

Dispense di **COSTRUZIONI IDRAULICHE**

redatte dal
prof. Ing. Ignazio Mantica
17-10-1946 † 04-08-1995

il materiale presente in questo file viene riportato così come lasciato da Ignazio Mantica alla data della sua scomparsa, pertanto può risultare incompleto.

Questo materiale viene pubblicato nella speranza che il frutto di anni di lavoro svolto con passione ed impegno non vada perso e possa essere ancora utile a quanti lo vorranno.

Siete liberi di usare i testi e le immagini presenti in questo documento come meglio credete, vi chiediamo soltanto di citarne la fonte.

- GRAZIE -

Università degli Studi di Ancona
Istituto di Idraulica

prof.ing. Ignazio MANTICA

Lezioni di:

COSTRUZIONI IDRAULICHE

CAP II

MATERIALI E TECNOLOGIE

PER LE COSTRUZIONI IDRAULICHE

appunti tratti dalle lezioni tenute nell' A.A. 1992/93

INDICE

1	Generalità.....	4
2	Classificazione.....	5
3	Il pietrame, le terre, i materiali sciolti in genere.....	6
3.1	Il pietrame come materiale da costruzione.....	6
3.2	Le terre come materiale da costruzione.....	7
3.3	Le opere provvisoriale.....	7
3.3.1	Il congelamento dei terreni.....	7
3.4	Cenni sui consolidamenti.....	9
3.4.1	Stabilizzazione dei terreni mediante elettrosmosi.....	9
3.4.2	Supporti e ancoraggi.....	10
4	Murature e calcestruzzi.....	11
4.1	murature a secco.....	13
4.2	Le murature in pietrame.....	13
3.3	Le Murature in laterizio.....	14
4.4	Le malte, la boiaccia.....	14
4.5	I calcestruzzi.....	18
5	Calcestruzzi e malte con tecnologie particolari, iniezioni di cemento (e di altre miscele), il jet-grouting, spritz beton, gunnite.....	24
5 1	generalità e cenni storici.....	24
5 2	Le miscele consolidanti e/o impermeabilizzanti.....	25
5 2.1	Le miscele cementizie.....	30
5 2.2	Le miscele chimiche.....	31
5 2.3	Le miscele organiche.....	33
5 3	I vari metodi di iniezione.....	34
5 3.1	Le iniezione a bassa pressione, metodi tradizionali.....	36
5 3.2	Le iniezioni ad alta pressione (jet-grouting), il metodo C.C.P.....	39
5.3.2	Le iniezioni ad alta pressione (jet-grouting), i metodi Kajima.....	42
5.3.3.1	Le iniezioni Kajima metodo Jet grout.....	44
5.3.3.1	Le iniezioni Kajima metodo Jet pile.....	44
5.3.4	Caratteristiche geometriche e meccaniche delle colonne e campi di utilizzazione.....	45
5.3.4.1	Terreni a grana fine (argille soffici).....	46
5.3.4.1	Terreni grossolani (sabbia e ghiaia con trovanti).....	46
5.3.5	Armatura delle colonne e resistenza al taglio.....	47
5 4	Le malte ed i calcestruzzi spruzzati o priettati (Gunnite e spitz beton).....	48
6	Tubazioni e relative apparecchiature.....	48
6.1.	I vari tipi di tubi.....	48
6.2.1	Ghisa comune o ghisa grigia G.G.....	49
6.2.2	Tubazioni in acciaio.....	51
6.2.2.1	Le giunzioni delle tubazioni in acciaio.....	53
6.2.2.2	I rivestimenti delle tubazioni in acciaio.....	56
6.2.3	Tubazioni in cemento amianto.....	59
6.2.4	La ghisa sferoidale (GS).....	62
6.2.4.1	Le giunzioni delle tubazioni in ghisa sferoidale.....	65
6.2.4.2	I rivestimenti delle tubazioni in G.S.....	67
6.2.5	Tubazione in P.R.F.V.....	69
6.2.5.1	Tecnologie di produzione dei tubi in vetroresina.....	73
6.2.5.2	Avvolgimento filamentare.....	73
6.2.5.3	Fabbricazione per centrifugazione.....	74
6.2.5.4	Le giunzioni dei tubi in PRFV.....	74
6.2.5.5	Affidabilità delle tubazioni in PRFV.....	76
6.2.6	Il cemento armato ed il c.a.p. ed il T.A.D.....	78
6.2.6.2	Il T.A.D.....	78
6.2.6.2.1	La costruzione dei tubi ad armatura diffusa T.A.D.....	79
6.2.6.2.2	Le Caratteristiche tecniche del T.A.D.....	80

6.2.6.3	Il C.A.P. con cilindro metallico inglobato.....	82
6.2.6	Il P.V.C.....	85
6.2.6.1	Le giunzioni delle tubazioni in PVC.....	87
6.2.7	Il polietilene PEAD e PEBD.....	87
6.2.7.1	Le giunzioni delle tubazioni in PEAD.....	88
6.2.8	Il Gres.....	88
6.2.8.1	Le giunzioni delle tubazioni in Gres.....	90
6.2.8	Gli altri materiali.....	91
6.3	Le normative sui tubi.....	93
6.4	Le apparecchiature per le condotte.....	95
6.4.1	Valvole d'intercettazione, Saracinesche.....	95
6.4.1.2	Meccanismi di manovra delle valvole.....	97
6.4.2	Valvole di ritegno.....	100
6.4.4	Valvole automatiche a galleggiante.....	100
6.5.5	Gli Sfiati, gli idranti, gli stumenti di misura.....	101
6.5.1	Sfiati.....	101
6.5.2	Gli Idranti.....	103
6.5.3	I misuratori di portata.....	104
6.5.4	I misuratori di pressione.....	105
6.5.5	Regolatori di pressione (o valvole a riduzione di pressione).....	105
6.6	Approfondimenti sulla corrosione nei metalli ed in particolare sulle condotte metalliche e nozioni per la protezione delle stesse.....	106
6.6.1	I fenomeni corrosivi.....	106
6.6.2.	Corrosività ed aggressività dei terreni.....	109
6.6.3.	Correnti vaganti.....	111
7.	I gabbioni e consimili.....	115
7.1.	Caratteristiche meccaniche dei gabbioni.....	118
8.	Le opere in legno e corda, le fascinate, le viminate, ecc.....	118
8.1.	Le palificate in legno.....	118
8.2.	Paratie in legname, le ture.....	119
8.3.	Le briglie in legno.....	119
8.4.	Fascinate verdi.....	120
8.5.	Graticci in fascine verdi.....	121
8.6.	Semina mediante attrezzature a spruzzo e protezione con paglia.....	121
9.	I geotessili, i geosintetici, le terre armate.....	122
10.	I materiali metallici e la carpenteria metallica.....	123
11.	I materiali plastici.....	123
12.	altri materiali (materiali bituminosi, riv. di gres).....	124
13.	Macchine e meccanismi nelle Costruzioni Idrauliche.....	124
13.1.	Le pompe e le altre macchine per gli impianti di sollevamento.....	125
14.	Tecnologie.....	127
14.1.	Tiranti ed ancoraggi delle fondazioni dei muri in cls e in c.a.....	127
14.2	Dreni speciali - Diaframma drenante e pali drenanti.....	127
14.3.	Drenaggi in genere ed a tergo dei muri in calcestruzzo e/o gabbioni.....	128

1 Generalità

Questo capitolo delle dispense, col titolo di "I materiali" era stato aggiunto al fine di dare la necessaria rilevanza ai materiali che vengono adoperati nelle Costruzioni idrauliche, successivamente si é riscontrato che oltre ai materiali era necessario dare almeno delle nozioni di tecnologie realizzative di alcune opere idrauliche.

Si é infatti constatato che gli studenti vengono più attratti dalle impostazioni calcolistiche dei vari argomenti e tralasciano quelle costruttive che, invece, quanto meno, hanno la medesima importanza.

Il precedente asserto, cioè l'importanza della scelta materiali con i quali costruire un' opera, ha validità generale ma tuttavia esso é ancora più significativo nel campo delle Costruzioni idrauliche, dove i materiali sono svariati e con caratteristiche differenti ed a volte particolare sono le tecnologie realizzative

Pertanto in quanto segue verranno illustrati i materiali di uso più frequente nelle Costruzioni idrauliche

Per quelli di uso quasi esclusivo ne seguirà un'ampia trattazione, per gli altri daremo brevi descrizione e si farà riferimento a testi ed a pubblicazioni specialistiche.

I relativi campi di applicazione verranno trattati nel capitolo relativo alle opere singole

E' poi ancora da rilevare che mentre sulle impostazioni calcolistiche diverse sono le fonti cui uno studente può attingere, viceversa ben poche sono quelle che trattano dei materiali o quanto meno ne é più difficile il recepimento e l'accesso, almeno per taluni materiali particolari, ed ancora più difficile cogliere le peculiarità degli stessi.

D'altronde gli ultimi anni hanno visto anche la comparsa di nuovi materiali (per esempio taluni materiali per tubazioni o i vari geotessili) sovente non accompagnati da un' opportuna letteratura specifica.

Da tali considerazioni é sorta l'idea di dare corpo autonomo al presente capitolo.

2 Classificazione

I materiali per le Costruzioni idrauliche sono svariati e qualunque trattazione, non esclusa la presente, rischia di essere lacunosa ed incompleta, tuttavia tale rischio non esime il docente di Costruzioni idrauliche dalla necessità di affrontare, per i motivi appena sopra detti l'argomento.

Ovviamente si rimanda allo studente diligente l'approfondimento dei vari argomenti.

Il futuro ingegnere troverà poi nel corso della sua attività professionale anche nuovi e diversi materiali, ma comunque quelli qui trattati rappresenteranno comunque un riferimento.

Allorquando si tratta un argomento, quali i materiali, con ampie e diverse sfaccettature é necessario procedere ad uno studio sistelatici previa un' opportuna classificazione.

Come già detto qualsivoglia elencazione (e poi trattazione) rischia di essere incompleta e non corretta perché cambiando criterio certi mateeriali potrebbero essere classificati diversamente.

Qui proponiamo la seguente, basato sull' uso degli stessi:

- pietrame, terre, materiali sciolti in genere;
- murature e calcestruzzi
- tubazioni e relative apparecchiature
- gabbioni e consimili;
- fascinate, viminate, opere in legno e corda in genere
- geotessili, geosintetici, membrane;
- carpenteria metallica
- materiali plastici
- altri (riv. di gres)

La precedente classificazione, ancorché lunga, é estremamente sintetica pertanto essa sarà oggetto di approfondimento nei singoli capitoli

3 Il pietrame, le terre, i materiali sciolti in genere

3.1 Il pietrame come materiale da costruzione

Le pietre naturali sono da sempre impiegate nelle costruzioni idrauliche e da sole e quasi componenti di murature

In ogni caso é necessaria una opportuna scelta infatti dovranno essere a grana compatta e monda di cappellaccio, esenti da piani di sfaldamento, da screpolature, peli, venature, interclusioni di sostanze estranee.

Sono da escludere le pietre marnose e quelle alterabili all'azione degli agenti atmosferici e dell'acqua corrente.

In particolare le caratteristiche alle quali dovranno soddisfare le pietre naturali da impiegare nella costruzione in relazione alla natura della roccia prescelta, tenuto conto dell'impiego che dovrà farsene nell'opera da costruire, sono le seguenti:

Le pietre da taglio oltre a possedere i requisiti ed i caratteri sopraindicati, dovranno avere struttura uniforme, scevre da fenditure, cavità e litoclasì, sonore alla percussione e di perfetta lavorabilità.

Gli usi oltre a quello delle murature sono :

- dighe in pietrame (organizzato od in rock-fill)
- moli portuali, scogliere e costruzioni marittime in genere;
- difesa di argini
- griglie in materiale sciolto
- platee, smorsatori di energia ecc...

E' evidente che a seconda degli usi diverse dovranno essere le caratteristiche geometriche (forma e dimensioni) meccaniche (resistenza a compressione, durezza, resistenza all' abrasione ecc...) e di resistenza all' aggresione chimica.

3.2 Le terre come materiale da costruzione

3.3 Le opere provvisionali

Con il termine opere provvisionali si intendono tutte quelle opere che occorre fare antecedentemente ai lavori veri e propri o per permetterne l'esecuzione o per proteggere il territorio, i fabbricati od altro dai possibili dissesti e pericoli cui possono andare incontro durante i lavori.

Ad esempio é un' opera provvisoria la *sbadacchiatura*, eventualmente a cassa chiusa, di uno scavo eseguito per la posa in opera di condotte (ma anche per la realizzazione di una fondazione).

Un' altro esempio é l'*aggottamento* di acqua da uno scavo o l'infissione di *palancole* (ad esempio metalliche tipo Larsen) allo scopo non solo di reggere il terreno ai lati dello scavo ma anche di impedire o meglio di ostacolare, in via provvisoria, durante i lavori, il flusso di acqua sotterranea.

In alcuni casi occorrerà deviare o bloccare l'acqua circolante nel sottosuolo. In altri casi occorrerà prosciugare una zona normalmente occupata da acqua (di fiume o di mare) per la realizzazione di fondazioni di pile di ponti o di moli ecc... e si ricorrerà alle *tute od* ad altri accorgimenti

In questo capitolo ci si sofferma solo sulle opere provvisionali relative ai terreni.

3.3.1 Il congelamento dei terreni

Al congelamento dei terreni acquiferi si ricorre, nel campo dei lavori d'ingegneria idraulica per scavi di fondazione, scavi di trincee o di gallerie e soprattutto per opere provvisionali, quando per qualsivoglia motivo occorre raggiungere un consolidamento provvisorio.

Tale pratica é nota fin dalla seconda metà dell'800 in campo minerario ed é stata prepotentemente reintrodotta nel campo civile dal Melidoro (anni 60÷70)

A tutt'oggi le imprese specializzate nel settore coprono come segreto industriale i dettagli tecnici dei propri metodi, pertanto in questa sede non si può che essere generici

Il linea generale trattasi dell' uso di un liquido frigorifero che trasferisce le sue frigorificazioni al terreno a mezzo di tubi detti congelatori posti in fori opportunamente praticati nel terreno

Questi tubi sono in genere doppi (in quello interno circola il liquido, quello esterno assicura lo scambio termico e consente la risalita del liquido attraverso lo spazio anulare formato con il tubo interno) e fanno capo a una centrale frigorifera più o meno complessa a seconda della tecnica usata.

Si distinguono i seguenti due metodi fondamentali:

- metodo del doppio scambio:
- immissione diretta di azoto liquido

Il metodo detto del doppio scambio utilizza un doppio circuito chiuso rispettivamente per il liquido refrigerante (ammoniaca) e quello frigorifero (salamoia al cloruro di calcio).

L'ammoniaca liquida evaporando nell'evaporatore assorbe calore (calore di ebollizione) dalla soluzione di CaCl_2 che, in tal modo, perviene a bassa temperatura nei congelatori inseriti nel terreno. Nello stesso tempo, mentre questa soluzione ritorna all'evaporatore mediante l'azione di una pompa, l'ammoniaca allo stato gassoso viene convogliata presso un compressore e quindi rimessa nel circolo allo stato liquido.

Meno complesso è il procedimento di immissione diretta di azoto liquido (temperatura di ebollizione $-196\text{ }^\circ\text{C}$ a pressione atmosferica) in una batteria di fori congelatori ai quali possono essere affiancati in serie una seconda batteria, destinata a utilizzare la fase gassosa recuperata dalla prima .

L'assenza di una grossa centrale frigorifera, indispensabile nel primo procedimento, rende il metodo dell'azoto liquido molto indicato negli interventi urgenti e di limitate proporzioni ; d'altra parte per il motivo opposto risulta piuttosto oneroso sia il procedimento del doppio scambio, sia quello che prevede il riciclaggio di ammoniaca dopo che questa è stata direttamente convogliata nei congelatori.

Le condizioni più favorevoli per la buona riuscita del congelamento si hanno quando il flusso della falda non è molto attivo (il che avviene in maggior misura nei terreni alluvionali che non in quelli fessurati e carsici) e quando si può contare su un substrato impermeabile sul quale attestare i congelatori

Quando quest'ultima condizione viene a mancare si può procedere nel senso di creare un anello gelato attorno alla sezione di scavo di progetto, mediante dei tubi congelatori isolati in corrispondenza della massa che dovrà essere scavata o nel senso di congelare tutto uno spessore di terreno e poi scavare in modo da lasciare una banda gelata al fondo in grado di resistere alle sottopressioni.

Un programma di refrigerazione che non dia luogo a sorprese da un punto di vista tecnico e soprattutto economico richiede la conoscenza di alcuni parametri fisici del terreno (peso specifico, calore specifico) oltre che il suo contenuto d'acqua.

Successivamente stabilita la dimensione della parete di ghiaccio che si vuole realizzare nel terreno, occorre procedere al calcolo della quantità di calore che deve essere sottratta al terreno e quindi delle frigorifiche che occorre introdurre. Infine devono prevedersi le deformazioni che il muro ghiacciato può subire sotto la spinta dei terreni circostanti; il calcolo relativo può essere fatto applicando la teoria dell'elasticità o, seguendo le tendenze in atto in Russia, applicando le leggi della reologia.

3.4 Cenni sui consolidamenti

3.4.1 Stabilizzazione dei terreni mediante elettrosmosi

Reus nel 1807 e successivamente Helmholtz nel 1879 evidenziarono che l'applicazione di un potenziale elettrico a un mezzo acquifero poroso a vuoti sottili provocava lo spostamento dell'acqua attraverso i meati capillari, dall'anodo al catodo.

Su questo fenomeno elettrosmotico, studiato in dettaglio da Casagrande nel 1930, si basano oggi alcuni metodi di stabilizzazione di terreni a grana fina, nel campo di lavori di fondazione o di stabilità di fronti di scavo artificiali.

In effetti l'acqua che circola in un tubo capillare presenta presso le pareti del tubo stesso un doppio strato dotato di cariche elettriche opposte (fig. 4-13a).

Lo strato interno, più spesso e dotato di carica positiva, costituisce la parte mobile, perché si sposta verso il catodo qualora al sistema si applichi un potenziale elettrico.

Nello spostamento viene trascinato il corpo d'acqua centrale il quale conserva lungo tutta la sezione una velocità costante. In assenza di fenomeni elettrosmotici, cioè nel flusso idraulico normale, il doppio strato è fermo e il corpo d'acqua centrale presenta una velocità variabile lungo la sezione (fig. 4-13b).

Dal punto di vista quantitativo la differenza sostanziale fra il flusso idraulico e quello elettrosmotico, in una sezione dotata di un certo numero di capillari rettilinei, risiede nel fatto che il coefficiente di permeabilità elettrosmotico K (cm/s per 1 V/cm di potenziale elettrico) è indipendente dalla dimensione dei capillari, mentre il coefficiente di permeabilità idraulica K_i (cm/s) è proporzionale alle sezioni di ogni singolo capillare.

C'è da attendersi, e le prove sperimentali l'hanno confermato, che sabbie fini, silt, argille (alle quali compete un diverso K_i) presentino valori relativamente costanti di K_e (in pratica intorno a $0,5 \times 10^{-4}$ cm/s per 1 V/cm).

Dunque in terreni nei quali la permeabilità idraulica è decisamente maggiore di quella elettrosmotica (sabbie fini) il ricorso all'elettrosmosi non ha senso, ma nei terreni con $K_i < 10^{-4}$ cm/s (silt, argille, ecc.) la possibilità di ridurre il contenuto d'acqua del mezzo è legata esclusivamente all'impiego della tecnica che sfrutta il fenomeno elettrosmotico.

La buona riuscita del processo di stabilizzazione indotto nel terreno dipende evidentemente dall'equilibrato rapporto fra il consumo di energia elettrica e la percentuale di acqua che può essere sottratta al terreno.

Molte applicazioni riguardanti interventi su scarpate ferroviarie (fig. 4-1i), canali o anche rilevati sono stati coronati da successo laddove altri metodi avevano fallito.

3.4.2 Supporti e ancoraggi

I supporti sono strutture destinate a far fronte con la loro resistenza passiva ai carichi imposti da rocce disarticolate.

Entrano pertanto in tale categoria i rivestimenti delle gallerie, gli archi di muratura, i sostegni di acciaio, legno o muratura per fronti di scavo o per spalle di ponti. Quando si voglia migliorare direttamente le caratteristiche di resistenza al taglio lungo superfici di minor resistenza o anche la resistenza a trazione delle rocce, si fa invece ricorso alla chiodatura o agli ancoraggi, i cui campi di applicazione, oggi molto ampi (anche se l'approccio teorico al problema si dimostra tutt'altro che

agevole), investono i problemi di stabilità di pendii naturali e artificiali, quelli inerenti le condizioni di appoggio di dighe e di ponti, quelli connessi con la stabilità degli scavi in sotterraneo.

Per quanto riguarda i vari tipi di ancoraggio e il loro impiego in casi specifici si rimanda ai capitoli che trattano in particolare i problemi di stabilità di pendii naturali o di scavi artificiali.

4 Murature e calcestruzzi

Non c'è dubbio che la muratura, sia essa di pietrame, di laterizio o di calcestruzzo, è certamente presente in tutte le opere di ingegneria civile.

Nelle costruzioni idrauliche troviamo tali materiali in talune opere edili di completamento di quelle idrauliche in senso stretto ma anche in opere specifiche quali come materiali

- per i pozzetti lungo le condotte
- briglie e pennelli
- per dighe
- per incili e per canali

nonché in altre svariate opere.

Sempre nell'ambito di murature e calcestruzzi rientrano taluni materiali e tecnologie diverse ma a questi riconducibili in una classificazione generale:

- le malte,
- la boiaccia
- la gunnite
- i betoncini
- lo spritz-beton
- il jet-grouting

Usati in vari settori : iniezioni, consolidamenti; intonaci; riprese di getto; rivestimenti ecc...

Prima di addentrarci nello specifico é il caso di ricordare quali siano i materiale leganti generalmente usati e quali i riferimenti normativi specifici.

Qui di seguito é dunque un elenco dei leganti.

a) CALCE La qualità e le caratteristiche tecniche delle calce aeree ed idrauliche sono normate dal Ministero LL.PP..

La calce grassa in zolle proviene da calcari puri, deve essere di recente, perfetta ed uniforme cottura, non bruciata né vitrea, né pigra ad idratarsi ed infine di qualità tali che, mescolata con la sola quantità d'acqua dolce necessaria all'estinzione, si trasformi completamente in una pasta dolce e grassello tenuissimo, senza lasciare residui maggiori del 5% dovuti a parti non bene decarburate, silicose od altrimenti inerti.

La calce viva in zolle al momento dell'estinzione dovrà essere perfettamente anidra, é pertanto necessario un rifornimento continuo e sconsigliati grossi stoccaggi.

La calce una volta estinta dovrà essere conservata in apposite vasche impermeabili rivestite di tavole o di muratura, mantenendola coperta con uno strato di sabbia. La calce grassa destinata agli intonaci¹ dovrà essere spenta almeno sei mesi prima dell'impiego, quella destinata alle murature almeno 15 giorni.

b) LEGANTI IDRAULICI I cementi e gli agglomerati cementizi, da impiegare in qualsiasi lavoro sono normati dal Decreto Ministeriale 3 giugno 1968 pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 180, del 17 luglio 1968.

Anche per tali leganti é estremamente importante una loro conservazione idonea in modo da restare perfettamente riparati dall'umidità.

c) POZZOLANE Le pozzolane saranno ricavate da strati mondi da cappellaccio ed esenti da sostanze eterogenee o di parti inerti: qualunque sia la provenienza dovranno rispondere a tutti i requisiti prescritti dal R. decreto 16 novembre 1939, n. 2230.

¹ Il mancato rispetto di tale norma comporta che la calce idratandosi successivamente al suo utilizzo, aumenta di volume e comporta distacco di pezzi di intonaco.

- d) **GESSO** Il gesso dovrà essere di recente cottura, perfettamente asciutto, di fine macinazione in modo da non lasciare residui sullo staccio di 56 maglie a centimetro quadrato, scevro da materie eterogenee e senza parti alterate per estinzione spontanea. Il gesso dovrà essere conservato in locali coperti e ben riparati dall'umidità.

4.1 murature a secco

Tralasciamo in questa sede di parlare delle murature a secco, cioè di pietrame non legato da malta, sovente usato nel passato soprattutto per la realizzazione di talune briglie (nonché come muri di contenimento di terre) in quanto oggi in disuso e sostituito dal pietrame ordinato in gabbioni di cui parleremo nel seguito.

Oggi in costo di murature a secco sarebbe proibitivo per la alta qualificazione professionale richiesta alla maestranze, la scelta del pietrame ed i lunghi tempi per la sua posa in opera a mano.

4.2 Le murature in pietrame

Anche questo materiale é oggi in disuso.

Esso differisce dal precedente, cioè dalle murature a secco perché le varie pietre costituenti la muratura sono legate da opportune malte.

Ciò comporta una minore qualificazione professionale delle maestranze ed una minore attenzione nella scelta del pietrame (dal punto di vista morfologico)

Di fatto non é l'incastro del pietrame che dà staticità all' opera, bensì essa é garantita dal legame posto in essere dalla malta

Ne segue che deve essere opportunamente scelto sia il pietrame, che non deve comunque essere gelivo, che la malta (vedi nel seguito)

Di norma si ricorreva a tali opere per rivestimenti di canali, briglie, argini, pennelli ecc..... la dove c'era abbondanza di pietrame idoneo.

La necessità comunque di assestare a mano le pietre ne ha molto limitato l'uso anche dove é presente materiale idoneo.

Anche in tal caso le gabbionate hanno sostituito egreggiamente la detta muratura.

Oggi il loro uso é limitato a qualche locale rivestimento in genere finalizzato a funzioni estetiche.

3.3 Le Murature in laterizio

Indubbiamente le murature in laterizio trovano ancora vasti campi di applicazione

Tra questi é pleonastico citare tutte le opere edili di accompagnamento delle opere idrauliche.

Ma in muratura di laterizio furono costruite sino a non molti anni fa le fognature, gli incili.

Abbiamo esempi di dighe in murature di laterizio.

Diverse applicazioni riguardano briglie e rivestimenti di canali i pozzetti lungo le condotte

Nel passato più remoto taluni acquedotti secondo lo schema "romano"

In tutti questi casi si parla sempre di laterizi pieni legati con malta idraulica.

Oggi l'uso é indubbiamente più limitato ed é legato, in generale, alla ripresa di talune opere del passato ed ad opere minori

Anche in tal caso, data la diffusione del materiale é pleonastico soffermarci oltre.

4.4 Le malte, la boiaccia

I materiali cui si fa riferimento nel presente paragrafo sono sia le semplici miscele leganti costituite dal legante vero e proprio additivato opportunamente con acqua ed inerte (sabbia o sabbiona) che miscele più sofisticate atte ad essere adottate con particolari tecnologie.

Si sente oggi parlare sempre più spesso di

- jet-grouting

- gunnite
- spritz-beton

ed il più delle volte non si hanno le idee chiare in proposito.

Purtroppo tali termini sono spesso di pertinenza di alcuni settori strettamente specialistici e fuori della trattazione didattica generale.

Qui non si ha la pretesa di colmare questa lacuna ma di dare alcune indicazioni onde stimolare lo studioso ad approfondire l'argomento cercando pubblicazioni specifiche, mettendosi in contatto con ditte specialistiche ecc...

Non è certo in caso di soffermarci sulle malte sopra definite quali miscele leganti

Trattasi in vero di calcestruzzi di granulometria molto particolare (in genere mancano del tutto gli elementi classificati come ghiaie, e pertanto si hanno di norma solo sabbie più o meno grossolane a seconda dell' uso)

L' elemento legante può subire della varianti in funzione dell' uso.

Si adoperano infatti anche malte con legante aereo, (calce aerea), oggi sempre di meno, con legante idraulico ma sempre a base di calce, con legante misto, calce e cemento, ed allora parlasi di malte bastarde, oggi molto usate soprattutto dove non è richiesta una particolare resistenza meccanica. Ed infine malte cementizie.

L'uso della malta è quello di costituire il legante per murature non a secco, di realizzare intonaci e rivestimenti.

Qui di seguito si riporta la classificazione e la composizione delle malte leganti più comunemente usati nella tecnica dei lavori pubblici.

a)	Malta comune		
	calce spenta in pasta	mc.	0,25÷0,40
	sabbia	mc.	0,85÷1,00

b)	Malta comune per intonaco rustico (rinzafo)		
	Calce spenta in pasta	mc	0,20÷0,40
	sabbia	mc	0,90÷1,00

c)	Malta comune per intonaco civile (stabilitura)		
	calce spenta in pasta	mc	0,35÷0,45
	sabbia vagliata	mc	0,800

d)	Malta grossa di pozzolana		
	calce spenta in pasta	mc	0,22
	pozzolana grezza	mc	1,1

e)	Malta mezzata di pozzolana calce spenta in pasta pozzolana grezza	mc "	0,25 1,10
f)	Malta fina di pozzolana calce spenta in pasta pozzolana vagliata	mc "	0,28 1,05
g)	Malta idraulica calce idraulica sabbia	q.li mc	2 0,90
h)	Malta bastarda malta di cui alla lett. a),e),g) agglomerato cementizio a lenta presa	mc q.li	1,00 1,50
i)	Malta cementizia forte cemento idraulico normale sabbia	q.li mc	3 1,00
l)	Malta cementizia debole agglomerante cementizio a lenta presa sabbia	q.li mc	4 1,00
m)	Malta cementizia per intonaci agglomerante cementizio a lenta presa sabbia	q.li mc	6,00 1,00
n)	Malta fina per intonaci malta di cui alle lett. c),(f),g) vagliata allo staccio fino.		
o)	Malta per stucchi calce spenta in pasta polvere di marmo	mc "	0,45 0,90

A questi usi classici recentemente se ne sono aggiunti altri quali:

-
- 2 Da 3 a 5, secondo l'impiego che si dovrà fare della malta.
- 3 Da 3 a 6, secondo l'impiego.
- 4 Da 2,5 a 4, secondo l'impiego che dovrà farsi della malta, intendendo per :
- malta cementizia magra quella dosata a 2,5 q.li di cemento e per malta
 - cementizia normale quella dosata a q.li 4 di cemento.

- realizzazione di rivestimenti speciali (gunnite e spritz-beton)
- consolidare e/o impermeabilizzare terreni e murature tramite iniezioni

Questi aspetti verranno trattati più avanti.

Altro materiale importante é la boiacca, cioè la semplice miscela di acque e cemento, cioè dell' elemento aggregante senza alcun inerte.

E' ovvio che l'uso di tale materiale é estremamente limitato ma mentre un tempo era poco diffuso⁵, oggi é divenuto altamente specialistico.

Infatti unitamente alla malte e forse più diffusamente che queste é impiegato nelle iniezioni consolidanti e/o impermeabilizzanti, nella sigillatura di guaine di cavi di precompresso post-tesi, negli ancoraggi di rocce e murature ecc...

Anche per le malte anzi proprio per le malte e per la boiacca in specie quelle utilizzate per usi particolari é importante l'uso di particolari additivi che confluiscano al prodotto particolari caratteristiche che vadano da proprietà reoplastiche (che comportano una buona lavorabilità anche in tempi non brevissimi, a proprietà anti ritiro, a particolari resistenze meccaniche ecc e ove in caso a rapida presa)

Qui di seguito, così come si farà per gli additivi del calcestruzzo si fa una disamina delle problematiche che richiedono l'uso degli additivi e si dà una indicazione su di essi.

Malte reoplastico senza ritiro servono per gli ancoraggi di macchine ed apparecchiature (nelle opere idrauliche: gargami saracinesche, paratoie collegfamenti tra elementi metallici e calcestruzzi ecc...) di Serie Emaco S 55 ed S88 (resistente ai solfati Normati da ASTM C-878; UNI 8147; CRD C 588

Betoncino reoplastico senza ritiro servono per calcestruzzi di granulometria contenuta in genere da applicare a spruzzo sino a grossi spessori di Serie Emaco S33 , S 66, Normati da ASTM C-878; UNI 8147

⁵ ripresa di getti, ancoraggio di apparecchiature ecc...

Malte rinforzate con fibre	servono per restauri strutturali di calcestruzzi ammalorati dove sono possibili anche sollecitazioni ad urto	Serie Emaco SFR si usano fibre d'acciaio o di materiale sintetico
Malte per iniezioni	Servono per iniezioni in roccia, spritz-beton, jet-grouting ecc...	Macflow
Boiacche antiritiro	Servono per iniezioni in roccia, per il riempimento delle guaine i tiranti e di precompressi post-tesi	Flowcable

4.5 I calcestruzzi

Sono notoriamente materiali costituiti da miscele di un legante cementizio con acqua ed inerti.

Sono oggi molto usati anche se a torto vengono ritenuti, talvolta ed in specie dagli studenti, come il materiale da costruzione per eccellenza.

Di contro i calcestruzzi sono stati sovente attaccati dagli ambienti verdi e dagli ecologisti in genere, soprattutto per il loro uso nell' ambito delle costruzioni idrauliche e soprattutto in ambito fluviale

In vero queste critiche spesso non sono infondate in quanto dagli anni 60 in poi si é fatto un uso eccessivo ed a volte non solo ingiustificato ma anche errato dal punto di vista tecnico e delle durabilità dell' opera.

Ovviamente il riferimento di questo paragrafo é al calcestruzzo cementizio.

Questo materiale viene ritenuto e spesso a ragione di buona durabilità e di grande resistenza meccanica a compressione che, qualora venga utilizzato unitamente ad apposite tessiture, in genere d'acciaio, nella confezione di calcestruzzi armati (erroneamente cementi armati) presenta anche doti di trazione, flessione, torsione, taglio ecc....

Di contro, in generale é un materiale poroso, gelivo, attaccabile da agenti chimici ed atmosferici , molto rigido,.

Un' altro elemento su cui riflettere é la eccessiva confidenza di alcuni operatori del settore con il confezionamento del calcestruzzo e la realizzazione di strutture con esso. Tale eccessiva confidenza fa si che erroneamente spesso non si tiene conto che per realizzare dei buoni calcestruzzi e soprattutto dei calcestruzzi idonei ad un prefissato scopo esistono e vanno usati:

- opportune granulometrie e tipologie di inerti;
- opportuni cementi;
- opportuni additivi;
- opportuni rapporti acqua/cemento;
- opportune tecniche di confezionamento e di getto.

Non essendo nostra intenzione entrare nel merito della tecnologia del calcestruzzo, invero molto complessa, qui ci limitiamo a ricordare i vari tipi di cementi presenti in genere sul mercato, e gli usi più specifici degli stessi:

Tabella riepilogativa dei vari tipi di cemento con i valori minimi di resistenza meccanica secondo le norme italiane (provino normato 4*4*16 con sabbia del lago di Massaciuccoli):

Tempo in giorni	Cementi Portland, d'altoforno e pozzonatici						Cementi alluminosi		cemento per sbarramenti	
	325		425		525		fles.	compr	fles.	compr
	fles.	compr	fles.	compr	fles.	compr				
1	-	-	-	-	40	175	40	175	-	-
3	-	-	40	175	60	325	60	325	-	-
7	40	175	60	325	-	-	-	-	-	-
28	60	325	70	425	80	525	80	525	-	225
90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	350

La riga in grassetto evidenzia (con i valori di resistenza a compressione) il titolo del cemento, valore commercialmente (ed anche tecnicamente) usato per indicare il tipo di cemento.

TIPO DI CEMENTO	COMPOSIZIONE SCHEMATICA	UTILIZZAZIONE
<p>cemento portland</p> <p>dal nome della località inglese dove si trovano marne in proporzioni ottimali alla cottura diretta</p> <p>SiO₂ = 22,14%</p> <p>Al₂O₃ = 5,70%</p> <p>Fe₂O₃ = 3,16%</p> <p>CaO = 66,00%</p>	<p>proviene dalla cottura delle marne o da calce ed argille in opportune proporzioni</p> <p>M_i = 2,13</p> <p>M_c = 2,50</p> <p>M_s = 2,50</p> <p>M_f = 1,8</p>	<p>NON UTILIZZABILE IN PRESENZA DI ACQUE MARINE O COMUNQUE IN AMBIENTI SALINI</p>
<p>cemento pozzolanico</p> <p>dal nome della località (Pozzuoli) dove trovasi la roccia piroclastica di elevate capacità idrauliche detta "pozzolana"</p> <p>Proporzione usuale: clinker di Potland = 70% pozzolana = 30%</p>	<p>proviene dalla miscela di clinker di cemento Potland e pozzolana.</p> <p>Al posto della pozzolana possono essere adoperate argille plastiche torrefatte (caolino)</p>	<p>E' particolarmente indicato per tutte le strutture che devono o possono venire in contatto con acque salmastre e/o con anche chimicamente attive:</p> <p>Moli, scogli artificiali, tetrapodi e consimili</p>
<p>cemento d'altoforno</p> <p>Proporzione usuale: clinker = 30 ÷ 70% loppe = 70 ÷ 30%</p>	<p>proviene dalla miscela di clinker di cemento Potland e loppe d'altoforno.</p>	<p>E' un cemento caratterizzato da:</p> <ul style="list-style-type: none"> -basso ritiro; -buona resistenza agli agenti fisici e chimici; -basso calore di idratazione, quindi atti a getti di grosse dimensioni(dighe e moli) -buona resistenza alle sollecitazioni termiche (uso nei forni)
<p>cemento alluminoso</p>	<p>proviene da miscele di calcare ed materiali alluminosi (in specie bauxite)</p>	<p>E' un cemento a presa rapida e grande resistenza meccanica</p> <p>idoneo inoltre:</p> <ul style="list-style-type: none"> -in presenza di sostanze aggressive -per impasti con inerti solfatici (sabbie seleniche) -per la produzione di calcestruzzi refrattari

Dove :

- M_i é il modulo idraulico, definito da
$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

- M_s é il modolo dei silicatio, definito da $\frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$
- M_f é il modolo dei fondenti, definito da $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$
- M_c é il modolo idraulico, definito da $\frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$

Vanno considerati a parte i cementi per calcestruzzi relativi agli sbarramenti di ritenuta, che, come é evidente dalla precedente tabella hanno tempi di reazione molto più lenti.

In quanto segue é un elenco dei vari tipi di calcestruzzo normalmente adoperati nelle realizzazioni idrauliche con la relativa composizione.

p)	Calcestruzzo idraulico di pozzolana		
	calce comune	mc	0,15
	pozzolana	mc	0,8
	pietrisco o ghiaia	mc	0,4

q)	Calcestruzzo in malta idraulica		
	calce idraulica	q.li	3 ÷ 3,5
	sabbia	mc	0,4
	pietrisco o ghiaia	mc	0,8

r)	Conglomerato cementizio per muri, fondazioni, sottofondi, ecc.		
	cemento	q.li	1,5 ÷ 2,5
	sabbia	mc	0,4
	pietrisco o ghiaia	mc	0,8

s)	Conglomerato cementizio per strutture sottili		
	cemento	q.li	3 ÷ 3,5
	sabbia	mc	0,4
	pietrisco o ghiaia	mc	0,80

Questo elenco non é certo esaustivo ma é indicativo dei calcestruzzi più correnti.

In quanto precede si é fatto cenno non solo ai vari tipi di cemento ma anche agli additivi.

Oggi ne esistono di vario tipo.

Qui di seguito si elencano sinteticamente dei casi tipici nei quali l'uso di additivi é necessario o quanto meno opportuno, indicando le proprietà che l'additivo deve possedere. Purtroppo non si può fare a meno di indicare i nomi commerciali degli

additivi e pertanto onde non fare preferenza si indicano quelli delle ditte più diffuse in Italia

Calcestruzzi reoplastici sono calcestruzzi dotati di grande Rheobuil, Tiamac ,
lavorabilità e di pompabilità che nel normati dalla ASTM C-494 ed
contempo non devono essere UNI 7102,7104 /72, 8145 ed
segregabil MPA VII 1/341 e 342

Calcestruzzi antiritiro trattasi di calcestruzzi da adoperarsi stabilmac
tutte quelle volte che é necessario
per morivi strutturali o di tenuta
idraulica contrastare il ritiro del getto (
vasche, serbatoi condotte in
calcestruzzo)

Calcestruzzi resistenti trattasi dei calcestruzzi da adoperare MVR
al gelo la dove il gelo non é una presenza normati dalle ASTM C-260/77;
sporadica ma si manifesta con fonte AASHO M 154, CRD C -13;
intensità e per lunghi periodi UNI 7103/72

Calcestruzzi a presa Si ricorre a tale tipo di calcestruzzo ADMIX
lenta quando si vogliono aumentare le normati dalle ASTM C-494;
caratteristiche meccaniche AASHO M 154, UNI 7101;
UNI 7102/72; UNI 7104 ; BS
5075

Calcestruzzi per trattasi di calcestruzzi cui conferire Mackure
pavimenti industriali una particolare durezza atta a far si
che resistano a pressioni di
contsatto, urti ecc anche
considerevoli (per esempio piazzali di
porti, di aereoporti ecc..)
L'additivo viene dato a spolvero dopo
la presa del calcestruzzo (di norma 1
litro di additivo al mq. di pavimento da
trattare)

Calcestruzzi espansivi trattasi da calcestruzzi che devono Mac Flowt
essre pompabili non segregabili ad
alta resistenza meccanica ed a ritiro
compensato

Calcestruzzi facciavista trattasi da calcestruzzi che devono Decovit
svolgere anche una funzione di
carattere estetico ed é pertanto
opportuno che il cassero possa
essere tolto con relativa faciilità. All'
uopo si aggiungono appositi additivi

5 Calcestruzzi e malte con tecnologie particolari, iniezioni di cemento (e di altre miscele), il jet-grouting, spritz beton, gunnite.

5 1 generalità e cenni storici

Ogfggi sempre un maggior numero di lavori di ingegneria sono realizzati attraverso le tecniche delle iniezioni, normali o tramite jet-grouting e con applicazioni di spritz-beton

In particolare si ricorre alle iniezioni dove:

- è necessario il consolidamento delle zone di appoggio di importanti manufatti (per esempio dighe, ponti ecc...) o di fronti di scavo artificiali e naturali,
- occorre impermeabilizzare spessori di terreno vuoi perché:
 - la presenza di una falda idrica ostacola l'esecuzione di scavi (superficiali o in sotterraneo) o mette in pericolo la stabilità di un manufatto.
 - é da deviare o comunque da "gestire" una risorsa idrica sotterranea

Il metodo delle iniezioni, nei fori di sondaggio, di miscele in grado di migliorare le caratteristiche di resistenza meccanica dei terreni è nota sin dagli inizi del 1800, ma solo dopo la prima guerra mondiale, cioè con l'inizio della costruzione delle grandi dighe, esso si è andato sviluppando e affinandosi nelle modalità esecutive.

Sono sostanzialmente tre: impregnazione, claquage e miscelazione in situ.

a) Impregnazione

Consiste nell'impregnare le parti di terreno da trattare per mezzo di miscele consolidanti e/o impermeabilizzanti in esso iniettate.

Dette miscele sono funzione del tipo e delle dimensioni degli elementi del terreno da trattare.

b) Claquage

Consiste nel creare degli strati orizzontali ravvicinati (dette "lenti") di spessore ridotto per mezzo di iniezioni di miscele cementanti e/o impermeabilizzanti in zone di terreno che conseguentemente vengono a trovarsi "in pressione".

c) Miscelazione in situ

E' necessaria una "disgregazione" del terreno in situ e contemporanea "miscelazione" con leganti e/o impermeabilizzanti.

Ciò è ottenibile per azione meccanica (sistema C.F.G.)⁶ o idraulica (sistemi C.C.P. e Kajima).

Le miscele consolidanti più note sono quelle cementizie, le quali da tempo sono utilizzate soprattutto nelle rocce a grossi vuoti, cioè tali da lasciarsi facilmente permeare in ogni punto della massa.

Più recentemente alle miscele cementizie si sono andate aggiungendo altri tipi di miscele (miscele chimiche) particolarmente efficaci nei terreni sciolti a vuoti sottili all'interno dei quali esse penetrano con estrema facilità per poi consolidare più o meno rapidamente, a iniezione ultimata.

Quest'ultimo procedimento, certamente più sofisticato e costoso del primo, è stato messo a punto agli inizi del 1900, ma ha avuto una crescente applicazione soprattutto negli ultimi vent'anni.

5 2 Le miscele consolidanti e/o impermeabilizzanti

I requisiti richiesti alle miscele consolidanti sono almeno due :

- la fluidità necessaria per turare tutti i vuoti della massa;

⁶ sul quale non ci soffermiamo

- l'attitudine a far presa e a trasformare la massa in un corpo omogeneo e continuo, dotato di migliore resistenza meccanica.

Nel caso in cui l'iniezione ha per scopo invece l'impermeabilizzazione del terreno, ha maggiore importanza la continuità del velo d'iniezione piuttosto che la resistenza meccanica del prodotto iniettato. In tal senso sia le miscele cementizie che quelle chimiche sopra citate possono servire allo scopo, a condizione che se ne regoli la fluidità in modo da consentire la perfetta permeazione della massa.

La buona riuscita di uno schermo d'iniezione dipende dalla conoscenza⁷ delle caratteristiche di iniettabilità della massa di terreno e quindi dalla possibilità di scegliere i valori della pressione di iniezione e della viscosità della miscela atti ad assicurare un certo raggio di penetrazione all'intorno del foro di iniezione.

La scelta del tipo di miscela da adoperare viene in generale eseguita sulla base di due parametri:

- Il coefficiente di permeabilità K [cm/s];
- l'unità Lugeon, che è parametro convenzionale fornito da prove di assorbimento d'acqua in situ

Il primo è un parametro significativo per la scelta della miscela da iniettare (secondo De Riso, Geologia tecnica, ISEDI, i terreni con $K < 10^{-4}$ [cm/s] sono normalmente considerati non iniettabili a mezzo di miscele cementizie).dove abbiamo a che fare con terreni omogenei e permeabili per porosità

Il secondo nelle rocce dotate di permeabilità per fessurazione e per carsismo, cioè dove sono possibili elevati assorbimenti localizzati nel contesto di un mezzo dotato di un volume di vuoti generalmente basso.

⁷ Queste notizie vengano nella pratica acquisite direttamente in situ attraverso delle prove preliminari eseguite nei sondaggi geognostici o in maglie di fori di predisposta geometria, può dirsi che in generale le caratteristiche di iniettabilità dipendono soprattutto dal tipo e grado di permeabilità e quindi dalla struttura del mezzo.

Laddove tale struttura si avvicina maggiormente al modello teorico del mezzo isotropo, continuo, omogeneo (per esempio la struttura dei depositi alluvionali sabbioso-ghiaiosi, ovvero quella delle rocce a fessure sottili) le prove di permeabilità in situ sono sufficientemente indicative delle caratteristiche di iniettabilità della massa.

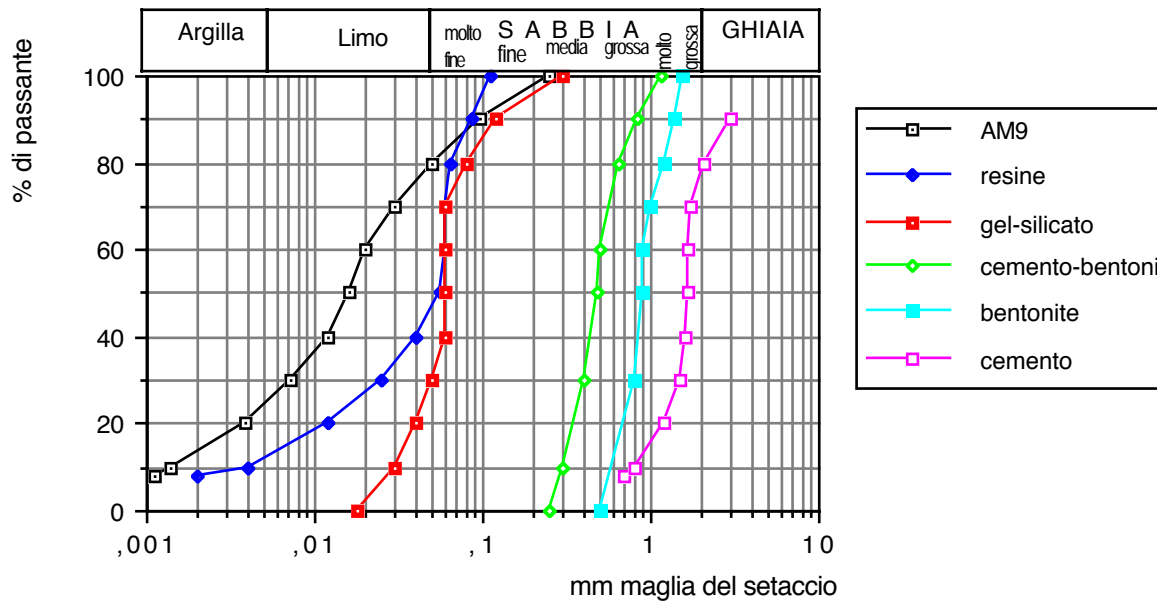
L' unità Lugeon⁸ corrisponde all'assorbimento di 1 litro nell'unità di tempo (minuto primo) e per metro lineare della sezione di foro in prova sotto una pressione di 10 atm.

Il grafico che segue dà una indicazione delle varie miscele adottabili per le iniezioni in funzione della granulometria del terreno da trattare.

⁸ Le sezioni di prova sono in genere di 3 m o più frequentemente di 5 m, l'assorbimento per metro lineare deve intendersi come assorbimento medio, e come tale non direttamente correlabile con l'effettiva struttura puntuale della sezione di foro e non indicativo delle dimensioni delle fratture e del loro numero (analogo assorbimento può essere causato da una grossa frattura e da molte piccole fessure).

Pur con questa limitazione è entrato nella pratica corrente, nei lavori per l'esecuzione di schermi d'iniezione per sbarramenti artificiali, considerare l'unità Lugeon (l/min*m*10 atm) come l'assorbimento d'acqua massimo consentito per dighe superiori ai 30 m. e come tale esso costituisce anche un indice della buona riuscita di uno schermo. Inoltre, nei limiti in cui è consentito paragonare l'unità Lugeon con il coefficiente di permeabilità k (in genere si pone $1 \text{ UL} = 0.00001 \text{ cm/s}$), si ritiene praticamente possibile utilizzare miscele cementizie nelle rocce nelle quali gli assorbimenti siano dell'ordine dei 10 UL e più, (cioè dell'ordine di 0.0001 cm/s come minimo).

Curve granulometriche per le quali adoperare il tipo di iniezione indicato in legenda



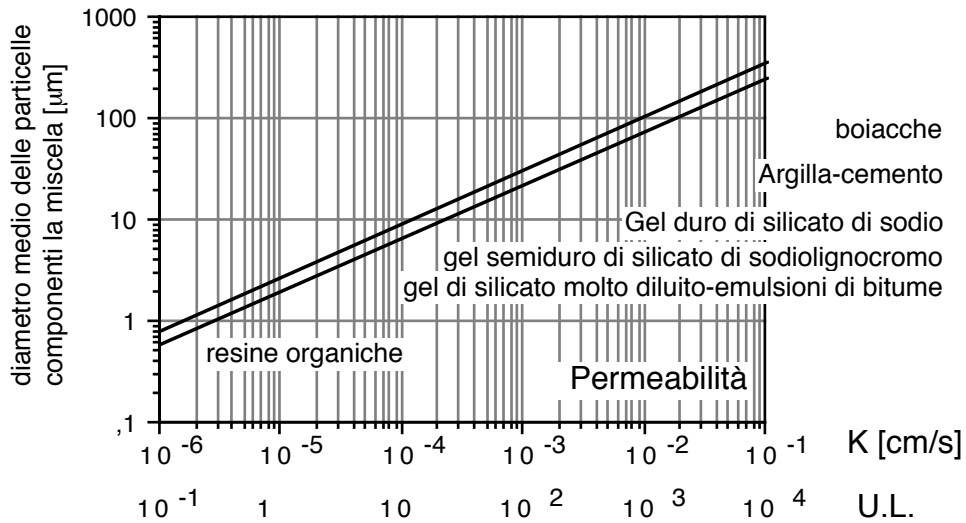
Nota il quadro strutturale della massa rocciosa attraverso l'analisi dei campioni estratti dai sondaggi geognostici e sia pure entro certi limiti dai risultati delle prove d'acqua preliminari, spetta all'esperienza del tecnico operare le scelte più opportune, sia per quanto concerne il tipo di miscela sia per quanto attiene alle pressioni d'iniezione.

Sul mercato sono oggi disponibili prodotti dotati di viscosità oscillanti fra poche centipoise⁹ (resine) fino a 10÷20 cP (miscele cementizie, polimeri precondensati), tuttavia l'adozione di uno di essi dipende non solo dalle caratteristiche geologiche del terreno, ma anche e soprattutto dal costo, il quale, a sua volta, è influenzato dalla disponibilità sul mercato, dalla esistenza di ditte specializzate, dal raggio d'azione e dalle pressioni di iniezione richieste.

Da qui la difficoltà di stabilire norme valide in ogni caso e l'inderogabile necessità di potersi avvalere dell'esperienza di ditte particolarmente attrezzate per la preparazione delle miscele e la loro più opportuna messa in opera (dal punto di vista tecnico ed economico).

⁹ Si ricorda che il centipoise é, nel sistema CGS l'unità della viscosità (g/cm*s.).

Assume rilevanza nella scelta il limite di permeabilità delle miscele nei confronti del materiale da permeare, qui di seguito graficamente indicato



Il quadro seguente riassume le caratteristiche fisiche e meccaniche delle varie miscele ed il campo di utilizzazione mentre nei paragrafi seguenti si dà qualche maggiore indicazione sui principali tre tipi di miscele adottati:

- miscele cementizie;
- miscele chimiche;
- resine organiche

TIPI DI MISCELE	Resistenza a compressione	Applicazioni tipiche
	Kg/cm ²	
Sospensioni acqua cemento (boiacche) o acqua cemento e sabbia (betonicini)	vedi calcestruzzo	riparazione murature rocce fratturate rocce carsiche
cemento e malte addittivate cemento ed argilla (con eventuale silicato di sodio) Argilla (bentonite) trattata	vedi calcestruzzo 1÷50 <1	rocce con grande porosità o cavità Permeabilità per porosità ma piuttosto importante come sopra
Gels duri : - Silicato di sodio+CaCl ₂ acetato di etile -Lignosulfito+bicromato di sodio con sabbia	10÷20 ,3	sabbie sabbie fini
Gels plastici : - Silicato di sodio+ reattivo - bentonite deflocculata	,05 ,01÷,02	sabbie fini sabbie
Resine organiche : - AM9 - Resorcina-Formolo(Fenoplasti) - Urea formolo - Polimeri precondensati	<1 10 20÷100 1000	sabbie molti fini come sopra come sopra fessure nei calcestruzzi
Leganti idrocarbonati : - Emulsione bitume+silicato - Emulsione bitume + resorcina + malta - Bitume caldo	,1 ,01 0	sabbie fini sabbie fini sabbie grosse e cavità

5 2.1 Le miscele cementizie

Le miscele cementizie sono sospensioni cemento-acqua (boiacca) le quali vengono iniettate secondo un rapporto $\frac{C}{A}$ iniziale variabile da 1/2 (per terreni e rocce con assorbimenti d'acqua superiori a 10 UL) a 1/10 (per rocce con assorbimenti di 1÷2 UL).

Esse agiscono nelle fessure attraverso la decantazione dei grani di cemento, la quale avviene tanto più rapidamente quanto maggiore il dosaggio di cemento (miscele instabili).

Per tale motivo è buona regola iniziare l'iniezione con dosaggi piuttosto bassi di cemento, perchè in tal modo, a parità di pressione si aumenta il raggio di influenza della miscela evitando la formazione di tappi all'imboccatura delle

fessure. quindi, dovendosi agire su una massa non in grado di smaltire l'acqua in eccesso della miscela fluida si passa a miscele più dense (cioè meno ricche d'acqua), aumentando progressivamente le pressioni fino a ottenere il rifiuto-saturazione alla pressione massima prevista.

Nel caso di rocce caratterizzate da assorbimenti di acqua, superiori a 10 UL, le miscele a forte dosaggio di cemento risultano poco adatte a permeare in modo continuo ed economicamente conveniente i vuoti maggiori.

Da qui la necessità di ricorrere a miscele stabilizzate mediante aggiunta di materiali a grana molto fine (argilla o bentonite) in grado di ritardare il fenomeno della sedimentazione dei granuli di cemento durante l'iniezione e di ridurre la viscosità della miscela.

Naturalmente questi materiali hanno scadenti proprietà meccaniche per cui a misura che se ne aumenta il dosaggio (da poche unità percentuali in peso di cemento a rapporti cemento-argilla di 3/1-3/2 e anche inferiori) si viene a spostare decisamente verso i lavori di impermeabilizzazione il dominio di utilizzazione delle miscele.

Resta il fatto importante della notevole economia di cemento che le miscele binarie consentono di realizzare (fino a 2/3 in meno per mc. rispetto alla quantità di cemento richiesta dall'uso delle miscele instabili) e della particolare predisposizione a interventi di bonifica in terreni a grana media-fine laddove le miscele instabili trovano difficoltà a penetrare.

In effetti i granuli di cemento hanno dimensione media dell'ordine di qualche centinaia di micron, per cui restano praticamente già bloccati quando i vuoti sono di 0,1 [mm].

Ciò vuol dire in termini di permeabilità, che nei terreni dotati di $K \leq 0,003$ [cm/s] le miscele cementizie devono lasciare il passo alle miscele chimiche.

5 2.2 Le miscele chimiche

Le soluzioni chimiche si basano sull'associazione di silicato di sodio con un reagente in grado di favorire la trasformazione del sol iniziale (cioè di un colloide nel quale la fase solida è dispersa nel liquido) in un gel (cioè in un colloide nel quale la fase solida è disposta in modo da formare un'intelaiatura all'interno del liquido).

La gelificazione infatti avviene a seguito della neutralizzazione operata dal reagente, delle cariche elettricamente negative ai cui sono dotati i colloidi silicei presenti nella soluzione iniziale.

A seconda del tipo di reagente (organico, minerale), della concentrazione di questo, del modo con cui esso viene associato il silicato di sodio, si ottengono dei gel duri (presarapida o ritardata) adatti al consolidamento della massa di terreno e dei gel plastici adatti invece all'impermeabilizzazione.

I tempi di presa, le caratteristiche meccaniche del gel saranno regolati agendo sulla percentuale di acqua e/o su quella del reagente. Quest'ultimo influenza direttamente la stabilità del gel nel tempo e la sua dilavabilità a opera dell'acqua.

Fra i gel duri sono noti quelli ottenuti con il metodo Jesiorski-Joosten (iniezione separata di silicato di sodio e di solfato d'alluminio).

Tuttavia queste soluzioni sono caratterizzate da raggi di influenza molto ridotti e quindi richiedono l'adozione di forti pressioni di iniezione.

Questi inconvenienti hanno finito con il sollecitare gli specialisti del settore a studiare la preparazione di miscele dotate di maggiore penetrabilità, il che si è effettivamente ottenuto giocando sul tempo di presa o meglio utilizzando dei composti in grado di miscelarsi senza gelificare, prima di procedere all'iniezione (ciò evita la doppia operazione di iniezione prevista dai metodi precedenti).

Da qui una serie di procedimenti tra i quali ricordiamo soprattutto quello proposto dalla Soletanche basato sull'impiego di silicato di sodio e acetato di etile il quale ha avuto un forte successo soprattutto a causa del costo relativamente contenuto dell'acetato di etile rispetto a quello dei reagenti proposti da altri preparatori quali Nobel-Bozel o Diamond-Alkali.

Il gel ottenuto è molto resistente perchè la sua lenta formazione è dovuta non già alla diluizione del reagente ma al tipo di reazione indotta dall'acetato di etile.

Nella valutazione del costo del procedimento, che è inizialmente superiore rispetto a quello dei procedimenti a iniezione separata occorre tener conto che esso richiede un minor numero di sondaggi e prevede una più agevole messa in opera; d'altra parte non può ignorarsi che i gel a presa ritardata sono più sensibili all'azione del freddo e agli errori del dosaggio.

I gel plastici sono quelli che si ottengono aggiungendo al silicato di sodio un reagente minerale (acido cloridico; acido cloridico e ipoclorito di sodio, bicarbonato di

sodio e di potassio; latte di calce), sfruttando la presenza nella bentonite, nel cemento, nell'argilla di ioni solubili in grado di gelificare il silicato di sodio (gel alla bentonite, all'argilla al cemento).

In entrambi i casi trattasi di gel a presa ritardata caratterizzati da resistenze al taglio di poche decine di grammi al cmq. perciò adatti soprattutto a lavori di impermeabilizzazione in terreni a grana fine. Quelli al silicato di sodio associato ad acidi o basi richiedono molte precauzioni perchè molto sensibili al dilavamento operato dall'acqua di falda, nonché dalla temperatura.

5 2.3 Le miscele organiche

Un discorso a parte meritano infine i gel a lignocromo e i prodotti a base di resine organiche e di leganti idrocarbonati.

I primi costituiscono un'alternativa relativamente meno costosa ai gel duri a silicati e si ottengono aggiungendo bicromato di potassio o di sodio a lignosulfito o lignosulfonato (sottoprodotto del trattamento della polvere di legno con bisolfuro per l'estrazione della cellulosa). Essi sono più viscosi e quindi meno iniettabili dei gel a silicato, inoltre richiedono particolari precauzioni a causa della tossicità del cromo; per converso sono molto resistenti all'acqua.

Le resine organiche si ottengono invece sfruttando il fenomeno della polimerizzazione, cioè dell'aggregazione di più molecole di un monomero organico e nella relativa formazione di una struttura tridimensionale insolubile in acqua.

Le reazioni più note sono quelle che producono le materie plastiche (nylon, plexiglas, moplen, ecc.) e che non sono realizzabili nel terreno perchè richiedono alti valori della pressione e della temperatura.

Tuttavia risultati soddisfacenti per quanto attiene ai lavori di iniezione, si sono ottenuti utilizzando manomeri solubili in acqua con l'aggiunta di un reagente.

Il risultato è una massa di bassa viscosità (1÷3 cP) dotata ora di bassissima resistenza ma di grande elasticità (come le resine AM), ora di forte resistenza (fino a 100 kgp/cmq) a bassa elasticità (come i fenoplasti) .

Prodotti e resistenza ancor maggiore (oltre i 1000 kgp/cmq.) possono aversi impiegando resine già precondensate (polimeri prepolymerizzati), ma in questi casi

la viscosità è maggiore (5÷15cP) utilizzando opportuni dosaggi e il campo di applicazione diverso rispetto a quello delle resine AM e dei fenoplasti.

Cioè questi ultimi possono esser iniettati anche in terreni praticamente impermeabili ($k=0,00001\div0,000001$ cm/s) mentre i polimeri precondensati, che tra l'altro sono molto costosi, si prestano soprattutto per interventi di bonifica di manufatti.

Tra i leganti idrocarbonati si utilizza soprattutto il bitume sia sotto forma di emulsioni sia allo stato fuso.

Quest'ultimo può essere iniettato a 70-200 C, nel terreno ove poi, solidificando per rapido raffreddamento, chiude i vuoti maggiori nei quali è pervenuto.

Le emulsioni invece richiedono la scissione della fase dispersa (il bitume) dal liquido disperdente, il che avviene neutralizzando l'effetto stabilizzante della caseina (normalmente aggiunta all'emulsione) mediante un acido (procedimento Shellpern) o provocando la riduzione del contenuto d'acqua (procedimento Soletanchè). Il pregio maggiore di questo prodotto è la bassissima viscosità che ne favorisce la penetrazione in terreni a vuoti piccoli ($k = 0,00001$ cm/s), tuttavia il costo più elevato di quello dei gel a silicati, ne limita l'uso a situazioni piuttosto localizzate.

5 3 I vari metodi di iniezione

Le modalità esecutive dei fori di dell'iniezione stessa dipendono soprattutto dal tipo di terreno interessato.

Alla tecnica di perforazione a percussione in terreni sciolti, si contrappone quella a rotazione (con carotaggio continuo o con distruzione di nucleo) o a rotopercussione, largamente diffusi nelle rocce.

In ciascun caso occorre evitare il riempimento dei vuoti delle pareti del foro a opera del cutting¹⁰ o dei fanghi bentonitici (ai quali occorre sovente far ricorso per assicurare la stabilità delle pareti dei fori in terreni sciolti o rocce disgregabili).

¹⁰ cioè del materiale proveniente dall' operazione di esecuzione del foro

Possiamo avere vari tipi di iniezione., e ne possono individuare tre tipi:

a) Iniezione tramite le stesse aste di perforazione o attraverso canne valvolate (canne a "manchette") e miscelazione in situ.

a.1) Iniezione per mezzo delle stesse aste di perforazione

E' una tecnica ormai in decadimento in quanto anche se semplice e rudimentale è però di dubbia efficacia. Per il suo basso costo è ancora usata per lavori di intasamento di terreni grossolani privi di matrice fine e per terreni molto elastici. Consiste nell'iniettare nel terreno sia in fase di "andata" (perforazione) che di "ritorno" (recupero delle aste) la miscela consolidante per mezzo della stessa punta perforatrice del terreno.

a.2) Iniezione per mezzo di canne valvolate dette anche canne a "manchette"

Questo sistema ha pressochè sostituito il precedente .

In un foro eseguito nel terreno viene inserita una speciale canna in P.V.C. o metallica dotata alla profondità da trattare di una serie di fori posti ad intervalli regolari (variabili in genere da 33 a 100 cm); questi fori sono protetti da un collare esterno di gomma e fungono pertanto da valvola di "non ritorno" della miscela iniettata dall'interno di questa canna forata. Lo spazio tra la faccia esterna di detta Canna e il foro viene cementato (guaina) con miscela a bassa resistenza (con bentonite) prima dell'inizio del trattamento onde impedire il rifluimento in superficie o a livelli differenti rispetto a quelli da trattare, delle miscele iniettate.

Un doppio "packer" calato nell'interno delle canne stesse fa sì che la miscela venga iniettata valvola per valvola alla pressione e quantità voluta e, se necessario, in più fasi a distanza di tempo anche con differenti tipi di miscela.

b) Miscelazione in situ

E' basata sul principio della disgregazione del terreno e contemporaneo impasto con miscela legante o impermeabilizzante.

La disgregazione del terreno può essere eseguita meccanicamente con un "utensile disgregatore rotante" (sistema C.F.G.) o idraulicamente mediante getto rotante ad altissima pressione, (jet-grouting) pari a circa 400 bar (4) (sistemi C.C.P.. e Kajima).

Questi sistemi rispetto ai precedenti sono maggiormente efficaci e comunque raggiungono lo scopo in tempi considerevolmente più brevi e con miscele relativamente di basso costo anche in terreni fini e poco permeabili.

Infatti con questi sistemi la permeabilità dei terreni trattati si riduce a valori molto bassi, all'incirca pari a $1 \cdot 10^{-6}$ cm/s.

Escludendo la tecnica della disgregazione meccanica del terreno possiamo ricondurre la precedente articolazione in funzione della pressione cui si esegue l'iniezione in:

- iniezioni a bassa pressione
- iniezioni ad alta pressione

Nel primo caso la pressione alla quale la miscela sarà iniettata dipende non solo dalla struttura del terreno e dal tipo di miscela, ma i fattori in gioco sono molteplici e vanno attentamente valutati.

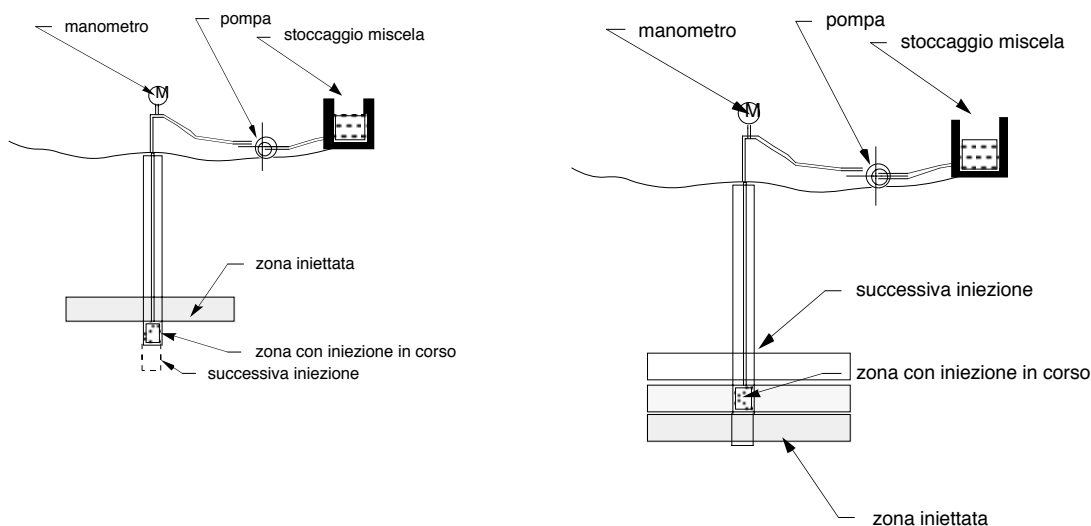
Nel secondo caso, di uso più recente (metodo C.C.P e Kajima) la pressione è caratteristica del metodo stesso.

5 3.1 Le iniezione a bassa pressione, metodi tradizionali

L'operazione d'iniezione può avvenire in discesa, per sezioni successive, o, a foro ultimato, cioè in risalita.

Col primo metodo viene evitato il pericolo dell'aggiramento del pistoncino attraverso eventuali fessure verticali (perché si agisce su roccia consolidata), e nella possibilità di consentire, nei tratti successivi più profondi, l'adozione di pressioni d'iniezione più elevate. Gli svantaggi risiedono innanzitutto nel:

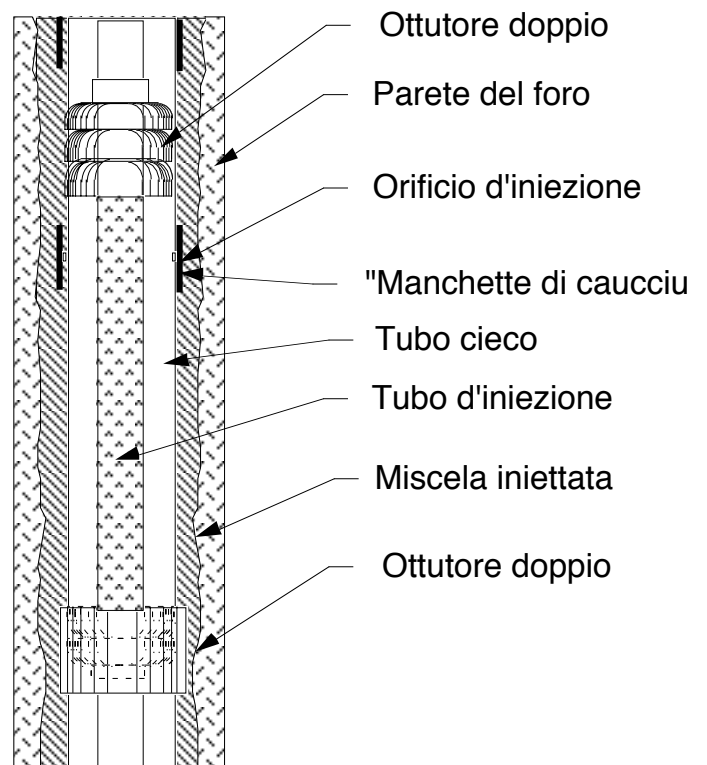
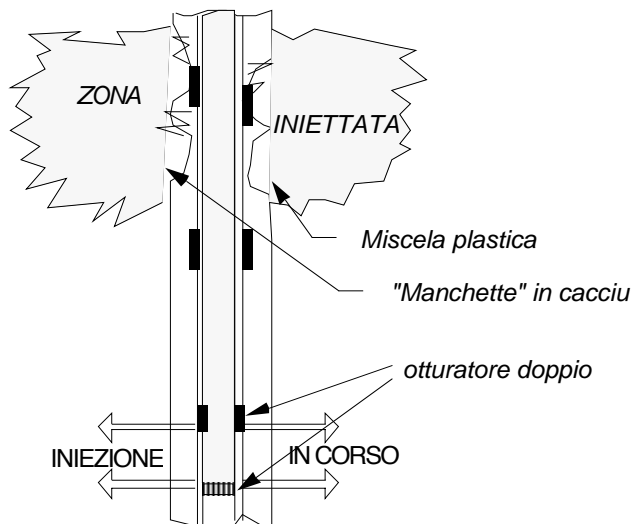
- dover riperforare ogni volta tutta la sezione già iniettata, tuttavia oggi si utilizzano degli otturatori profondi, ubicati di volta in volta alla base delle sezioni iniettate, cioè in testa a quella da iniettare, che fanno sì che il detto problema non si pone;
- dover attendere il tempo necessario per consentire la presa della miscela iniettata e, infine, nei tempi morti che si creano per l'alternarsi dei lavori di perforazione con quelli di iniezione.



Nella tecnica di iniezione in risalita non si hanno evidentemente di tali inconvenienti, ma se ne possono incontrare altri connessi con la tenuta del pistoncino (che può essere aggirato dalla miscela e quindi restare cementato nel foro).

Essa è tuttavia relativamente diffusa in terreni sciolti ove si può operare sollevando a tappe successive il tubo provvisorio di manovra, talora utilizzando una guaina stagna e un tubo di iniezione forato (fig.3).

Quest'ultima tecnica ha avuto una messa a punto molto elegante da parte della Società Soletanche la quale ha ideato dei tubi forati a intervalli di 1 m e muniti di un manicotto di caucciù realizzato in modo da consentire solo l'uscita della miscela iniettata (tubi a manchettes, fig. 4).



Questi tubi del diametro di 50÷60 mm vengono calati nei fori di sondaggio e annegati in una miscela argilla-cemento di scarsa resistenza meccanica, introdotta nello spazio anulare fra il tubo di iniezione stesso e la parete interna del tubo di rivestimento del foro.

L'iniezione viene eseguita recuperando prima il tubo di manovra e forzando poi l'anello stagno argilla cemento, a mezzo di un otturatore doppio e una opportuna pressione conferita alla miscela di iniezione.

Il vantaggio dei tubi a manchettes è quello di poter iniettare a qualsiasi altezza del foro, e per più volte, tuttavia i tubi stessi vanno perduti perchè restano bloccati nel terreno.

In effetti una pressione eccessiva può provocare la disarticolazione delle masse rocciose e il sollevamento della medesima (specie nel caso di stratificazione suborizzontale) o più semplicemente un consumo indesiderato di miscela. Al contrario una pressione troppo bassa riduce il raggio di influenza della miscela dilatando i tempi di lavoro.

Per quanto non esista una norma generale al riguardo, può dirsi che la pressione di iniezione massima può essere fissata in base al carico della massa di terreno che grava sul fondo del foro.

Ma è pratica comune, specie in Europa, di forzare tali valori fino a 3÷4 volte il carico del terreno sovrastante il punto di iniezione anche perchè è ormai da tutti accettato che i fenomeni di claquages (cioè di deformazioni irreversibili) della massa rocciosa, entro certi limiti sono positivi soprattutto ai fini della migliore penetrazione della miscela impermeabilizzante.

Lugeon consiglia una pressione massima di 40 atm, ma pressioni ben più alte, 100-150 atm, sono state adottate anche in lavori minerari profondi senza che si siano verificati inconvenienti nell'assetto della massa rocciosa .

Va da sè che le pressioni maggiori possono adottarsi in rocce poco fratturate e nei tratti di fori relativamente profondi (>50 m).

5 3.2 Le iniezioni ad alta pressione (jet-grouting), il metodo C.C.P.

Tramite la tecniche qui di seguito descritta, come pure nel caso del successivo metodo Kajima, è possibile realizzare colonne od elementi piani operando con "jetting" ad elevata pressione e con apporto, nella zona di terreno disagregata, di opportune miscele , cementizie, chimiche, ecc.).

Tali sistemi producono nella fattispecie un rimescolamento fra la miscela stabilizzante ed il terreno (I° sistema denominato C.C.P.), sia una vera e propria sostituzione parziale del terreno con la miscela stessa (II° sistema detto Kajima).

Questi sistemi differiscono sostanzialmente dalle usuali iniezioni in quanto con essi è possibile, entro ragionevoli limiti, agire sulla forma e dimensioni geometriche dell'elemento, nonché sulle sue caratteristiche meccaniche, regolando adeguatamente la pressione di iniezione, le caratteristiche delle miscele ed altre variabili metodologiche.

Con questa metodologia è teoricamente possibile iniettare qualsiasi tipo di miscela anche se normalmente si adoperano miscele binarie "acqua-cemento" o ternarie "acqua-cemento-bentonite",

Effettuata una perforazione a rotazione tramite un "monitor" autopercorante sino alla profondità necessaria si procede all'iniezione della miscela attraverso opportuni ugelli disposti sui lati dell'estremità inferiore del "monitor" che contemporaneamente viene fatto ruotare e risalire a velocità predeterminate.

La miscela iniettata ad elevata pressione (fino a 400÷500 atm.) funge da elemento disgregante e di miscelazione col terreno.

Il risultato dell'operazione è la creazione di una colonna di terreno stabilizzato

Più in dettaglio, il sistema C.C.P. consta delle seguenti fasi:

1 fase

Fase di andata o di perforazione: inserimento, con perforazione a rotazione, di una batteria di aste nel terreno sino alla profondità di trattamento richiesta dal progetto. L'estremità inferiore della batteria è munita di una testa di perforazione e di una particolare valvola eiettrice che porta uno o più ugelli ortogonali all'asse della batteria.

2 fase

Fase di ritorno o di estrazione e contemporanea iniezione: l'iniezione della miscela a pressione elevatissima avviene durante la fase di estrazione della batteria.

E' in questa fase che mediante l'insistenza del getto in una certa direzione per un certo intervallo di tempo, effetto ottenibile agendo , sulla velocità di estrazione e di eventuale rotazione della batteria di aste è possibile ottenere volumi di terreno trattato della forma e delle dimensioni desiderate.

La proiezione delle miscele leganti ad altissima velocità attraverso gli ugelli per effetto delle forti pressioni in gioco agisce come un corpo rigido, taglia il terreno distruggendo la resistenza meccanica naturale, lo rimescola e, conferendogli un nuovo assetto strutturale, lo cementa.

Diamo alcune definizioni relative al metodo C.C.P.

Raggio d'azione

Il raggio d'azione R_a del getto é funzione:

- della pressione d'iniezione (p)
- del tempo di iniezione (t);
- della resistenza al taglio del terreno in situ (τ)

dunque:

$$R_a = f(p, t, \tau)$$

Pressione d'iniezione

La pressione di iniezione, che viene generata da una speciale pompa ad alta potenzialità, può variare da 150 a 600 atm a seconda della necessità.

Tempo di iniezione (t)

Il tempo di iniezione (l'insistenza del getto in una certa direzione) per una data sezione, viene regolato automaticamente, secondo necessità, agendo sulla velocità di estrazione e di rotazione della batteria di aste.

Resistenza al taglio del terreno naturale (τ)

La resistenza al taglio del terreno naturale in posto, condiziona la scelta dei valori delle pressioni e dei tempi di iniezione da adottare in fase di consolidamento.

Resistenza al taglio del terreno consolidato (τ_0)

Per la resistenza al taglio del terreno consolidato si distinguono due aspetti:

- a) l'effetto diretto prodotto dall'incremento della resistenza al taglio del terreno trattato che, dopo essere stato mescolato e ricementato dalle miscele iniettate, presenta un notevole miglioramento delle caratteristiche meccaniche.
- b) l'effetto indiretto prodotto dal confinamento che i volumi trattati conferiscono al terreno naturale ad essi adiacente.
Sotto l'effetto dei carichi esterni questo contenimento si traduce in un aumento di resistenza d'insieme.

Pressioni interstiziali (u)

L'esecuzione di questo trattamento non influenza la pressione interstiziale all'esterno della zona consolidata; infatti, pur operando ad altissima pressione la metodologia d'iniezione determina incrementi di pressione nel solo interno del volume trattato, al contrario di quanto succede con le iniezioni tradizionali.

Assenza di effetti collaterali nocivi alla stabilità di strutture preesistenti

Il getto a forte pressione produce un mescolamento del terreno ed un "claquage" continuo e sistematico con solo effetto locale all'interno del R_a senza che si manifestino fenomeni deformativi in superficie con conseguenze negative sulla stabilità delle costruzioni limitrofe

Versatilità del sistema

Agendo opportunamente sulla pressione e sul tempo di iniezione, oppure sulla possibilità di imporre la rotazione della batteria di aste, è possibile ottenere: diaframmi sottili, cilindri orizzontali e verticali di vario diametro ed in generale forme di qualsiasi tipo

Miscele di iniezione

Le miscele si possono iniettare a viscosità anche molto elevate e possono essere di tipo cementizio, bituminoso ed a base di resine.

I tempi di presa, più o meno rapidi, sono regolabili secondo le necessità

5.3.2 Le iniezioni ad alta pressione (jet-grouting), i metodi Kajima

Tali sistemi producono oltre ad un rimescolamento fra la miscela stabilizzante ed il terreno anche una vera e propria sostituzione parziale del terreno con la miscela stessa.

In modo analogo al sistema C.C.P. si effettua una perforazione a distruzione di nucleo con inserimento però di una batteria di aste a tre passaggi (tre aste coassiali) munite di una asta perforante .

Infatti sono presenti due ulteriori elementi l'aria compressa ed il getto d'acqua

Raggiunta la quota necessaria si inizia il trattamento imprimendo alle aste movimenti ascensionali e di rotazione prestabiliti che disgregano il terreno tramite un getto ad elevata pressione (mediamente 400 atm) di acqua ed un altro di aria compressa, fuoriuscenti da due speciali ugelli coassiali posti su due delle tre aste a quota superiore alla base, dalla quale fuoriesce la miscela stabilizzante tramite un ugello inferiore posto sulla testa asta.

Nella zona interessata dalla iniezione mista di aria ed acqua si innesca un fenomeno di "air lifting", cioè di risalita, attraverso lo spazio anulare tra la colonna di aste ed il foro perforato, delle parti più fini del terreno disgregato unitamente all'acqua in eccesso ed a una piccola percentuale di boiacca, il tutto grazie al fenomeno di "alleggerimento" e di "spinta" provocata dall'aria compressa.

Nel sistema Kajima l'azione disgregante avviene tramite un getto di acqua ed aria e la miscela stabilizzante entra nel terreno ormai fluidificato.

A differenza dal sistema C.C.P. dove la cementazione avviene esclusivamente tramite un processo di fratturazione ("claquage") del terreno e di riempimento dei vuoti così creati, nel Kajima si ottiene anche una sostituzione parziale delle parti più fini del terreno con la miscela stabilizzante e quindi un volume di vuoti trattati superiore.

Le figg. 3 e 4 mettono in evidenza l'effetto dell'aria sulla penetrazione del getto in un fluido viscoso (fango bentonitico) al variare della pressione di iniezione e della viscosità del fluido. Nelle figg. 5 e 6 si prende invece in esame l'influenza della pressione idrostatica del fluido (in questo caso acqua) entro il quale è immerso l'ugello.

Risulta evidente il notevole incremento della penetrazione del getto qualora si faccia ricorso ad un'insufflazione anulare di aria compressa.

Questo sistema sembra essere più pratico ed economico rispetto agli altri sistemi tradizionali specialmente quando nel terreno alloggiato "sottoservizi", in quanto si evita di dover effettuare scavi per lo spostamento di questi.

E' possibile così conservare anche vecchie fondazioni o strutture (necessario quando di valore storico) che diversamente andrebbero completamente o quasi distrutte, od almeno danneggiate.

Infatti il sistema Kajima non arreca "disturbi" di alcun genere alle eventuali opere esistenti nel terreno da consolidare ed a quelle sovrastanti, in quanto come visto è l'acqua ad altissima pressione, con l'ausilio dell'aria che circonda il getto d'acqua, a trasmettere al terreno l'energia necessaria per il consolidamento.

Esistono due diverse modalità di operare con il Kajima e pertanto due differenti tipi di risultato:

- A) Jet grout method
- B) Column jet pile method

Vediamo più da vicino tali due diverse metodologie.

5.3.3.1 Le iniezioni Kajima metodo Jet grout

Attraverso il getto combinato di acqua-aria ad alta pressione, questo metodo è in grado di produrre una fenditura nel terreno che, contemporaneamente, viene iniettata con malta cementizia in modo da formare una parete continua ed impermeabile

Esso permette:

- Un'accurata esecuzione della parete continua.

- La possibilità di usare vari tipi di miscele da iniettare
- Economicità d'impiego dovuta all'alta produzione possibile
- Assenza completa di vibrazioni e rumore limitato.
- Possibilità d'impiego in limitati spazi operativi.
- In terreni non duri senza trovanti il "monitor" con l'innesto di un utensile speciale sulla punta diventa autoperforante (notevole risparmio di tempo).

5.3.3.1 Le iniezioni Kajima metodo Jet pile

Tramite la rotazione del getto combinato di acqua-aria ad alta pressione, questo metodo permette di formare nel terreno una colonna di materiale consolidato attraverso il rimaneggiamento del terreno e la contemporanea iniezione di malte cementizie o miscele chimiche .

Esso offre i seguenti vantaggi:

- La formazione di colonne di materiale consolidato del diametro di 1,5÷3 metri in relazione alla natura del terreno trattato.
- La possibilità di trattare vari tipi di terreni (da quelli soffici alle rocce tenere).
- L' elevata resistenza alla compressione del materiale consolidato (30÷150 kg/cm² in terreno sabbioso, 10÷50 kg/cm² in terreni coesivi).
- Assenza completa di vibrazioni e rumore limitato.
- Possibilità d'impiego in limitati spazi operativi.
- In terreni non duri senza trovanti il "monitor" con l'innesto di un utensile speciale sulla punta diventa autoperforante.

5.3.4 Caratteristiche geometriche e meccaniche delle colonne e campi di utilizzazione

Per ciò che attiene quindi le dimensioni trasversali delle colonne che si possono realizzare con i sistemi jetting, si riportano indicativamente nelle figure seguenti, rispettivamente per i due sistemi C.C.P. e Kajima, i diametri ottenibili in funzione delle caratteristiche dei terreni e delle pressioni di iniezioni

Dai due diagrammi si evince come l'impiego di tecnologie diverse si ripercuota sulle caratteristiche dimensionali delle colonne:

- con il I sistema (C.C.P.) si arriva a dimensioni medie di 60÷80
- con il II sistema (Kajima) si realizzano invece dimensioni medie di 180 cm. di diametro.

Riguardo le resistenze meccaniche ottenibili, con il sistema Kajima si ottengono resistenze più elevate in presenza di terreni con prevalenza di ghiaia e ciottoli (grazie all'azione di sostituzione degli elementi fini), mentre in terreni a granulometria più uniforme i risultati dei due sistemi sono in genere dello stesso ordine.

Di seguito si indicano alcune fasce di variabilità delle resistenze a compressione, ad espansione laterale libera, sui campioni cilindrici:

Argille÷Limi argillosi	12÷ 40	kg/cm ²
Limi÷Sabbie	30÷120	kg/cm ²
Sabbie e ghiaie	60÷200	kg/cm ²

I sistemi di trattamento con sistema "jetting" possono essere utilizzati con successo in tutti i terreni coesivi o granulari sciolti.

Tuttavia ogni tipo di terreno bisognerà però usare accorgimenti diversi.

5.3.4.1 Terreni a grana fine (argille soffici)

Perchè il trattamento dia risultati apprezzabili sotto il profilo della resistenza (resistenza a compressione semplice $> 20 \text{ kg/cm}^2$) bisognerà provvedere a:

- Aumentare la quantità di cemento per m^3 di terreno trattato; rispetto ai 300÷400 Kg per m^3 necessari al trattamento di terreni granulari in questo caso bisognerà iniettare circa 600 Kg per m^3 .
- Bisognerà pertanto ridurre il rapporto acqua/cemento e prolungare i tempi di esecuzione del trattamento.
- Dovranno essere utilizzate miscele binarie non stabilizzate per favorire al massimo la perdita di acqua per effetto di pressofiltrazione ed accelerare così i tempi di presa.

5.3.4.1 Terreni grossolani (sabbia e ghiaia con trovanti)

Distinguiamo vari casi

a) Assenza di grossi trovanti

- inesistenza di problemi particolari.
- è opportuno utilizzare miscele non stabilizzate, per i motivi già esposti, al fine di incrementare al massimo la resistenza del terreno trattato

b) Presenza di grossi trovanti

- non è possibile utilizzare sistemi autopefloranti pertanto il trattamento andrà preceduto da una perforazione con rivestimento provvisorio del foro .
- tale perforazione è paragonabile ad un sondaggio "quantitativo" del terreno che permette quindi di identificare posizione e dimensione del trovante incontrato.

Si possono avere due casi:

b-1) Trovanti con dimensioni inferiori ai 50 cm

In questo caso il sistema Kajima riesce ugualmente ad inglobare il trovante grazie all'azione di "air-lifting" provocata dall'aria immessa nel terreno che causa una risalita della miscela anche attorno al trovante, mentre il sistema C.C.P. essendo di diametro più limitato ed in assenza del fenomeno dell' "air-lifting" non riuscirà ad inglobare il trovante che si troverà quindi posizionato tra due tronconi della stessa colonna

b-2) Grossi trovanti

- Per il sistema C.C.P. vale quanto detto sopra per cui, nel caso si voglia ottenere la compenetrazione tra le colonne bisognerà ridurre l'interasse e aumentarne quindi il numero.
- Per il sistema Kajima bisognerà distinguere due casi:

Colonne singole

La colonna subirà una interruzione con il trovante posizionato tra i tronconi colonnari, solo che per il particolare tipo di "jeffing" (acqua + aria) il trovante sarà saldamente cementato col terreno circostante in quanto anch'esso avvolto dalla malta di iniezione.

Colonne plurime

In questo caso le colonne saranno egualmente compenstrate l'una all'altra avendo l'avvertenza, in corrispondenza dei trovanti precedentemente localizzati nella colonna adiacente, di ridurre la velocità di risalita del "monitor" in modo da ottenere un diametro maggiore (220-230 cm) della zona trattata in corrispondenza del trovante .

5.3.5 Armatura delle colonne e resistenza al taglio

Le colonne realizzate con i sistemi "jetting" non debbono essere considerate come pali o micropali e pertanto non ha alcun senso pratico il poterle dotare di armature, anche in considerazione delle caratteristiche meccaniche delle zone trattate che non sono assimilabili ad una schematizzazione di calcolo di strutture in cemento armato.

La loro resistenza al taglio pertanto potrà fare affidamento solo sulla resistenza che il terreno otterrà a seguito del trattamento.

Si ribadisce pertanto il concetto che, allo stato attuale delle conoscenze, le colonne non vanno utilizzate come elementi sostitutivi di pali, ma debbono essere concepite unicamente quali mezzi da usarsi per migliorare notevolmente le caratteristiche meccaniche del masso di terreno trattato e laddove le convenzionali tecniche di fondazione non sono applicabili.

In particolare le applicazioni più classiche:

- bonifica di terreni soffici destinati a supporto di rilevati.
- applicazioni per coadiuvare il funzionamento di opere di sostegno mediante stabilizzazione a monte e/o a valle dell'opera stessa.
- tamponi di fondo per prevenire sollevamenti e/o sifonamenti in trincee profonde.
- stabilizzazione di volte in particolar modo per gallerie di servizio.
- formazione di bulbi per tiranti.
- creazione di paratie impermeabili.
- consolidamento per esecuzione di pozzi.

- consolidamento delle fondazioni di opere in fase di ristrutturazione, consolidamento, adattamento e restauro.

5.4 Le malte ed i calcestruzzi spruzzati o priettati (Gunnite e spitz beton)

6 Tubazioni e relative apparecchiature

6.1. I vari tipi di tubi

Una sintetica panoramica dei tipi di tubi più largamente usati per grandi condotte comprende:

- 1) Ghisa comune
- 2) Acciaio
- 3) Cemento amianto.
- 4) Ghisa sferoidale
- 5) P.R.F.V.
- 6) C.A., C.A.P. , T.A.D.
- 7) P V.C.
- 8) P.E.A.D. - P.E.B.D.

In quanto segue esamineremo separatamente le proprietà, i vantaggi e gli svantaggi dei vari tipi di tubi con cenni alla loro presenza in commercio e sulle modalità di costruzione.

6.2.1 Ghisa comune o ghisa grigia G.G.

Il tubo in ghisa comune, che sino a pochi anni orsono primeggiava nelle realizzazioni acquedottistiche¹¹ è oggi ormai in disuso e le ditte più importanti ne hanno cessato la produzione. Il suo posto è stato in parte preso dalla ghisa sferoidale di cui si dirà in seguito. Vediamo ora, nonostante l'abbandono della tubazione in ghisa comune per le nuove realizzazioni, alcune caratteristiche di questi tubi che costituiscono buona parte della rete acquedottistica esistente.

Il materiale e la fornitura dei tubi in ghisa formano oggetto della Norma n. 20 del 31/7/1937 del Ministero LL.PP. che prefissa la composizione chimica e micrografica ed i relativi controlli, i tempi di raffreddamento ed il collaudo in officina di produzione ad una pressione di 10 atm. superiore a quella normale di esercizio di massima.

I tubi in ghisa venivano poi, prima di essere posti in commercio, verniciati internamente ed esternamente mediante immersione in bagno di catrame. La serie di costruzione dei tubi in ghisa rispondeva ai seguenti diametri nominali (corrispondenti, in mm al diametro interno).

40 50 60 70 80 90 100 125 150 175 200 250 300 350 400 450 500 600 700 800

L'ultimo tipo di tubo in ghisa comune adottato fu quello ottenuto da ghisa grigia di seconda fusione colata entro forme poste orizzontalmente e fatte poi ruotare intorno al proprio asse (orizzontale) a forte velocità (tubi centrifugati) e poi ricotti. Con tale procedimento i tubi in ghisa hanno raggiunto lunghezze sino a 7,5 metri (contro i 4 metri del primitivo procedimento di colata in forme verticali).

Al fine di permettere la giunzione i tubi in ghisa vengono realizzati conformando un'estremità a bicchiere .

La giunzione viene effettuata con l'innesto, nel bicchiere dell'altra estremità del tubo successivo, spesso dotato di bordino e nell'interposizione tra i due tubi di una corda catramata di canapa commerciale del diametro da 15 a 20 mm a quattro o

¹¹ Nel 1445 veniva realizzato in Germania un acquedotto in ghisa per il castello di Dillemburg \varnothing 40 mm, che rimase in esercizio sino al 1760, anno di rovina del Castello. Oltre a diverse altre realizzazioni sono da citare, nel passato l'acquedotto di Versailles (del 1644, ancora in esercizio) e l' acquedotto mediceo di Firenze del 1639, anch'esso in esercizio.

cinque capi leggermente ritorti e stagionati e quindi suggellatura con piombo colato a caldo o con nastro di piombo ribattuto a freddo. Il giunto eseguito, assume, in sezione, l'aspetto di fig. 6

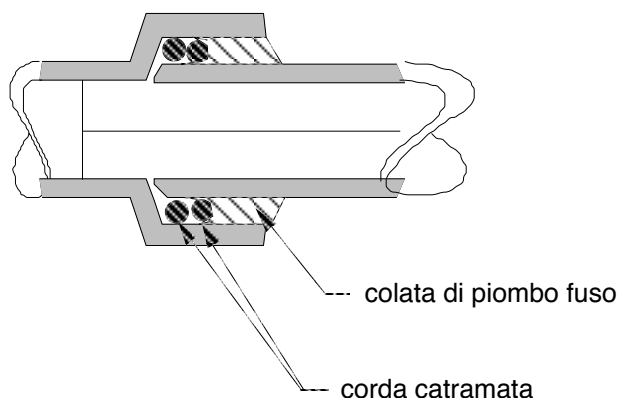


fig. 6 - giunto per tubi in ghisa grigia

La catramatura della corda di canapa deve essere eseguita con catrame vegetale. Il piombo da usarsi per la suggellatura deve essere di prima fusione con grado di purezza 99/100.

L'operazione di suggellatura viene eseguita da appositi operai specializzati, detti impiombatori che una volta costituivano buona parte dell'organico del personale delle aziende acquedottistiche.

Tale tipo di giunzione adatto a tubazioni interrate non è idoneo a tubazioni fuori terra (aeree) o che si debbano raccordare con pompe, sarcinesche ecc... In tali casi devono adoperarsi giunzioni flangiate. I tubi non vengono, in generale, costruiti con le flange però vengono appositamente costruiti due pezzi speciali: il bout e la toulippe .

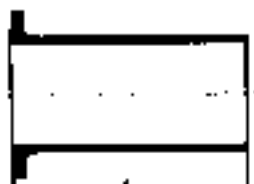


fig.7- Sezione longitudinale di un boute



fig.8-Sezione longitudinale di una toulippe

Esistono numerosi altri pezzi speciali, molto importanti per le tubazioni in ghisa dei quali si riferirà successivamente

Più recentemente l'estremità a bichiere è stata completata internamente con una filettatura sulla quale viene avvitata una ghiera premi-treccia che pressa un anello di gomma tra i due tubi da collegare assicurando la tenuta .

6.2.2 Tubazioni in acciaio

Sono fra le più note e le più diffuse e non hanno certo bisogno di essere illustrate, si giuntano per saldatura.

I loro maggiori pregi sono la facile lavorabilità associata ad una notevole resistenza meccanica e soprattutto la possibilità di essere agevolmente tagliate, saldate e forate anche con attrezzi che lavorano sotto carico.

Il loro tallone d'Achille risiede però nella incapacità a resistere alle azioni elettrochimiche del terreno; in qualunque terreno il ferro tende a tornare al suo stato di natura, cioè a ossido ferrico.

Per avere un'idea dell'entità del fenomeno, basti pensare che una corrente di un Amp. asporta 9 Kg di ferro per anno e che in prossimità di ferrovie elettrificate le correnti medie che percorrono i tubi possono facilmente raggiungere i 10÷20 Amp, arrivando a punte di 100 Amp. e oltre.

Si cerca quindi di passivare le tubazioni o con la zincatura o con rivestimenti bituminosi più o meno pesanti o, più recentemente con rivestimenti speciali.

La zincatura è tipica dei piccoli tubi.

Per quanto riguarda i tubi catramati va rilevato che ogni interruzione del rivestimento rappresenta a più o meno breve termine un punto di sicura foratura per cui la robustezza meccanica dell'acciaio è inficiata dalla vulnerabilità del rivestimento, la cui importanza per la vita del tubo è tale che sarebbe forse più giusto parlare di un tubo di iuta, vetroflex, od altro bituminato con armatura d'acciaio.

La fragilità di questo rivestimento impone notevoli precauzioni nel trasporto, maneggio e posa del tubo, che sarebbe bene fosse interrato con letto e copertura di materiale fine vagliato.

Recentemente sono stati introdotti sul mercato tubi di acciaio rivestiti, esternamente da PEAD (vedi oltre).

Anche adottando tutte le precauzioni per lasciare integra la protezione passiva, è sempre consigliabile attuare la protezione attiva che può essere, secondo i casi, con drenaggio unidirezionale libero o forzato su rotaia, con alimentatore su anodo di sacrificio, con anodi reattivi.

L'acciaio è anche molto sensibile alla corrosione chimica interna da parte di acque aggressive (CO_2 aggressiva) che lo attaccano, e all'azione biologica dei ferrobatteri, che operano in vario modo secondo la specie. pertanto esso viene sempre rivestito internamente da bitume (può trattarsi di una semplice verniciatura, per acque potabili, o di un rivestimento bituminoso a spessore) o da rivestimenti speciali (cemento, resine epossidiche) .

Circa la bitumatura esterna si distingue in normale, pesante, ad apuania

I rivestimenti esterni bituminosi normali e pesanti sono realizzati applicando sui tubi prima una leggera pellicola di bitume ed uno strato protettivo isolante di adeguato spessore di miscela bituminosa. L'armatura è costituita nel primo caso da un doppio strato di feltro di vetro impregnato di miscela bituminosa e, nel secondo caso, di due strati, l'uno di feltro e l'altro di tessuto di vetro, impregnati sempre nella stessa miscela bituminosa. Per gli altri tipi di rivestimento si rimanda ai cataloghi Dalmine o di altre ditte costruttrici.

Dal punto di vista della metodologia costruttiva potremo distinguere in tubi in acciaio in Si distinguono vari tipi di tubi in acciaio:

- a. tubi senza saldatura (cioè prodotti col procedimento Mannesman, detti anche tubi trafilati o tudi Mannesman);
- b. tubi con saldatura longitudinale;

c. tubi con saldatura elicoidale.

I tubi di acciaio Mannesman vengono prodotti normalmente sino a lunghezze di 13,5 metri (ma su richiesta vengono prodotti tubi sino a 16 metri) il procedimento è la trafilatura, sono estremamente costosi e sempre più in disuso, avendo i tubi saldati raggiunto quasi le medesime caratteristiche meccaniche di questi

I tubi saldati hanno le stesse lunghezze commerciali del Mannesmann e vengono ottenuti per piegatura e saldatura, automatica ed elettrica, di lamiera. Questi ultimi tubi vengono prodotti, per ciascun diametro, di differenti spessori: la serie alleggerita è idonea ove le pressioni sono modeste.

La serie commerciale per detti tubi, sempre in mm, è riferita al diametro interno:

40	50	65	100	125	150	200	250	300	350	400
450	500	(550)	600	(650)	700*	(750)	800*	(850)	900*	

I diametri indicati tra parentesi sono prodotti solo su richiesta.

La serie elicoidale è prodotta solo su richiesta ed è relativa a grandi diametri. Consta di una lamiera arrotolata elicoidale e saldata.

6.2.2.1 Le giunzioni delle tubazioni in acciaio

La giunzione dei tubi in acciaio avviene o mediante flangiatura o, più di sovente, per saldatura (elettrica od autogena).

Con il rapido perfezionarsi della saldatura elettrica, l'impiego del giunto saldato negli acquedotti ha soppiantato i giunti a bicchiere con guarnizioni di gomma e quelli meccanici, apportando un grande progresso alla tecnica della costruzione di questi impianti.

Con tale tipo di giunzione si eliminano, in modo assoluto, le perdite lungo la condotta che con altri giunti possono raggiungere anche percentuali elevate della portata e si realizza la monoliticità di tutta la condotta, caratteristica che non è possibile avere con altri giunti, in quanto creano punti di discontinuità con assoluta mancanza di resistenza a trazione.

I principali vantaggi del giunto saldato sono:

- 1) massima garanzia di resistenza e di tenuta nel caso di: sovrappressioni dinamiche, insufficienza degli appoggi, instabilità dei terreni, sforzi assiali e di flessione, variazioni termiche, ecc. e di conseguenza garanzia dall'inquinamento dovuto ad elementi esterni;
- 2) massima garanzia di resistenza e tenuta per tutte le pressioni, anche le più elevate, fino al raggiungimento della pressione di scoppio del tubo;
- 3) massima omogeneità e semplicità costruttiva delle condotte in quanto non sono necessarie guarnizioni, bulloni, ecc;
- 4) possibilità di risolvere il montaggio, con facilità ed in tempo limitato, problemi di adattamento e modifiche;
- 5) possibilità di eliminare molti pezzi come manicotti, pezzi di inversione, e di utilizzare tutti gli spezzoni di tubi disponibili;
- 6) manutenzione, ridotta, in quanto per eventuali sostituzioni di spezzoni, possono esser fatte con taglio e successiva saldatura;
- 7) facilità di protezione del giunto a assoluta continuità elettrica nella condotta;
- 8) l'impiego del giunto sferico per saldatura consente all'atto del montaggio deviazioni angolari fino a 5° per diametri superiori a 150 mm con conseguente risparmio di curve;
- 9) realizzazione di un'elevata conduttanza elettrica longitudinale delle tubazioni; caratteristica indispensabile per poter applicare la protezione catodica, diversamente si deve ricorrere al costoso cavallottamento elettrico delle giunzioni;
- 10) velocità ed economia di posa in opera;
- 11) economia di acquisto dei tubi rispetto a quelli con altri tipi di giunzione.

I principali tipi di giunti saldati più in uso nelle tubazioni per acquedotti e condotte in genere sono:

- giunto a sovrapposizione;
- giunto di testa.

a) Giunto a sovrapposizione.

Appartengono a questo tipo i giunti a bicchiere cilindrico, sferico, e sferico con camera d'aria.

Per quanto riguarda l'esecuzione della saldatura, mentre per i tipi cilindrico e sferico non sono necessari particolari accorgimenti, per il tipo sferico con camera d'aria, allo scopo di mantenere l'efficacia della protezione interna realizzata con rivestimento bitumoso interno a spessore, occorre operare con determinati accorgimenti per non danneggiare la protezione del giunto e per far sì che la saldatura avvenga nella zona di massima efficienza.

b) Giunto con saldatura di testa.

Nelle giunzioni con saldatura di testa le estremità dei tubi debbono essere preparate:

- a lembi retti (preparazione ad L)
- lembi smussati (preparazione a V)

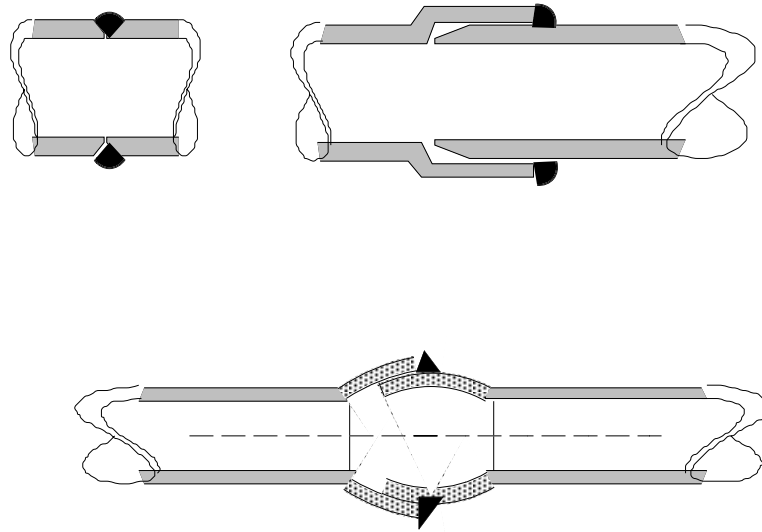
La preparazione varia con lo spessore dei tubi.

Nel caso si presentino determinante condizioni come l'allestimento di condotte esterne provvisorie o di emergenza, si possono adottare altri tipi di giunto studiati per tali situazioni.

Tra questi abbiamo:

- 1) giunto flange libere con anello d'appoggio saldato a sovrapposizione;
- 2) giunto a flange saldate a sovrapposizione;
- 3) giunto a flange saldate da testa;
- 4) giunto Kictoulic e Gibault.

Le figure che seguono illustrano i più frequenti tipi di giunzione saldata: la fig. 10 é relativa a giunzione per la saldatura di testa la fig. 11 a giunto con sovrapposizione a bicchiere ed infine la fig. 12 per giunzioni con giunto sferico, quest'ultimo tipo di giunzione è quello che meglio risponde alle esigenze acquedottistiche ben trattandosi anche a modeste variazioni della direzione dell'asse senza ricorrere a pezzi speciali.



6.2.2.2 I rivestimenti delle tubazioni in acciaio

Si é già detto che le tubazioni metalliche ed in specie di acciaio soffrono del pericolo dell' aggressione chimica pertanto esse vanno rivestite:

Tra i rivestimenti distinguiamo :

- verniciature;
- rivestimenti veri e propri

Qui di seguito vengono brevemente descritti i vari tipi di verniciatura (interna ed esterna) e di rivestimento

Verniciature:

Verniciatura bituminosa interna.

E' utilizzata per condotte d'acqua potabile con lo scopo principale di proteggerne la superficie interna per tutto il periodo antecedente la messa in servizio come pure durante l'esercizio.

Costituita da bitume ossidato, in percentuale non inferiore al 45% sciolto in solvente tipo toluolo, viene stesa con il metodo "air-less" in vari spessori.

Verniciatura epossidica interna.

Qualora si debbono affrontare problemi di corrosione o incrostazione notevolmente gravosi o si vogliono raggiungere elevate efficienze del flusso è possibile rivestirne internamente le tubazioni con vernici epossidiche e derivati (epossi-catrame, epossi-viniliche).

Esse o sono costituite normalmente da una base (la resina), da un induritore e da un diluente, miscelati al momento d'uso con le proporzioni descritte dal produttore.

Vengono applicate su superficie sabbiata, con una o più passate con metodo "air-less", con velocità di verniciatura variabile da pochi cm a 20 cm al secondo e con il tubo in rotazione, durante e dopo la verniciatura per almeno 5÷8 minuti allo scopo di centrifugare la vernice per una migliore compattezza del film ed una ottimale omogeneità della superficie.

Tutte le fasi della verniciatura sono affiancate da un rigoroso controllo qualità, mediante prove di controllo spessore della vernice, adesione, elasticità, omogeneità ed assenza di porosità.

Rivestimenti veri e propri

I rivestimenti bituminosi sono costituiti da uno strato di bitume continuo aderente all'acciaio, che costituisce l'effettiva protezione del tubo dalla corrosione, ed a sua volta difeso da azioni meccaniche esterne accidentali con una adatta armatura di rinforzo, come nastri di tessuto di vetro o di filtro di vetro. Affinché le tubazioni poste in opera abbiano un elevato isolamento dall'ambiente esterno, si deve preservare il rivestimento da abrasioni e incisioni negli accostamenti durante il trasporto o la fase di posa in opera e durante il rinterro.

Esistono due tipi di rivestimento uno "normale" ed uno "pesante"; il primo è costituito da:

- una leggera pellicola di bitume applicata sui tubi
- strato di circa 2 mm di spessore di bitume fillerizzato al 20-25% di materiali inerti non igroscopici applicato a caldo (200-220 °C)

- fasciatura elicoidale in velo di lana di vetro impregnato della stessa precedente miscela di bitume
- aspersione di latte di calce (protezione antisolare).

E' indicato per la posa di condotta in terreni sciolti, poco aggressivi e possibilmente privi di correnti vaganti.

Invece per tubazioni da installare in zone adiacenti e ambienti aggressivi, si usa il rivestimento bituminoso di tipo "pesante".

E' realizzato con i seguenti strati

- verniciatura di bitume
- strato di circa 2 mm di spessore di bitume fillerizzato al 20÷23% di materiali inerti non igroscopici applicati a caldo (200÷220°C)
- fasciatura elicoidale in velo di lana di vetro impregnato della stessa precedente miscela di bitume.
- fasciatura elicoidale in tessuto di lana in vetro impregnato della stessa precedente miscela di bitume
- aspersione di latte di calce (protezione solare).

In condizioni particolarmente difficili è possibile dotare i tubi di un rivestimento bituminoso "rinforzato" costituito come i precedenti, a che ha come armatura due veli di lana di vetro ed un tessuto di lana di vetro.

Rivestimento esterno in polietilene nastrato.

E' costituito dai seguenti strati:

- strato di primer di fondo che consente una adesione completa e tenace tra la superficie opportunamente pulita del tubo e l'adesivo a base di gomma butile, laminato sul nastro di polietilene del rivestimento anticorrosivo;
- uno strato di nastro anticorrosivo (di spessore variabile a seconda del rivestimento normale o pesante) costituito da un film di supporto in polietilene alta/bassa densità su cui è laminato lo strato adesivo a base di gomma butile e resine adesivizzanti sintetiche;

- uno strato di nastro (spessore variabile) per protezione meccanica simile al precedente ma dotato di una particolare tenacità all'intaglio, atto a preservare il precedente dai danni dovuti alla movimentazione.

E' possibile fornire inoltre con rivestimento esterno in polietilene estruso a caldo caratterizzato da maggiore omogeneità e compattezza.

Rivestimento esterno e/o interno a polveri (resine epossidiche od in poliammide)

Sul tubo preventivamente sabbiato, verniciato con primer se il tipo di sostanza lo richiede e preriscaldato, viene distribuito elettrostaticamente il materiale in polvere.

A contatto con la superficie metallica calda ha luogo la polimerizzazione realizzando così un rivestimento caratterizzato da elevate adesioni, omogeneità, leggerezza elasticità, levigatezza, resistenza all'abrasione ed alla aggressione chimica.

In particolare:

- l'elevata adesione ed omogeneità ottenibile con un simile procedimento garantisce nel tempo un'ottimale resistenza nel trasporto di fluidi corrosivi e (poliammide 11) nei problemi di corrosione esterna;
- la leggerezza e l'elasticità sono particolarmente interessanti per semplificare i problemi di movimentazione;
- la levigatezza e la resistenza all'abrasione garantiscono nel tempo l'ottenimento di minori perdite di carico.

6.2.3 Tubazioni in cemento amianto.

Nello stesso periodo della diffusione delle tubazioni in acciaio (anni '50) un'altro materiale ha fatto comparsa nel mondo delle tubazioni per acquedotto, per fognatura e per impianti irrigui: il fibrocemento.

In particolare occorrerebbe parlare di amianto-cemento essendo l'amianto la fibra adottata per le tubazioni.

Oggi l'uso di tale materiale é scomparso a causa della dichiarata cancerosità dell' amianto e dal veto alla sua lavorazione.

Tuttavia é da tener presente che tutt'oggi buona parte del patrimonio acquedottistico, fognario ed irriguo é realizzato con tubi di tale materiale per cui é necessario conoscerlo

Fibre di amianto vengono mescolate a cemento nella proporzione approssimativa del 20% di amianto ed 80% di cemento, in appositi impianti di dosaggio e miscelazione. Detto impasto veniva poi steso a pressione su forme cilindriche e questo procedimento, tutto automatico, fa si che le fibre di amianto assumano automaticamente un'orientamento tangente al tubo che fa si che la loro azione sia simile a quella dell'armatura in c.a.

Il procedimento costruttivo comportava infatti una notevole compressione crescente dall'esterno verso l'interno sulla parete del tubo che favoriva le doti di compattezza e impervietà degli ioni che a loro volta costituiscono una struttura assimilabile ad una membrana elettrica a scambio ionico e quindi resistente alle azioni aggressive degli elettroliti.

Particolari accorgimenti venivano adoperati, per migliorare le caratteristiche del materiale (lunghezza delle fibre, tipo di fibra, additivi del cemento atti a migliorare l'aderenza delle fibre ed a diminuire la permeabilità delle pareti del tubo.

La produzione dei tubi in fibrocemento avveniva in 6 serie parallele, differenti tra loro per spessore del tubo e quindi per diversa pressione di esercizio. Qui di seguito si riportano le caratteristiche delle 6 classi.

Classi		A	B	C	D	E	F
Pressione di esercizio	Atm.	3	6	10	15	20	25
Collaudo in opera	Atm.	5	10	15	20	25	30
Collaudo in stabilim.	Atm.	7,5	15	20	30	35	45

Le classi che più comunemente venivano usate erano la C e la D.

I diametri commerciali, corrispondenti in mm. ai diametri interni sono:

50	60	70	80	90	100	125	150	200	225	250
300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000	

La lunghezza dei tubi era di 3 metri per i diametri più piccoli e di 5 per quelli maggiori, spesso tuttavia la lunghezza commerciale è ridotta a 4 metri.

La giunzione di questi tubi non è standardizzata in quanto ogni ditta "Eternit", "Fibronit", "Italtubi" ecc... adottava un proprio sistema di giunzione in particolare, rispettivamente è però identico il principio

Le estremità dei tubi sono opportunamente tornite (dagli stessi fabbricanti) o, se il tubo non è completato possono venir torniti in fase di messa in opera dopo il taglio (fig. 19).

Con il fibrocemento non è possibile realizzare giunzioni flangiate, così come con molti altri materiali, ma dove ciò occorra è possibile giuntare i tubi di fibrocemento con quelli di acciaio o di ghisa tramite i giunti Gibault. Di tali si parlerà nel paragrafo dedicato ai pezzi speciali.

I giunti sono comunque di tipo elastico con guarnizioni di gomma; i pezzi speciali sono in ghisa.

Essendo il fibrocemento un materiale non metallico inerte alle azioni elettrochimiche, per tale "pregio".ebbe periodi in cui incontro i favori e dei progettisti e dei gestori degli acquedotti e delle reti irrigue

E' invece attaccabile da acque aggressive e solforose che dilavano la calce per cui era bene scegliere il tipo di cemento in base alle caratteristiche del terreno di posa e dell'acqua convogliata; all'occorrenza veniva protetto con vernici bituminose o d'altro tipo.

Il suo maggior difetto¹² risiedeva nella sua estrema fragilità, per cui occorre la massima precauzione nel trasporto, maneggio e posa, che andava fatta con letto e copertura di sabbia vagliata; spesso questi tubi si spezzano per la sola pressione dell'asta di uno strettoio o di una saracinesca durante l'assestamento del terreno.

Il loro costo era inferiore a quello dei tubi in acciaio.

Sono stati largamente adoperati negli anni 60 e nei primi anni '70, poi l'avvento dei tubi di materiali plastici e le prime ipotesi circa la tossicità del materiale ne hanno escluso l'uso per le condotte acquedottistiche, che tuttavia fu ancora per molto tempo a rilevante per le condotte irrigue e fognarie.

¹² oltre la menezionata cancerosità

Il tempi più recenti con l'emanazione dell' Ordinanza del Ministero della Sanità del 26/6/1986 e della circolare n.ro 42/86 del 1/7/1986 nonché della nota di chiarimenti del Direttore Generale della Divisione V della Direttore Generale Servizio Igiene Pubblica del citato Ministero veniva proibito, a decorrere dal 30/4/1991 l'uso per scopi idropotabili di tubazioni di amianto-cemento contenenti crocidolite¹³.

Di fatto tale norma pose fine all'utilizzo di tale materiale (norme più recenti hanno poi proibito in toto la lavorazione dell' amianto)

La detta Ordinanza ministeriale era tuttavia un'adeguamento alla normativa CEE 83/478 (che proibiva l'uso del cosiddetto amianto bleu cioè amianto contenente crocidolite)

6.2.4 La ghisa sferoidale (GS)

¹³ Di fatto la circolare Ministeriale avrebbe ancora permesso l'uso di tali tubi purché per il trasporto di acque non aggressive.

Un'acqua veniva definita aggressiva se l'indice di aggressività I.A fosse stato inferiore a 12.

Tale indice venne definito dalla AWWA ((America Water Works Association) con la seguente formula:

$$I.A = pH + \log_{10} (A - H) \quad (*)$$

dove:

A = alcalinità totale, espressa in mg/l di CaCO₃

H = durezza calcica, espressa in mg/l di CaCO₃

la (*) è stata fatta propria oltre che dal Ministero della Sanità da:

- EPA (Environmental Protection Agency) , una sorta di Ministero della Sanità statunitense;
- O.M.S. (Organizzazione mondiale della sanità)

Nell'ultimo ventennio alla ghisa si è dapprima affiancata la ghisa sferoidale per poi sostituire completamente il prodotto originario. La ghisa sferoidale è un materiale con struttura micrografica molto diversa da quella della ghisa ordinaria.

In questa (fig. 14) la grafite crea delle soluzioni di continuità a causa della sua forma "lamellare", nella matrice metallica, ben diversa è la forma della grafite presente nella ghisa sferoidale (fig. 13)

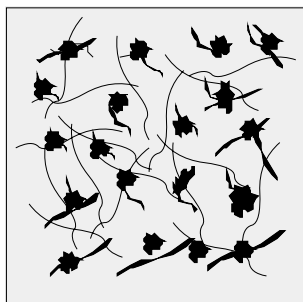


fig. 13

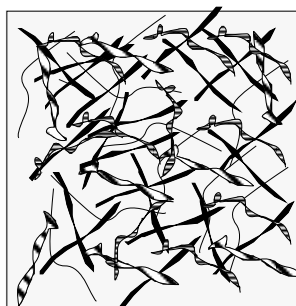


fig. 14

cioè essa si presenta in noduli concentrati detti sferoidali e non sono presenti soluzioni di continuità e ciò elimina quasi completamente la classica fragilità della ghisa.

La ghisa sferoidale si differenzia dunque dalla ghisa grigia non tanto per il contenuto in carbonio che è pressoché uguale nelle due leghe: ghisa sferoidale 3,75%, ghisa grigia 3,65%, quanto per la configurazione nettamente diversa dei cristalli di grafite, ottenuta mediante l'introduzione nella lega di una piccolissima quantità di magnesio (0,03).

La forma tondeggiante dei cristalli e la loro più fine suddivisione nella matrice metallica, sono i fattori determinanti le elevate caratteristiche meccaniche della ghisa sferoidale, paragonabili a quelle dell'acciaio ed il conseguente miglioramento delle qualità tradizionali della ghisa grigia, quali:

- resistenza alla corrosione interna ed esterna;
- attitudine alla formatura;
- lavorabilità a macchina;
- resistenza all'usura da attrito;

- capacità di assorbimento delle vibrazioni.

Le caratteristiche della ghisa sferoidale per tubi, sono definite dalla norma internazionale ISO 2531 edizione settembre 1979 e relativo *addendum* novembre 1980, integralmente recepita dalla normativa italiana:

La detta norma fissa lo spessore normale dei tubi. Tale spessore é dato dalla formula:

$$s = K (0,5 + 0,001 d_n) \quad (1)$$

con:

s spessore del tubo in mm

d_n diametro nominale del tubo

K coefficiente definito come segue:

K = 9 per i tubi dei prospetto 9

K = 12 per raccordi dei prospetti da 20 a 26 e da 32 a 33
e da 41 a 43 (tutti i raccordi esclusi i T)

K = 14 per raccordi dei prospetti da 27 a 31 e da 44 a 46
(per i T)

Il prospetto 9 é qui di seguito parzialmente riprodotto.

Diametro nominale	Diametro	Spessore	peso al metro	peso gicchiere
DN	DE	s	Kg/m	Kg/m
40	56	6	6,6	1,7
50	66	6	8	2,1
60	77	6	9,4	2,5
65	82	6	10,1	2,7
80	98	6	12,2	3,4
100	118	6,1	15,1	4,3
125	144	6,1	18,9	5,7
150	170	6,3	22,8	7,1
200	222	6,4	30,6	10,3
250	274	6,8	40,2	14,2
300	326	7,2	50,8	18,6
350	378	7,7	63,2	23,7
400	429	8,1	75,5	29,3
500	532	9	104,3	42,8
600	635	9,9	137,1	59,3
700	738	10,8	173,9	79,1
800	842	11,7	215,2	102,6

Tralasciando le modalità di prelevamento dei campioni, fissati dalle norme suddette, qui si riporta il prospetto 7 delle dete con le caratteristiche meccaniche minime.

prova di trazione				
Tipo di materiale	Carico unitario di rottura	Carico unitario di spostamento dalla legge proporzionale (*)	Allungamento percentuale minimo	
			DN < 1000 mm	DN ≥ 1200 mm
	N/mm ²	N/mm ³		
centrifug.	420	300	10	7
per colata	400	300	5	
(*)	prova non routinaria			

La durezza misurata alla Brinell con sfera da 10 mm oppure da 5 mm non deve superare il valore di 230 e 250 per i pezzi speciali.

6.2.4.1 Le giunzioni delle tubazioni in ghisa sferoidale

Tubi e raccordi in ghisa possono essere provvisti di vari tipi di giunti, la specificazione riguarda tubi con raccordi a bicchiere per giunti di gomma e raccordi a flangia.

Tipi di giunzione più diffusi sono:

- 1) giunto rapido 2 GS
- 2) giunto express 2 GS

Per il giunto rapido 2GS la giunzione è ottenuta per compressione di una guarnizione di gomma, inserita nell'apposito alloggiamento all'interno del bicchiere, sulla canna del tubo imboccato.

Il profilo interno del bicchiere ha:

- un alloggiamento sagomato come sede della guarnizione di gomma;
- un tratto a sezione sagomata tale da permettere le deviazioni angolari tra i tubi accoppiati.

La particolare forma tronco-conica ed il profilo dell'anello di gomma, assicurano la compressione necessaria alla tenuta, particolarmente a bassa pressione.

Per l'esecuzione del giunto, è sufficiente inserire la canna del tubo nel bicchiere corrispondente, munito della propria guarnizione.

Quest'ultima ha la funzione di trasmettere le pressioni del fluido convogliato alla superficie cilindrica di contatto con la canna del tubo, si vengono così a creare forze antislittamento proporzionali alle pressioni interne.

La grande sezione delle guarnizioni assicura larghe superfici di aderenza per la tenuta idraulica ed una notevole riserva di elasticità.

Nei tubi con giunto elastico a bulloni Express 2GS, la giunzione è ottenuta per la compressione di una guarnizione di gomma posta all'interno del bicchiere.

La compressione della guarnizione è ottenuta per mezzo di una controfalanga fissata con bulloni, la cui estremità, opportunamente sagomata appoggia sull'esterno del bicchiere.

Il profilo interno del bicchiere deve avere:

- un alloggiamento per la guarnizione di gomma
- un tratto cilindrico per il centraggio della canna imboccata
- un tratto a sezione tronco-conica che permette le derivazioni angolari dei tubi accoppiati.

Invece il profilo esterno del bicchiere deve presentare un collare opportunamente sagomato per l'aggancio dei bulloni di serraggio.

Si deve aggiungere che il giunto express può essere usato anche con anello di ritenuta; le particolarità costruttive di questo tipo di giunto eliminano qualsiasi pericolo di sfilamento della giunzione.

L'impiego di tale giunto è raccomandato per terreni cedevoli, condotte sottomarine, condotte a forte pendenza.

Le guarnizioni dei giunti sopra descritti hanno un profilo in modo da garantire una notevole riserva di elasticità e larghe superfici per la tenuta idraulica.

Per ciascun diametro esistono diversi tipi di guarnizioni a seconda della natura del fluido convogliato.

Le figure che seguono illustrano il giunto "Express" cioè ottenuto con la compressione dell'anello di gomma tra due tubi ottenuta con controflangia fissata a mezzo di bulloni, opportunamente sagomati al bicchiere del tubo (fig. 15)

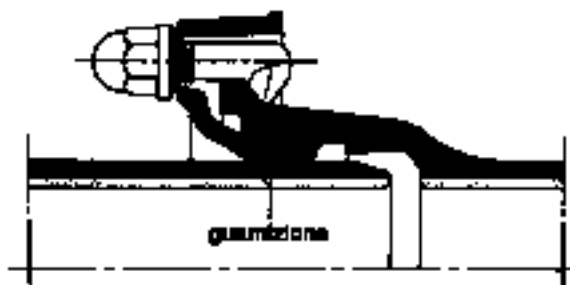


fig. 15

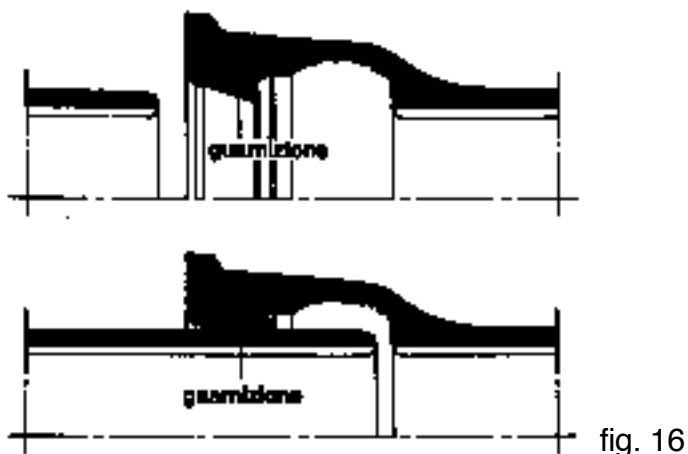


fig. 16

che il giunto rapido realizzato mediante la compressione di una guarnizione di gomma, inserita nel proprio alloggiamento all'interno del bicchiere, sulla canna del tubo imboccato (fig. 16) .

6.2.4.2 I rivestimenti delle tubazioni in G.S.

Salvo prescrizioni contrarie, tutti i tubi e raccordi devono essere rivestiti all'interno ed all'esterno.

Il rivestimento deve asciugarsi rapidamente, essere ben aderente e non deve squamarsi. Il rivestimento interno non deve contenere alcun elemento solubile in acqua, né alcun prodotto che possa dar sapore all'acqua, dopo un opportuno lavaggio della condotta.

Per le condotte di acqua potabile o di fluidi alimentari, il rivestimento interno non deve contenere elementi tossici.

Nei terreni più aggressivi, speciali rivestimenti esterni non aderenti in polietilene, di basso costo d'acquisto e di posa in opera, assicurano l'integrità nel tempo dei tubi in ghisa sferoidale.

I tubi in ghisa sferoidale destinati al settore acquedottistico per uso potabile o irriguo vengono normalmente forniti di un rivestimento interno in malta centrifugata il cui scopo è triplice:

- garantire un'assoluta igienicità;

- preservare la parete metallica da corrosioni interne;
- conferire un basso coefficiente di scabrezza alla parete interna del tubo e la sua inalterabilità nel tempo.

La resistenza alla corrosione del rivestimento cementizio interno dipende dal bassissimo tenore di calce libera nel cemento d'altoforno impiegato per la sua composizione.

Le ditte costruttrici dei tubi in ghisa sferoidale dotano questi tubi di rivestimento interno in calcestruzzo centrifugato allo scopo di conseguire, rispetto al rivestimento tramite bitumatura i seguenti vantaggi:

- minore coefficiente di scabrezza;
- maggiore resistenza alla corrosione.

Speciali rivestimenti interni e, se del caso, speciali guarnizioni, consentono il trasporto di fluidi particolarmente aggressivi, quali ad esempio: acque provenienti da dissalatori, idrocarburi greggi e solforati ecc..

6.2.5 Tubazione in P.R.F.V.

In Italia le tubazioni in acciaio di P.R.F.V. hanno incominciato ad essere usate per acquedotto verso il 1950 pur rappresentando uno dei materiali più recenti, hanno ormai oltre 20 anni di esperienza.

Nel 1988 anche per la costruzione e la prova dei tubi in PRFV sono state adottate dall' UNI (istituto normativo italiano) apposite norme. (UNI 9032 e 9033)

La normativa prevede diverse (5) tecnologie di produzione, ma in pratica solo tre sono quelle più comunemente adottate:

- tubi costruiti con avvolgimento dei filamenti di vetro su mandrino (tubi classe A UNI 9023);
- tubi con fibre corte di vetro e prodotti per centrifugazione con opportune alternanze di resine, vetro e sabbie (tubi classe D. UNI 9023);

- tubi costruiti con avvolgimento dei filamenti di vetro su mandrino additivati con sabbie al fine di aumentarne la rigidità (tubi classe C UNI 9023);

La giunzione che ricorda quella del fibrocemento, è comunque realizzata a manicotto. Ovviamente sono diversi, a seconda delle case costruttrici i profili delle guarnizioni di tenuta. Tutte le case costruttrici propongono varianti del giunto con la caratteristica della non sfilabilità.

Il P.R.F.V. è di per sé atossico, trattandosi di vetro.

Il tubo in P.R.F.V. presenta indubbiamente numerosi pregi fra i quali i più rilevanti sono i seguenti:

- essendo di materiale non metallico è perfettamente inerte alle corrosioni elettrochimiche;
- è assolutamente inattaccabile da sostanze chimiche come acidi forti, basi forti, soluzioni di sali per cui non viene danneggiato da alcun tipo di terreno e di acqua convogliata;
- è leggerissimo avendo un peso specifico medio di 1,40 Kg/dmc contro i 7,5 dell'acciaio e il 2,5 del cemento; può quindi essere facilmente trasportato anche su terreni impervi e lontani da strade carreggiabili;
- è liscio e con pareti inalterabili nel tempo, per cui le perdite di carico sono molto inferiori a quelle degli altri tipi di tubo.

In particolare il coefficiente β della formula di Darcy

$$J = \beta \frac{Q^2}{D^5}$$

valore di β	materiali
0,0014	PRFV
0,0016	cemento
0,0025	acciaio

- la sua deformabilità esercita un'azione smorzante sui colpi d'ariete, in quanto la celerità risulta nettamente inferiore rispetto agli altri tipi di tubo, essendo dell'ordine di :

Celerità	Materiale
[m/s]	
500	PRFV
900	fibrocemento,
1210	acciaio
1300	ghisa.

Il maggior inconveniente è dato dalla modesta rigidezza, specie per le tubazioni a filamento continuo avvolto su mandrino, per cui è necessaria la posa con letto e copertura di sabbia; la posa a temperatura ambiente inferiore a 0°C va fatta con alcune precauzioni.

Un tempo era necessario evitare l'esposizione prolungata dei tubi ai raggi solari, oggi con l'adozione di alcuni accorgimenti in fase costruttiva, l'azione dei raggi U.V. è inficiata.

Le prese in carica sono possibili, curando però di usare collari e staffe che avvolgano bene il tubo per evitare che la sua deformazione sotto il tiraggio dei bulloni provochi perdite di acqua.

Possono essere prodotti pezzi speciali in PRFV.

Per il collegamento e l'inserimento di accessori di rete, quali saracinesche, idranti, sfiati, ecc., si preferisce ricorrere a tronchetti in acciaio calibrati;

Sebbene sia in linea teorica possibile progettare il tubo in PRFV in funzione delle esigenze qui di seguito facciamo riferimento alle cosiddette serie commerciali.

I tubi in PRFV occorre distinguere se i tubi sono da adoperare per realizzare condotte in pressione od a pelo libero.

In Italia sono attualmente in uso per le condotte in pressione tre serie PN 4, 6 e 10.

Nella PN 10 si fabbrica fino al diametro di 160 mm esterno, nella PN 4 si arriva al Ø 400 mm.

Il costo dei tubi in PRFV, un tempo leggermente superiore a quello dell'acciaio, sta oggi divenendo inferiore sia per il modificato rapporto del costo dei materiali, sia per il minore costo di trasporto e di posa, sia per l'eliminazione dei costi di protezione catodica attiva.

Si può affermare che nei limiti di sezione e pressione attualmente in commercio, questo tubo risulta tecnicamente ed economicamente ideale dovunque vi siano correnti vaganti, terreni ed acque aggressive, zone impervie e lontane da strade carreggiabili.

Le tubazioni di PRFV hanno trovato negli ultimi anni applicazioni di rilievo e con risultati tali da proporsi come soluzioni progettuali sul piano tecnico ed

economico in molte circostanze, in conseguenza di ciò la produzione di questi tubi si è moltiplicata anche nel nostro Paese.

Elevata resistenza meccanica, leggerezza; resistenza alla corrosione, sembra tuttavia che il FRFV può subire una strana corrosione indotta da un' alta deflessione in ambiente acido (es.: scarichi settici); possibilità di essere formato in varie fogge e rinforzato secondo quanto occorre; relativa facilità di lavorazione; apertura a miglioramenti; approfondimento: sono queste le caratteristiche che rendono il prodotto molto interessante .

Anche taluni aspetti a prima vista negativi, quali presenza di creep, modulo elastico basso rispetto alla resistenza, ritornano favorevoli per molte applicazioni, prima tra queste le strutture dove le sollecitazioni nascono da deformazioni imposte e/o impedito, come ad esempio le tubazioni interrate, dove l'elevato rapporto resistenza su modulo elastico consente di operare nettamente nel campo delle tubazioni flessibili, con vantaggio nel dimensionamento, specie per i diametri medio-grandi.

Le caratteristiche positive dei tubi di PRFV: resistenza alla corrosione esterna ed interna, permanente assenza di scabrezza, leggerezza, facilità di montaggio, hanno favorito il loro impiego nell'impiantistica (industria chimica, industria petrolifera) dove i pregi avevano valore sufficiente a coprire il maggiore costo iniziale del nuovo tipo di tubo.

Successivamente, grazie alla meccanizzazione dei metodi produttivi, alla sempre maggiore diffusione delle materie prime impiegate e quindi al minor costo, ed ad una migliore conoscenza strutturale e quindi a progettazioni più economiche, si è avuta la diffusione anche nelle opere civili.

I materiali compositi come P.R.F.V. sono costituiti da una matrice di resina in cui sono poste le fibre, che possono esser sia lunghe che corte.

Le fibre hanno il compito di aumentare la resistenza della matrice in cui vengono incluse.

Il massimo valore della resistenza del composito si ottiene proprio nella direzione in cui sono allineate le fibre, quindi sistemandole opportunamente, è possibile ottenere resistenze particolarmente elevate del materiale in determinate direzioni.

In definitiva è possibile progettare, nel senso più lato delle parole, il composito stesso, in maniera che questo abbia una struttura capace di reggere a sforzi multiassiali.

La matrice è costituita da una resina termoindurente, che conferisce resistenza al manufatto e tiene al loro posto le fibre.

Le resine fenoliche sono state le prime ad essere utilizzate come matrici esse hanno alcune proprietà molto interessanti.

Soprattutto un elevato potere dielettrico, una grande resistenza meccanica e chimica.

Oggi sono usate prevalentemente le resine poliestere e le resine epossidiche.

Tra le fibre più usate per la preparazione di compositi ci sono: fibre di vetro, sono quelle di maggiore uso, hanno un carico di rottura di circa 400 kg (e un allungamento a rottura del 2-3%).

Vengono forniti in forma di fili intrecciati o in forma di matasse tipo feltro.

Oltre alle fibre di vetro, esistono altri tipi di fibre dotate di notevolissime caratteristiche ed in particolare di un modulo elastico molto elevato con una conseguente minima deformabilità, tali da renderle idonee in specifiche applicazioni come fibre di boro, di carbonio o organiche (kevlar) queste ultime sono molto resistenti al taglio e fatica.

6.2.5.1 Tecnologie di produzione dei tubi in vetroresina

Fra le molte tecnologie di trasformazione che vengono attualmente utilizzate nella fabbricazione di materiali compositi in vetroresina, la formatura per avvolgimento filamentare e per centrifugazione rivestono un ruolo primario nella produzione di manufatti cilindrici ed in particolare di tubi.

Queste due tecnologie rispondono, infatti, sia all'esigenza di posizionare le fibre e/o i riempimenti, al fine di impartire al materiale particolari caratteristiche di resistenza in alcune direzioni, secondo una precisa sequenza imposta dal progetto del composito, che alla necessità di controllare accuratamente la composizione della resina ed il processo di cura.

I maggiori requisiti di questi prodotti sono, come visto, l'alta resistenza, il basso peso ed i sempre più bassi costi di produzione, associati ad una rapidità di costruzione ed economicità delle materie prime nei confronti degli altri materiali compositi a base di fibre.

6.2.5.2 Avvolgimento filamentare

Molte strutture per applicazioni speciali, quali serbatoi, condotte e tubi che lavorino ad alte pressioni, sono fabbricate con la tecnica dell'avvolgimento filamentare.

L'apparecchiatura per l'avvolgimento filamentare è progettata per applicare una matassa continua di materiale fibroso su di un mandrino di forma prestabilita.

Le fibre possono essere già preimpregnate o essere continuamente ricoperte di resina nel momento stesso in cui vengono avvolte sul mandrino.

Questa fase è controllata e programmata elettronicamente da apparecchiature automatiche che non solo indirizzano il posizionamento del filamento, seguendo anche complessi cinematismi, ma contemporaneamente verificano la tensione e la condizione del filamento in ogni punto.

Inoltre, adottando la tecnica dell'avvolgimento polare, si accoppia alla rotazione del mandrino un secondo moto rotatorio dell'asse delle bobine con le fibre intorno al mandrino stesso, è possibile ottenere strutture costituite da più lamine sovrapposte dove le fibre sono orientate secondo la stessa angolazione. Il manufatto viene successivamente riscaldato in forno al fine di favorire la cura della matrice polimerica.

6.2.5.3 Fabbricazione per centrifugazione

Sebbene la formatura per centrifugazione sia egualmente utilizzata per la produzione di tubi, essa presenta delle caratteristiche di processo e delle potenzialità essenzialmente diverse da quelle dell'avvolgimento filamentare.

L'apparecchiatura di formatura per centrifugazione è, infatti, progettata per distribuire, attraverso un braccio mobile, strati successivi di resina e di rinforzo, sia esso in forma di fibre corte che di sabbie silicee, in uno stampo ruotante sul suo asse principale.

Durante la rotazione la resina ed il rinforzo vengono schiacciati lungo le parti dello stampo che, posto in un forno, viene, contemporaneamente o a fasi alterne, riscaldato al fine di fornire alla resina l'energia necessaria alla polimerizzazione.

Con questa tecnologia si ottengono dei manufatti con una ottima finitura superficiale e privi di difetti, come le inclusioni di bolle d'aria che vengono espulse dalla massa resinosa sottoposta a forza centrifuga.

Le due tecnologie di produzione precedentemente descritte non si pongono come alternativa l'una dell'altra, ma, generalmente, trovano riscontro in applicazioni diverse dove sono privilegiate le proprietà peculiari al tipo di tecnologia.

6.2.5.4 Le giunzioni dei tubi in PRFV

I tubi PRFV di cui stiamo trattando, vengono collegati con diversi tipi di giunti, essi sono di tipo: a manicotto, a bicchiere, testa a testa, a flangia.

1) Giunto a manicotto

La giunzione dei tubi si ottiene mediante un manicotto esterno nel quale la tenuta sarà assicurata da uno o più anelli elastomerici di opportune sezioni inseriti sul tubo o nel manicotto stesso in apposite sedi.

Tale giunto di natura flessibile deve avere una resistenza alla pressione interna almeno pari a quella degli elementi collegati.

Esso può essere impiegato sopra e sottoterra e sott'acqua, per condotte a superficie libera, a pressione ed in depressione.

I giunti dovranno essere in grado di mantenere le doti di tenuta con un'angolazione tra gli assi dei tubi adiacenti, i cui valori massimi sono indicati dalle case costruttrici, sia che tale angolazione sia disposta in fase di montaggio, sia che venga provocata da azioni esterne.

2) Giunto a bicchiere

La giunzione dei tubi si ottiene inserendo l'estremità maschio nella corrispondente estremità a bicchiere di un tubo.

Il bicchiere dovrà essere costruito monoliticamente con il tubo durante la costruzione dello stesso.

Il giunto a bicchiere è di natura rigida o flessibile e deve avere una resistenza alla pressione interna almeno pari a quella degli elementi collegati.

Può essere impiegato sopra, sottoterra e sott'acqua per condotte a superficie libera, in pressione nonché depressione.

La tenuta idraulica può essere conseguita sia con guarnizione di elastomero sia con matrice a base di resine termoindurenti.

In quest'ultimo caso la continuità meccanica è ottenuta con la ripresa strumentale costituita dalla fasciatura con vetro e resina compatibile con quella del tubo.

3) Giunto testa a testa

Questo tipo di giunzione, che verrà utilizzata per l'inserimento di tronchetti nella tubazione, per le diverse necessità che possono nascere nel corso della posa, potrà essere effettuato:

- a) con l'uso di giunti metallici con guarnizione di gomma dei vari tipi di commercio per uso su materiali plastici;
- b) con fasciatura, in resina e/o stuoia da eseguire in cantiere e sigillatura con mastice, o con profilati in gomma di opportuna sagomatura.

4) Giunto a flangia

Tale tipo di giunzione è adoperato essenzialmente per gli accoppiamenti con le apparecchiature di linea e/o con pezzi speciali non interrati.

Tale giunto si ottiene fissando le due estremità flangiate con bulloni o tiranti con rondelle e con interposta guarnizione.

Il giunto a flangia è di natura rigida e deve assicurare una resistenza a pressione almeno pari a quella degli elementi collegati.

Le flange possono essere di tipo mobile o fisso.

Le flange fisse ed i cordoli di trattenuta delle flange mobili dovranno essere realizzati con procedimento atti a garantire la continuità meccanica del tubo.

6.2.5.5 Affidabilità delle tubazioni in PRFV

Alla luce delle considerazioni svolte circa le condizioni ambientali, le caratteristiche del terreno e dell'acqua in condotta, relative alla realizzazione di condotte idriche ed in particolare di acquedotti ed all'influenza che dette caratteristiche possono avere sulla durabilità dell'opera, deve essere sempre valutata, in special modo per determinate zone, l'aggressività potenziale dell'ambiente in posa.

I tipi di ammaloramento più comuni per le condotte interrato sono dovuti ai fenomeni corrosivi se si tratta di tubazioni metalliche, ed agli attacchi chimici nel caso di tubazioni in calcestruzzo, mentre avvengono fenomeni di entrambi i tipi nelle strutture realizzate in cls armato ordinario e precompresso.

Nelle tubazioni di plastici rinforzati salvo particolari dovuti a fluidi specificamente aggressivi ed a temperatura di esercizio molto elevate non esistono in genere problemi di attacco.

Per quanto riguarda l'acqua trasportata questa, pur potendosi definire potabile, potrebbe contenere alcuni sali, come i cloruri ed i solfati, in quantità prossima al limite di pericolosità.

In queste condizioni l'impiego dei materiali tradizionali quali il calcestruzzo e le leghe ferrose, oltre che sconsigliabile, richiede l'aggiunta di misure costose di vario genere per la prevenzione della corrosione, necessità questa che non si pone quando venga utilizzato un materiale di per se stesso altamente resistente e del tutto rispondente alle particolari condizioni di impiego, come risultano essere, dopo un'esperienza ventennale, i plastici rinforzati.

Come è stato visto i plastici rinforzati sono materiali compositi costituiti da una resina termoindurente e da un rinforzo in fibra di vetro a cui spetta essenzialmente il compito della resistenza meccanica, mentre la resina, che funziona da matrice, ha quello della elevata resistenza agli agenti corrosivi.

Nella produzione commerciale Italiana (Hobas), ottenuta per centrifugazione, sono presenti materiali di riempimento, come la sabbia, che servono ad impartire una maggiore rigidità, compattezza e resistenza agli urti e quindi a ridurre il costo della posa in opera.

Senza soffermarsi a considerare le altre caratteristiche peculiari delle tubazioni in plastici rinforzati nei confronti di quelle con altri materiali, quali la leggerezza, (10 volte superiore a quelle in calcestruzzo), la bassa scabrosità (sono ritenute idraulicamente lisce), la notevole resistenza alle correnti vaganti e, limitandoci ad esaminare la proprietà che maggiormente determina l'affidabilità nel tempo, e cioè la resistenza alla corrosione, si può osservare come sia possibile, in funzione dell'intensità dell'attacco, scegliere il tipo di resina più idoneo a garantire la durabilità della condotta tra i vari tipi di resine poliestere e di epossidiche che offre il mercato.

Così esistono condotte in plastici rinforzati che possono trasportare sostanze fortemente corrosive, quali solventi, liquidi alcalini ed acidi, anche a temperature elevate, e che risultano in esercizio da oltre venticinque anni.

Nel caso di acquedotti la situazione è, naturalmente, molto diversa ed il trasporto di acqua potabile non pone particolari problemi per la scelta del tipo di resina, che con tutta affidabilità può essere scelto tra le poliestere d'impiego corrente.

E' evidente che la riuscita dell'opera non dipende solo dall'opportuna scelta del materiale ma anche dalla validità della progettazione, dalla cura della fabbricazione e dalle modalità di installazione, operazione questa di notevole importanza.

Una particolare considerazione merita la progettazione di condotte in plastici rinforzati.

Essa deve tenere conto di numerosi fattori come: pressione interna, terreno circostante, sollecitazioni diverse, flessioni della condotta e condizioni ambientali, ed essendo queste condotte usate primariamente in applicazioni interrato, dove la natura flessibile della parete della condotta richiede un'analisi speciale, lo studio dell'interazione condotta-suolo è un elemento fondamentale di tutti i calcoli di progettazione relativi a questo tipo di installazione.

6.2.6 Il cemento armato ed il c.a.p. ed il T.A.D.

Dai primi del secolo, ma soprattutto nell'ultimo dopoguerra, ha avuto diffusione di uso, per i diametri maggiori, il cemento armato e, più recentemente il cemento armato precompresso. I tubi in c.a. possono essere centrifugati e non centrifugati .

Tra questi notevole diffusione hanno avuto i tubi VIANINI (dal nome della ditta costruttrice) che, in effetti subiscono durante la presa del calcestruzzo una lenta rotazione al fine di comprimere l'impasto e di assestarlo. L'armatura è costituita da una o più eliche sorrette e legate a tondini longitudinali (od ad eliche di passo maggiore. Il calcolo dell'armatura è eseguito nell'ipotesi che essa debba, da sola, sopportare l'intera trazione dovuta alla pressione presente all'interno del tubo. Molto accurata deve essere la granulometria degli inerti al fine di ottenere un conglomerato molto chiuso diminuendo la porosità ed aumentando la resistenza.

L'impasto deve essere ricco in cemento ed il rapporto acqua/cemento può essere anche molto contenuto, almeno nei tubi centrifugati, in quanto si sopperisce alla mancanza di fluidità del calcestruzzo con la centrifugazione. I tubi dopo la presa vengono tenuti per 15÷20 giorni sommersi in acqua.

I giunti sono a manicotto ed a bicchiere, nel primo caso si tratta di un manicotto di cemento armato con tele metalliche e tondini. Nel secondo si realizzano con corda catramata pressata e sugellatura con malta cementizia.

I tubi in c.a.p. sono realizzati o con elica tesa meccanicamente od effettuando il getto su armatura pre-riscaldata. Lo scopo della precompressione è quello che il calcestruzzo rimanga sollecitato a compressione anche con condotta in pressione.

Un'interessante tipo di tubo in c.a.p. è il VIANIN-ROCLA. Tramite un procedimento di lenta centrifugazione e costipamento per rullatura (che avviene su apposite macchine della ROCLA di Melbourne) viene costruito un tubo di calcestruzzo che viene poi cerchiato con filo di acciaio teso tramite opportunamente macchine automatiche a funzionamento pneumatico. Successivamente il tubo viene rivestito con altro calcestruzzo.

6.2.6.2 II T.A.D.

Il tubo "TAD", tubo ad armatura diffuso brevettato e prodotto dalla VIANINI INDUSTRIA S.p.A., si differenzia dalla corrente produzione per il fatto di avere le armature trasversali e longitudinali costituite da un elevatissimo numero di fili di ferro, di alta resistenza e di diametro assai ridotto, uniformemente distribuiti nello spessore di parete.

La diffusione dell'armatura dà luogo alla formazione di un materiale composito dotato di particolari caratteristiche di resistenza, specie nei confronti delle sollecitazioni di trazione, determinando con ciò prestazioni dei tubi TAD davvero

eccezionali e tali da qualificarli per l'impiego a pressioni anche elevate, per le quali fino ad oggi era necessario impiegare tubi in calcestruzzo precompresso o in acciaio.

Le basi teoriche del tubo TAD sono semplici e ben note.

E' sufficiente ricordare, quale dato ormai certo, che la capacità del calcestruzzo di seguire la deformazione del ferro senza fessurarsi aumenta con l'aumentare della superficie specifica di contatto dei due materiali, ossia con la diffusione del ferro nel calcestruzzo.

Con elevati tassi di diffusione si può quindi realizzare un materiale composito che presenta, all'atto della prima microfessurazione, resistenza di gran lunga superiore a quella della malta con cui è confezionata e, superato tale limite, reagisce alle sollecitazioni di trazione mediante un particolare processo di dispersione delle microfessure, così da mantenere praticamente inalterata la sua funzionalità fino a sollecitazioni più che doppie di quelle che hanno determinato la prima microfessurazione e molto prossime a quelle di rottura dell'armatura metallica.

6.2.6.2.1 La costruzione dei tubi ad armatura diffusa T.A.D.

Il tubo ad armatura diffusa (TAD) viene realizzato per proiezione del conglomerato in strati di spessore sottile (3÷4 mm) e contemporaneo avvolgimento dei fili di armatura su un mandrino rotante, che costituisce la forma interna; l'attuale produzione abbraccia il campo dei diametri da 400 a 1200 mm, in elementi di lunghezza da 4 a 5 m.

Il conglomerato, per poter essere proiettato senza subire fenomeni di selezione dei componenti in modo da formare strati omogenei e regolari su spessori così ridotti ed inoltre, appena proiettato, diventare autoportante e in grado di sopportare l'azione tagliente dei fili di acciaio, viene prodotto con opportuna granulometria (dimensione massima dell'inerte: 3÷4 mm) elevato dosaggio di cemento (600÷700 kg/m³), ridotto rapporto acqua-cemento e slump quasi nullo.

La compattazione è assicurata dall'elevata velocità di impatto del getto sul mandrino rotante; la stagionatura viene eseguita a vapore: dopo circa 4 ore di trattamento è possibile estrarre il tubo dal mandrino e reimpiegare quest'ultimo.

L'armatura è costituita da fili di piccolo diametro (0,8÷2 mm) di acciaio ad alta tensione di rottura (oltre 750 N/mm²).

Il posizionamento dell'armatura avviene tramite uno o più carrelli che portano le bobine di filo e che, traslando parallelamente all'asse del tubo, come il carrello di proiezione del calcestruzzo, avvolgono sul mandrino fasci costituiti da numerosi fili.

Tramite un pettine distanziatore è possibile variare l'interasse dei fili, con minimo pari a due volte il diametro del filo o alla dimensione massima dell'inerte (in pratica 3÷5 mm).

Variando la velocità relativa del carrello rispetto a quella di rotazione del mandrino, il numero, l'interasse, ed il diametro dei fili, viene inglobata nel calcestruzzo la quantità voluto di acciaio, con la voluta disposizione e densità.

Gli spessori totali della parete del tubo finito, i quantitativi di armatura e la loro densità, variano ovviamente in relazione al diametro del tubo e alle esigue esigenze progettuali.

6.2.6.2.2 Le Caratteristiche tecniche del T.A.D..

Le caratteristiche dei tubi TAD dipendono, in modo particolare, dall'impiego del ferrocemento.

La scelta ed il controllo del materiale composito ha costituito perciò il principale scopo della sperimentazione.

Le peculiari caratteristiche del tubo TAD possono essere riassunte in:

- 1) assoluta rispondenza ai dati di progettazione, determinata dall'impiego di inerte sottile e dal forte dosaggio di cemento, che assicurano un'elevata qualità del cls.

Le modalità di fabbricazione evitano qualsiasi selezione dei materiali, mentre l'elevata diffusione dell'armatura determina una notevole uniformità di caratteristiche ed impedisce il verificarsi di difetti localizzati e la conseguente formazione di fessure per ritiro o da effetti termici e urti.

- 2) elevatissima resistenza alla pressione interna.

Il valore di 1,5 KN/mm² della resistenza a trazione alla prima microfessurazione e notevolmente più elevata della resistenza di un in c.a. ordinario e paragonabile come valori ai tubi in c.a.p.

3) resistenza alle flessione longitudinale.

La particolare resistenza a trazione del materiale composito e la sua distribuzione uniforme, consente di ottenere elevate resistenze longitudinali dello stesso ordine dei tubi in cap.

4) Impermeabilità

Il tipo di materiale e le modalità di fabbricazione consentono di ottenere una compattezza e densità del cls elevata ed una ridotta porosità.

5) Resistenza alla corrosione.

E' ovvia la constatazione che i TAD sono tubi in cemento armato ordinario e come tali non soggetti alla corrosione delle armature; si deve aggiungere che data l'elevata compattezza e densità del cls unita alla assenza di fessurazioni nel cls, non si abbisogna di nessun particolare provvedimento e nessuna protezione attiva o passiva ai fini della difesa di tali tubi dalla corrosione.

Inoltre è possibile realizzare tubi con la superficie interna costituita da malta con legante plastica, chimicamente resistente, per il trasporto di acque aggressive.

6) Bassissimo coefficiente di scabrezza.

I tubi TAD essendo gettati contro una forma metallica tornita, presentano una elevata levigatezza consentendo così di utilizzare un ridotto coefficiente di scabrezza.

7) Vantaggi in costruzione di esercizio delle condotte

- a) riduzione di costo della posa in opera, per la rapidità e facilità di giunzione, per l'assenza di rivestimenti esterni da ripristinare e completare in corrispondenza dei giunti.
- b) riduzione dei costi di esercizio e manutenzione per l'assenza di parti deteriorabili o soggette a corrosione.
- c) sicurezza di servizio: il largo margine di resistenza a rottura garantisce i tubi TAD nei confronti di eventuali carichi esterni superiori a quelli di calcolo, determinati da movimento del terreno, cedimenti, sovraccarichi mobili etc.

6.2.6.3 II C.A.P. con cilindro metallico inglobato.

Un'altro tipo di tubo, classificabile tra quelli in c.a.p. è acciaio-calcestruzzo. Un lamierino di acciaio saldato viene rivestito internamente di calcestruzzo armato (l'armatura può essere omessa nel caso di diametri relativamente piccoli) ed esternamente di calcestruzzo armato e precompresso.

Considerate le caratteristiche costruttive e le esigenze di servizio dei grandi adduttori idrici recentemente realizzati nel nostro Paese, si esamina l'opportunità di impiegare, per le opere più impegnative, tubi in calcestruzzo precompresso dotati di margini di sicurezza molto elevati, e si descrivono, in particolare, quelli con cilindro metallico inglobato nella parete che corrispondono a tale esigenza.

Tutti i tipi di tubi precompressi attualmente in uso, i relativi procedimenti costruttivi, vantano una solida esperienza e presentano caratteristiche, e pregi, che li rendono particolarmente adatti alle esigenze tecniche e alle situazioni economiche in cui si sono sviluppati e sono riusciti ad affermarsi.

Nel nostro Paese si sono affermati, pur senza dimenticare alcune prestigiose applicazioni di tubi monolitici, i tubi a struttura composita, con nucleo prefabbricato (per centrifugazione, rullature o getto verticale per i grandi diametri) con spirale di precompressione avvolta sul nucleo dopo stagionatura e senza lamierino metallico (e perciò con giunto tra superfici in calcestruzzo).

Per quanto riguardano i pregi dei tubi precompressi basti ricordare il basso coefficiente di scabrezza, la naturale inattaccabilità da parte delle acque convogliate, l'efficace protezione esterna garantita dai rivestimenti, la buona resistenza alla pressione interna e ai carichi esterni, l'elasticità consentita dai giunti con anello di gomma, ferme restando le doti di tenuta idraulica, ed ancora i costi di produzione e di posa relativamente ridotti, quelli di manutenzione praticamente nulli, l'inalterabilità del materiale nel tempo e la conseguente longevità delle condotte.

Sta di fatto che i tubi precompressi hanno assunto un ruolo di primaria importanza nella costruzione delle condotte idriche; infatti, salvo i rari casi in cui condizioni di posa o di esercizio particolari hanno consigliato di ricorrere ad altre soluzioni, i tubi precompressi hanno sempre risposto in modo eccellente alle esigenze del servizio delle condotte.

Se ciò è vero da un lato è anche vero che i fabbisogni idrici, con il passare degli anni, sono aumentati notevolmente con nuovi problemi tecnologici: lunghezze notevoli delle adduttrici, maggiori portate, utilizzo di impianti di sollevamento con il conseguente fenomeno del moto vario, (colpo d'ariete), problemi di attraversamento (di vallate corsi d'acqua, montagne) quindi opere d'arte e accessorie molto onerose.

Questi nuovi problemi tecnologici hanno portato alla ricerca di un nuovo tipo di tubo che possa rispondere a queste nuove esigenze; cioè che presenti maggiori margini di resistenza meccanica e tenuta idraulica nei confronti di casuali sovraccarichi idraulici transitori e una maggiore adattabilità alle più difficili condizioni di posa.

Tale tipo di tubo può essere individuato nel tubo precompresso con cilindro metallico incorporato, studiato e sperimentato negli Stati Uniti d'America sin dagli anni '30 e utilizzati in larga scala da più di 30 anni.

Tali tubi sono costituiti da un nucleo in calcestruzzo, nel quale è inglobato un cilindro di lamiera metallica di piccolo spessore, alle estremità del cilindro sono saldati due robusti anelli metallici sagomati rispettivamente a bicchiere e cordone; quest'ultimo con un profilo adatto a consentire l'alloggiamento di un anello di gomma.

Il tubo nucleo è precompresso trasversalmente con una spirale di filo d'acciaio teso, protetta con rivestimento cementizio ed eventualmente con manto bituminoso.

La presenza del cilindro metallico comporta sostanziali differenze nel comportamento dei tubi di cui trattasi rispetto a quelli precompressi del tipo di corrente impiego nel nostro paese, cioè privi di lamierino metallico; in particolare:

- l'impermeabilità della parete è assicurata dalla presenza della lamiera; il cilindro metallico completo degli anelli di estremità, viene provato per garantire la perdita d'acqua in presenza di difetti localizzati nel calcestruzzo, quali porosità diffusa, fessurazione dovuta al ritiro effetti termici o altro.
- La tenuta idraulica dei giunti è garantita dal fatto che l'accoppiamento dei tubi è realizzato tra superfici di elementi metallici di notevole rigidità.

Quindi le tolleranze sono minime garantendo al giunto la necessaria elasticità ma escludendo il pericolo di trafilatura della guarnizione di gomma, inoltre c'è una perfetta coassialità dei tubi giuntati.

Per di più se un giunto dà luogo a perdita d'acqua si esegue la relativa riparazione mediante saldature dagli anelli a bicchiere e a cordone realizzando un giunto di sicurezza tenuta.

- Il margine di sicurezza alla pressione interna dei tubi in cls. precompresso con cilindro metallico incorporato è infatti, di gran lunga superiore a quella dei tubi privi di cilindro se si confrontano due tubi identici (uno con il cilindro l'altro senza) in identiche condizioni di carico e appoggio, si rileva la fessurazione della parete si verifica alla stessa sovrappressione rispetto a quella di esercizio.

Ma, nel tubo privo di cilindro la fessurazione interesserà l'intero spessore di parete riducendone la resistenza nei confronti di altri, successivi fenomeni di sovrappressione e causando perdita d'acqua.

Nel tubo con il cilindro metallico, invece, la fessurazione si arresterà in corrispondenza del cilindro stesso.

- Per quanto riguarda la durevolezza, è ormai un dato acquisito ed indiscutibile che il calcestruzzo costituisce la più efficace protezione dei materiali metallici contro la corrosione, in particolare quella dovuta ad agenti aggressivi contenuti nell'acqua convogliata dalle condotte.

Tale protezione non è solo di natura fisica (come quella dei manti bituminosi che isolano il metallo dall'ambiente esterno) ma anche di natura chimica in quanto il cls crea, sulla superficie metallica, un ambiente fortemente alcalino, che passivizza l'acciaio, e lo protegge anche se l'acciaio resta a contatto con l'acqua attraverso porosità o eventuali fessurazioni.

Così abbiamo brevemente esaminato le principali caratteristiche che differenziano i tubi in calcestruzzo con cilindro metallico incorporato da quelli senza cilindro; sotto altri aspetti i due tipi di tubo sono simili, ad esempio per quanto riguarda la difesa dagli agenti aggressivi dei terreni di posa, e perciò il rivestimento esterno della spirale di precompressione, l'eventuale rivestimento bituminoso, ecc.

I tubi con cilindro metallico incorporato presentano peraltro, anche altri vantaggi, di ordine pratico, che possono notevolmente influire, sia dal lato tecnico che da quello economico, sulla costruzione ed esercizio delle condotte:

- la superficie esterna cilindrica, priva dei ringrossi al bicchiere tipici dei tubi precompressi di altri tipi, consente di ridurre notevolmente larghezza e profondità degli scavi;
- la garanzia di esatto posizionamento dell'anello di gomma, all'atto della posa, rende l'operazione di accoppiamento dei tubi molto rapida e sicura;
- si fabbricano con gli anelli metallici di estremità a bicchiere e cordone inclinati rispetto all'asse tubo con angoli fino a 5 gradi circa, e si realizzano così con curve di piccola entità senza uso di pezzi speciali;
- si fabbricano tubi con anelli metallici di estremità tra loro collegabili a mezzo di bulloni e con cilindro di lamiera di maggiore spessore, in modo da realizzare tratte resistenti a forze longitudinali, alle quali tratte si possono ancorare le curve, evitando l'impiego di blocchi di ancoraggio;
- si fabbricano tubi con cilindro di lamiera in tutto o in parte di maggiore spessore e si ricavano su questo fori per attacco di apparecchi di sfiato, saracinesche di scarico, passi d'uomo, ecc. evitando l'uso di pezzi speciali;
- si fabbricano tubi con anelli metallici di estremità opportunamente sagomati per consentire di saldare tra loro due o più tubi, e si realizzano tratte pensili di notevole luce (il giunto saldato può anche essere utilizzato come giunto normale, in sostituzione di quello con anello di gomma).

In conclusione, i tubi in calcestruzzo precompresso con cilindro metallico presentano un'assoluta impermeabilità e tenuta delle giunzioni, resistenza a livello dei tubi di acciaio, durezza superiore a quella degli altri tubi in calcestruzzo, infine una praticità ed elasticità di impiego tali da poter determinare un reale, sensibile progresso nella costruzione delle condotte in pressione.

Inoltre il loro costo non differisce sostanzialmente da quello dei tubi precompressi senza cilindro ed il loro impiego è già previsto da alcune norme tecniche della Cassa per il Mezzogiorno.

6.2.6 II P.V.C.

Il P.V.C. o meglio il cloruro di polivinile è un materiale plastico di larghissima diffusione, la qualità che meglio si adatta alle tubazioni è quella ottenuta dalla polimerizzazione in sospensione del policloruro di vinile. Il materiale così ottenuto

viene additivato con opportune sostanze che hanno lo scopo di migliorarne le caratteristiche soprattutto con effetto stabilizzante contro le eventuali azioni degradanti dovute agli agenti atmosferici ed alle radiazioni luminose. I tubi vengono prodotti in estrusori, analoghi alla trafilatura dei materiali siderurgici.

E' poco usato negli acquedotti, di contro ha trovato e forse ingiustificatamente largo uso nelle fognature, in quanto essendo un materiale "tenero" può facilmente subire un fenomeno di erosione da parte di acque che trasportino sabbie.

Molto più giustificato è l'uso irriguo soprattutto per la rete di distribuzione

Anche per il PVC come per altri materiali esistono prodotti per condotte in pressione e per condotte a pelo libero e nel primo caso si distinguono varie classi di pressione.

In Italia le tubazioni di cloruro di polivinile hanno fatto la loro apparizione nel campo acquedottistico nel 1950, pur rappresentando uno dei materiali più recenti, hanno ormai oltre vent'anni di esperienza.

Il P.V.C. è di per sé atossico ma, per evitare che si liberi durante "l'estrusione" dei cloruri di idrogeno è necessario aggiungere degli stabilizzanti ed è da questi che potrebbe derivare la tossicità del tubo.

Il tubo in P.V.C. presenta indubbiamente numerosi vantaggi tra i quali i più rilevanti:

- a) è perfettamente inerte alla corrosione;
- b) è assolutamente inattaccabile da sostanze chimiche come acidi forti, basi forti, soluzioni di sali, per cui non viene danneggiato da alcuni tipi di terreno e acqua convogliata;
- c) è molto leggero ne segue facilità di trasporto;
- d) è liscio con pareti inalterabili nel tempo, per cui le perdite di carico sono molto inferiori a quelle degli altri tubi;
- e) la sua deformabilità esercita un'azione smorzante sui colpi d'ariete in quanto la sua celerità risulta molto inferiore a quella di altri tipi di tubo.

Il maggior inconveniente è dato da una certa fragilità agli urti, e seppure nettamente inferiore a quello del fibrocemento, quindi è necessaria la posa con letto e copertura di sabbia.

La posa a temperatura ambiente inferiore a 0°C va fatta con alcune precauzioni, è anche opportuno evitare l'esposizione prolungata ai raggi solari

6.2.6.1 Le giunzioni delle tubazioni in PVC

Le giunzioni dei tubi in P.V.C. possono essere di tipo con manicotto, a bicchiere con guarnizione di gomma realizzata a freddo od a caldo.

Non sono escluse le giunzioni con altro materiale.

Al fine di eseguire le giunzioni flangiate esistono i bout in P.V.C. assieme a numerosi altri pezzi speciali.

Per il collegamento e l'inserimento di accessori di rete, quali saracinesche, idranti, sfiati, ecc. si preferisce ricorrere a tronchetti in acciaio calibrati; possono essere usati anche tronchetti di tubo di acciaio qualsiasi collegandoli esclusivamente con giunti a caldo; i pezzi speciali sono P.V.C.

6.2.7 Il polietilene PEAD e PEBD

E' una resina termoplastica ottenuta industrialmente per polimerizzazione diretta dell'etilene secondo due differenti procedimenti: uno ad alta pressione e l'altro a bassa pressione.

Rispettivamente nel primo caso si otterrà il polietilene a bassa densità (PEBD) con peso specifico di 0,91 Kg/dmc e nel secondo si otterrà il polietilene ad alta densità (PEAD) con peso specifico di 0,95 Kg/dmc che ha una struttura più cristallina del PEBD e ciò comporta un notevole miglioramento delle sue caratteristiche meccaniche.

Il polietilene è un materiale atossico e stabile, tuttavia per migliorarne le caratteristiche di stabilità viene additivato col 2÷3% di carbon-black.

La serie commerciale del polietilene, riferita in mm ai diametri esterni è:

25 32 40 50 63 75 90 110 125 140 160 200 225 250 315 400

Per l'altra densità, con spessori variabili a seconda del diametro e della pressione nominale del tubo

La fabbricazione prevede le seguenti pressioni nominali, indicate con PN

2,5 4 6 8 10 16

La distribuzione commerciale avviene in rotoli di lunghezza e 50 metri per i diametri superiori al 75.

Il polietilene a bassa densità viene prodotto in rotoli da 250 metri sino al Ø 25 e di 100 metri dal Ø 32 al Ø 50 ed i diametri di serie sono:

16 20 25 32 40 50.

Le pressioni nominali sono PN 4, PN 6, PN 10.

Il polietilene, come dimostra la fornitura di rotoli, non è un materiale rigido.

6.2.7.1 Le giunzioni delle tubazioni in PEAD

La sua giunzione avviene o per saldatura a caldo o con manicotti in polipropilene.

6.2.8 Il Gres

Trattasi di un materiale ceramico di uso antichissimo (in Cina il suo uso risale al I secolo a.c.) che nel tempo ha subito grandi evoluzioni ed è ancora oggi un materiale estremamente importate per la costruzione di fognature e di sistemi di drenaggio.

Invero tubi di ceramica sono stati adoperati anche prima, ma la composizione dei componenti atti a dare in gres è quella cinese cui si è fatto riferimento.

Il gres (nome italiano e francese) assume il nome di stoneware in lingua inglese e di steinzeug in tedesco è arrivato in europa ovviamente dopo i viaggi di

Marco Polo e quindi in tempi relativamente recenti ma pur sempre lunghissimi per la tecnica.

A differenza degli altri tubi in terracotta il gres ha grande resistenza chimica e porosità praticamente nulla, a 100÷1150 gradi (durante la cottura) il corpo ceramico sinterizza riducendo al minimo la porosità.

Nato dallo sviluppo e dall'evoluzione delle tecniche di lavorazione dei manufatti ceramici, il gres si pone come prodotto intermedio tra i materiali "non greificati" e le porcellane.

Con i primi, terraglie, terracotte, e refrattari, il gres ha in comune la natura di prodotto ad impasto generalmente colorato (unica eccezione il gres bianco) e comunque opaco alla luce. Sebbene l'impasto del gres sia privo del requisito di traslucenza tipico della porcellana, con essa condivide l'alto grado di vetrificazione.

Come è stato già detto, il gres è formato da un impasto di argille a cui è aggiunto, in una proporzione definita, un inerte (elemento o composto che nel corso di un processo chimico non reagisce) generalmente chiamato "chamotte" .

A seconda della composizione dell'impasto variano le proprietà finali del prodotto. Così per ottenere il migliore gres per condotte fognarie, le argille da utilizzare devono essere totalmente prive di calcare e dotate di alta plasticità e di notevole coesione, tali caratteristiche garantiscono un gres ceramico con caratteristiche ineguagliabili che consentono una durata in esercizio delle tubazioni per un tempo indefinito e con una affidabilità superiore a qualsiasi altro materiale.

In sintesi, le principali proprietà del gres ceramico sono::

- resistenza all'aggressione chimica
- resistenza all'abrasione
- resistenza meccanica (a compressione)
- resistenza in zona sismica
- impermeabilità dall'interno verso l'esterno e viceversa
- tenuta idraulica delle giunzioni elastiche
- velocità di autopulizia

- inalterabilità nel tempo

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche queste rispondono ai seguenti requisiti.

Caratteristica	valore	unità di misura
Peso specifico	2.200	Kg/m ³
Carico di rottura a compressione	500÷1000	Kg/cm ²
Carico di rottura a flessione	190—220	Kg/cm ²
Carico di rottura a compressione	50÷100	Kg/cm ²
Durezza	7	Mohs
Modulo di elasticità	5,00E+05	Kg/cm ²
coeff di dilatazione termica	6÷7,8E-6	K ⁻¹
Conducibilità termica	1,6	W/(m K)

Alle precedenti é da aggiungere un'alta resistenza all' abrasione, tipica di tutti i prodotti vetrificati.

Per le sue caratteristiche il gres risulta inattaccabile, chimicamente da:

- soluzioni acide (unica eccezione l'acido fluoridrico);
- soluzioni alcaline;
- detergenti domestici
- liquami di scarico civili od industriali;
- vapori gassosi
- idrocarburi

Dal punto di vista idraulico é estremamente liscio e pertanto consente l'utilizzo di scabrezze basse.

6.2.8.1 Le giunzioni delle tubazioni in Gres

Avviene con anelli in polipropilene prefabbricati e già inseriti, in fabbrica all'interno dei tubi.

Di recente le ditte fornitrici per garantire anche la tenuta dei collegamenti tra tubo e pozzetti predispongono dei pezzi speciali ad hoc che vengono inseriti nel

calcestruzzo del pozzetto (sia esso gettato in opera che prefabbricato) tale che anche questo collegamento sia assicurato da una guarnizione in polipropilene.

6.2.8 Gli altri materiali

La disamina di cui prima non dà un quadro completo di tutti i possibili tubi presenti sul mercato, ne esistono altri dei quali qui di seguito si tenta di dare un elenco, forse non esaustivo, ma comunque indicativo:

- tubazioni in coccio;
- tubazioni di cemento pressato o centrifugato
- tubazioni di lamiera di acciaio ondulato (tipo Armco-Finsider)
- tubazioni di rame
- tubazioni di piombo
- tubazioni in legno
- tubazioni in polipropilene

E' da tener presente che molti dei materiali sopra elencati é "fuori legge" almeno per que che riguarda gli usi acquedottistici, ma sono stati materiali adoperati ed in parte costituiscono ancora patrimonio delle reti idriche (vedi le tubazioni in fibrocemento e quelle in piombo)

Il termine fuori legge dianzi adoperato fa espresso riferimento alla Decreto Ministeriale LL.PP. del 12/12/1985 "Norme tecniche sulle tubazioni" dove oltre a prescrivere modalità di costruzione, prova e collaudo, che saranno argomento della parte I del Cap IV "Canali e condotte e gallerie idrauliche" elenca in due allegati i materiali per costruire condotte per acquedotti e per fognature.

Qui di seguito é una sintesi di tali allegati.

Acquedotti	Fognature
Acciaio saldato e non saldato	
Ghisa grigia	
Ghisa a grafite sferoidale	
PVC rigido non plastificato	PVC rigido non plastificato
Polietilene ad alta densità	Polietilene ad alta densità
Amianto cemento	Amianto cemento
Cemento armato(Senza lamierino)	
Cemento prepompreso (senza lamierino)	
	Gres

Come sempre accade quando si perviene alla emanazione di norme tecniche, se queste non subiscono continuamente revisione ed aggiornamenti, in breve diventano obsolete e non più attuali.

Quelle cui si é fatto riferimento non tengono conto che, successivamente:

- il fibro-cemento, con decreto del Ministro della sanità é stato dichiarato cancerogeno ed impedita la sua utilizzazione acquedottistica (nonché la lavorazione a partire dal 1/1/94. dell' amianto stesso)¹⁴;
- é stato normato (UNI 9032 e 9033 dell' ottobre 1988) ed é entrato nella pratica costruttiva delle condotte il PRFV

¹⁴ E' da tener presente che ancora nel febbraio 1991 le norme tedesche (DIN 19850) si occupavano di tubazioni in fibrocemento, ancorché solo per fognature.

6.3 Le normativa sui tubi

Da qualche tempo é in uso normalizzare tra i vari costruttori la fabbricazione dei relativi manufatti.

Tale esigenza che dapprima ha riguardato aspetti più "meccanici" che "civili" é ora largamente presente anche nel campo delle tubazioni é pertanto si ritiene fondamentale richiamarla in questa sede.

E' preliminare un richiamo a quli gli istituti normativi:

- le norme italiane sono dettate dalla U.N.I. (nella quale conferiscono istituti normativi di settoe per esempio l' UNIPLAST, L' UNICERAB, ecc..)

Materiale	oggetto	ente normante	sigla norma	data
acciaio	dimensioni serie media "gas"	UNI	4 1 4 8 - 7 4	1 9 7 4
	dimensioni serie pesante "gas"	UNI	4 1 4 9 - 7 4	
	dimensioni serie normale "gas"	UNI	3 8 2 4 - 7 5	
	dimensioni tubi con estremità lisce senza prescrizioni di qualità	UNI	7 2 8 7 / 7 4	
	Tubi saldati di acciaio non legato	UNI	7 0 9 1 / 7 2	
	Processi di saldatura	UNI	1 3 0 7 / 1 3 0 9	1 9 4 0
	Tubi senza saldatura da pozzo, filettati con manicotto di giunzione serie leggera	UNI	1 2 8 8 / 7 4	
	elementi di tubazione-serie diametri nominali	UNI	1 2 8 2	1 9 8 2
Ghisa grigia	Tubi e raccordi per condotte in pressione tubi a bicchiere centrifugati - classe LA	UNI	5 3 3 8 - 6 9	1 9 6 9
	Tubi e raccordi per condotte in pressione tubi a bicchiere centrifugati - classe A	UNI	5 3 3 9 - 6 9	1 9 6 9
	Tubi e raccordi per condotte in pressione tubi a flange avvitate - classe B	UNI	6 5 6 1 - 6 9	
	Tubi e raccordi per condotte in pressione Giunti a bicchiere per tubi	UNI	5 3 3 7 / 6 9	
	Giunti a bicchiere per raccordi e pezzi speciali	UNI	6 5 6 2 / 6 9	

ma non sempre le norme italiane sono esaustive pertanto molte volte occorre far riferimento a norme diverse.

Tra queste hanno particolare rilevanza le norme tedesche (norme DIN) le norme inglesi (ATV) e quelle statunitensi (AWWA)

Materiali	oggetto	Ente	sigla	anno
		normante		
VARI	Tubazioni - Pressioni nominali	UNI	1283/67	1967
Fibrocemento	Prove di pressione in opera	UNI	7516	1983
	Tubi e giunti per condotte in pressione	UNI	4372	1976
	Tubi e pezzi speciali per fognatura	DIN	19850/91	
	Divieto di uso tubi con crocetoide	M.S.	Circ. 42/92	1-07-92
POLIPROPILENE	Metodi di prova	UNI	8321	1982
PVC rigido	Raccordi e flange di PVC per condotte di fluidi non in pressione	UNI	7442/75	1975
	Tubi di PVC non plastificato per condotte di fluidi non in pressione	UNI	7441/75	1975
	Tubi in PVC per condotte di scarico	UNI	7447	1987
POLIETILENE a bassa densità (PE-BD)	Tubi e raccordi-Resistenza chimica nei confronti dei fluidi	UNI ISO/TR	7472	1983
GRES	Tubi in gres ed elementi complem.	UNI	9180	1988

6.4 Le apparecchiature per le condotte

Si intendono con questo nome quegli apparecchi di manovra, manuale od automatica o di controllo, che possono essere inseriti nelle reti acquedottistiche tra gli organismi di manovra abbiamo:

6.4.1 Valvole d'intercettazione, Saracinesche

Sono organi di interclusione, di norma hanno giunzione a flangia (salvo che per piccolissimi diametri)

Troviamo per i piccoli diametri realizzazioni in bronzo ed in ottone (sino a qualche pollice) ed in corrispondenza di condotte in PEAD sono state proposte valvole il polipropilene. In tali casi l'interclusione avviene o mediante una vera e propria saracinesca (in genere per quelle in bronzo) od a sfera.

Per i diametri maggiori (da 50 mm in su) si realizzano con corpo esterno:

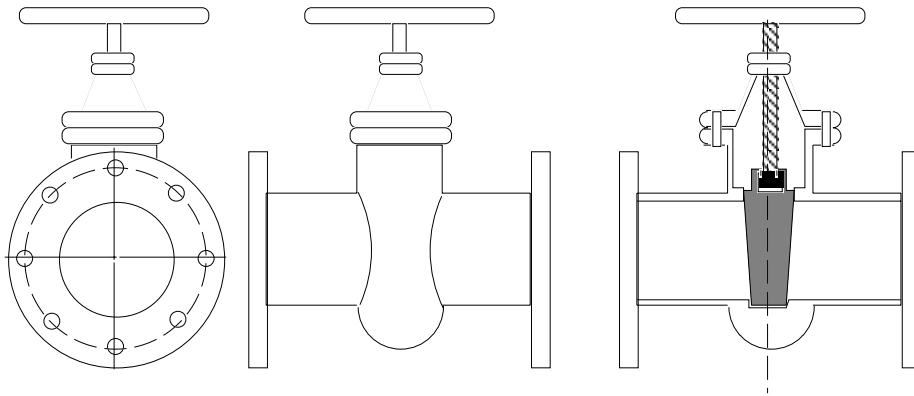
- in ghisa comune;
- in ghisa sferoidale;
- in acciaio

a seconda delle caratteristiche meccaniche necessarie.

Le valvole più diffuse sono quelle con organo di interclusione a saracinesca (da cui prendono appunto il nome) è però sempre più frequente l'uso di valvole a farfalla, a sfera, a flusso avviato o di altri tipi.

Le saracinesche salvo particolari motivi, sono a corpo ovale, ma ne esistono anche a corpo piatto ed a corpo cilindrico.

La figura che segue illustra una saracinesca a corpo ovale nelle due viste ed in una sezione.

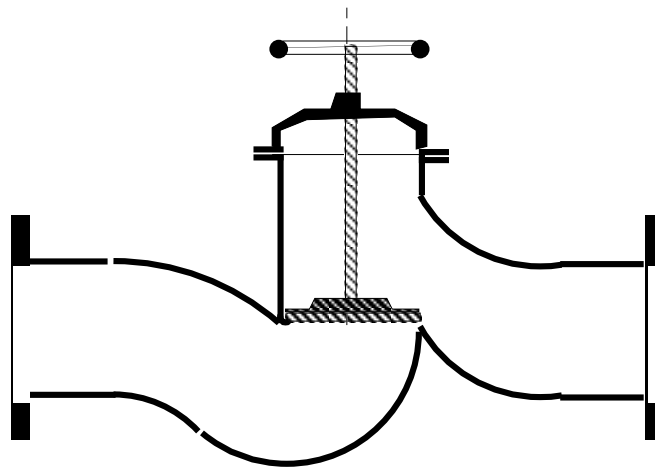


Per esempio in campo irriguo le valvole più usate sono le saracinesche a corpo piatto.

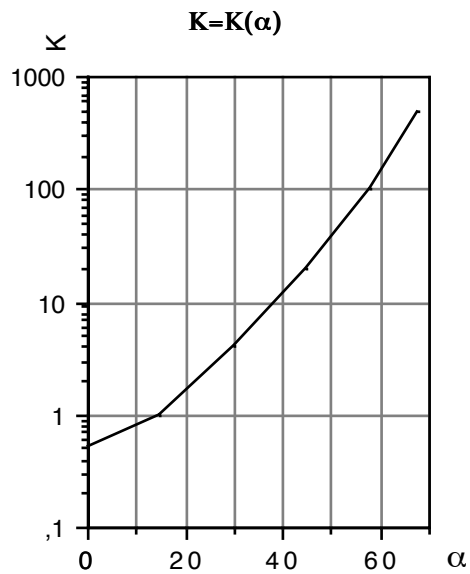
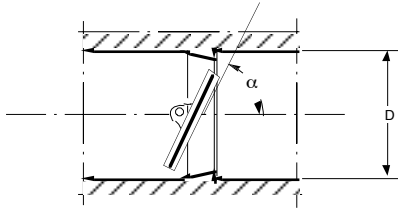
Il cuneo di interclusione é di ottone per $\varnothing < 60$ mm ed in ghisa per $\varnothing > 60$ mm.

Oggi sono presenti in commercio prodotti con cuneo rivestito in gomma che assicurano una maggiore tenuta.

Un' altri tipo molto diffuso specie nelle camere di manovra é quello di organi di interclusione "a flusso avviato" cioè del tipo illustrato in figura.



L'uso dell' interclusione a farfalla é possibile solo allorquando non sia richiesta oltre che l'intercettazione, una funzione di regolazione.



In grafico che precede da il valore di K da introdurre nella

$$\Delta H = \frac{K v^2}{2 g}$$

per il calcolo delle perdite di carico dovute ad una valvola a farfalle con grado di apertura α

Le saracinesche di fabbricazione più recente possono essere verniciate con resine epossidiche che ne migliorano le caratteristiche di durabilità.

Nella scelta delle saracinesche, così come in quella per i tubi occorre prestare attenzione alla pressione di esercizio, a seconda di tali pressioni la scelta può spostarsi dalle saracinesche in ghisa comune a quelle in ghisa sferoidale ed infini a quelli in acciaio.

Materiale	Materiale del corpo sigla	Corpo-> rif. norme	pressioni nominali PN		
			ovale	cilindrico	piatto
Ghisa G.G.	G 30	UNI 5007	1 0		4 ÷ 6
	G26	UNI 668	1 6		
	G22	UNI 668		25 ÷ 40	
Ghisa sferiodale G.S.	GS 500/7	UNI 4544/74			
Acciaio	Aq 45	UNI 3158	2 5	64 ÷ 100	1 0

6.4.1.2 Meccanismi di manovra delle valvole

In generale le saracinesche e le valvole in genere sono a comando manuale.

Ma valvole o saracinesche di grosso diametro devono essere assistite o da riduttori o da altri accorgimenti atti a facilitarne la manovra.

Sempre più frequentemente anche per saracinesche di modeste dimensioni vengono adottati dispositivi meccanici di manovra tali dispositivi sono poi indispensabili allorché si desidera telecomandarle.

Volendo redigere una classificazione possiamo così schematizzarla:

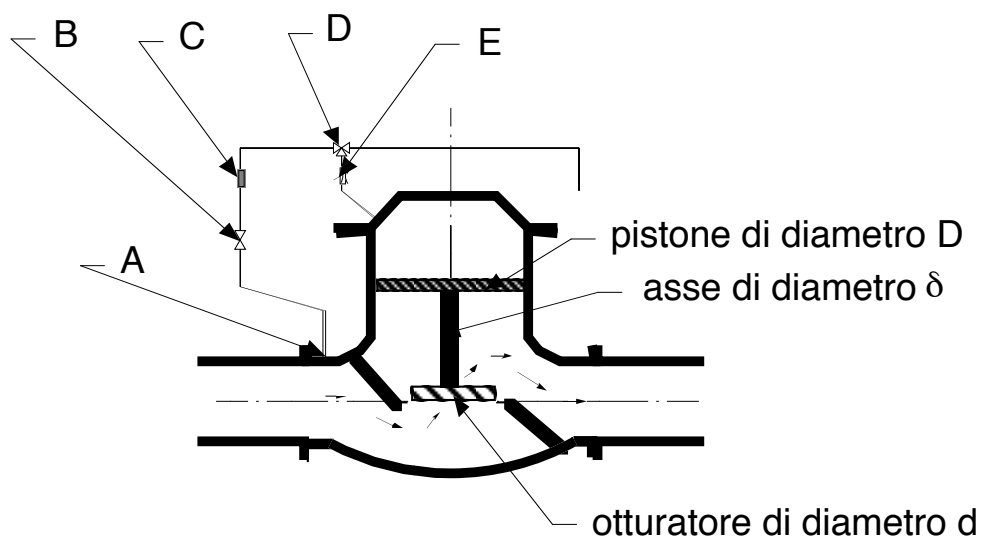
- saracinesche e valvole a comando manuale (in genere tramite vite senza fine e volantino)
- saracinesche azionate da attuatore elettrico (motore) e riduttori;
- saracinesche azionate da sistemi idro-pneumatici (dette anche idrovalvole)

Ovviamente vi è ben poco da dire circa le saracinesche a comando manuale.

Quelle a comando elettrico, tramite attuatore, si possono porre in opere allorquando si ha in prossimità dell' installazione, disponibile dell' energia elettrica in B.T.¹⁵

Ma quando si opera in aperta campagna lontanee da linee in B.T., come spesso capita per gli acquedotti ed in specie per gli impianti irrigui é gioco forza ricorrere ad energia diversa, pertanto da tempo sono entrate in commercio le così dette idrovalvole che, per la propria manovra utilizzano l'energia di pressione posseduta dall' acqua.

La figura che segue ne schematizza una di queste.



La valvola é del tipo a flusso avviato caratterizzata dal fatto che l'otturatore anziché essere comandato da una vite senza file é collegato solidarmente tramite un asse cilindrico ad un pistone che scorre dentro un cilindro posto superiormente alla valvola.

All' interno della camera costituita dal cilindro e relativo coperchio e dal pistone (in basso) viene inoltrata dell' acqua prelevata dalla condotta tramite un tubicino esterno (che é munito di una saracinesca B) che può escludere il meccanismo provocando l'apertura della valvola).

¹⁵ Con elergia elettrica in B.T. si intende energia a 220 o 380 V. Si intende M.T. l'elergia elettrica a 20'000 V che é idonea per gli impianti di sollevamento ma del tutto sproporzionate per l'azionamento di eletrivalvole.

Lungo il percorso del tubicino si inserisce anche un filtro C per evitare che impurità vadano a danneggiarne il funzionamento.

Tramite la manovra della valvola a tre vie D si può mettere la camera del cilindro in comunicazione con l'atmosfera esterna (e contemporaneamente chiusa l'immissione dalla condotta) : allora l'unica pressione attiva é quella sulla parete inferiore del pistone che lo spinge verso l'alto, aprendo la valvola. Il liquido presente nella detta camera viene espulso o nell' atmosfera od immesso (avalle) nella condotta.

Di contro mettendo la camera del cilindro in comunicazione con la condotta a monte, detti :

- p la pressione presente nell' acqua;
- D il diametro del pistone;
- d il diametro dell' otturatore;
- δ il diametro dell' asse cilindrico di collegamento
- $D' = D - \delta$
- $d' = d - \delta$

Avremo con asse positivo verso il basso, che la forza complessiva esercitata dalla pressione dell' acqua sulle due facce varrà:

$$\frac{\pi}{4} p (D^2 - D'^2) \quad (1)$$

sul cilindro, invece

$$\frac{\pi}{4} p (d'^2 - d^2) \quad (2)$$

Sommando entrambe, avremo:

$$\frac{\pi}{4} p (D^2 - D'^2) + \frac{\pi}{4} p (d'^2 - d^2) \quad (3)$$

semplificando, avremo:

$$\frac{\pi}{4} p (D^2 - D'^2) + (d'^2 - d^2) \quad (4)$$

quindi:

$$\frac{\pi}{4} p((D - D') (D + D') + (d'-d) (d'+ d)) \quad (5)$$

da cui:

$$\frac{\pi}{4} p(\delta (D + D') - \delta (d'+ d)) \quad (6)$$

dunque

$$\frac{\pi}{4} p \delta (D + D' - d'- d) \quad (7)$$

e in via approssimativa

$$\frac{\pi}{2} p \delta (D - d) \quad (8)$$

che spingerà verso il basso chiudendo la valvola.

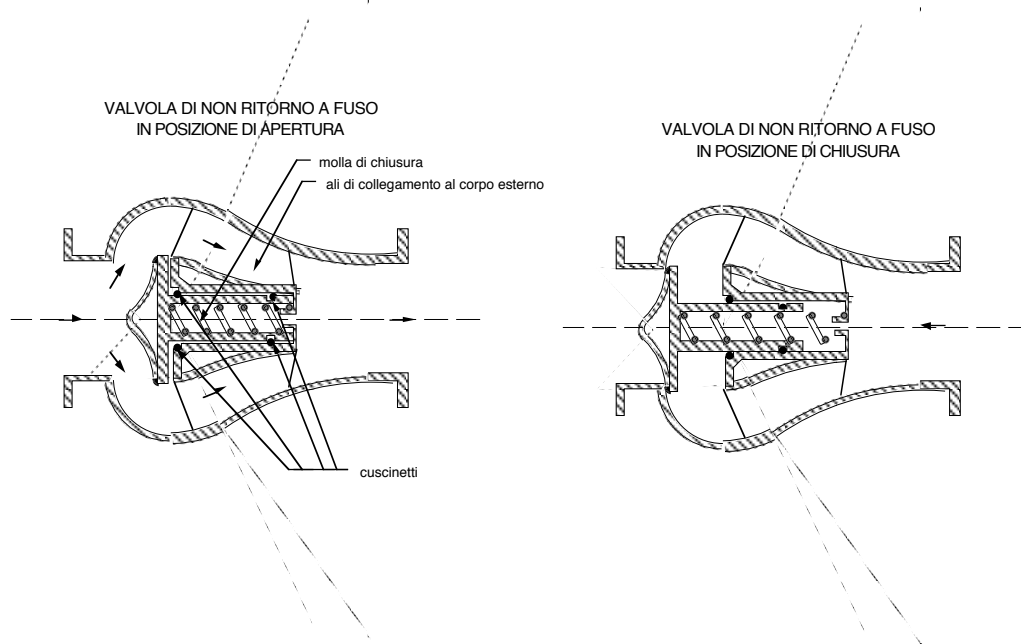
Il congegno E serve per regolare l'afflusso dell' acqua nel cilindro.

6.4.2 Valvole di ritegno o di non ritorno

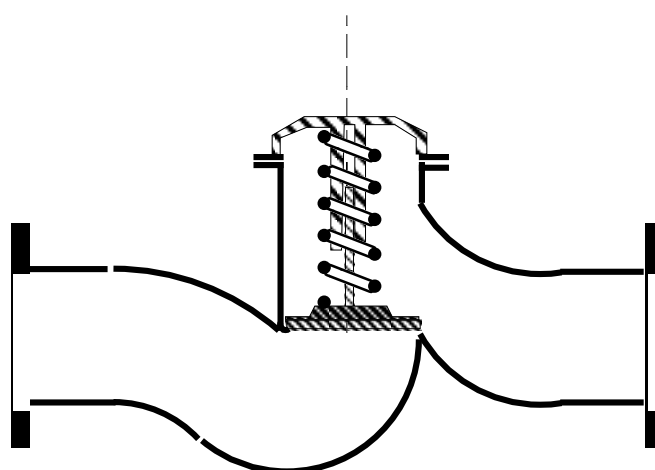
Sono anch'esse di interclusione che permettono all'acqua di percorrere la tubazione in una sola direzione. Ne esistono di vario tipo. La giunzione è sempre flangiata, salvo per i piccoli diametri.

Sono preferibilmente da usare quelle a fuso con accorgimenti anti colpo d'ariete. Tale ultimo tipo garantisce anche una maggiore durata delle stesse perché le soprappressioni dovute ad un brusco arresto si risentirebbero immediatamente sull' organo di interclusione.

La figura che segue illustra le valvole a fuso



Un'altro tipo é quello qui di seguito illustrato detto, in analogia con le saracinesche consimili, a flusso avviato.



Ma il tipo più diffuso (perché più economico) é indubbiamente quello a ciabatta, ancorché il meno affidabile sia per quanto riguarda la sua resistenza agli urti cui é sottoposto che per gli effetti di colpo d'ariete sulle condotte.

6.4.4 Valvole automatiche a galleggiante

Sono organi di interclusione, di norma posti allo sbocco, in serbatoi, della tubazione, che chiudono il flusso dell'acqua in funzione del livello raggiunto da essa nel serbatoio (hanno lo stesso funzionamento dei galleggianti degli sciacquoni delle comuni abitazioni)

Non sono di grande affidabilità, ancorché meccanicamente molto semplici.

6.5.5 Gli Sfiati, gli idranti, gli stumenti di misura

Altre apparecchiature non strettamente catalogabili tra quelle di manovra ma che svolgono compiti importantissimi sono:

- gli sfiati;
- gli idranti;
- i misuratori di portata
- i misuratori di pressione
- i regolatori e/o riduttori di portata
- i regolatori e/o riduttori di pressione

6.5.1 Sfiati

Sono organi che permettono:

- la fuoriuscita di aria eventualmente presente nella tubazione, aria che né impedirebbe il regolare funzionamento;
- il reingresso dell' aria a seguito di manovre di svotamento della condotta, evitando il crearsi di depressioni

Anche di tale apparecchio esistono varie versioni; ma sostanzialmente esso consiste in un galleggiante (di legno rivestito di plastica o gomma-butilica od in acciaio inox).

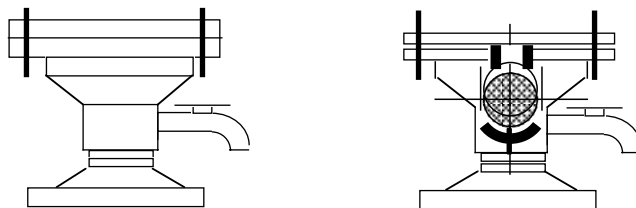


fig..... sfiato tipo "Siena"

Detto galleggiante in condizioni normali è premuto contro la parte superiore e chiude l'uscita della condotta ma in presenza di aria ne consente l'uscita staccandosi dai fori e galleggiando sull'acqua o posandosi sul supporto metallico

Le varie versioni differiscono tra di loro, in generale per la portata d'aria che possono far transitare, pertanto la scelta va fatta sulla base dei seguenti parametri:

- diametro della condotta;
- lunghezza del tratto sotteso dallo sfiato;
- tempo di riempimento o di svuotamento

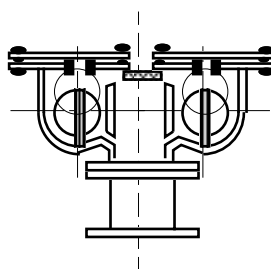


Fig.... sezione di uno sfiato a doppio galleggiante.

È difficile dare una precisa catalogazione degli sfiati

Qui di seguito ne è tentata una basata sulla produzione commerciale corrente.

Nome commerciale	mat. corpo mat galleg.	PN/ pres. prov [atm]	diametri								
ABA	Ghisa G 22	6 / 12	inch	1 / 2	3 / 4	1					
IDRO	legno riv. Bronzo legno riv.	6 / 12	inch	3 / 4							
ROMA	bronzo legno riv.	12 / 18	inch	1	1 + 1 / 4						
CROTONE	Ghisa G30 acciaio inox	16 / 30	mm	25	40	50	65	80	100		
SIENA	Ghisa G30 legno riv.	16 / 25	mm	50	60	80	100	150	200	250	
	Ghisa GS 500 Ac. inox	40 64 100	mm	50	60	80	100	150	200	250	
A Doppio galleggiante	Ghisa G30 Ac. inox	16 / 24	mm	50	80	100	150	250	350		
(Per i PN superiori stesse caratteristiche del Siena)											
A Doppio galleggiante + valvola											
(Stesse caratteristiche dello sfiato senza valvola centrale)											

6.5.2 Gli Idranti

Sono particolari prese d'acqua che di norma servono per il servizio antincendi (o per l'inserimento diretto delle lance o per il rifornimento delle autobotti)

Tra le apparecchiature di controllo si ricordano anche i misuratori di portata e di volume ed i misuratori di pressione.

6.5.3 I misuratori di portata¹⁶

I primi possono essere di vario tipo ma quelli più applicati si basano sulle realizzazioni commerciali di famoso venturimetro.

Le figure seguenti danno l'illustrazione di tre versioni (la prima è la più costosa, la seconda la più applicata e la terza, pur essendo la meno costosa è relativamente poco applicata, in quanto penalizzata dalle forti perdite idrauliche che provoca) del tubo venturi.

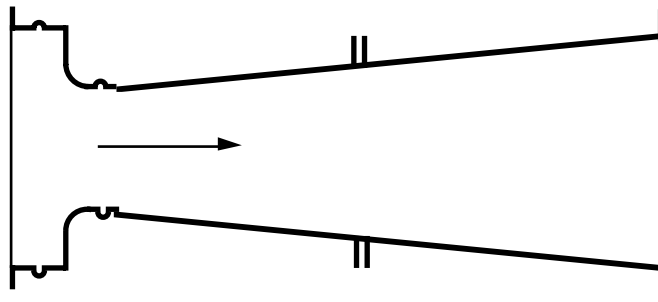


Fig. Venturimetro con divergente lungo per grosse condotte con perdite di carico molto contenute

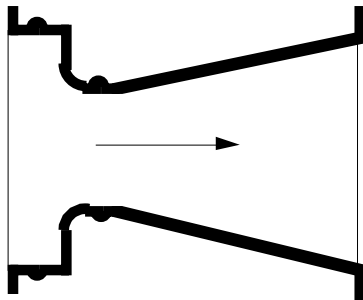


Fig. Venturimetro tipo commercialmente più diffuso

¹⁶ Sia i venturimetri che i manometri possono essere a registrazione su carta. A fianco dei normali strumenti sopra ricordati sussistono apparecchi più sofisticati che permettono la manovra ed il controllo a distanza delle reti acquedottistiche o tramite ponti radio o tramite collegamenti tramite la rete telefonica od altre reti metalliche (quali quelle della pubblica illuminazione).

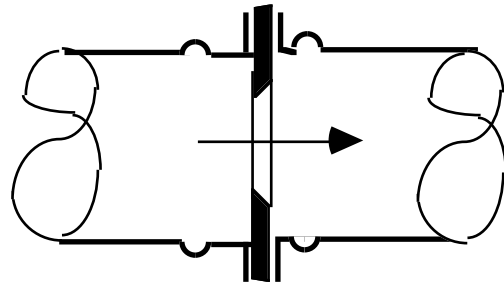


Fig. Venturimetro a diaframma con alte perdite di carico

La misura della portata è immediata dalla lettura del dislivello H tra i due menischi del manometro differenziale, tramite la

$$A = A \sqrt{M} \quad (1)$$

dove

$$A = S_a \sqrt{\frac{2g}{1 + K - c}} \quad (2)$$

con

$$c = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^2 \quad (3)$$

in cui S_i è l'area del tubo nella sezione i ($i = 1, 2$) con ovvio significato degli altri simboli. Si veda anche la figura seguente.

Altri sistemi si basano o sul tubo di Pitot o su metodi elettromagnetici o meccanici.

I misuratori di volume sono detti, più comunemente, contatori.

E' bene precisare subito che i venturimetri possono essere anche utilizzati come contatori, ciò si ottiene aggiungendo allo strumento un insieme di rotismi che esegue meccanicamente l'integrazione nel tempo della portata.

I contatori veri e propri sono di vario tipo: per le tubazioni di diametro maggiore si usano quelli a mulinello detti "contatori Woltmann". Essi (fig. 35) funzionano con lo stesso principio delle turbine Kaplan. Per diametri inferiori si usano

turbinette di vario tipo, che colpite da uno o più getti d'acqua ruotano con velocità proporzionale a quella dell'acqua. Tra questi può essere classificato anche il Woltmann. Un insieme di ruotismi esegue l'integrazione meccanica della velocità, materializzata dall'asse delle turbine nel tempo, dando i volumi di acqua passante nella tubazione (fig. 36).

Un'altro tipo di contatori sono quelli "a volume". Questi contano il numero di volte che un recipiente, interno al contatore, viene riempito dall'acqua. La fig. 37 illustra uno di tali contatori in cui il volume è rappresentato da una camera.¹⁷

6.5.4 I misuratori di pressione¹⁸

I misuratori di pressione sono dei semplici manometri.

Questi non devono essere inseriti direttamente sulla tubazione ma tramite l'interposizione di un bacino di rame, opportunamente sagomato al fine di conferirgli una certa deformabilità per permettergli l'assorbimento delle vibrazioni che ne agissero direttamente sull'ago del manometro lo rovinerebbero rapidamente.

6.5.5 Regolatori di pressione (o valvole a riduzione di pressione)

¹⁷ A titolo di esempio si riportano le dimensioni dei venturimetri della ditta Bosco.

D = mm	325	350	400	450	500	550	600	650	700	750
L = mm	600	625	700	750	800	850	900	950	1000	1100
P = kg	150	180	220	290	350	430	520	630	740	880

D = mm	800	850	900	950	1000	1200	1400	1600	1800	2000
L = mm	1200	1300	1400	1500	1600	1800	2000	2200	2400	2600
P = kg	1000	1200	1400	1600	1800	2500	3150	3800	4500	5400

¹⁸ Vedi nota n.1

Sono strumenti che servono per diminuire la pressione che sussiste in una tubazione creando meccanicamente una forte perdita concentrata. Ciò si ottiene o tramite molle o tramite contrappesi che agiscono direttamente o tramite leve.

Lo strumento è utile quando la tubazione passando da quote elevate a terreni più bassi avrebbe pressioni esuberanti a quelle necessarie per il suo esercizio.

6.6 Approfondimenti sulla corrosione nei metalli ed in particolare sulle condotte metalliche e nozioni per la protezione delle stesse

6.6.1 I fenomeni corrosivi

Per corrosione di un materiale metallico si intende la progressiva distruzione del materiale stesso in conseguenza dell'azione dell'ambiente che lo circonda.

La corrosione è definita "umida" , se avviene in presenza di acqua o di altro elettrolita allo stato condensato, e "secca" negli altri casi (ad es. l'ossidazione a caldo dei metalli).

In seguito sarà presa in considerazione solo la corrosione umida ed in particolare quella delle tubazioni metalliche interrate, immerse in acqua o più in generale in un mezzo permeabile all'umidità. Essa è dovuta alla disponibilità di una forza elettromotrice nel sistema interessato al processo corrosivo, la quale genera una corrente elettrica che in una certa zona (catodo) passa dall' elettrolita (terreno, acqua ecc.) al metallo ed in un'altra zona (anodo) dal metallo all' elettrolita. In corrispondenza dell'anodo si ha la dissoluzione elettrolitica del metallo sotto forma di ioni e cioè la sua corrosione.

Per quanto riguarda l'acciaio e la ghisa, che sono i materiali più impiegati per la fabbricazione dei tubi metallici, si può osservare quanto segue.

Nell'acciaio il ferro passa in soluzione nell' elettrolita lasciando dei crateri visibili sulla superficie del metallo, mentre nella ghisa i prodotti di corrosione della ferrite (ossidi, idrossidi e sali) non si allontanano e restano frammisti alla grafite. Questo fenomeno è noto come grafitizzazione della ghisa ed agisce su quella grigia e quella sferoidale praticamente nello stesso modo

I prodotti di corrosione delle due ghise hanno una limitata coesione e praticamente le stesse caratteristiche

Si può avere:

- una grafitizzazione di superficie, costituita da una pellicola che lascia intatto il metallo sottostante (questa corrosione si ha in genere in terreni uniformi e ad alta resistività);
- una grafitizzazione del tipo a cratere svasato verso l'esterno, pieno di grafite e dei prodotti di corrosione del metallo (si ha questa corrosione dove la tubazione è anodica ed i terreni sono eterogenei);
- una grafitizzazione completa, nella quale tutti i costituenti ferrosi della ghisa sono andati persi e restano solo la grafite ed i prodotti di corrosione.

I tubi grafitizzati mantengono spesso l'aspetto di quelli integri ed una indicazione sull'estensione dell'attacco si può avere solo dopo la rimozione dei prodotti di corrosione. Questi tubi danno un suono sordo quando sono percossi e possono essere facilmente incisi con una punta metallica; essi possono non dar luogo a perdite alle basse pressioni di esercizio, ma se sono sollecitati (ad es. per il traffico stradale, colpi di ariete, vibrazioni, movimenti del terreno ecc.) si possono avere delle rotture improvvise. Una lunga esperienza ha dimostrato che la maggioranza delle rotture o scoppi si verificano dove i tubi di ghisa sono stati precedentemente indeboliti dalla corrosione.

Una serie di prove effettuate negli Stati Uniti dal National Bureau of Standard ha dimostrato che l'acciaio, la ghisa grigia e quella sferoidale negli stessi terreni si corrodono praticamente nella stessa misura.

Sui tubi metallici dotati di rivestimento protettivo le corrosioni si verificano in corrispondenza delle lesioni subite dal rivestimento, hanno una forma più o meno tronco-conica svasata verso l'esterno (fig. 1) e naturalmente non pregiudicano la resistenza meccanica complessiva della tubazione.

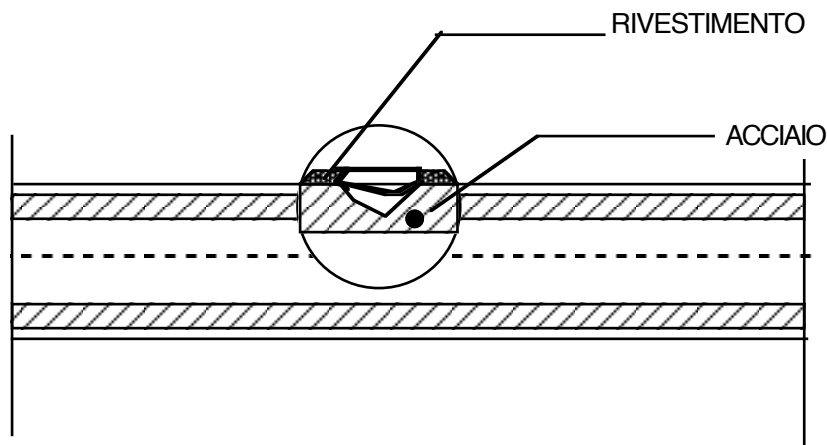


Fig. 1 - Corrosione di origine esterna su tubo rivestito

Sui tubi metallici privi di rivestimento protettivo le corrosioni si manifestano in tempi relativamente più lunghi aree più vaste e portano ad un progressivo assottigliamento della parete del tubo fino a metterlo fuori servizio senza possibilità di ricupero (fig. 2).

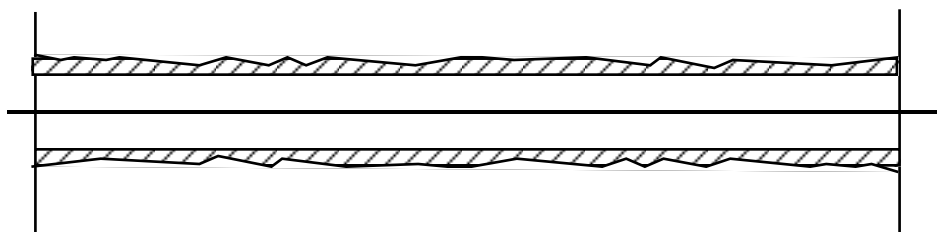


Fig. 2 - Corrosione di origine esterna su tubo nudo

Le corrosioni di origine interna, come ad es quelle dovute alla corrosività dell'acqua convogliata, hanno invece una forma più o meno tronco-conica svasata verso l'interno del tubo (fig. 3).

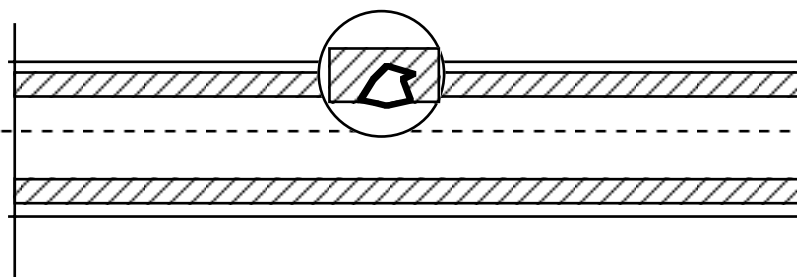


Fig. 3 - Corrosione di origine interna

Sui tubi di cemento armato le armature metalliche, data la permeabilità del cemento, risultano a contatto con l'ambiente di posa e possono essere soggette a fenomeni corrosivi. Poiché la corrosione del metallo avviene con aumento di volume, il cemento con l'andar del tempo si sgretola per cui si espongono zone sempre più vaste all'azione degradante dell'ambiente esterno.

Le più frequenti cause di corrosione delle tubazioni metalliche o dotate di armature metalliche sono la corrosività del mezzo in cui sono immerse (ad es. il terreno) e le correnti elettriche, e disperse dagli impianti elettrici a corrente continua (correnti vaganti).

6.6.2. Corrosività ed aggressività dei terreni

Quando una struttura metallica è a contatto con un terreno chimicamente e strutturalmente omogeneo si può definire una corrosività specifica del terreno stesso, che viene misurata come perdita di peso del metallo o come profondità di penetrazione in un dato periodo.

La corrosività specifica di un terreno dipende dalle sue caratteristiche chimiche (pH, acidità ed alcalinità totale ecc.), fisiche (porosità, permeabilità all'aria, resistività elettrica, capacità idrica ecc.) e biologiche (presenza di batteri solfato-riducenti ecc.)

Le caratteristiche chimiche e fisiche hanno, direttamente o indirettamente e con un peso maggiore o minore, una influenza sulla resistività elettrica del terreno per cui in prima approssimazione si può assumere la resistività come indice della sua corrosività.

Un esempio di classificazione dei terreni in funzione della resistività elettrica è dato nella tabella seguente

corrosività	resistività elettrica ohm * cm
trascurabile	> 12000
debole	12000-5000
media	5000-2000
elevata	< 2000

Poiché la resistività dei terreni varia con l'umidità e la temperatura, è opportuno accompagnare il valore della resistività con quello dell'umidità e della temperatura del terreno stesso (ad es. la resistività aumenta notevolmente quando il terreno è gelato).

Hanno un'elevata corrosività specifica i terreni argillosi e quelli contenenti ioni cloro o solforici, come ad es i terreni impregnati di acqua di mare ¹⁹.

Quando le dimensioni della struttura sono invece tali da metterla in contatto con terreni di natura diversa, essa allora sarà soggetta sia alla corrosività specifica di ciascun terreno che alla corrosività relativa o combinata o da pila geologica dovuta ai differenti tipi di terreno.

Ciò dipende dal fatto che un metallo a contatto con un elettrolita (ad es. una soluzione acquosa) assume, rispetto all' elettrolita stesso, un potenziale elettrico, il cui valore dipende dalla natura e dallo stato chimico-fisico sia del metallo che dell' elettrolita (composizione, concentrazione, temperatura, aerazione ecc.).

Due elettrodi dello stesso metallo immersi in due elettroliti diversi A e B e separati da un setto poroso (fig. 4) assumono quindi potenziali elettrici diversi per cui, collegando i due elettrodi fra di loro, si ha il passaggio di una corrente elettrica da un elettrodo (anodo) all' elettrolita e viceversa sull'altro elettrodo (catodo).

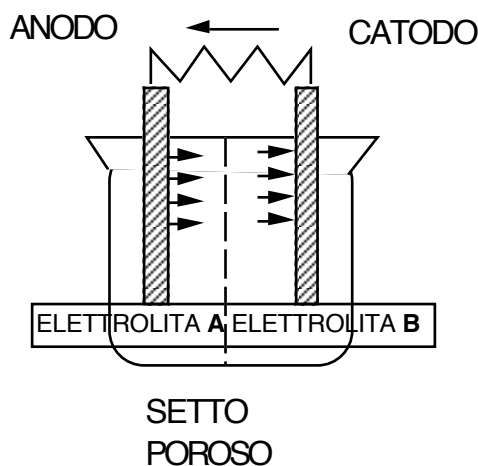


Fig. 4 - Pila elettrica costituita da due elettrodi dello stesso metallo immersi in due elettroliti diversi

In corrispondenza dell'anodo si ha la dissoluzione del metallo, cioè la sua corrosione.

Le parti di una tubazione, poste in terreni aventi caratteristiche chimiche o fisiche diverse, si comportano in modo analogo agli elettrodi della pila di fig. 4, per cui si ha una circolazione di corrente come illustrato in fig 5.

19 La resistività dell'acqua di mare t. di 25 . 30 ~2 cm.

Quanto più è bassa la resistività elettrica dei terreni tanto più è alta la corrente in gioco e quindi più sono intensi i fenomeni corrosivi.

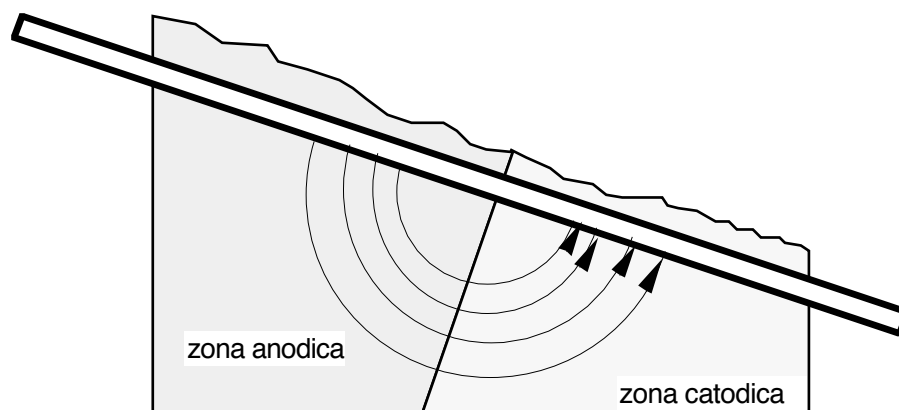


Fig 5 - Pila geologica

Quando su una tubazione agisce più di una pila, la loro azione in alcuni casi è concorde e in altri contraria: nei punti in cui si sovrappongono le zone anodiche il fenomeno corrosivo si intensifica, mentre diminuisce dove l'azione delle pile è discorde. Le dimensioni delle pile possono essere dell'ordine delle centinaia di metri e, talvolta, anche dell'ordine dei chilometri

La corrosività relativa di un tracciato viene valutata sulla base della corrosività specifica dei terreni attraversati (resistività, acidità totale, pH ecc.) ed è tanto più alta quanto maggiori sono le corrosività specifiche dei vari terreni e le loro variazioni lungo il tracciato. Non potendo ovviamente esaminare punto per punto il tracciato di una tubazione, si rilevano le caratteristiche dei terreni ad intervalli regolari (ad es. 500 m) e dove queste caratteristiche sembrano cambiare; naturalmente lo studio sarà tanto più completo quanto minore è l'intervallo prescelto.

Mentre la resistività elettrica di un terreno dà una indicazione di larga massima sulla sua corrosività specifica, può dare invece una indicazione abbastanza attendibile sulla corrosività relativa dei terreni lungo un determinato tracciato.

6.6.3. Correnti vaganti

Queste correnti sono disperse nel terreno da impianti di trazione a corrente continua (ferrovie, tramvie ecc.), impianti industriali che utilizzano le terre come conduttori di ritorno (impianti elettrochimici, di saldatura, di trasporto ecc.) ed anche alimentatori di protezione catodica installati su strutture di terzi.

Nelle ferrovie elettrificate a corrente continua ad esempio la corrente erogata dalla sottostazione percorre la linea aerea, entra nei motori dell'elettrotreno e quindi ritorna alla sottostazione in parte lungo le rotaie ed in parte attraverso il terreno.

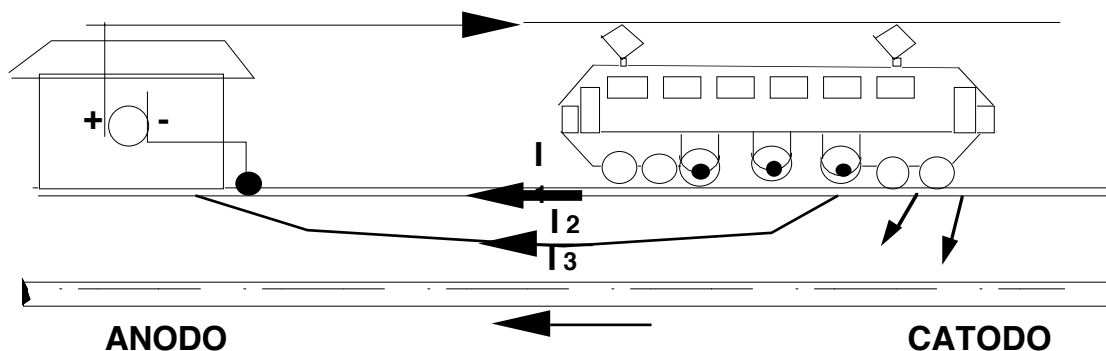


Fig 6 - Vie percorse dalle correnti vaganti nel ritorno alla sottostazione (rotaie, terreno, tubazione)

Se in vicinanza della ferrovia esiste una tubazione metallica, una parte della corrente entra in un tratto (catodo) ed esce in un altro (anodo), corrodendo la tubazione in corrispondenza di quest'ultima posizione.

La corrente quindi può ritornare alla sottostazione lungo 3 vie (rotaie, terreno e tubazione) e si ripartisce tra queste a seconda delle rispettive resistenze elettriche.

Pertanto l'intensità delle correnti vaganti che percorrono la tubazione sarà tanto più elevata, a parità di altre condizioni (intensità della corrente dispersa dalle rotaie, posizione della motrice ecc.), quanto più sono alte la resistività elettrica dei terreni attraversati e la conduttanza elettrica longitudinale della struttura stessa.

Il senso della corrente che circola entro una tubazione può variare nel tempo. Nel caso ad esempio di una tubazione che attraversa una ferrovia in un punto distante dalla sottostazione (fig 7), quando la motrice ha la posizione indicata in fig 7 a la tubazione raccoglie corrente lontano dall'incrocio (zona catodica) e la cede al terreno vicino alle rotaie (zona anodica).

Quando invece la motrice si trova in prossimità dell'incrocio (fig. 7 b) la corrente in questa posizione entra nella tubazione per uscire lontano dalla linea ferroviaria.

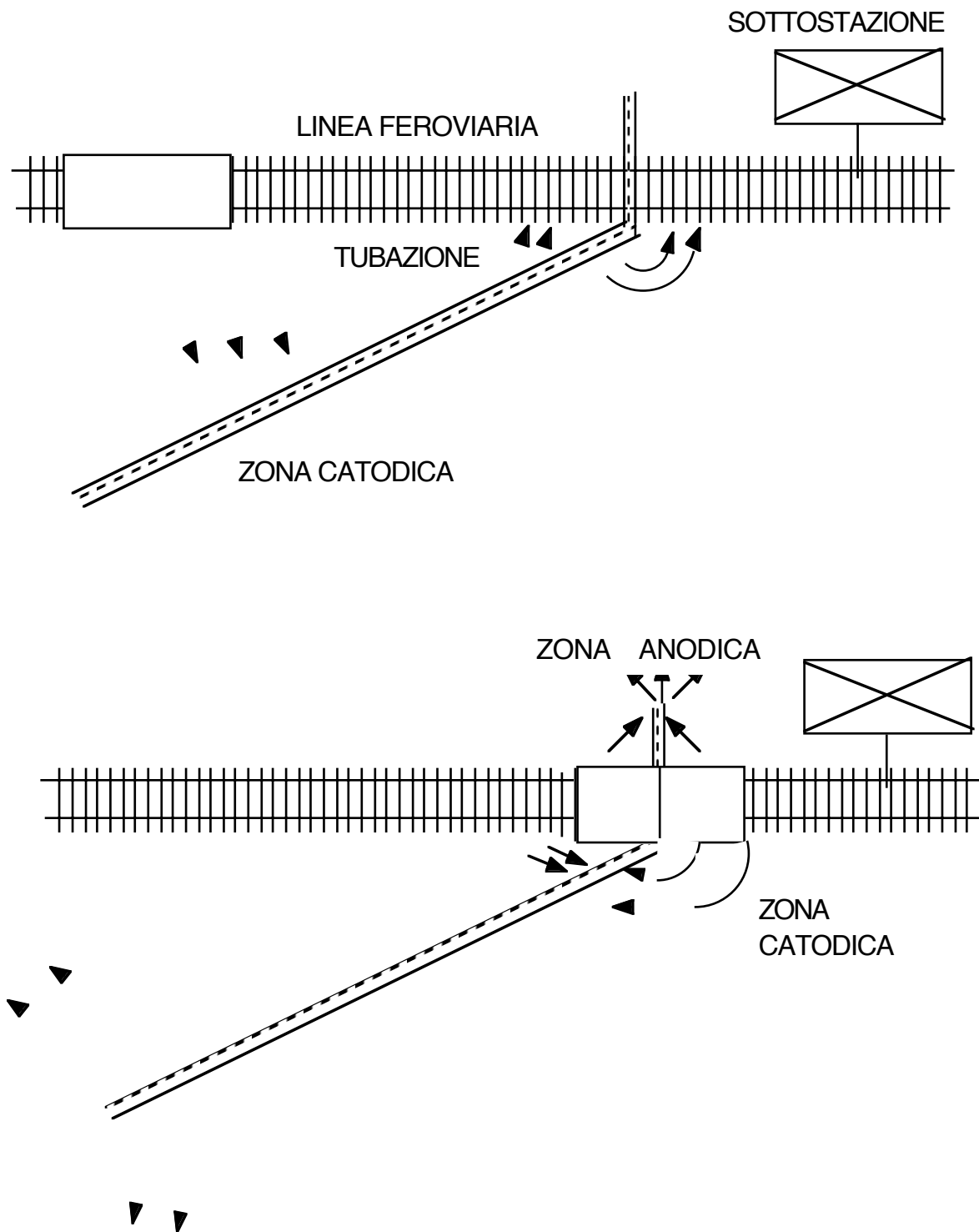


Fig 7 - Incrocio fra tubazione e linea ferroviaria

In genere l'intensità delle correnti vaganti che circolano entro le tubazioni metalliche è molto maggiore dell' intensità delle correnti dovute alle pile galvaniche; le correnti vaganti possono raggiungere anche una intensità dell'ordine delle decine di Ampere.

E' da tener presente che quando una corrente di 1 Ampere passa da un elettrodo di ferro puro ad un elettrolita (terreno, acqua ecc.) consuma teoricamente in un anno 9,1 kg di metallo; la perdita di peso effettiva di un elettrodo di acciaio (ad es. una tubazione) è leggermente inferiore e comunque non molto diversa da quella di un elettrodo di ghisa.

Le correnti vaganti disperse da impianti elettrici a corrente alternata (ferrovie, messe a terra di impianti elettrici ecc.) costituiscono un pericolo di corrosione molto minore Prove effettuate in laboratorio hanno indicato che con la corrente alternata la perdita di peso dell'elettrodo è circa la centesima parte di quella che si avrebbe, a parità di metallo e di intensità di corrente, con la corrente continua.

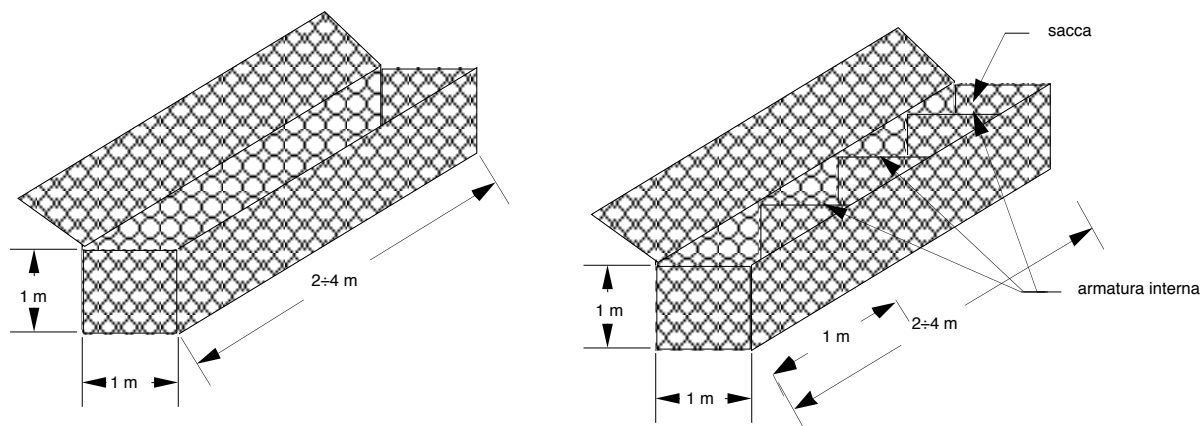
7. I gabbioni e consimili;

Da diversi anni ed in diversi settori dell' ingegneria civile é utilizzato un materiale da costruzione composito detto gabbione, poi da questo sono derivati altri prodotti quali:

- le mantellate;
- i materassi ed i guanciali;
- i sacchi.

Trattasi di materiale sciolto in genere pietrame di opportuna pezzatura, talvolta ben organizzato, almeno le lato "facciavista" più speso alla rinfusa, talvolta tufo, che é opportunamente organizzato in gabbie metalliche fatte con filo 2÷3 \varnothing mm zincato (ed ora anche zincato e plasticato) ed a maglia esagonale.

Le dimensioni tipiche del gabbione sono di 1 * 1 * 3 metri, lo spazio interno al gabbione é, a volte suddiviso in sacche onde conferire maggiore resistenza strutturale.



La tipologia dimensionale e le caratteristiche meccaniche dei fili sono stati oggetto di normativa da parte di:

- Circolare del Consiglio Superiore LL.PP. n 2078 del 27/8/1962
- B.S. (British Standar) 443/1982
- U.S. Federal Specification QQ W 461

Prima del riempimento delle gabbionate metalliche vanno cuciti i singoli spigoli degli elementi in modo da ottenere le sagome previste, in genere parallelepipedi, successivamente si procederà al collegamento degli spigoli con quelli degli elementi contigui, comprendendo nella cucitura gli eventuali fili di bordatura.

Le cuciture vengono eseguite in modo continuo, passando il filo entro ogni maglia e con un giro doppio ogni due maglie. Il filo occorrente per cucire e tiranti dovrà avere opportune caratteristiche

Anche la chiusura degli elementi dovrà essere effettuata cucendo i bordi del coperchio a quelli delle pareti con l'apposito filo per cucire, passando il filo entro ogni maglia e con un giro doppio ogni due maglie.

I fili metallici, costituenti la rete sono zincati, galvanizzati ed atti a resistere per lunghissimo tempo (circa 25 anni) all'effetto ossidante, di recente sono stati introdotti sul mercato gabbioni fatti con fili che oltre al trattamento di cui sopra sono rivestiti in PVC da utilizzarsi in ambienti particolari aggressivi, con la precauzione di non danneggiare il rivestimento durante il riempimento e la successiva posa in opera.

Il materiale di riempimento dovrà essere idoneo sia dal punto di vista della durabilità dell'opera, quindi non essere gelivo, friabile, dilavabile, tenero, che per peso specifico e granulometria.

Infatti è l'azione della gravità che permette al gabbione, in genere di svolgere le funzioni cui è destinato.

La granulometria del riempimento è compresa tra 120 ed il 300% della maggiore dimensione della maglia della rete, sempre che questo consenta di ottenere pareti piane e parallele tra loro, e spessore costante del manufatto.

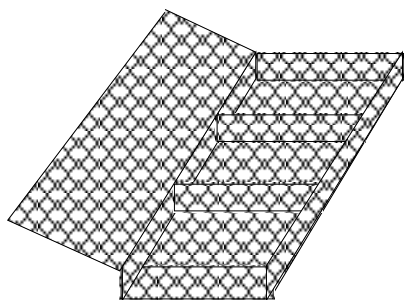
Il riempimento degli elementi dovrebbe essere effettuato a mano con ciottoli di fiume o pietre di cava, stipati in modo da ridurre al minimo gli spazi vuoti tra gli elementi, le fronti in vista saranno lavorate come prescritto per le murature a secco.

Tuttavia non di rado si assiste a gabbioni riempiti con i mezzi meccanici (pale meccaniche, escavatori, ecc..)

Durante il riempimento specie se il gabbione non è diviso in sacche è necessario disporre nell'interno del gabbione un adeguato numero di tiranti in filo di ferro zincato, ad evitare un'eccessiva deformazione delle "scatole" anche nella fase successiva al riempimento.

Detti tiranti possono essere disposti all'interno delle "scatole" verticalmente e/o orizzontalmente . In genere vengono usati tiranti per collegare fondo e coperchio e tiranti orizzontali per collegare le pareti verticali dei gabbioni di maggiore altezza (4÷6 per mc. di gabbione).

Analoghi ai gabbioni sono i così detti materassi "Reno" od i guanciali²⁰ che hanno dimensioni di 0,5*2*3 e forma della figura seguente.



Sono sempre dello stesso materiale e pressoché della stessa forma ma con dimensioni diverse (l'altezza si riduce intorno ai 20 cm)

I sacchi sono invece delle gabbie che non hanno forma parallelepipeda ma quella del cilindro chiuso a mo di sacco. Servono più che altro per opere di fondazione e per difese spondali come avremo modo di vedere nel seguito.

Erroneamente ambienti ecologisti hanno dato anche all' uso dei gabbioni la classificazione di opere di cementificazione.

Invero il gabbione é un elemento flessibile e tutt'altro che rigido, permeabile e che costituisce peraltro un ottimo materiale filtrante. Col tempo l'unico e modesto elemento turbativo: il filo metallico scompare ma il gabbione divenuto ora solo un ammasso di pietrame, quindi elemento più che naturale rimane al suo posto a svolgere la sua funzione. L'armatura metallica nel frattempo é stata sostituita da un'armatura naturale fatta dalla vegetazione.

Per favorire tale sviluppo di vegetazione oggi si possono adoperare gabbioni che prima di essere riempiti con pietrame vengono internamente foderati con un non tessuto e quindi riempiti di pietrame e terreno vegetale preseminato.

Un talre gabbione già poco tempo dopo la sua posa in opera non mostrerà più l'aspetto del pietrame (o quello del non tessuto) ma un manto verde.

²⁰ I nomi diversi sono legate alle diverse ditte costruttrici.

7.1. Caratteristiche meccaniche dei gabbioni

8. Le opere in legno e corda, le fascinate, le viminate, ecc..

Nelle costruzioni idrauliche il legno ha sempre avuto una grande importanza, da dighe in legno (le ture) alle paratoie, alle briglie ed alle viminate e fascinate, alle paratoie ad un vasto panorama di opere provvisorie e di difesa del territorio.

Quasi dimenticate negli anni 70 ed 80 sono state ora rilanciate dalla spinta ecologista.

Qui di seguito ne diamo una rapida disamina purtroppo non certo esaustiva.

8.1. Le palificate in legno

Le palificate in legno sono certo le più antiche, risalgono alle palafitte. La stessa Venezia è costruita su fondazioni di tale tipo, ma non mancano esempi di ponti o di altre opere.

I pali devono ovviamente provenire da alberi di essenza forte, scortecciati, ben dritti, di taglio fresco, congruati alla superficie ed esenti da carie.

La parte inferiore del palo è sagomata a punta e, a volte, munita di puntazza in ferro.

Prima di procedere alla realizzazione della palificata è in genere necessaria l'infissione di uno o più pali allo scopo di determinare, in base al rifiuto, la capacità portante.

I pali, salvo condizioni particolari, vengono affondati verticalmente e per la battitura la testa viene munita di anello di ferro e ghiera.

I pali debbono essere battuti a rifiuto con maglio di potenza adeguata. Il rifiuto si intende raggiunto quando l'affondamento prodotto da un determinato numero di colpi del maglio (volata), cadenti successivamente dalla stessa altezza, non supera il limite stabilito in relazione alla resistenza che il palo deve offrire.

8.2. Paratie in legname, le ture

Per molto tempo le paratie cioè opere piane verticali di contenimento di terreni o di acqua (ture) sono state realizzate in legno od in legno e acciaio (o semplicemente ferro)

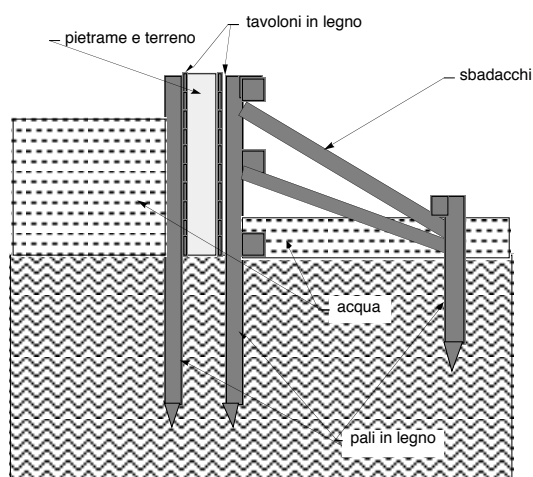
In particolare le paratie in legname sono formate con pali o tavoloni o palancole infisse nel suolo e con longarine o filagne di collegamento in uno o più ordini, a distanza conveniente.

I tavoloni vanno battuti a perfetto contatto l'uno con l'altro; ogni palo o tavolone che si spezzi sotto la battitura o che nella discesa devii dalla verticale, deve essere estratto e ove il caso sostituito .

Anche in tal caso le teste dei pali e dei tavoloni vanno munite di adatte cerchiature in ferro per evitare le scheggiature e gli altri guasti che possono essere causati dai colpi del maglio, le punte ove necessario saranno munite di puntazze in ferro.

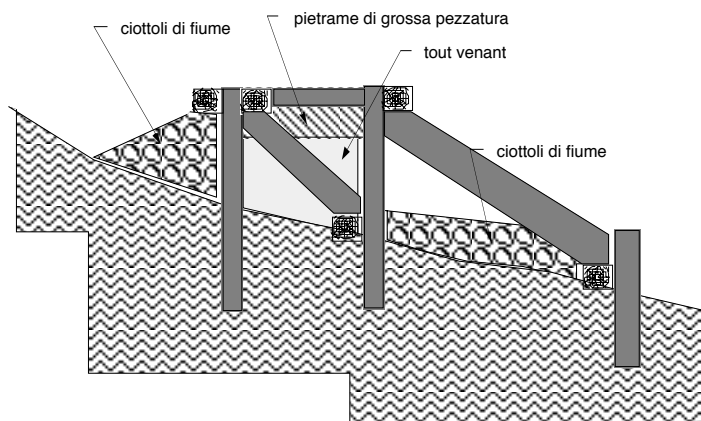
Le teste delle palancole vanno portate regolarmente a livello delle longarine, recidendone la parte sporgente.

La figura che segue mostra un esempio di tura a doppia parete.



8.3. Le briglie in legno

Sono simili alle ture. la sezione schematica é quella qui di seguito rappresentata.



8.4. Fascinate verdi

Tra le tecnologie in legno vengono annoverate anche le fascinate che possono essere formate con legname secco posto in verticale e con virgulti verdi in orizzontale

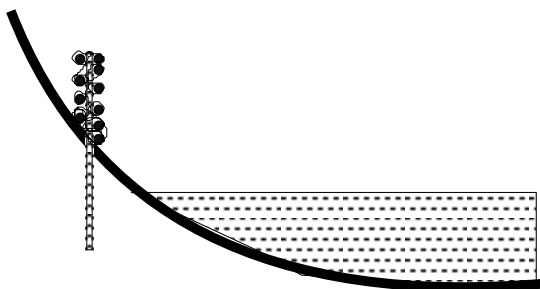
Le fascinate con legname sono costituite da picchetti di larice o castagno (talvolta anche di salice, tamerice, pioppo e simili) posti a distanza di 1 metro l'uno dall' altro e ben infissi nel terreno (previa punta conica) dal quale devono sporgere di circa 1÷1,30 metri. a volte anzicche essere secchi sono verdi. Il diametro varia dal 7 ai 10 cm.

Tra l'uno e l'altro di tali paletti si legano fascine verdi (serrette) delle stesse essenze vegetali di cui sopra..

Le serrette sono fissate mediante legatura in croce di filo di ferro in testa ai paletti e con rinverdimento di talee di salice, pioppo, tamerice, ecc. (15 talee a mq.), da risarcire fino a completo attecchimento.

Le opere sovente vanno completate con formazione e rifinitura dello stramazzo per il passaggio dell' acqua, di eventuali piccoli arginelli in terra battuta alle spalle delle serrette stesse.

La figura che segue ne illustra schematicamente un tipo.



8.5. Graticci in fascine verdi

Sono opere che si realizzano impiegando gli stessi materiali delle serrette, mediante terrazzamento del terreno, larghezza terrazzata m. 1,20, avente pendenza contropoggio, e con paletti infissi per m. 0,60 nel terreno alla distanza di m. 0,50 l'uno dall'altro, disponendo i cordoli di fascine, alti circa cm. 50 fuori terra, con le punte verso monte e con legature in croce di filo di ferro zincato, fissate a mezzo di cambrette in testa ai paletti.

Subito a monte, e nella massa di fascine miste a terra, va realizzato un ulteriore rinverdimento con talee di salice, ecc., .

8.6. Semina mediante attrezzature a spruzzo e protezione con paglia

I contenuti del presente paragrafo sono stati inclusi nel più vasto capitolo del legname coime materoale per le Costruzioni Idrauliche ma di fatto trattasi di operazioni agricole. anche se realizzate con mezzi industriali

Trattasi di operazioni sa difesa di scarpate sia in rilevato o in scavo che vengono sistemate mediante una semina eseguita con particolare attrezzatura a spruzzo e ove il caso protezione con paglia.

Esistono tre diversi modi di procedere alla semina tre diverse maniere e precisamente:

- a) impiego di miscuglio di esame, concime granulare ed acqua;
- b) impiego di miscuglio come al precedente punto a) ma con l'aggiunta di sostanze collanti come cellulosa, betonite, torba, ecc.;

- c) impiego di miscuglio come al precedente punto a) e successivo spandimento di paglia.

Con il primo sistema vengono in genere impiegati i seguenti quantitativi di concime granulare e sementi:

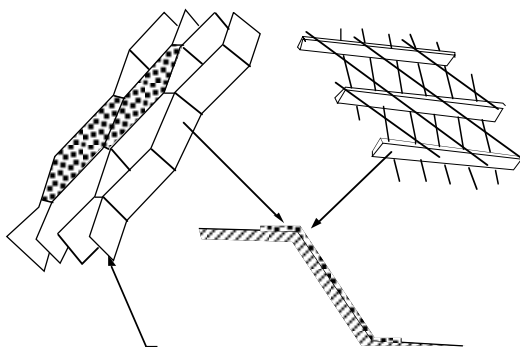
- concimi fosfatici: titolo medio 18% 8 ql. per ettaro;
- concimi azotati: titolo medio 16% 4 ql. per ettaro;
- concimi potassici : titolo medio 40% 3 ql. per ettaro.

Mentre il sistema previsto al punto b) prevede l'impiego di identico quantitativo di seme e concime con aggiunta di scarto di cellulosa o betonite sufficiente per ottenere l'aderenza dei semi e del concime alle pendici di scarpate.

In casi particolari alla semina effettuata con il primo sistema seguirà uno spandimento di paglia da effettuarsi con macchine adatte allo scopo, che consentano contemporaneamente la spruzzatura di emulsioni bituminosa. La paglia impiegata per ettaro di superficie da trattare sarà 50 ql., mentre l'emulsione bituminosa, avente la funzione di collante dei fucelli di paglia, sarà 12 ql. per ettaro.

9. I geotessili, i geosintetici, le terre armate;

Sono materiali di recente ed recentissima introduzione di cui é estremamente difficile darne una classificazione.



10. I materiali metallici e la carpenteria metallica

Il ferro e l'acciaio nonché altri materiali metallici sono da sempre utilizzati nelle Costruzioni idrauliche.

Possiamo innanzitutto fare la seguente distinzione:

- materiali metallici utilizzati fuori dalla carpenteria metallica;
- utilizzi in carpenteria metallica

11. I materiali plastici

Di recente anche materiali plastici hanno fatto il loro ingresso nelle Costruzioni Idrauliche.

Si è già detto dei tubi e delle valvole, dei geosintetici ecc

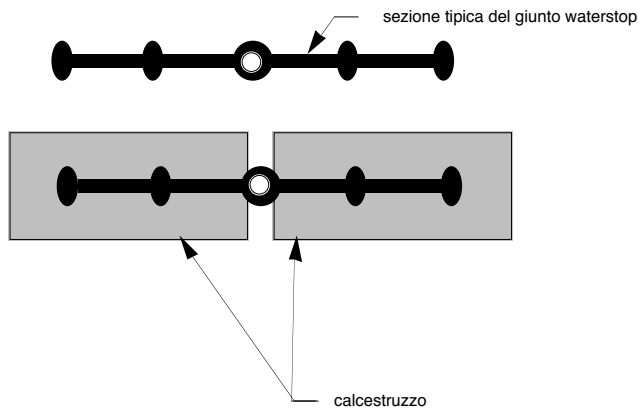
Ma oltre a tali casi occorre citarne altri.

Tra i prodotti che hanno ormai acquisito a pieno titolo diritto alla menzione in questa sede ci sono indubbiamente:

- i giunti tipo Water-stop;
- accessori di impianti di trattamento acqua;
- materiale filtrante dei letti percolatori.

I primi sono dei giunti che servono a collegare in maniera impermeabile due diversi getti di calcestruzzo e si utilizzano sia nel caso di "ripresa del getto" che per realizzare giunti di dilatazione.

La figura che segue ne illustra un esempio tipico.



ma non é certo esaustiva né degli usi né della tipologia. D'altronde forma e dimensioni sono funzioni delle pressioni e quindi per una scelta oculata occorrerà avere una chiara idea dell' uso e dei prodotti che offre il mercato.

12. altri materiali (materiali bituminosi, riv. di gres)

13. Macchine e meccanismi nelle Costruzioni Idrauliche

Le Costruzioni Idrauliche ancorché inquadrare nell' ambito dell' Ingegneria Civile e dell' Ingegneria del Territorio e per certi versi antesignane della stessa hanno un' ampie zone di cointeresse con l'ingegneria industriale in generale ed in specie con l'Ingegneria Meccanica (basti pensare alle Macchine Idrauliche, ai meccanismi di manovra della paratie ecc..) e con l'Elettrotecnica (gli impianti di produzione di energia elettrica, le stazioni di spinta ecc..).

Nel seguito del presenta pragrafo faremo un cenno alle macchine idrauliche ed ai meccanismi più comunemente adottati.

Distinguiamo le macchine ed i meccanismi per le funzioni:

- impianti di sollevamento

vengono utilizzate:

- pompe (di vario tipo)
- clochee
- norie

- impianti di produzione di energia.
 - turbine Pelton
 - turbine Francis
 - turbine Kaplan
- meccanismi di manovra.
 - argani e verricelli
 - catene, funi e pulegge
 - cremagliere, ruote dentate , riduttori ecc...

In quanto segue é una breve disamina con un maggior approfondimento sulle pompe.

13.1. Le pompe e le altre macchine per gli impianti di sollevamento.

Si é già detto che le macchine per gli impianti di sollevamento dell' acqua sono le pompe, le clochee e le norie.

Occupiamoci innanzitutto delle pompe che sono le più diffuse.

Una prima classificazione può essere fatta, indipendentemente dal tipo di energia che verrà utilizzata per azionare la pompa, in base al meccanismo stesso della pompa. Avremo:

- pompe centrifughe;
- pompe volumetriche (a pistoni, a lobi, a membrana ecc...)

Sono indubbiamente le prime quelle più diffuse e su queste ci soffermeremo.

Corre fare subito un distinguo anche tra le varie pompe centrifughe in quanti il campo è molto ampio.

Una distinzione può essere fatta in base all' ambiente nel quale lavorano avremo:

- pompe insommergibili, cioè che non possono essere collocate dentro l'acqua;

e

- pompe sommergibili, tipiche per i pozzi e per gli impianti di sollevamento fognari, dove la pompa e relativo motore, opportunamente stagno, sono ubicati permanentemente entro il liquido da sollevare;

un'altra distinzione é in funzione della posizione dell' asse della pompa, avremo:

- pompe ad asse orizzontale ;

e

- pompe ad asse verticale;

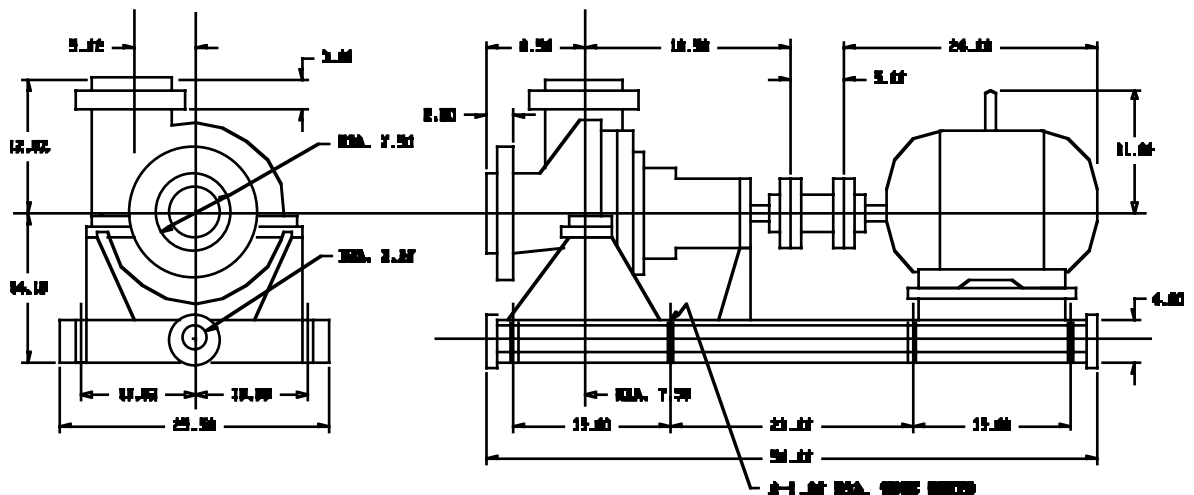


fig..... - disegno schematico di un'elettropompa insommergibile ad asse orizzontale.

un'altra distinzione é in funzione del numero di stadi durante i quali l'energia meccanica viene convertita in energia di pressione nell' acqua:

- pompe a girante singola (o monostadi) ;

e

- pompe a giranti multiple (a più stadi);

L'energia meccanica alla pompa può esserle conferita o da:

- un motore elettrico (in corrente continua od alternata, monofase o trifase) parliamo in tal caso di elettropompe;
- un motore ad energia termica:
 - a scoppio,
 - diesel,
 - turbina a combustione interna (turbo gas)

si parla allora di motopompe.

- da altre macchine idrauliche (accoppiamento in asse o meno con turbine) , si parla allora di impianti di autosollevamento.

14. Tecnologie

14.1. Tiranti ed ancoraggi delle fondazioni dei muri in cls e in c.a.

Dovranno essere realizzati mediante barra di acciaio Fe B 44 K introdotte in fori eseguiti in roccia di diametro da 1,5 a 2 volte il diametro delle barre e sigillate con malta espansiva.

Il diametro e la spaziatura delle barre sono stabiliti nei disegni di progetto.

Le lunghezze dei fori e delle barre, indicativamente fissate nei disegni di progetto, dovranno essere stabiliti dalla Direzione Lavori in funzione delle situazioni locali.

I tiranti devono essere conformi alle disposizioni dell'allegato "B" della Circolare Ministero LL.PP. 30 giugno 1980 ed eventuali successivi aggiornamenti.

14.2 Dreni speciali - Diaframma drenante e pali drenanti

In relazione a particolari situazioni geologiche locali, in particolare quando la profondità del terreno da drenare supera certi valori (10÷12 m), i dreni possono essere costituiti da pali adiacenti da eseguirsi lungo i tratti previsti e riempiti di materiale drenante.

La peculiarità di questa tecnologia è costituita dall'impiego di un tubo sagomato ("tubo gobbo") che permette di avere la secanza tra i pali contigui e quindi la continuità del corpo drenante.

Per tubo gobbo si intende un normale tubo, sagomato con una gobba interna (a mezzaluna), in modo da consentire l'affiancamento di analogo tubo (secanza).

Tale procedura consente di ottenere la continuità del corpo drenante.

Il tubo gobbo viene immesso in un foro di diametro 80-100 cm. precedentemente eseguito a secco e senza rivestimento.

Successivamente il tubo gobbo viene riempito con il materiale drenante e si procede quindi alla perforazione del palo adiacente, si infigge il secondo tubo gobbo e lo si riempie di materiale drenante e si procede alla perforazione del palo adiacente.

A questo punto si estrae il primo tubo gobbo e si procede come sopra.

Il materiale drenante è costituito da misto granulare uniformemente distribuito a partire da una pezzatura minima di 0,4 mm. (sabbia media) fino alla pezzatura massima di 7 cm. (ghiaia).

Lo spessore del riempimento, variabile in relazione alla profondità dello scavo, va dal fondo scavo stesso fino a 80 cm. di piano campagna, al di sopra del quale si deve ricostruire uno strato di terreno agricolo.

14.3. Drenaggi in genere ed a tergo dei muri in calcestruzzo e/o gabbioni

Dovranno essere realizzati utilizzando tubi in p.v.c. opportunamente forati rivestiti con feltri di materiale sintetico di tessuto non tessuto.

Verranno realizzati mediante una sacca di feltro "tessuto non tessuto" in fibra poliestere del peso di 500 g/m² riempito con misto granulare composto da sabbia,

ghiaietto e ghiaia lavati con una percentuale di sabbia non inferiore al 30%; la percentuale di materiale fine (limo e argilla) non dovrà superare il 5%.

Le dimensioni della sacca e le modalità d'esecuzione del drenaggio verranno stabilite caso per caso dalla Direzione Lavori.

Le giunzioni del feltro in tessuto-non tessuto dovranno essere nel numero minore possibile realizzate con una sovrapposizione di almeno 50 cm.