

REGIONE DELL'UMBRIA
Provincia di Terni
COMUNE DI TERNI



Lavori di adeguamento sismico dell' edificio scolastico
MATERNA "R.Donatelli" di Terni,
sito in Terni, Via Vodice n.23.
Individuazione catastale N.C.E.U. del Comune di Terni
Foglio n.126 particella n.385.
PROGETTO ESECUTIVO



Progettisti :
Dott. Ing. Silvia Capaldi
Dott. Ing. Arch. Massimo Mariani
Dott. Ing. Nicola Pero Nullo

Collaboratori:
Geom. Luca Ranocchia

oggetto

RELAZIONE SUI MATERIALI

I Progettisti

Committente :
COMUNE DI TERNI

data

Responsabile del Procedimento :
Geom. Stefano Fredduzzi

AGOSTO 2016

INDICE	
1. CONSIDERAZIONI	2
2. CALCESTRUZZO	2
2.1 Calcestruzzo classe C25/30	2
3. MODALITÀ DI PREPARAZIONE.....	3
4. ACCIAIO DA CARPENTERIA	11
5. ACCIAIO PER PROFILATI	13
6. DOSAGGIO DEGLI ELEMENTI DEL CALCESTRUZZO	14
6.1 Conglomerato cementizio per il plinto di collegamento dei micropali.....	14
6.2 Conglomerato cementizio per le opere in elevazione.....	16
6.3 Acqua di impasto per il conglomerato cementizio	18
ALLEGATI	19
All. 1A: Resistenza meccanica di calcestruzzi con cemento ENV – 197 CEM II/A –P 32.519	
All. 1B: Resistenza meccanica di calcestruzzi con cemento ENV – 197-1 CEM I – P 42.520	
All. 2;All. 3: Percentuale di aria e rapporto acqua cemento in funzione del D_{mass}	21

1. CONSIDERAZIONI

La presente relazione riguarda i materiali e le relative dosature da utilizzarsi per i lavori di adeguamento sismico dell'edificio scolastico Materna "R.Donatelli" di Terni, sito in Terni, in Via Vodice n°23. La struttura è censita al foglio catastale n°126 particella n°385 del Comune di Terni.

I materiali da utilizzarsi per le opere suddette saranno i seguenti:

- Calcestruzzo Classe 25/30;
- Acciaio da carpenteria B450C;
- Acciaio per profilati e per armatura tubolare dei micropali tipo S275 (ex Fe430).

2. CALCESTRUZZO

2.1 Calcestruzzo classe C25/30

Al fine di controllare la qualità del calcestruzzo e dell'acciaio di armatura sarà necessario il prelievo di opportuni campioni da sottoporre a prove di resistenza presso i laboratori ufficiali.

La Classe di Resistenza del calcestruzzo è contraddistinta da una resistenza cubica caratteristica R_{ck} pari a 300 daN/cm², da cui si ottiene il valore della resistenza cilindrica caratteristica f_{ck} pari a $0.83 \cdot R_{ck} = 249$ daN/cm². E' possibile passare dal valore caratteristico al valore medio della resistenza cilindrica, mediante l'espressione:

$f_{cm} = f_{ck} + 8 \cdot 10 = 329.0$ daN/cm². Il valore di calcolo della resistenza del calcestruzzo, si ottiene dividendo il rispettivo valore caratteristico per il coefficiente di sicurezza γ_c dello stesso, pari a 1.50, ottenendo $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c = 166$ daN/cm². Quest'ultimo deve essere ridotto del 15% per tenere conto della riduzione di resistenza sotto i carichi di lunga durata, ottenendo a così il valore $f_{cd} = 0.85 \cdot 166 = 141$ daN/cm².

Il Modulo Elastico del calcestruzzo E_c da adottare, secondo quanto stabilito dalle

Norme, è quello istantaneo secante tra la tensione nulla e $0.40 f_{cm}$, e si assume pari a $E_{cm} = 220000 [f_{cm}]^{0.3} = 314471 \text{ daN/cm}^2$ con f_{cm} espresso in daN/mm^2 .

Infine, si definiscono, le seguenti resistenze per il calcestruzzo, tutte funzioni della classe dello stesso:

$$f_{ctm} = 0.30 f_{ck}^{2/3} = \text{Resistenza media a trazione, pari a } 25.6 \text{ daN/cm}^2$$

$$f_{ctk} = 0.7 f_{ctm} = \text{Resistenza caratteristica a trazione, pari a } 17.9 \text{ daN/cm}^2$$

$$f_{ctk} = 1.2 f_{ctk} = \text{Resistenza caratteristica a trazione per flessione, pari a } 21.5 \text{ daN/cm}^2$$

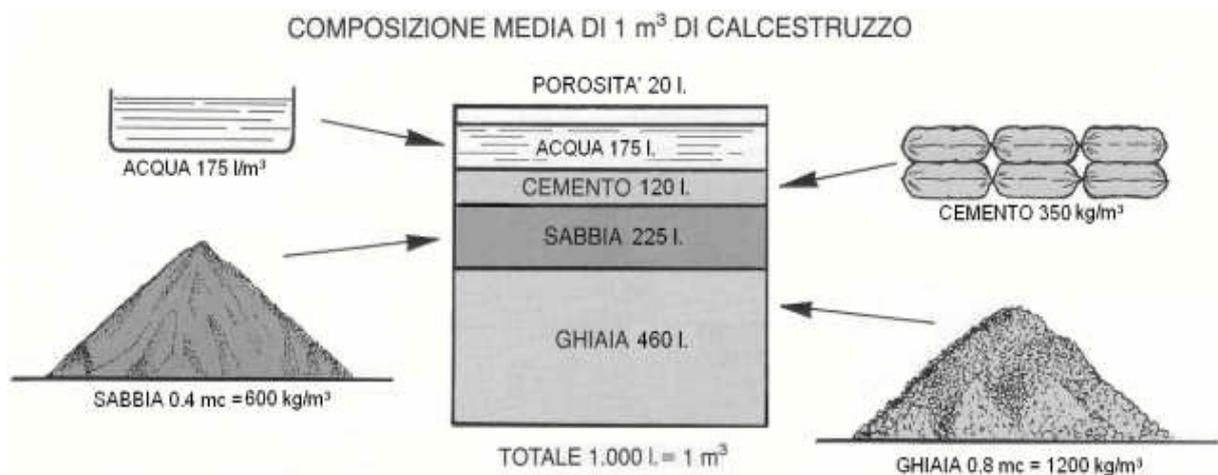
$$f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_c = \text{Resistenza di calcolo a trazione, pari a } 11.9 \text{ daN/cm}^2$$

$$f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_c = \text{Resistenza di calcolo a trazione per flessione, pari a } 14.3 \text{ daN/cm}^2$$

3. MODALITÀ DI PREPARAZIONE

3.1 Preparazione

Il conglomerato cementizio da impiegarsi dovrà essere dosato rispettando i seguenti rapporti di miscelazione, con le quantità riferite ad un m^3 di conglomerato.



Nella formazione degli impasti, i vari componenti dovranno risultare intimamente mescolati ed uniformemente distribuiti nella massa e durante il getto si dovrà procedere ad idonea azione di vibratura. Infine, per garantire la durabilità delle opere e prevenirne il degrado dovuto all'aggressività dell'ambiente esterno, che può indurre danni a carico

delle armature metalliche e della matrice cementizia, si definisce, per il calcestruzzo delle opere in oggetto, una classe di esposizione intermedia tra XC1 e XC4.

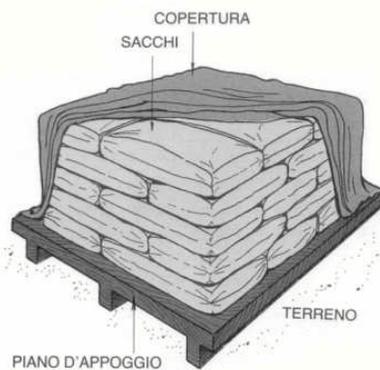
3.2 Cemento

La fornitura del cemento sarà effettuata con l'osservanza delle condizioni e modalità di cui alle Normative europee e nazionali sulla composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni e per la valutazione di conformità:

- **L. 595 del 26 maggio 1965:** *“Caratteristiche tecniche e requisiti dei leganti idraulici (G.U. n. 143 del 10 giugno 1965)”*
- **D.M. 3 giugno 1968:** *“Nuove norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi (G.U. n. 180 del 17 luglio 1968)”*
- **D.M. 31 agosto 1972:** *“Norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova degli agglomerati cementizi e delle calce idrauliche”*
- **D.M. 20 novembre 1984:** *“Modificazioni al decreto ministeriale 3 giugno 1968 recante norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi (G.U. n. 353 del 27 dicembre 1984)”*
- **Dir. 89/106/CEE del 21 dicembre 1988:** *“Relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione (G.U. L40 dell'11 febbraio 1989)”*
- **D.p.r. n. 246 del 21 aprile 1993:** *“Regolamento di attuazione della direttiva 89/106/CEE relativa ai prodotti da costruzione (G.U. n. 170 del 22 luglio 1993)”*
- **D.M. 13 settembre 1993:** *“Abrogazione di alcune disposizioni contenute nel decreto ministeriale 3 giugno 1968 concernente nuove norme sui requisiti di accettazione e modalità di prova dei cementi (G.U. n.223 del 22 settembre 1993)”*
- **UNI EN 197-1.** *“(cemento) Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni (giugno 2001)”*.

Il cemento dovrà essere conservato esclusivamente in locali coperti, asciutti e privi di correnti d'aria. Se fornito in sacchi, questi non vanno mai tenuti all'aperto, ma conservati

in ambienti asciutti e chiusi, lasciando sempre delle intercapedini fra piano di appoggio e terreno. E' escluso l'impiego di cementi alluminosi. Qualora il calcestruzzo risulti esposto a condizioni ambientali chimicamente aggressive si devono utilizzare cementi per i quali siano prescritte adeguate proprietà di resistenza ai solfati e/o al dilavamento o ad altre azioni aggressive.



3.3 Sabbia

La sabbia dovrà essere prelevata esclusivamente da fiumi e da fossi; dovrà essere costituita da elementi prevalentemente silicei, di forma angolosa e di grossezza assortita; dovrà essere aspra al tatto e senza lasciare traccia di sporco; dovrà essere esente da cloruri e scevra di materie terrose, argillose, limacciose; non dovrà contenere fibre organiche, oltre a quanto stabilito dall'art.6 del citato R.D. 16/11/1939 n.2229, la corrispondenza granulometrica della sabbia potrà essere anche quella eventualmente migliore che risulti da diretta esperienza sui materiali impiegati.

3.4 Ghiaia e Pietrisco

Sono idonei alla produzione del calcestruzzo per uso strutturale gli aggregati ottenuti dalla lavorazione di materiali naturali, artificiali, ovvero provenienti da processi di riciclo, conformi alla norma europea armonizzata UN I EN 12620 e, per gli aggregati leggeri, alla norma europea armonizzata UNI EN 13055-1. L'attestazione della conformità di tali aggregati deve essere effettuata ai sensi del DPR n. 246/93.

La ghiaia dovrà essere formata da materiali resistenti, inalterabili all'aria, all'acqua ed al gelo, gli elementi dovranno essere pulitissimi ed esenti da cloruri e da materiali polverulenti; dovranno essere esclusi elementi a forma di ago e di piastrelle. Oltre a rispondere ai requisiti richiesti dall'art.7 del R .D. 16/11/1939 n.2229, la composizione dell'aggregato ghiaia-sabbia dovrà essere quella eventualmente migliore che risulta da esperienza diretta sui materiali impiegati. Ad ogni modo la dimensione massima della ghiaia sarà commisurata per l'assestamento del getto, ai vuoti tra le armature e tra i casseri tenendo presente che il diametro massimo dell'inerte non deve superare 0,6-0,7 volte la distanza minima tra due tondini di acciaio contigui e dovrà essere inferiore ad $\frac{1}{4}$ della dimensione minima della struttura. Il pietrisco e la graniglia dovranno provenire dalla spezzatura di rocce silicee, basaltiche, porfiree, granitiche e calcaree, rispondenti in genere ai requisiti prescritti per pietre naturali nonché a quelli prescritti per la ghiaia al precedente punto. Dovrà essere escluso il pietrisco proveniente dalla frantumazione di scaglie di residui di cave.

E' consentito l'uso di aggregati grossi provenienti da riciclo, secondo i limiti previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, a condizione che la miscela di calcestruzzo confezionata con aggregati riciclati, venga preliminarmente qualificata e documentata attraverso idonee prove di laboratorio. Per tali aggregati, le prove di controllo di produzione in fabbrica, di cui agli allegati di pertinenza delle norme UN I EN 12620, devono essere effettuate ogni 100 tonnellate di aggregato prodotto e, comunque, negli impianti di riciclo, per ogni giorno di produzione. Inoltre, gli aggregati riciclati devono rispettare, in funzione della destinazione finale del calcestruzzo e delle sue proprietà prestazionali, dei requisiti chimico-fisici aggiuntivi, rispetto a quelli fissati per gli aggregati naturali, secondo quanto prescritto dalle norme UNI 8520-1:2005 e U NI 8520-2:2005. Sempre con riferimento a queste norme, è possibile individuare le

quantità percentuali minime di impiego per tali tipologie di aggregati.

3.5 Acqua

L'acqua dovrà essere dolce, limpida non aggressiva e priva di terre. Non dovranno essere impiegate acque eccessivamente dure o ricche di solfati o cloruri; acque di rifiuto, anche se limpide, se provenienti da fabbriche di qualsiasi genere; acque contenenti argilla, humus, limo; acque contenenti residui grassi, oleosi o zuccherini; acque piovane. Fermo restando quanto disposto dall'art.2 del predetto R.D. 16/11/1939 n.2229, e ritenuto che l'eccesso di acqua costituisce causa fondamentale della riduzione di resistenza del conglomerato, nella determinazione della qualità dell'acqua, per l'impasto si dovrà tenere conto anche di quella contenuta negli inerti. La consistenza del conglomerato - nel caso i componenti non superino i 30 mm ed il rapporto acqua-cemento sia superiore a 0,5 - sarà determinata, in cantiere, dal cono di Abrams. **Per la tipologia di opere da realizzarsi, si è scelto di utilizzare un calcestruzzo appartenente alla Classe di Consistenza S4.**

3.6 Aggiunte e Additivi

Nei calcestruzzi è ammesso l'impiego di aggiunte, in particolare di ceneri volanti, loppe granulate d'altoforno e fumi di silice, purché non ne vengano modificate negativamente le caratteristiche prestazionali. Le ceneri volanti devono soddisfare i requisiti della norma europea UNI EN 450-1. Per quanto riguarda invece l'impiego bisogna fare riferimento alle norme UNI EN 206-1:2006 e UNI 11104:2004. I fumi di silice, infine, devono soddisfare i requisiti della norma europea UNI EN 13263-1. Oltre ai componenti normali (cemento, acqua, sabbia e ghiaia) è ammesso l'utilizzo di prodotti chimici come additivi al calcestruzzo. Essi, aggiunti solitamente in piccole quantità, hanno lo scopo di

migliorare una o più prestazioni. A seconda della loro specifica funzione, gli additivi possono essere classificati in varie tipologie: acceleranti, ritardanti, aeranti, inibitori di corrosione, battericidi, idrofobizzanti, anti-ritiro, fluidificanti e superfluidificanti. In particolare, i fluidificanti, ad esempio, migliorano la lavorabilità dell'impasto, evitando di dover aumentare la quantità d'acqua; gli acceleranti e i ritardanti, rispettivamente, accelerano e ritardano la presa del calcestruzzo in opera; gli aeranti introducono aria, migliorando la resistenza al gelo. L'uso degli additivi deve essere fatto con attenzione, seguendo le indicazioni del fornitore. E' importante precisare che un uso scorretto, specie con riferimento alle quantità, può comportare effetti secondari negativi. Tutti gli additivi devono essere conformi alla norma europea UNI EN 13263-1.

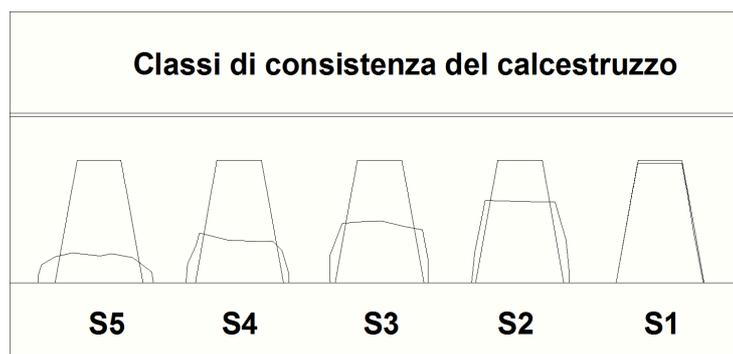
3.7 Classe di Consistenza del Calcestruzzo

La consistenza del calcestruzzo rappresenta il grado di compattezza dell'impasto fresco: minore è il grado di consistenza e maggiore sarà la sua lavorabilità. La lavorabilità, ovvero la facilità con cui viene mescolato l'impasto, varia in funzione del tipo di calcestruzzo impiegato, dipende dalla granulometria degli inerti, dalla presenza o meno di additivi e aumenta in relazione al quantitativo di acqua aggiunta.

La classe di consistenza del calcestruzzo da utilizzare viene fissata in base all'esigenza che l'impasto rimanga fluido per il tempo necessario a raggiungere tutte le parti interessate dal getto, senza che perda di omogeneità ed in modo che, a compattazione avvenuta, non rimangano dei vuoti. Il calcestruzzo viene quindi classificato, a seconda della sua consistenza, sulla base dell'abbassamento al cono (slump), ed identificato da un codice (da S1 a S5), che corrisponde ad un determinato intervallo di lavorabilità, espresso mediante la misura dello slump in mm. La lavorabilità cresce all'aumentare del numero che accompagna la classe.

Classe di Consistenza	Slump (mm)	Applicazioni
S1 (Terra umida)	10 - 40	pavimenti messi in opera con vibro finiture
S2 (Terra plastica)	50 - 90	strutture circolari (silos, ciminiere)
S3 (semi fluida)	100 - 150	strutture non armate o poco armate
S4 (fluida)	160 - 210	strutture mediamente armate
S5 (super fluida)	oltre 210	strutture fortemente armate con ridotta sezione e/o complessa geometria

Considerare, quindi, un calcestruzzo con classe di consistenza S3, caratterizzato da uno slump compreso tra 100 e 150 mm, significa che, se sottoposto alla prova di abbassamento del cono (slump test), il provino troncoconico di calcestruzzo fresco, appena sformato, subisce un abbassamento compreso in quell'intervallo.



La scelta della classe di consistenza del calcestruzzo è legata alla lavorabilità che ci si aspetta dall'impasto per il tipo di opera che si deve andare a realizzare.

Per la quasi totalità delle opere in calcestruzzo armato gettato in casseforme, ci si aspetta una lavorabilità che ricada tra la classe di consistenza semi-fluida (S3) e quella super-fluida (S5). Ad esempio, nella realizzazione di elementi verticali, come muri contro terra, plinti in fondazioni, vani ascensore e pilastri, si preferirà utilizzare un calcestruzzo di classe S4, abbastanza fluido da essere posto in opera per mezzo di un'autopompa. Per gli elementi orizzontali, invece, come i solai direttamente gettati in opera o le travi, a causa della difficoltà della loro messa in opera, sarà necessario

l'impiego di un calcestruzzo con classe di consistenza maggiore, come la S5. Infine, quando si tratterà di realizzare strutture inclinate come le rampe di una scala o le falde di un tetto, per le quali l'eccessiva fluidità del materiale può risultare scomoda, si passa alla scelta della classe S3. Possiamo quindi concludere che maggiore è la densità dei ferri all'interno di un manufatto, maggiore deve essere la fluidità dell'impasto, di modo che quest'ultimo possa insinuarsi completamente all'interno di ogni intercapedine. Ad ogni modo una maggiore fluidità, indipendentemente dalla tipologia dell'opera, garantisce una esecuzione più rapida ed affidabile.

3.8 Classe di Esposizione del Calcestruzzo

Per resistere alle azioni ambientali, il calcestruzzo deve possedere dei requisiti che tengano conto della vita di esercizio prevista per l'opera da realizzare. Pertanto, in funzione della sua esposizione all'ambiente esterno, è possibile individuare le corrispondenti classi di esposizione. Per ciascuna di queste classi è richiesto il rispetto di alcuni vincoli, espressi sotto forma di rapporto acqua cemento (a/c), dosaggio di cemento e spessore minimo del copriferro. Questo significa che, all'aumentare dell'intensità dell'attacco dell'ambiente esterno, deve aumentare il quantitativo di cemento nell'impasto, riducendo, quindi, il rapporto acqua-cemento e deve aumentare lo spessore del copriferro. A seconda delle situazioni esterne ambientali, più o meno aggressive, è possibile, definire più classi di esposizione come prescritto dalle UNI-EN 206-1:2006 e come riportato nella seguente tabella:

Classe	Ambiente
X0	Assenza di corrosione
XC	Corrosione da carbonatazione
XD	Corrosione da cloruri non marini
XS	Corrosione da cloruri marini
XF	Degrado per cicli gelo - disgelo
XA	Attacchi chimici

Le Norme Tecniche, invece, distinguono le condizioni ambientali in ordinarie, aggressive e molto aggressive, e definiscono, per ciascuna condizione, le corrispondenti classi di esposizione, come di seguito indicato in tabella:

Condizioni ambientali	Classi di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3,
Aggressive	XC4, XD1, XS1
Molto Aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3

4. ACCIAIO DA CARPENTERIA

Selezionato il tipo di acciaio B450C , risulta definito il valore caratteristico della tensione di snervamento f_{yk} pari a 4500 daN/cm². Il valore di calcolo della resistenza dell'acciaio, si ottiene dividendo il valore caratteristico per il coefficiente di sicurezza dello stesso, pari a 1.15, ottenendo **$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 3913 \text{ daN/cm}^2$** .

Il Modulo Elastico dell'acciaio impiegato è 2100000 daN/cm² ed il valore di deformazione corrispondente e allo snervamento è pari a $\epsilon_s = f_{yd}/ E_s = 0.1863$.

L'Acciaio per la produzione di strutture in c.a. deve essere prodotto con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento. Le prove di qualifica dell'acciaio prodotto devono essere effettuate sia internamente all'impianto di produzione, sotto controllo di un laboratorio ufficiale, sia presso il laboratorio ufficiale stesso. Tali prove devono essere qualificate con revisione semestrale da parte del Servizio Tecnico Centrale, mediante emissione di attestato di qualificazione, in cui

vengono dichiarati i valori caratteristici dei vari requisiti geometrici e prestazionali, richiesti dalle Norme. La documentazione di qualifica deve essere verificata ad ogni fornitura di materiale in cantiere. L'acciaio deve essere riconoscibile per quanto concerne le caratteristiche qualitative e riconducibile allo stabilimento di produzione, tramite marchiatura indelebile, depositata presso il Servizio Tecnico Centrale. Dalla marchiatura deve risultare, in modo inequivocabile, il riferimento all'azienda produttrice, allo stabilimento, al tipo di acciaio e alla sua eventuale saldabilità. La mancata marchiatura, la non corrispondenza a quanto depositato o la sua illeggibilità, anche parziale, rendono il prodotto non impiegabile. Inoltre, sono obbligatori i controlli di accettazione in cantiere, da eseguirsi sui lotti di spedizione e da effettuarsi entro trenta giorni dalla consegna del materiale, con riferimento ai criteri di scelta dei campioni prescritti dalle Norme. I valori limite di resistenza e allungamento dei campioni, per l'accettazione, sono quelli prescritti dalle attuali Norme Tecniche per le Costruzioni. Le armature devono essere protette, durante la permanenza in deposito, contro tutte le azioni esterne che ne possano compromettere le caratteristiche geometriche o meccaniche. E' necessario, prima della messa in opera controllare lo stato superficiale delle armature. Tutte le barre di acciaio dovranno essere poste in opera prive di tracce di ruggine e praticando all'estremità gli opportuni ancoraggi ed in ogni caso dovranno rispondere a tutti i requisiti riportati nella Circolare del Ministero LL.PP. n.37406 del 24/06/1993, relativamente agli acciai ad aderenza migliorata.

Tutti gli acciai per cemento armato devono essere ad aderenza migliorata, aventi cioè una superficie dotata di nervature o indentature trasversali, uniformemente distribuite sull'intera lunghezza, atte ad aumentare l'aderenza al conglomerato cementizio. Le barre sono caratterizzate dal diametro della barra tonda liscia equipesante, calcolato nell'ipotesi che la densità dell'acciaio sia pari a $7,85 \text{ kg/dm}^3$. Per il presente progetto, si

è scelto di usare l'acciaio tipo B450C che risulta più duttile e può essere impiegato in barre del diametro compreso tra 6 e 40 mm. Nel caso si utilizzino diametri fino a 16 mm, è ammesso l'uso di acciai forniti in rotoli.

La lunghezza di ancoraggio L delle barre deve essere almeno pari a venti volte il diametro, mentre la piegatura del ferro deve essere almeno cinque volte il diametro.

Le dimensioni del mandrino, con cui effettuare la piegatura dei ferri, dipende dal diametro della barra e dal tipo di acciaio impiegato come prescritto dalle norme UNI-EN 206, e come di seguito riportato in tabella:

Diametro della barra \varnothing	Diametro del mandrino β
$\varnothing < 12 \text{ mm}$	$4\varnothing$
$12 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 16 \text{ mm}$	$5\varnothing$
$16 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 25 \text{ mm}$	$8\varnothing$
$25 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 40 \text{ mm}$	$10\varnothing$

Lunghezza di ancoraggio $L_b \geq 20 \varnothing$	Lunghezza della piega $L \geq 5 \varnothing$

Le operazioni di lavorazione delle armature, prima della messa in opera, possono essere effettuate direttamente in cantiere, o altrimenti effettuata da impresa specializzata, che, in base alle specifiche di progetto, sia in grado di fornire tutti gli elementi pronti per il montaggio, mediante lavorazione automatizzata.

5. ACCIAIO PER PROFILATI

Gli acciai dovranno essere del tipo **S275 (ex Fe430)** per i profilati piatti e per le armature dei micropali.

Essi non dovranno presentare eccessiva ossidazione, corrosione o recare difetti superficiali o anomalie da fusione che ne pregiudichino la resistenza o essere ricoperti da sostanze (grassi ed oli) che possano ridurne sensibilmente l'aderenza al

conglomerato. Per le caratteristiche meccaniche e tecnologiche restanti essi dovranno rispondere a quelle elencate nel D.M. 14.1.2008 al paragrafo 11.3.4 ed alla Tabella 11.3.X.

6. DOSAGGIO DEGLI ELEMENTI DEL CALCESTRUZZO

Si riportano di seguito il dosaggio degli elementi per la realizzazione degli elementi di calcestruzzo:

6.1 Conglomerato cementizio per il plinto di collegamento dei micropali

Il conglomerato cementizio dovrà avere le seguenti resistenze caratteristiche a compressione: $R_{ck} \geq Nmm^{-2} 30$. Per proporzionare il conglomerato cementizio si userà il principio del MIX-DESIGN (M.COLLEPARDI "Industria Italiana del Cemento" 5/1991). La ricerca della resistenza media a 28 giorni sarà effettuata relativamente al CONTROLLO DI TIPO A (vedere par. 11.2.5, D.M.14.1.2008):

$$K_s = Nmm^{-2} 3.5; R_{ck} = R_{cm28} - K_s; R_{cm28} = R_{ck} + K_s = 30 + 3.5 = Nmm^{-2} 33.5$$

Dal grafico allegato, per un cemento ENV197-1 CEM I 42.5 ($\gamma_c = kNm^{-3} 31.5$) e dal valore della resistenza media a compressione a 28 giorni precedentemente trovato si ottiene: $(a/c) = 0.63$. **Tale valore non risulta compatibile con le prescrizioni relative alla durabilità (UNI11104, ENV206) per un ambiente in classe di esposizione XC2 e pertanto sarà sostituito dal valore di a/c massimo in tale classe di esposizione: $a/c = 0.6$.** Dalla letteratura e dalle pagine precedenti si ottengono i valori della lavorabilità e del diametro massimo degli aggregati per questo tipo di costruzione: SLUMP = cm 20 (S4); $D_{max} = mm 40$; con questi due elementi dalla Fig. 2 si ricava la quantità di acqua richiesta: $w = kNm^{-3} 2.0$. Il quantitativo di cemento necessario sarà: $a/c = 0.6$, $c = a/0.6$; $c = 2.0/0.6 = kNm^{-3} 3.33$.

Dall'allegato 2 e 3 si ricava, in funzione del diametro massimo $D_{max} = \text{mm } 40$, la quantità di aria che rimarrà dopo compattazione completa: $V_{aria} = 1\%$; tale quantità di aria non risulta sufficiente per resistere ai cicli di gelo e disgelo e pertanto dovrà essere inserito un quantitativo di aria extra utilizzando un additivo areante fino a raggiungere la percentuale minima richiesta del 4% (aria extra da inserire con additivo 3%).

Il volume degli aggregati (carico di rottura $> \text{Nmm}^{-2} 100$) in condizioni sature a superficie asciutta è calcolabile per differenza tra il volume totale e quello degli altri componenti la miscela di cls; pertanto supponendo un volume totale della miscela di $\text{m}^3 1.0$ ($\text{dm}^3 1000$): $V_i = 1000 - 3330/31.5 - 200 - 40 = \text{dm}^3 654$ e quindi, con granuli di aggregati di massa volumica media $p_{ia} = \text{kNm}^{-3} 2.65$, saranno necessari in peso:

$$i = V_i * p_{ia} = 654 * 2.65 = \text{kNm}^{-3} 17.33.$$

Per definire la curva granulometrica degli aggregati dovranno aversi a disposizione almeno 3 classi granulometriche con $D_{max} = \text{mm } 30$ facendo riferimento ai fusi granulometrici relativi al diametro max allegati alla presente relazione (UNI 7163).

Tutti i calcoli precedenti sono stati effettuati considerando gli aggregati saturi a superficie asciutta (condizione ideale), se gli aggregati fossero umidi l'acqua contenuta andrà a far parte dell'impasto, pertanto bisognerà diminuire quest'ultima di una quantità pari a quella contenuta negli aggregati, in maniera da non produrre un calcestruzzo con eccesso d'acqua. Gli aggregati, naturali o di frantumazione, dovranno essere costituiti da elementi non gelivi e non friabili, privi di sostanze organiche, limose e/o argillose, di gesso, ecc., in proporzioni nocive all'indurimento del conglomerato o alla conservazione delle armature. In ogni caso gli aggregati dovranno essere ben lavati in maniera tale che si possano stabilire i necessari legami tra il cemento e l'aggregato stesso. Gli aggregati non dovranno contenere le forme di silice reattive (opale, calcedonio, tridimite, quarzo criptocristallino) in modo tale da evitare fenomeni espansivi. La sabbia

da impiegare per il confezionamento delle malte deve essere priva di sostanze organiche, terrose o argillose.

6.2 Conglomerato cementizio per le opere in elevazione

Il conglomerato cementizio dovrà avere le seguenti resistenze caratteristiche a compressione: $R_{ck} \geq \text{Nmm}^{-2} 30$. Per proporzionare il conglomerato cementizio si userà il principio del MIX-DESIGN (M.COLLEPARDI "Industria Italiana del Cemento" 5/1991). La ricerca della resistenza media a 28 giorni sarà effettuata relativamente al CONTROLLO DI TIPO A (vedere par. 11.2.5, D.M.14.1.2008):

$$K_s = \text{Nmm}^{-2} 3.5; R_{ck} = R_{cm28} - K_s; R_{cm28} = R_{ck} + K_s = 30 + 3.5 = \text{Nmm}^{-2} 33.5$$

Dal grafico allegato, per un cemento ENV197-1 CEM I 42.5 ($\gamma_c = \text{kNm}^{-3} 31.5$) e dal valore della resistenza media a compressione a 28 giorni precedentemente trovato si ottiene: $(a/c) = 0.68$. **Tale valore non risulta compatibile con le prescrizioni relative alla durabilità (UNI11104, ENV206) per un ambiente in classe di esposizione intermedia XC1 e XC4 e pertanto sarà sostituito dal valore di a/c massimo in tale classe di esposizione: $a/c = 0.5$.** Dalla letteratura e dalle pagine precedenti si ottengono i valori della lavorabilità e del diametro massimo degli aggregati per questo tipo di costruzione: SLUMP = cm 20 (S4); $D_{max} = \text{mm} 40$; con questi due elementi dalla Fig. 2 si ricava la quantità di acqua richiesta: $w = \text{kNm}^{-3} 2.0$. Il quantitativo di cemento necessario sarà:

$$a/c = 0.5, c = a/0.5; c = 2.0/0.5 = \text{kNm}^{-3} 4.0.$$

Dall'allegato 2 e 3 si ricava, in funzione del diametro massimo $D_{max} = \text{mm} 40$, la quantità di aria che rimarrà dopo compattazione completa: $V_{aria} = 1\%$; tale quantità di aria non risulta sufficiente per resistere ai cicli di gelo e disgelo e pertanto dovrà essere inserito un quantitativo di aria extra utilizzando un additivo areante fino a raggiungere la

percentuale minima richiesta del 4% (aria extra da inserire con additivo 3%).

Il volume degli aggregati (carico di rottura $> Nmm^{-2} 100$) in condizioni sature a superficie asciutta è calcolabile per differenza tra il volume totale e quello degli altri componenti la miscela di cls; pertanto supponendo un volume totale della miscela di $m^3 1.0$ ($dm^3 1000$): $V_i = 1000 - 4000/31.5 - 200 - 40 = dm^3 633$ e quindi, con granuli di aggregati di massa volumica media $p_{ia} = kNm^{-3} 2.65$, saranno necessari in peso:

$$i = V_i * p_{ia} = 633 * 2.65 = kNm^{-3} 16.8.$$

Per definire la curva granulometrica degli aggregati dovranno aversi a disposizione almeno 3 classi granulometriche con $D_{max} = mm 40$ facendo riferimento ai fusi granulometrici relativi al diametro max allegati alla presente relazione (UNI 7163).

Tutti i calcoli precedenti sono stati effettuati considerando gli aggregati saturi a superficie asciutta (condizione ideale), se gli aggregati fossero umidi l'acqua contenuta andrà a far parte dell'impasto, pertanto bisognerà diminuire quest'ultima di una quantità pari a quella contenuta negli aggregati, in maniera da non produrre un calcestruzzo con eccesso d'acqua. Gli aggregati, naturali o di frantumazione, dovranno essere costituiti da elementi non gelivi e non friabili, privi di sostanze organiche, limose e/o argillose, di gesso, ecc., in proporzioni nocive all'indurimento del conglomerato o alla conservazione delle armature. In ogni caso gli aggregati dovranno essere ben lavati in maniera tale che si possano stabilire i necessari legami tra il cemento e l'aggregato stesso. Gli aggregati non dovranno contenere le forme di silice reattive (opale, calcedonio, tridimite, quarzo criptocristallino) in modo tale da evitare fenomeni espansivi. La sabbia da impiegare per il confezionamento delle malte deve essere priva di sostanze organiche, terrose o argillose.

6.3 Acqua di impasto per il conglomerato cementizio

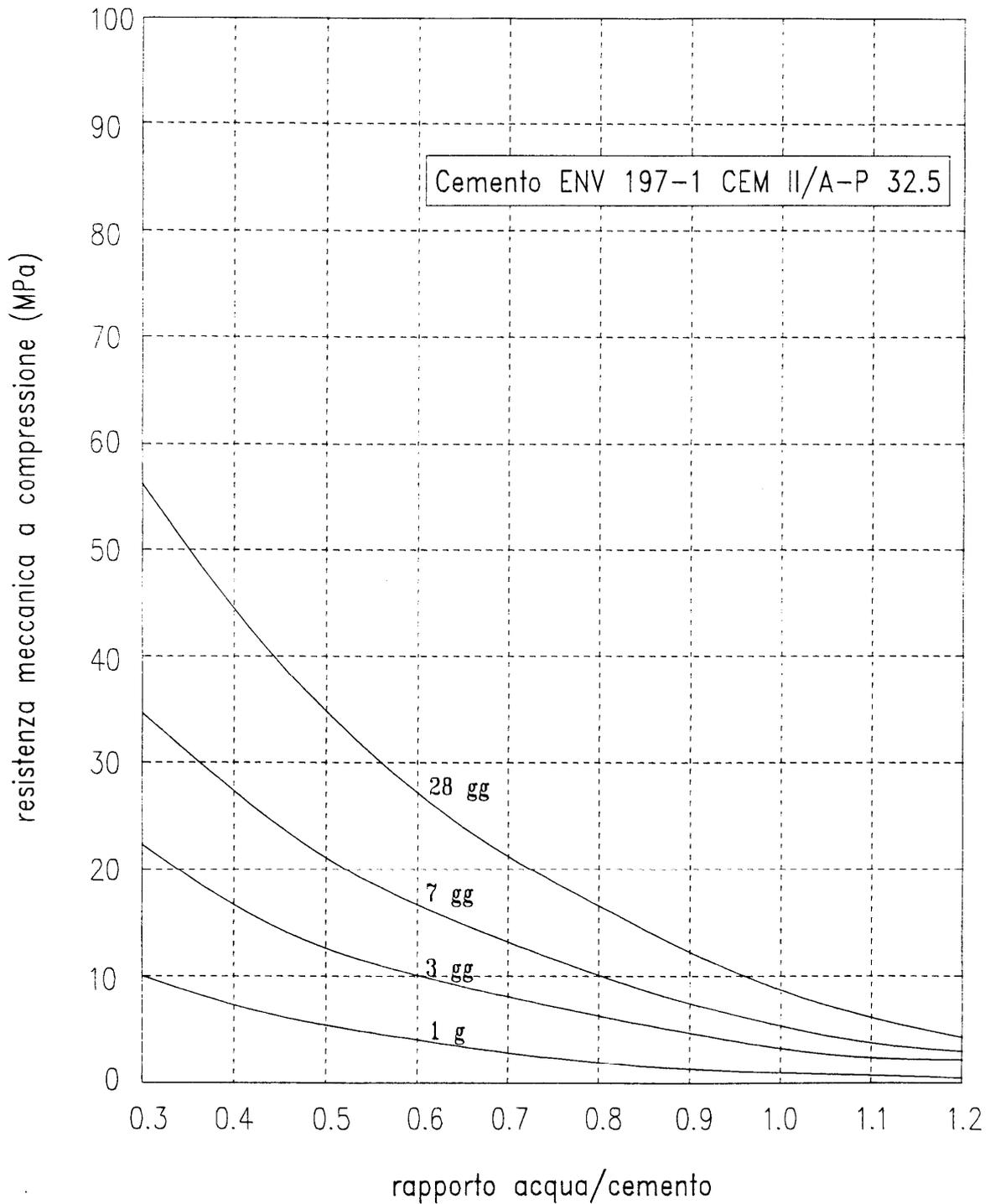
L'acqua d'impasto non dovrà contenere, in percentuali pericolose, sostanze che influenzino negativamente le proprietà del cls sia fresco che indurito e la conservazione delle armature. Le principali sostanze su cui va posta attenzione a questo fine saranno:

- sostanze organiche: limite di accettabilità $\leq 2\text{g/l}$
- solfati (tipo SO_3): limite di accettabilità $\leq 1.2\text{g/l}$
- cloruri (ione Cl): limite di accettabilità $\leq 0.4\%$ sul peso di cemento

Per i cloruri tale limite si intende relativo al contenuto complessivo di ione cloro nel conglomerato cementizio (aggregati + cemento + acqua + additivi).

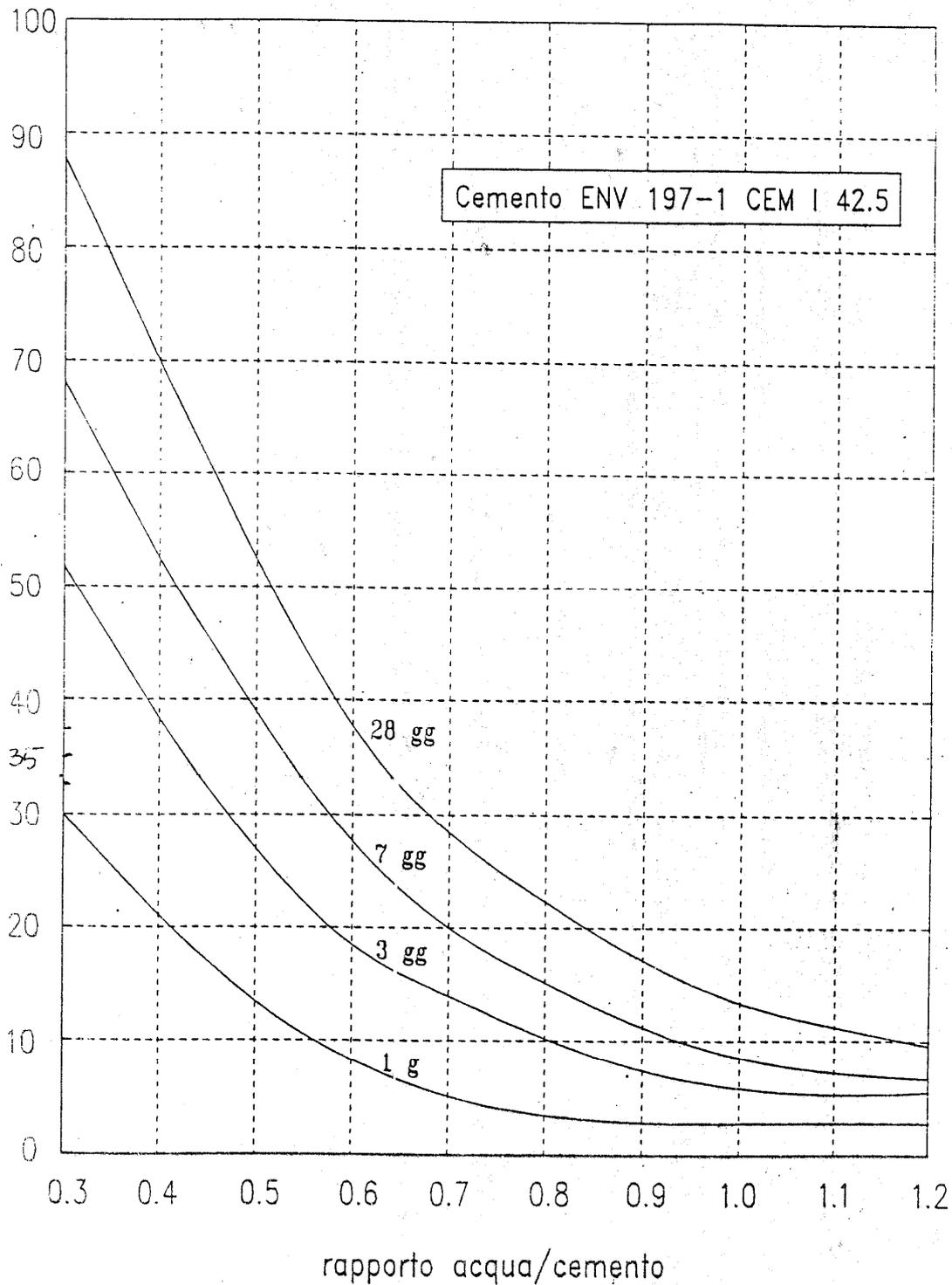
ALLEGATI

RESISTENZA MECCANICA DI CALCESTRUZZI
CON CEMENTO ENV 197-1 CEM II/A-P 32.5



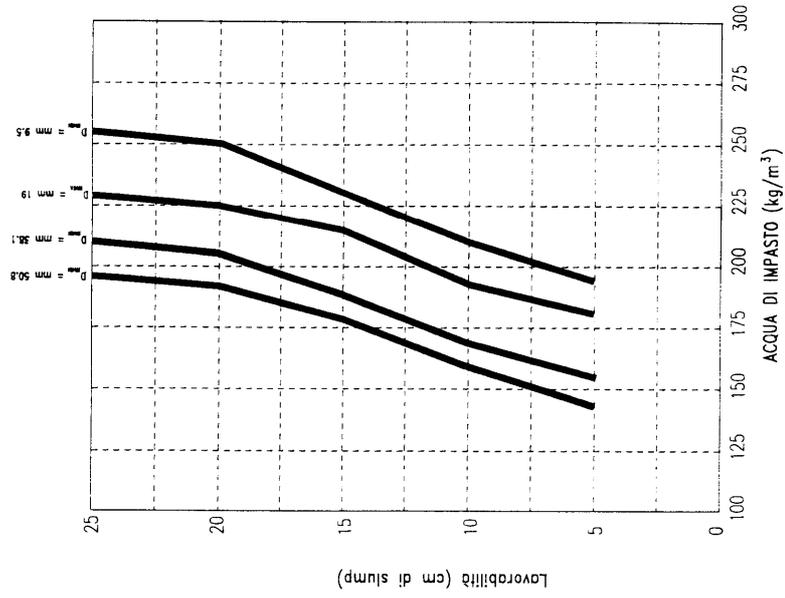
All. 1A: Resistenza meccanica di calcestruzzi con cemento ENV – 197 CEM II/A –P 32.5

RESISTENZA MECCANICA DI CALCESTRUZZI
CON CEMENTO ENV 197-1 CEM I 42.5

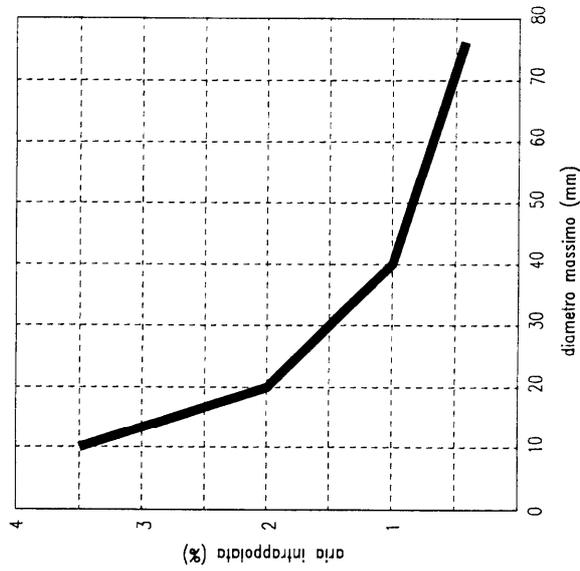


All. 1B: Resistenza meccanica di calcestruzzi con cemento ENV - 197-1 CEM I - P 42.5

LAVORABILITÀ IN FUNZIONE DELL'ACQUA DI IMPASTO PER AGGREGATI DI DIVERSO DIAMETRO



PERCENTUALE DI ARIA NEL CALCESTRUZZO COMPATTO IN FUNZIONE DEL DIAMETRO MASSIMO DELL'AGGREGATO



Aria intrappolata: aria contenuta all'interno degli aggregati dopo compattazione
 Aria inglobata: aria inserita all'interno del calcestruzzo con l'uso di additivi

All. 2; All. 3: Percentuale di aria e rapporto acqua cemento in funzione del D_{mass} .