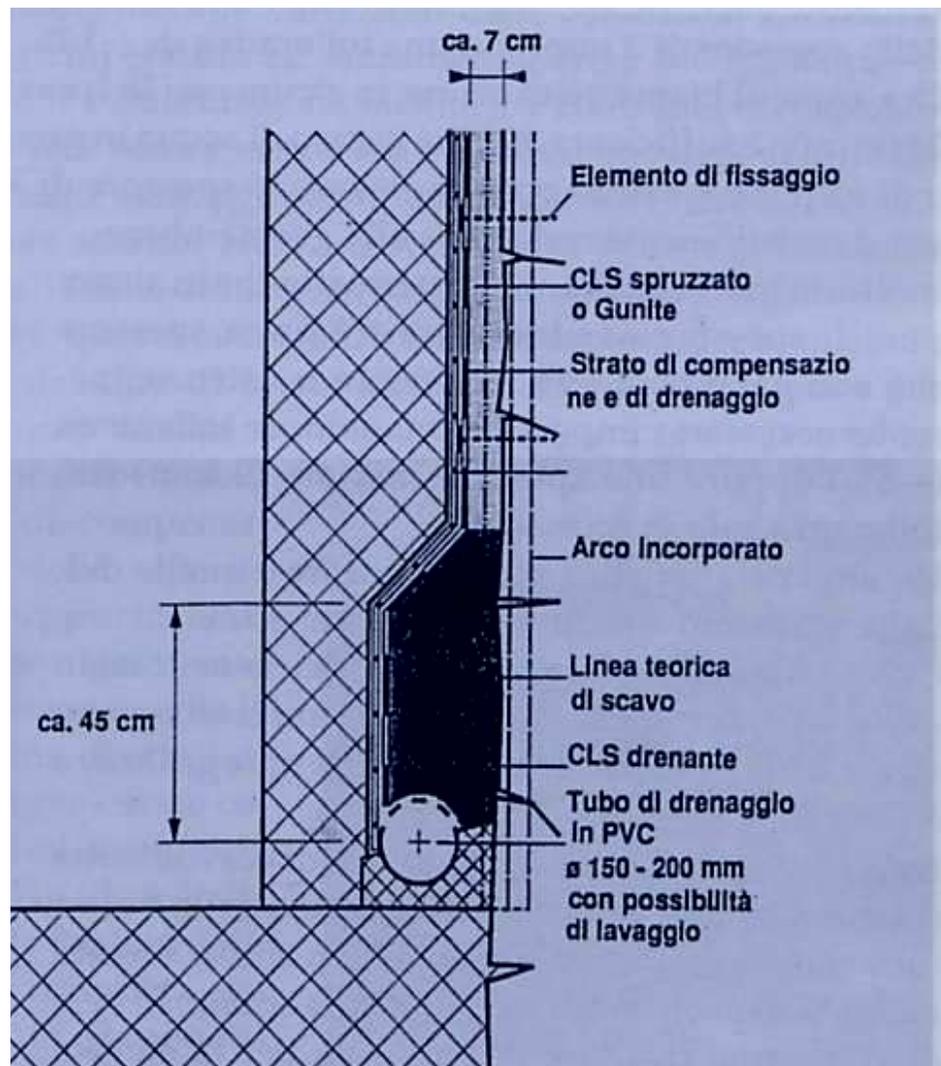
Esistono anche sistemi di impermeabilizzazione che utilizzano pannelli di bentonite granulare. Il manto impermeabilizzante è composto da tre elementi, ciascuno con la sua funzione. L'elemento drenante, a contatto con il prerivestimento, è costituito da uno strato di geotessile (TNT) di buona grammatura (300 g/m²) e con funzione filtrante e drenante. Al geotessile è cucito un foglio di polietilene per impedire la penetrazione dell'acqua durante l'installazione ed evitare punzonature. Il pannello vero e proprio è in cartone biodegradabile riempito di bentonite granulare sodica (assorbe acqua per circa 5 volte il suo peso) che al contatto con l'acqua si espande, come indicato in figura 50.

Progetto di Infrastrutture viarie

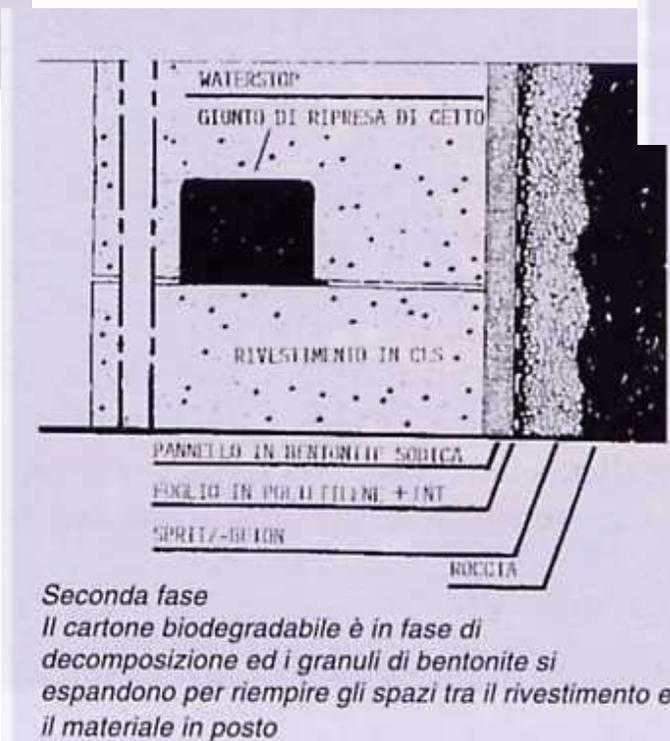
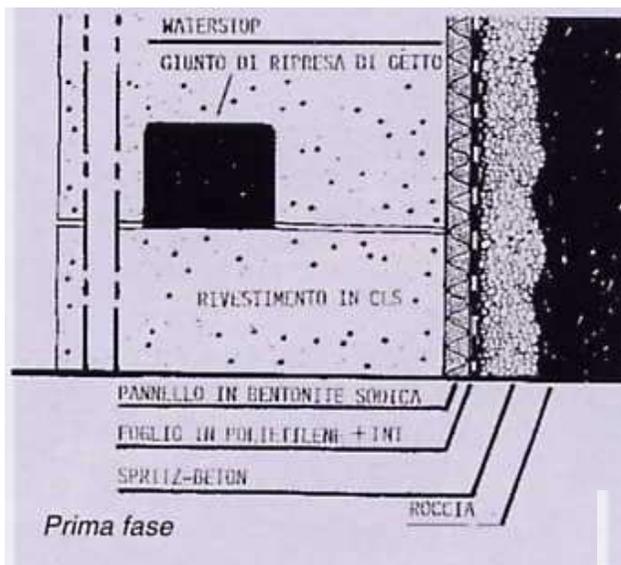
Schema di impermeabilizzazione



Particolare del drenaggio al piede



Impermeabilizzazioni con pannelli di bentonite



Rivestimento definitivo

Oltre ad avere uno scopo prettamente funzionale di sostegno ed uno estetico, il rivestimento definitivo svolge anche funzioni tipiche di una tubazione (trasporto di fluidi: acqua ed aria). Le gallerie stradali e ferroviarie, aventi raggi da 5 a 7 m prevedono rivestimenti gettati in opera realizzati tramite due tipi di casseforme:

- il sistema a *casseri con torretta portaforme*, con casseforme in più tronchi (4,5-6 m), per gallerie brevi, scavate e rivestite a messa sezione con completamento a seguire (si veda figura 51);

- il sistema a *casseri con carro a portale*, con casseforme in più tronchi (9-15 m), per gallerie medio-lunghe e rivestite ad intera sezione (si veda figura 52).

Esistono anche sistemi a conci prefabbricati ad anello (sistemi EPB E TBM).

Altra problematica è quella relativa ai *sistemi di pompaggio del calcestruzzo* in cassaforma di cui i due principali riguardano:

- *in pendenza a settori o in continuo*: la tubazione di getto è posizionata in calotta nell'interstizio tra cassero e scavo (il calcestruzzo fluisce ai lati del cassero e retratta in modo tale da formare una superficie di getto a "fetta di salame" avente pendenza compresa tra 15° e 35°.

- *conci con smorza di tenuta*: consiste in un sistematico posizionamento successivo del cassero e del getto previa chiusura ermetica dell'anello frontale che si viene a creare tra manto e pareti della galleria.

Altre attrezzature per il getto sono: *betoniere gommate* o *train mixer* su rotaie o gommati, *nastri trasportatori* e *carrelli di getto*, come riportato in figura 53.

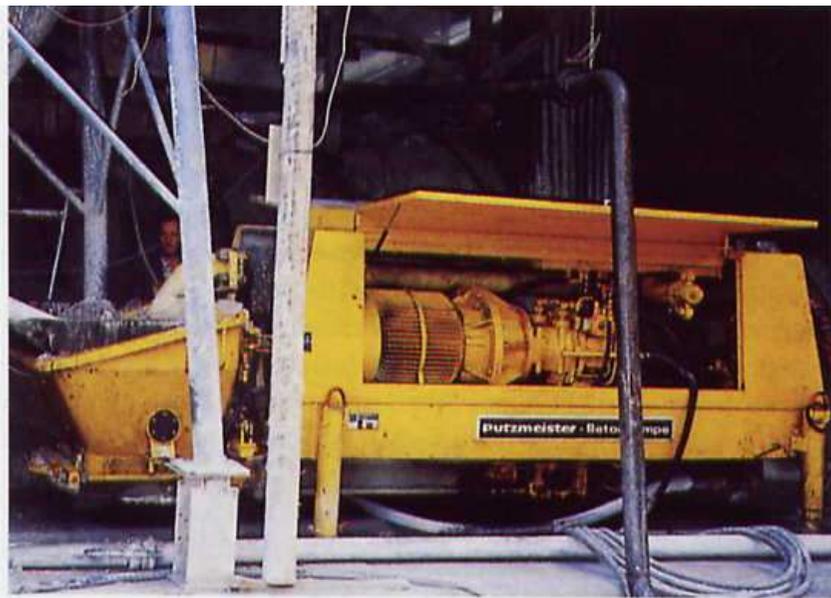
Sistema a casseri con torretta portaforme



Sistema a casseri con carro a portale



Progetto di Infrastrutture viarie
Altre attrezzature per il getto



Pompa



Nastro getto



Mixer

