

# VII CONVEGNO SULLA MANUTENZIONE E TEROTECNOLOGIA

ORGANIZZATO  
DALL'ASSOCIAZIONE ITALIANA TECNICI DI MANUTENZIONE (A. I. MAN.)  
E DAL CENTRO PROVINCIALE PER LA PRODUTTIVITA' TRIESTE  
CON LA COLLABORAZIONE  
DELLA FACOLTA' D'INGEGNERIA DELL'UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRIESTE

6-7-8 novembre 1975

Mario COLLEPARDI  
Silvio Mauro GUELLA  
Michele VALENTE

LA TECNOLOGIA  
PER LE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO

VII CONVEGNO SULLA MANUTENZIONE

TRIESTE 6-7-8 NOVEMBRE 75

LA TECNOLOGIA PER LE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO

AUTORI: MARIO COLLEPARDI  
SILVIO MAURO GUELLA  
MICHELE VALENTE

## LA TEROTECNOLOGIA PER LE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO

### I.- PREMESSA

"Minimizzare il costo del sistema nell'arco della sua vita": è l'ultima frase della definizione della parola terotecnologia.

Con la nota che Vi esponiamo, "la terotecnologia per le strutture in calcestruzzo", vogliamo riassumere, in un quadro logico, le possibilità di scelta che si offrono al progettista e al tecnico di manutenzione, quando deve affrontare soluzioni per le quali il calcestruzzo è il materiale determinante e per le quali si pone il problema di minimi costi e massima durata nel tempo.

Con la parola calcestruzzo intendiamo, per utile ma impropria esemplificazione, tutti quegli impasti nei quali è fondamentale la reazione tra l'acqua ed i composti silicoalluminosi.

Parleremo pertanto oltre che di calcestruzzi veri e propri, di calcestruzzi reoplastici, di malte antiritiro, di prodotti per iniezioni, di rivestimenti antiusura, di fusioni a freddo etc. Viene ovvia l'analisi con le leghe di ferro e di altri metalli, che per la loro differenziazione contribuiscono in maniera determinante allo sviluppo della terotecnologia.

### 2.- IL CALCESTRUZZO

Le strutture in calcestruzzo hanno molta importanza in tutti i settori operativi industriali.

La loro progettazione e la loro efficienza nel tempo meritano una attenzione che non può essere sottovalutata rispetto ai più noti problemi che riguardano le macchine o le installazioni meccaniche in genere.

Va subito detto che i problemi di manutenzione creati

dalle strutture in calcestruzzo sono spesso notevoli, ma che potrebbero ridursi radicalmente, qualora il calcestruzzo venisse correttamente ed appropriatamente formulato.

Nella maggior parte dei casi alla degradazione del calcestruzzo concorrono più cause e ciò complica l'analisi dei fattori ai quali il deterioramento deve essere ascritto.

Tuttavia indipendentemente dal tipo e dal numero delle cause di aggressione, si può dire che in generale la degradazione avviene attraverso l'interazione di uno o più agenti aggressivi con il materiale e che l'interazione si verifica grazie alla presenza di un sistema continuo di pori comunicanti con l'esterno che consentono appunto l'ingresso degli agenti aggressivi all'interno della struttura in calcestruzzo.

Pertanto indipendentemente dalle cause esterne che provocano la degradazione, la prima barriera da apporre all'aggressione del materiale consiste nel creare la struttura porosa più idonea innanzitutto per ostacolare la penetrazione all'interno del calcestruzzo dell'agente aggressivo e, in secondo luogo, per eliminare o limitare al massimo i danni della aggressione, una volta che l'agente degradante sia penetrato nel materiale.

Il calcestruzzo può essere definito come un materiale composito formato da inerti di dimensione variabile, legati tra loro da una colla inorganica che è la pasta cementizia. Ai fini della durabilità le cavità interessate a favorire il processo di degradazione sono quelle presenti nella pasta o nell'interfacies inerte-pasta.

Le cavità presenti nella pasta di cemento possono essere formalmente suddivise in due categorie: pori del gelo (così chiamati perchè presenti all'interno del "gelo tobermoritico" che è l'elemento fondamentale cui si debbono quasi esclusivamente le proprietà leganti della pasta di cemento) ed i pori capillari: i primi sono pori dell'ordine di  $10 - 100 \text{ \AA}$ , situati tra le particelle colloidali che compongono il "gelo tobermoritico", i secondi sono cavità di dimensione maggiore ( $0,01 - 10 \text{ micron}$ ) distribuiti in tutta la pasta legante (I).

A causa della diversa dimensione, solo i pori capillari sono in grado di far passare un liquido attraverso la pasta di cemento.

Da un punto di vista pratico, tutto ciò si traduce in una permeabilità all'acqua del calcestruzzo tanto più elevata, quanto maggiore è il contenuto dei pori capillari.

Ovviamente, una maggiore permeabilità all'acqua significa una maggiore penetrazione nel calcestruzzo di tutte le sostanze, comprese quelle aggressive, che sono trascinate dall'acqua stessa. Il problema di migliorare la durabilità del calcestruzzo diventa, quindi, quello di ridurre il contenuto dei pori capillari nella pasta cementizia, oltre, naturalmente, a quello di eliminare la macroporosità derivante da una insufficiente compattazione del calcestruzzo stesso.

I pori capillari sono per la maggior parte gli spazi occupati dall'acqua che non ha reagito con il cemento (acqua libera). In misura notevolmente minore i pori capillari sono originati da una contrazione della pasta legante dovuta al fatto che il prodotto della reazione (il cemento idratato) occupa un volume minore dei reagenti (l'acqua ed il cemento anidro).

## 2.1.- CALCESTRUZZI RESISTENTI ALLE AGGRESSIONI CHIMICHE DELL'ATMOSFERA.

Le condizioni ambientali nelle quali i materiali da costruzione in genere ed il calcestruzzo in particolare, sono venuti a trovarsi, sono diventate sempre più aggressive per il crescente inquinamento atmosferico.

La fig. 1 mostra, per esempio, una mappa di Budapest che indica le concentrazioni dei solfati nei terreni della zona industriale 50 anni fa ed oggi. L'area in nero, in particolare, si riferisce a terreni con un tenore di solfato tra 1000 e 2000 mg/lt, valori concordeamente ritenuti estremamente pericolosi per un calcestruzzo per la progettazione del quale non si siano prese in considerazione misure di prevenzione contro l'aggressione. Non sono disponibili purtroppo, analo-

ghe mappe per il nostro paese. Tuttavia è ragionevole assumere, tenuto conto del diverso grado di industrializzazione che la situazione in Italia è probabilmente più grave che in Ungheria.

Per ottenere calcestruzzi resistenti alle aggressioni chimiche dell'atmosfera, non è necessario eliminare del tutto i pori capillari della pasta cementizia, ma è sufficiente che essi siano in numero così piccolo da non essere in contatto tra loro: in altre parole i pori capillari non debbono costituire un sistema di vuoti tra loro connessi. E' necessario agire in due direzioni:

- 1) ridurre l'acqua di impasto del calcestruzzo,
- 2) far reagire il più possibile l'acqua con il cemento.

Fortunatamente, agire in entrambe queste direzioni, significa ottenere calcestruzzi dotati di migliori proprietà meccaniche, oltre che di più grande durezza.

Nella fig. 2 è mostrato l'effetto del rapporto acqua/cemento sul tempo di idratazione necessario e realizzare la discontinuità dei pori capillari.

Se il rapporto acqua/cemento (A/C) supera 0,7 diviene praticamente impossibile preparare calcestruzzi durabili con porosità capillare discontinua.

E' noto che diminuire il rapporto A/C per incrementare le resistenze meccaniche, o per migliorare la durabilità del calcestruzzo, comporta una riduzione della lavorabilità del calcestruzzo.

L'inconveniente viene risolto mediante l'aggiunta di un additivo fluidificante e riduttore di acqua libera che consente di lasciare immutata la lavorabilità, pur con un minor quantitativo di acqua di impasto, e favorisce inoltre l'idratazione del cemento (?).

Una conferma pratica di quanto esposto è mostrata nei grafici della fig. 3 dove sull'ordinata è riportato il coefficiente di permeabilità del calcestruzzo e sull'ascissa la stagionatura. Si può osservare che in pre-

senza dell'additivo la permeabilità del conglomerato risulta sensibilmente minore.

Indicativamente un buon calcestruzzo per costruzioni di impianti industriali dovrebbe avere questa formulazione:

- cemento : 425 portland
- dosaggio : 300 + 350 Kg/mc
- A/C : 0,50 + 0,55
- additivi : tipo Pozzolith
- resistenza a compressione. : superiore a 350 Kg/cm<sup>2</sup>
- permeabilità : inferiore a  $1 \cdot 10^{-9}$  cm/sec.

## 2.2.- CALCESTRUZZO RESISTENTE ALL'AZIONE DELL'ACQUA DEL MARE

In questo caso oltre all'azione chimica dei solfati e del magnesio, coesistono le azioni fisiche dovute alla pressione osmotica ed alla cristallizzazione dei sali, le azioni meccaniche di erosione ed abrasione del moto ondoso e, secondo il parere di alcuni autori, non sarebbe da escludere neppure un'azione biologica di alcuni micro-organismi sul calcestruzzo.

I risultati sperimentali dimostrano che per confezionare calcestruzzi resistenti all'azione aggressiva del solfato e del cloruro, ioni che sono presenti nella acqua del mare, è preferibile usare cemento pozzolanico o d'altoforno in luogo del cemento portland (3). Un ulteriore incremento della durevolezza dei manufatti può essere realizzata mediante l'aggiunta al calcestruzzo dell'additivo riduttore di acqua libera e soprattutto, come sarà detto in seguito, utilizzando un calcestruzzo reoplastico.

La riduzione del rapporto A/C provoca una sensibile riduzione della porosità del calcestruzzo e ciò consente, quindi, di aumentare sensibilmente non solo le resistenze meccaniche (fig. 4) ma anche la durevolezza, quest'ultima intesa come maggiore resistenza nel tempo sia all'attacco solfatico nei confronti del calcestruzzo, sia alla corrosione dei cloruri nei confronti

ti delle armature.

Le Fig. 5-6-7 illustrano la penetrazione del cloruro nel calcestruzzo confezionato di volta in volta con cementi Portland, Pozzolanicici e Altoforno e sempre senza additivo, con Pozzolith e con Reomac:

Le misure di penetrazione del cloruro sono state misurate secondo le leggi sulla diffusione di Fick.

In linea di massima un buon calcestruzzo, per costruzioni che devono resistere all'azione dell'acqua di mare, dovrebbe avere questa formulazione:

- cementi : 325 o 425 Pozzolanicico od Altoforno
- dosaggi : 350-400 Kg/m<sup>3</sup>
- A/C : 0,42 + 0,50
- additivi : Pozzolith o Reomac
- resistenza a compressione : superiore a 400 Kg/cm<sup>2</sup>
- permeabilità : inferiore a  $1 \cdot 10^{-9}$

## 2.3.- CALCESTRUZZO RESISTENTE AI CICLI DI GELO E DISGELO

La formazione di ghiaccio all'interno di un materiale poroso, è una delle cause più frequenti di degradazione del materiale stesso.

L'aumento di volume (circa il 9%) che accompagna la solidificazione dell'acqua provoca l'espulsione del liquido, non ancora congelato, dalle cavità nelle quali inizia la formazione del ghiaccio. A causa di ciò si genera una pressione idraulica che dipende dalla resistenza offerta al flusso dell'acqua e cioè dalla permeabilità del materiale e dalla lunghezza del cammino percorso dall'acqua dalla cavità, dove avviene la solidificazione, alla superficie libera del materiale o ad un'altra cavità vuota che possa ospitare l'acqua espulsa.

Se questo cammino è relativamente lungo, il valore della pressione idraulica supera quello della resistenza meccanica a trazione ed inizia la degradazione del materiale. Cicli ripetuti di gelo e disgelo provocano ov

viamente effetti cumulativi che si manifestano prima attraverso uno sfaldamento superficiale (scaling) e quindi attraverso la disintegrazione di tutto il materiale.

Il calcestruzzo è un materiale poroso e quindi anche esso è soggetto a degradazione se sottoposto a cicli di gelo e disgelo. La maggior parte dei pori del calcestruzzo sono generalmente localizzati nella parte di cemento che avvolge gli inerti. Si è già detto (4) che nella pasta cementizia esistono sostanzialmente due categorie di pori: quelli del gel e quelli capillari. A causa della dimensione relativamente piccola, la formazione dei cristalli di ghiaccio nei pori del gel può avvenire solo a temperature inferiori a  $-78^{\circ}\text{C}$ , ciò significa che in pratica l'acqua solidifica solo nei pori capillari. Pertanto una diminuzione della porosità capillare, provocata da una diminuzione del rapporto A/C e da un maggior grado di idratazione del cemento (2), ha come effetto quello di migliorare la resistenza del calcestruzzo ai cicli di gelo e disgelo.

Calcestruzzi ancora più resistenti possono essere preparati introducendo microbolle di aria (3-5% in volume) mediante l'impiego di particolari tensioattivi.

Nella fig. 8 si vede l'influenza del rapporto A/C sul numero (N) di cicli gelo-disgelo necessari a provocare una perdita del 25% rispetto al peso iniziale per due calcestruzzi: normale ed areato.

Si può osservare che riducendo il rapporto A/C, per mezzo di un additivo fluidificante, ed introducendo le microbolle d'aria, mediante l'aggiunta di un additivo ritardante, si può arrivare ad aumentare del 500% la resistenza al gelo del materiale.

Indicativamente un buon calcestruzzo che possa resistere ai cicli di gelo e disgelo, dovrebbe avere questa formulazione:

- cemento	: 325 Portland
- dosaggio	: 300-350 Kg/m <sup>3</sup>
- A/C	: 0,50 - 0,55

- additivi	: Pozzolith e MBVR
- resistenza a compressione	: superiore a 350 Kg/cm <sup>2</sup>
- permeabilità	: I.IO-IO

### 3.- CALCESTRUZZO REOPLASTICO

Cosa vuol dire "Calcestruzzo Reoplastico": reoplastico vuol dire fluido scorrevole, ma al tempo stesso plastico, coesivo non segregabile.

Un calcestruzzo fluido, scorrevole, ma al tempo stesso non segregabile, plastico, privo del cosiddetto "bleeding" (dall'inglese to bleed: essudare) è un materiale al quale si è spesso pensato come ad un punto di riferimento, come ad una utopia tecnologica, come ad un obiettivo da tener presente, sicuri però di non poterlo mai raggiungere.

Da oggi diviene praticamente possibile confezionare, trasportare, mettere in opera con la massima semplicità e senza bisogno di ricorrere per esempio alla vibrazione un calcestruzzo autolivellante (slump maggiore di 20 cm) ed al tempo stesso non segregabile. Il tutto diviene possibile impiegando un rapporto acqua/cemento di 0,40-0,45 molto prossimo a quel valore di 0,42 definito "corretto", tale cioè da garantire la completa reazione tra l'acqua ed il cemento (A/C = 0,23) e la completa saturazione dei micropori della pasta cementizia (A/C = 0,19).

#### 3.I.- CALCESTRUZZO REOPLASTICO PER OPERE DI PARTICOLARE TEMPERNO: ALTA RESISTENZA MECCANICA, IMPERMEABILITA', STABILITA' VOLUMETRICA, ALTA RESISTENZA AGLI ATTACCHI CHIMICI.

I tecnici del calcestruzzo sanno che con un rapporto A/C di 0,40 - 0,45 si possono migliorare tutte le caratteristiche del materiale: dalla resistenza meccanica al ritiro, all'impermeabilità, alla resistenza agli attacchi chimici e fisici. Calcestruzzo "reoplastico" significa anche un calcestruzzo più resistente mecca-

nicamente, impermeabile, dimensionalmente più stabile, durevole nel tempo.

Tale calcestruzzo si ottiene mescolando l'acqua, il cemento, gli inerti ed uno dei prodotti Reomac.

Nelle fig. 9 e 10 sono mostrati i valori rispettivamente della permeabilità e della resistenza meccanica di diversi tipi di calcestruzzo. Si può osservare che il calcestruzzo reoplastico (A/C = 0,42 con Reomac) risulta notevolmente più impermeabile e più resistente meccanicamente non solo del calcestruzzo normale (A/C = 0,67) ma anche di quello additivato con un riduttore di acqua libera (A/C = 0,64).

In generale un calcestruzzo reoplastico per opere come vasche, canali, silos, fondazioni di macchine, etc., dovrebbe avere questa formulazione:

- cemento	: 325 oppure 425 Portland
- dosaggio	: 350-400 Kg/m <sup>3</sup>
- A/C	: 0,40-0,45
- additivi	: Reomac
- resistenza a compressione	: superiore a 450-600 Kg/cm <sup>2</sup>
- permeabilità	: inferiore a I.10 <sup>-10</sup>

### 3.2.- CALCESTRUZZI IMPREGNATI CON POLIMERI DI ALTISSIMA RESISTENZA MECCANICA E RESISTENTI AGLI ATTACCHI CHIMICI PARTICOLARMENTE FORTI.

Se l'aggressione è di tipo chimico come si può verificare per esempio, nel trasporto di liquidi industriali, esistono sostanzialmente due metodi: il primo, ormai molto diffuso, consiste nel rivestire il calcestruzzo con resine epossidiche (5), il secondo metodo, in avanzata fase di ricerca in Italia (6), ma soprattutto in U.S.A. consiste nell'impregnare il calcestruzzo indurito, con monomeri a base di metilmetacrilati e stirene e nel far avvenire la polimerizzazione dentro il calcestruzzo.

Tali calcestruzzi impregnati con polimero, noti anche con il nome di PIC (Polymer Impregnated Concrete) so-

no sostanzialmente costituiti da calcestruzzi induriti, essiccati e/o evacuati, impregnati di monomero (metilmetacrilato, stirene, etc..) e di catalizzatore (per es. perossido di benzoile) e quindi sottoposti ad un processo di polimerizzazione mediante riscaldamento (60 - 80°C) o applicazione di energia radiante. In tal caso, a differenza di quanto avviene nel rivestimento superficiale del calcestruzzo con resine epossidiche, si può parlare di veri e propri materiali compositi nei quali la funzione legante è esplicata dal cemento idratato e dal monomero polimerizzato. I risultati di ricerche attualmente in corso dimostrano che il calcestruzzo reoplastico, ottenuto cioè con un basso rapporto A/C, è un supporto particolarmente adatto per la preparazione del PIC, perchè consente di ridurre notevolmente la porosità capillare e quindi il quantitativo di monomero da introdurre nel materiale. Ciò consente ovviamente una sensibile riduzione del costo. I materiali PIC presentano caratteristiche meccaniche, fisiche e chimiche completamente diverse da quelle dei tradizionali conglomerati cementizi. E' noto che la resistenza a compressione di un normale calcestruzzo mediamente è di circa 400 Kg/cm<sup>2</sup> e raramente supera i 600 Kg/cm<sup>2</sup>. Con i calcestruzzi impregnati è possibile superare i 1.500 Kg/cm<sup>2</sup> e raggiungere, in talune condizioni, i 3.000 Kg/cm<sup>2</sup> (I). Poichè tutti i pori capillari della pasta cementizia vengono riempiti dal polimero, anche il comportamento al ritiro ed al fluage del calcestruzzo risulta radicalmente cambiato, nel senso che il materiale praticamente non risente nè delle variazioni igrometriche dell'ambiente nè, entro certi limiti, dei carichi applicati. Infine, ciò che più interessa in questa sede, il materiale PIC risulta del tutto e definitivamente protetto dagli attacchi di tutti gli agenti aggressivi naturali (solfati, anidride carbonica, sali magnesiaci, etc.) e di gran parte di quelli provenienti da scarichi industriali (acidi, basi, sostanze organiche, etc.), la protezione essendo stabilmente assicurata dal polimero che si può dire abbia "messo le radici" dentro il calcestruzzo stesso.

Con un simile calcestruzzo, possono essere progettate parti di vasche e tubazioni per acidi forti, rivestimenti antiacido, stampi per pressofusioni etc. Per ora

la limitazione dell'impiego è dovuta, almeno in Italia, alla mancanza di impianti industriali sufficientemente produttivi.

#### 4.- CALCESTRUZZI E MALTE SPECIALI RESISTENTI AGLI ATTACCHI FISICI MECCANICI

Se l'aggressione è di tipo fisico-meccanico come si verifica per esempio nei conglomerati per ancorare macchine vibranti o nelle pavimentazioni industriali, è necessario impiegare, nel primo caso, particolari leganti espansivi per annullare il ritiro (fusioni a freddo) o, nel secondo caso, proteggere superficialmente il calcestruzzo con spolveri corazzanti o con speciali manti antiusura.

#### 4.1.- MALTE E BETONCINI RESISTENTI ALL'AZIONE DI SOLLECITAZIONI DINAMICHE

Le sollecitazioni dinamiche sono causa di molti processi disgregativi del calcestruzzo, e ci riferiamo in particolare alle strutture di fondazioni di macchine vibranti, pulsanti, rotanti, alle strutture di telai portanti con vie di corsa di gru incorporate, alle strutture interessate da passaggi di tubazioni per fluidi, alle fondazioni di impianti di laminazione, trafilatura, calandratura, etc.

E' necessario distribuire le sollecitazioni dalla struttura meccanica il più omogeneamente possibile alla massa del calcestruzzo della fondazione, attraverso quelle speciali superfici di contatto che vengono genericamente chiamate "ancoraggi".

Questo è possibile con l'impiego di prodotti speciali privi di ritiro, rinforzati, o no da particelle metalliche duttili, che resistono alle sollecitazioni meccaniche ripetute, senza deteriorarsi e senza subire pericolosi fluimenti: vere e proprie fusioni a freddo.

La fig. 11 illustra il comportamento di due provini (malta normale e saldatura a freddo, tipo EMACO) sollecitati a fatica.

La tecnologia delle fusioni a freddo tipo EMACO, mette a disposizione del progettista e del tecnico di manutenzione dei prodotti specifici per buona parte della casistica di interventi, in funzione del tipo di macchina da ancorare e del tempo di esecuzione.

Una caratteristica comune è l'elevata resistenza meccanica: oltre 1000 Kg/cm<sup>2</sup> a 28 gg: a compressione e 110 Kg/cm<sup>2</sup> a 28 a flessione e l'ottimo valore del modulo elastico:  $E = 600.000$ .

#### 4.2.- CALCESTRUZZI RESISTENTI ALL'USURA ED ALL'URTO

L'abrasione delle superfici del calcestruzzo può aver luogo sia sulle pavimentazioni soggette a traffico, sia su superfici di canali, vasche etc. soggette ad azione di correnti idrauliche con solidi in sospensione e trascinati.

Il processo di degradazione del calcestruzzo, avviene per due ordini di motivi.

Se al primo appartengono tutti i parametri intrinseci del materiale e della sua preparazione, al secondo i fattori esterni e tipici dell'ambiente in cui la struttura viene a trovarsi. Infatti a causa della vibrazione che provoca il trascinarsi in superficie dell'acqua e delle particelle più leggere, la parte superficiale della struttura risulterà meccanicamente più debole. Inoltre, durante la stagionatura, la superficie del calcestruzzo è più facilmente esposta all'evaporazione dell'acqua che non le parti più interne e, a causa di ciò, si realizza maggiormente un minor grado di idratazione del cemento ed un maggior ritiro della pasta cementizia. Tutti i summenzionati fattori concorrono in misura più o meno determinante a seconda della composizione, della compattazione e del tipo di stagionatura del manufatto, nel provocare una struttura meccanicamente più debole in superficie proprio dove il calcestruzzo è chiamato a sopportare le sollecitazioni più intense. Infatti è sulla superficie di tali manufatti che si vengono a realizzare sollecitazioni meccaniche singolari dovute ai sovraccarichi statici, all'abrasione, agli urti ed alle vibrazioni. La degradazione del materiale in superficie può essere ovvia-

mente provocata dal concorso di altre cause di natura fisica o chimica, quali quelle provocate da variazioni termoisometriche ed ambienti aggressivi, i cui effetti finiranno con l'esaltare inevitabilmente quelli provocati dalle azioni dinamiche sopra menzionate.

La semplice applicazione dei principi fondamentali per preparare un calcestruzzo di buona qualità (basso rapporto acqua-cemento, inerti di adeguata distribuzione granulometrica, aggiunta di additivi riduttori di acqua di impasto e di acqua evaporabile, etc.) non è in genere sufficiente a garantire la durevolezza del materiale, nei casi in cui le sollecitazioni dinamiche siano particolarmente intense e frequenti, come si verifica, per esempio, nelle pavimentazioni industriali dove i trasporti interni avvengono per mezzo di carrelli, e dove gli urti ed i trascinamenti di oggetti duri e pesanti sulle pavimentazioni sono eventi da considerarsi sistematici piuttosto che accidentali. In questi casi si può verificare rapidamente la disgregazione del calcestruzzo, dovuta alla scheggiatura dell'inerte fragile e alla conseguente formazione di polvere abrasiva. Per prevenire la degradazione del calcestruzzo si rende indispensabile il rinforzo della superficie mediante l'applicazione di spolveri corazzanti su un calcestruzzo fresco confezionato a regola d'arte e successivamente sottoposto a normale frattazzatura. La scelta del tipo di spolvero dipende principalmente dalla severità e dal tipo di sollecitazione dinamica cui la superficie sarà sottoposta. Così, per esempio, gli inerti naturali duri, ma fragili, sono da considerare idonei solo se si deve migliorare la resistenza all'abrasione di una pavimentazione. Se, invece, il pavimento è sottoposto contemporaneamente a sollecitazioni di abrasione e di urto, si rende indispensabile l'impiego di uno spolvero a base di inerti metallici duttili, notevolmente più resistenti all'abrasione ed all'urto. L'impiego di spolveri a base di aggregati metallici per rinforzare superficialmente le pavimentazioni risale al 1936 (5), e da allora sono stati compiuti notevoli progressi tecnici per migliorare sia la qualità del materiale, che le modalità di applicazione. La presenza, per esempio, di sostanze oleose sia pure in piccole quantità pregiudica l'aderenza pasta-aggregato metallico, mentre l'impiego di inerti contenenti particelle metalliche non ferrose (per esempio Al, Zn, etc) provoca la produzione di bolle super

ficiali a causa della formazione di idrogeno. Altri aspetti importanti dal punto di vista tecnologico sono il rapporto ottimale aggregato-cemento, la presenza di additivi per migliorare la lavorabilità e ridurre la segregazione, e i tempi di applicazione dello spolvero in relazione alla presa del supporto in calcestruzzo. Un'altra soluzione che può essere adottata, specialmente se si tratta di rinforzare pavimenti in calcestruzzo già indurito, è quella di applicare un rivestimento superficiale, dello spessore di qualche millimetro, costituito da un prodotto pronto all'uso - contenente cemento, additivi, fluidificanti, resine adesive e aggregati metallici - da mescolare con acqua. La miscela, applicata a spruzzo o versata come malta autolivellante sul pavimento, viene successivamente lisciata e finita mediante frattazzatura. Le resistenze meccaniche del prodotto indurito superano rispettivamente i 600 Kg/cm<sup>2</sup> a compressione ed i 100 Kg/cm<sup>2</sup> a flessione. L'adesione al calcestruzzo sottostante è così elevata che nella prova a strappo la rottura avviene sempre nel calcestruzzo. Sono così disponibili prodotti pronti all'uso che hanno queste caratteristiche:

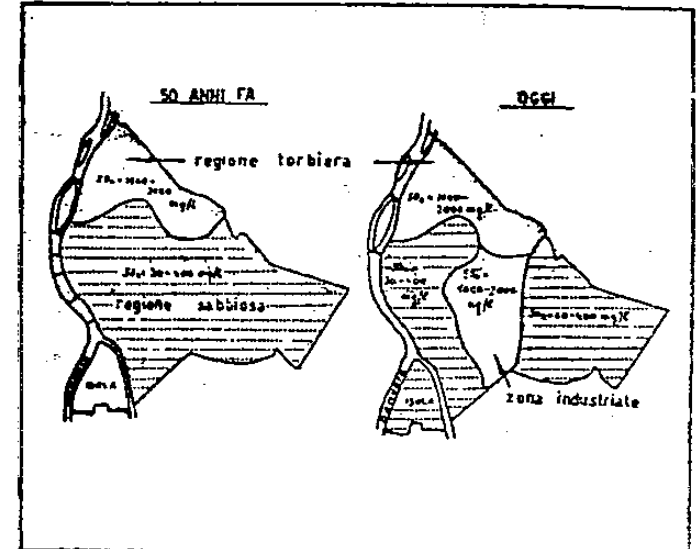
- Colorcron : resistenza abrasione 3 + 6 volte il battuto normale di calcestruzzo
- Masterplate : resistenza abrasione 4 + 8 volte il battuto normale di calcestruzzo
- Effede : manto protettivo millimetrico antiusura
- Anvil Top : vera lastra di ferro "gettata a freddo" dello spessore di 1 + 2 cm resistente agli urti e all'abrasione.



## BIBLIOGRAFIA:

- 1) T.C. Powers and T.L. Brownjord: Journal of America Concrete Institute 43 (October 1946 - April 1947).
- 2) M. Collepardi - S. Guella - M. Valente: Porosità, Permeabilità e Durabilità del Calcestruzzo: Atti giornate AICAP - S. Remo - Ottobre 1975.
- 3) M. Collepardi - S. Guella - M. Valente: Studio degli attacchi chimici del calcestruzzo con particolare riferimento all'azione dell'acqua del mare: Atti Giornate AICAP - S. Remo - Ottobre 1975.
- 4) T.C. Powers: Physical Properties of Cement Paste - Proceedings of the IV International Symposium on the Chemistry of Cements, vol II 577-609, Wasturghon 1960.
- 5) M. Collepardi - S. Guella - M. Valente: Rivestimenti protettivi del calcestruzzo contro aggressioni chimiche o fisico-meccaniche particolarmente intense. Atti giornate AICAP - S. Remo - Ottobre 1975.
- 6) A. Rio e S. Biagini: Progressi della Tecnologia e della Prestazione dei Calcestruzzi Cementizi impegnati con polimeri. Atti dell'8° Congresso Internazionale del Manufatto di Cemento: Stresa - Maggio 1975.

**CAMBIAMENTO NEL CONTENUTO IN SOLFATI DEL TERRENO NELLA ZONA INDUSTRIALE DI BUDAPEST**



**FIG 1**

<b>A/C</b> RAPPORTO IN PESO	<b>STAGIONATURA</b>
0,40	3 GIORNI
0,45	5 GIORNI
0,50	2 SETTIMANE
0,60	6 MESI
0,70	1 ANNO
> 0,70	IMPOSSIBILE

VALORI DEL RAPPORTO ACQUA / CEMENTO E DEL TEMPO DI STAGIONATURA IN CORRISPONDENZA DEI QUALI SI INTERROMPE LA CONTINUITA' DEI PORI CAPILLARI PER UN CEMENTO PORTLAND, IDRATO A TEMPERATURA AMBIENTE SENZA ADDITIVI.

FIG 2

PROVE DI PERMEABILITA' SU CLS. CON E SENZA POZZOLITH 100 N.

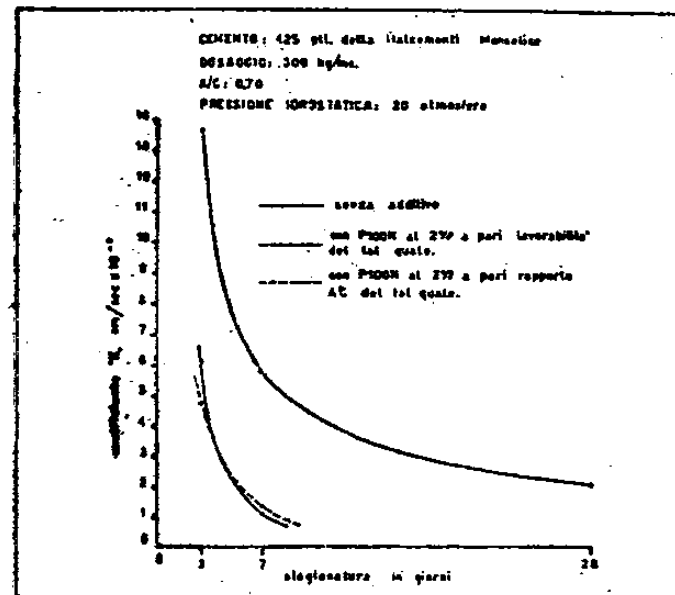


Fig. 3

Calcestruzzo N°.	Tipo di cemento	Additivo: % rispetto al cemento	Acqua/Cemento	Lavorabilità Slump (cm)	Resistenza a compressione (Kg/cmq) 28 gg
1	Portland	-	0,58	10	442
2	Portland	0,21 Pozzolite	0,56	10	495
3	Portland	2,01 Reomac	0,46	20	567
4	Pozzolatico	-	0,62	10	348
5	Pozzolatico	0,21 Pozzolite	0,60	10	420
6	Pozzolatico	2,0 Reomac	0,46	19	458
7	Altoforno	-	0,60	10	341
8	Altoforno	0,21 Pozzolite	0,58	10	391
9	Altoforno	2,01 Reomac	0,48	20	461

Fig. 4

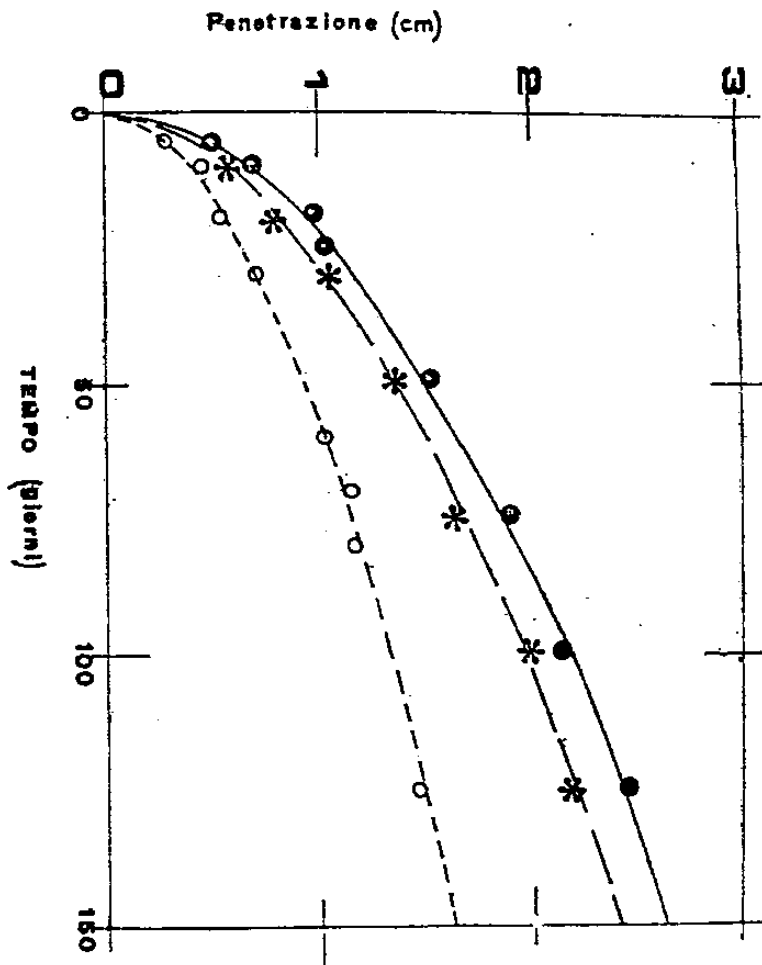


Fig. 5

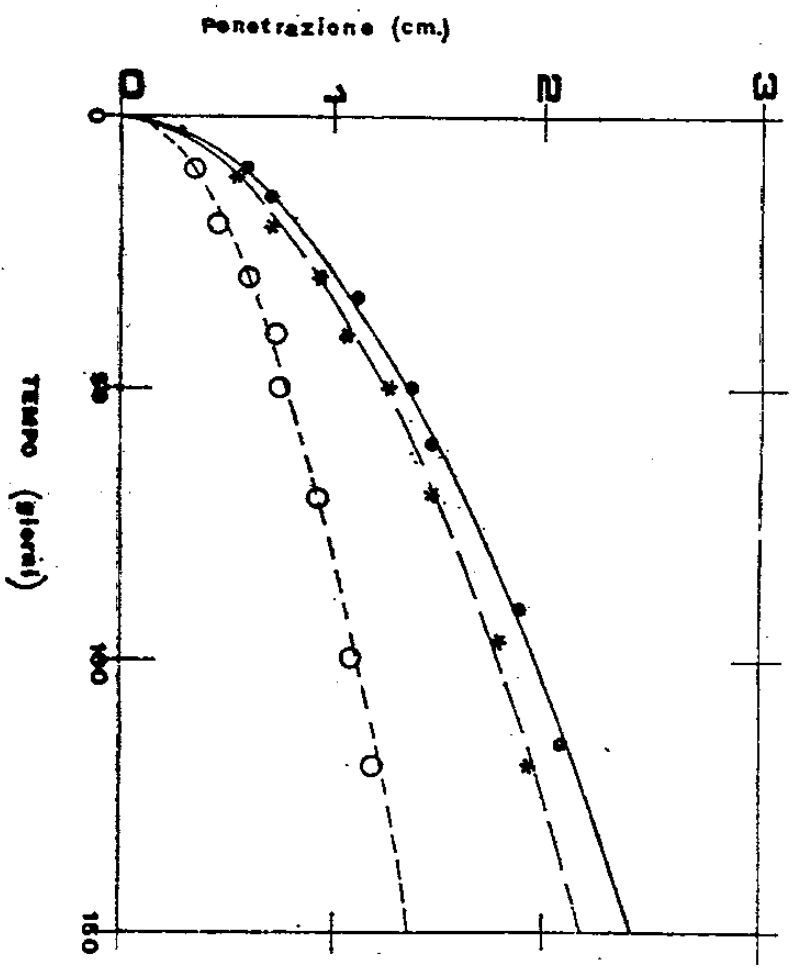


Fig. 6

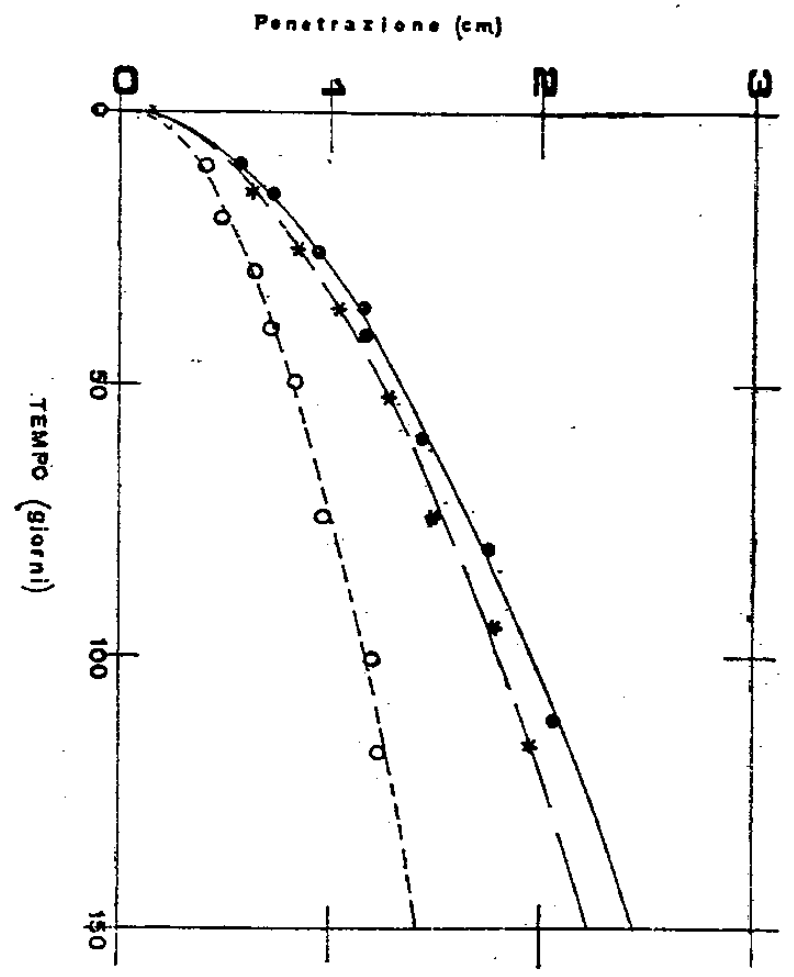


Fig. 7

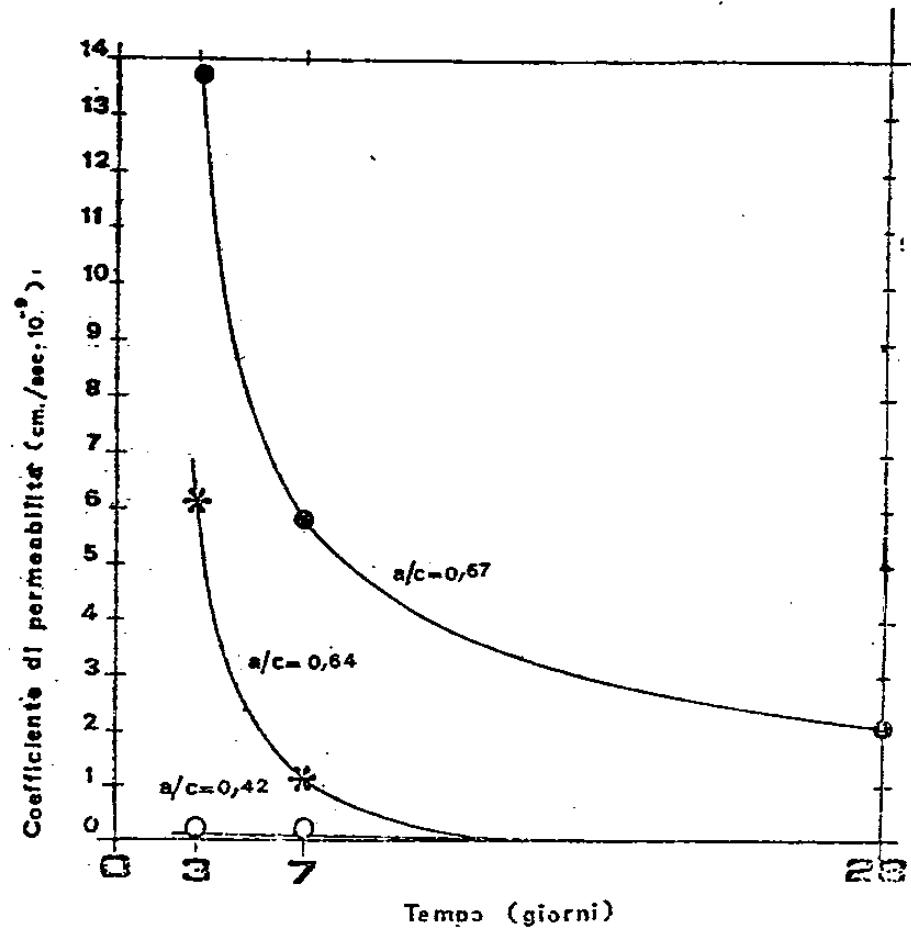
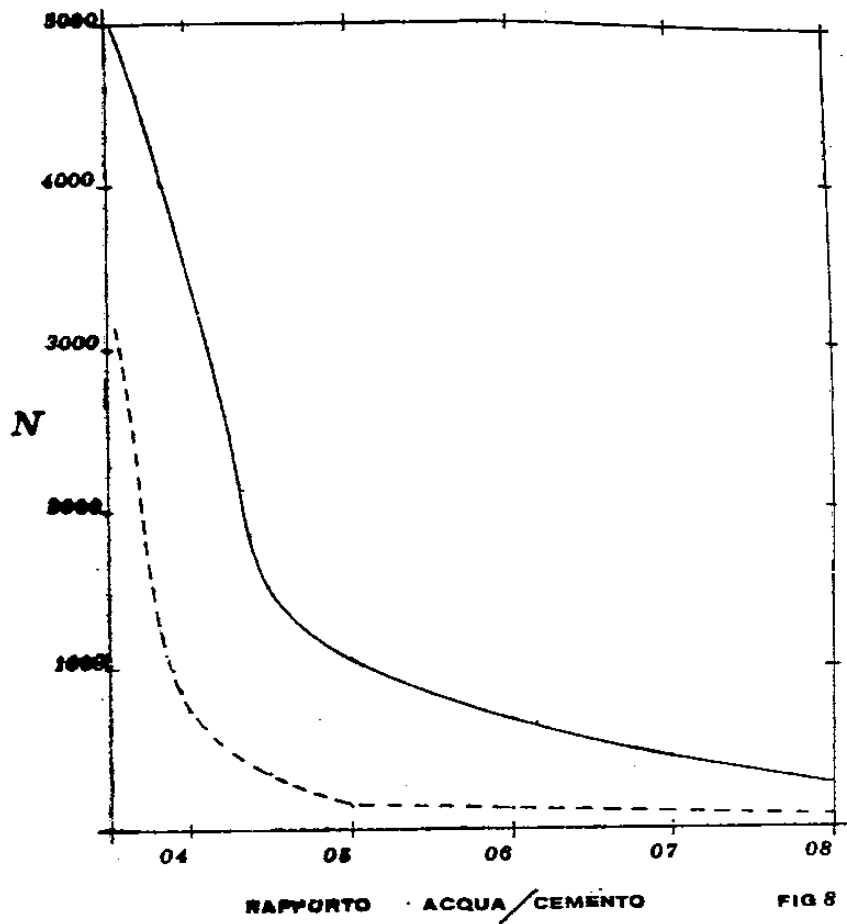
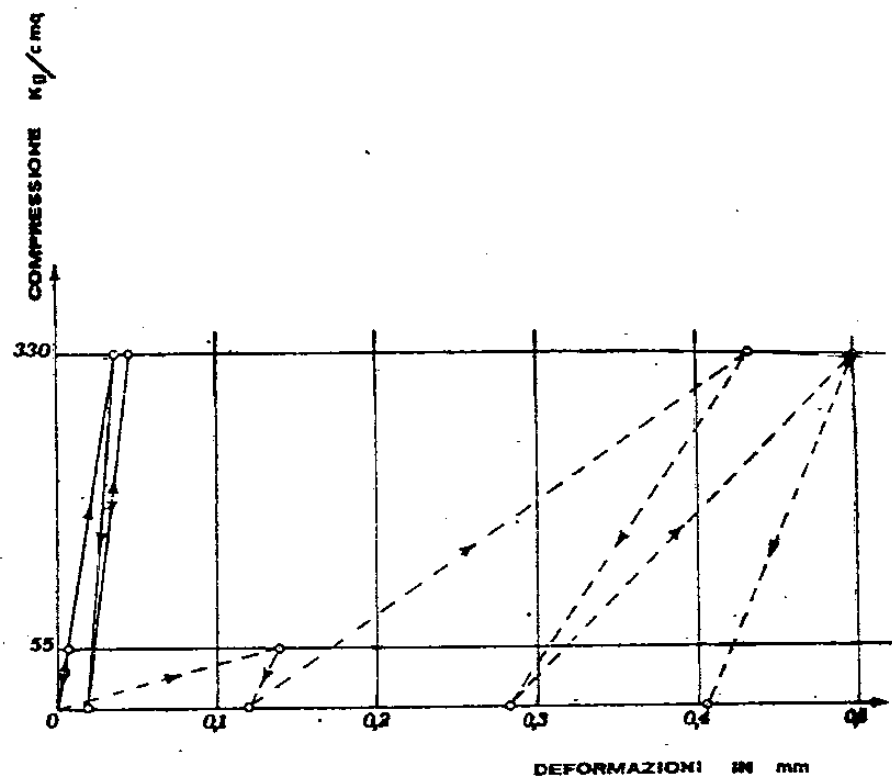
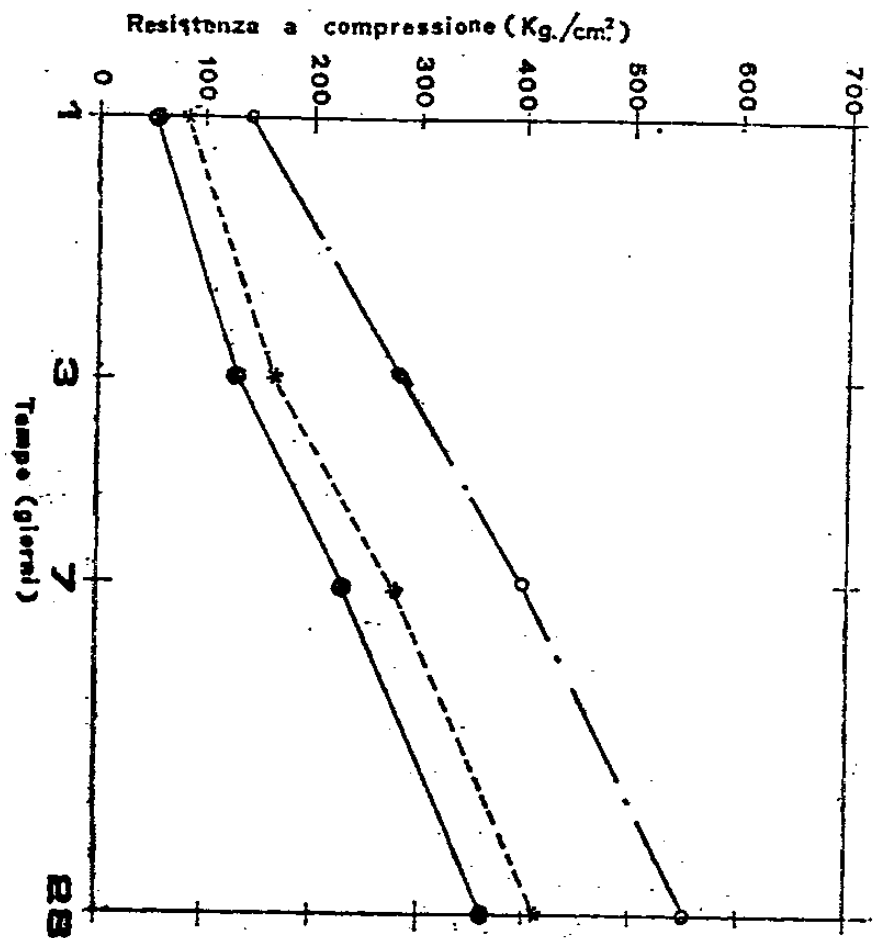


Fig. 9

# COMPORTAMENTO DELLA MALTA A SOLLECITAZIONE RIPETUTA

AZIONI DINAMICHE



— FUSIONE A FREDDO : EMACO

- - - MALTA NORMALE

Fig. 10

FIG 11