



COLABETON

QUADERNI **TECNICI**

www.colabeton.it



INDICE

LINEE GUIDA PER EDIFICI ECOLOGICI

5

1.	L'AZIENDA	6
2.	I PRODOTTI	9
3.	I PROTOCOLLI DI CERTIFICAZIONE GREEN BUILDING	12
4.	LEED V4 - V4.1 - LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN	16
5.	BREEAM - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD	19
6.	WELL - WELL BUILDING STANDARD	22
7.	CAM - CRITERI AMBIENTALI MINIMI	23
8.	TABELLA RIASSUNTIVA LEED	24
9.	TABELLA RIASSUNTIVA BREEAM	26
10.	TABELLA RIASSUNTIVA WELL	28

PROGETTARE STRUTTURE CON CALCESTRUZZI SOSTENIBILI

31

1.	PREMESSA	32
2.	SOLUZIONI	35
3.	ESEMPI	37
4.	EPD: ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION	40
5.	BIBLIOGRAFIA	41

#SMARTPRACTICE

CALCESTRUZZI DURABILI A PRESTAZIONE GARANTITA	43
---	----

#SMARTFLAT

FLATPAV CALCESTRUZZO STRUTTURALE PER PAVIMENTAZIONI INTERNE ED ESTERNE	53
FLATSTONE CALCESTRUZZO STRUTTURALE PER PAVIMENTAZIONI AD EFFETTO ARCHITETTONICO	65
FLATROAD CALCESTRUZZO STRUTTURALE PER PAVIMENTAZIONI STRADALI	73
FLATCOVER CALCESTRUZZO FLUIDO PER RIEMPIMENTI	79
FLATDRAIN CALCESTRUZZO DRENANTE A CONSISTENZA TERRA UMIDA	83
FLATSCREED P/SL BETONCINI PLASTICI E AUTOLIVELLANTI PER LA REALIZZAZIONE DI MASSETTI	93
PAVIMENTAZIONI ARCHITETTONICHE IN PIETRA	101

#SMARTSCC

<i>CALCESTRUZZI STRUTTURALI AUTOCOMPATTANTI</i>	107
---	------------

#SMARTART

<i>LE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO FACCIAVISTA</i>	119
---	------------

#SMARTISOLIGHT

<i>I CALCESTRUZZI LEGGERI</i>	125
-------------------------------	------------

#SMARTBEPLUS

<i>IL CALCESTRUZZO AD ALTE PRESTAZIONI MECCANICHE</i>	139
<i>PROGETTARE IL CALCESTRUZZO PER GETTI IN CLIMA INVERNALI ED ESTIVI</i>	147
<i>PROGETTARE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO “PESANTE”</i>	157
<i>PROGETTARE STRUTTURE MASSIVE IN CALCESTRUZZO ARMATO</i>	163
<i>I CALCESTRUZZI A RITIRO CONTROLLATO E COMPENSATO</i>	171
<i>IL CALCESTRUZZO PER GETTI SUBACQUEI</i>	181
<i>IL CALCESTRUZZO SPRUZZATO</i>	187
<i>LE MISCELE DA INIEZIONE</i>	193

#SMARTFIBER

<i>LE FIBRE E IL CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO</i>	199
---	------------

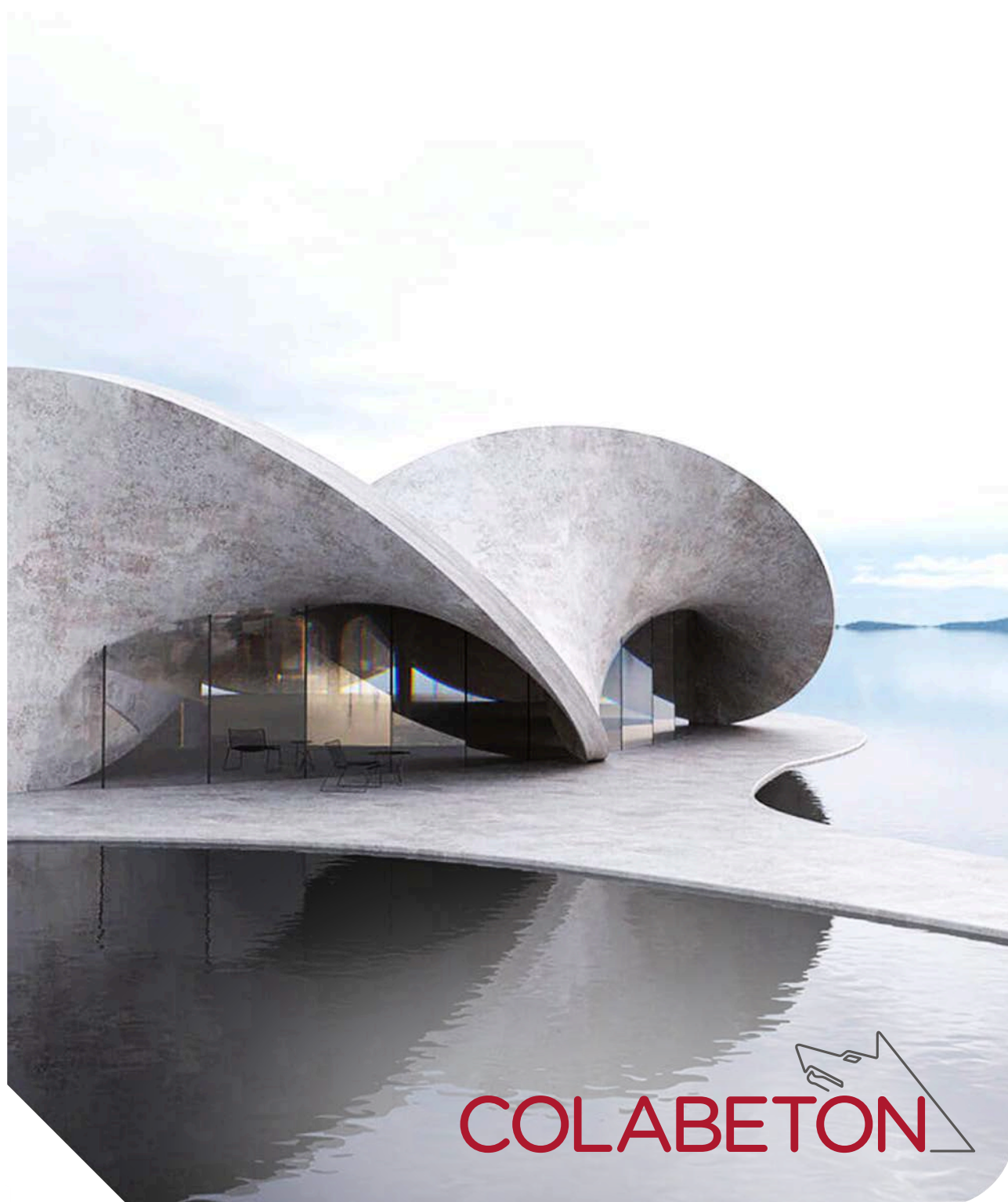
#SMARTDRY

<i>PROGETTARE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO A TENUTA IDRAULICA</i>	209
---	------------

CONTATTI

214

LINEE GUIDA PER EDIFICI ECOLOGICI



1 - L'AZIENDA

Colabeton S.p.A. è una società del Gruppo Financo, controllato dalle famiglie Colaiacovo, che produce e distribuisce calcestruzzo preconfezionato dal 1987. La Direzione Generale ha sede a Gubbio (PG).

L'azienda si è attestata da tempo tra i leader italiani nel settore, grazie a una rete distributiva estesa su gran parte del territorio nazionale.

L'orientamento improntato alla sostenibilità è perseguito attraverso un know-how organizzativo e tecnologico di rilievo, nella gestione degli impianti e nella continua ricerca e sviluppo di prodotti innovativi.

Tra questi la gamma Smart Thinking, ideata per i nuovi mercati delle costruzioni. Si parte dalle opere da realizzare per individuare il calcestruzzo più adatto, offrendo un mix efficace tra innovazione, prestazioni e sostenibilità.

I calcestruzzi Colabeton sono dotati di EPD (Environmental Product Declaration), che certifica le informazioni sul ciclo di vita (LCA) e sugli impatti ambientali, sempre più richieste nei capitolati degli appalti sia pubblici che privati. I prodotti supportano anche le potenzialità del BIM - Building Information Modeling, tracciando così la via al calcestruzzo del futuro.

Lo sviluppo economico e industriale pone al centro la Persona e il rispetto per l'ambiente, grazie a una corretta gestione delle risorse naturali e a un rapporto con le comunità locali attivo e responsabile.

La sicurezza garantita dall'assoluta trasparenza dei controlli, la competenza del personale, oltre alle soluzioni tecnologiche d'avanguardia fanno di Colabeton uno dei leader più affidabili nella produzione di calcestruzzo in Italia.

MISSION E VISION

Produrre calcestruzzo in modo sostenibile per creare valore economico e sociale, migliorando la vita delle persone. Questa la MISSION di Colabeton.

I valori Colabeton si fondano su rispetto dell'ambiente e sicurezza del lavoro. Da qui gli investimenti continui in formazione del personale, ricerca e sviluppo di nuovi prodotti, con particolare attenzione all'avanzamento scientifico e tecnologico.



SVILUPPO SOSTENIBILE

La vision di Colabeton punta sulla tecnologia e sull'innovazione quale presupposto per un modello di sviluppo etico e sostenibile, orientato al mercato.

La sostenibilità è perseguita in triplice ambito.

Il primo aspetto su cui si pone massima attenzione è il “come si produce”. Tutti gli impianti, in particolar modo quelli situati all'interno di aree urbane, sono perfettamente integrati con gli spazi circostanti grazie a moderni sistemi di abbattimento polveri e rumori. Inoltre, riduzione della produzione di rifiuti e degli scarichi idrici nel processo produttivo, riutilizzando acqua e aggregati derivanti da riciclo.

Il controllo del processo è per Colabeton anche la condizione necessaria per offrire all'utilizzatore finale la qualità di “ciò che si produce”: prodotti sicuri e conformi, per garantire la durabilità delle opere. A tale riguardo l'azienda sta puntando molto anche sulla trasparenza dei controlli in fase applicativa, che è la base per la sicurezza di chi quelle opere le utilizza.

Infine, lo sviluppo di prodotti a basso impatto ambientale, di grande innovazione tecnologica, in linea con i principi posti dalla certificazione LEED. Grande attenzione quindi alla scelta di quei materiali, in certi casi di recupero, che possano garantire risparmio energetico oltre alla riduzione delle emissioni di CO₂ (necessarie alla loro produzione), per una progettazione sempre più green. I calcestruzzi progettati con materiali alternativi assicurano, nel loro ciclo produttivo, sia prestazioni che minori impatti ambientali.

Tale approccio sostenibile è certamente una delle chiavi che ha permesso a Colabeton di affermarsi come leader nel panorama nazionale.

Perché, oggi più che mai, sostenibilità è sinonimo di competitività.

GESTIONE AREE ESTRATTIVE

Per la produzione del calcestruzzo uno dei componenti fondamentali è quello lapideo (aggregato) sotto forma di ghiaie e sabbia. Tali materie prime naturali vengono estratte sotto forma di tout-venant da cave e successivamente trasformati in aggregati idonei per il calcestruzzo negli appositi impianti di frantumazione e selezione.

Per questo l'obiettivo Colabeton è mitigare al massimo gli impatti delle proprie attività estrattive, rendendo possibile un recupero ambientale con un nuovo valore naturalistico, salvaguardando le biodiversità e gli ecosistemi, offrendo nuovi spazi fruibili alla collettività.

Tutte le attività estrattive Colabeton hanno un progetto di coltivazione che prevede un piano di recupero ambientale dell'area. Ogni progetto è basato:

- su una seria valutazione degli impatti ambientali
- sul coinvolgimento degli stakeholder

per garantire la salute e la sicurezza dentro e fuori il sito.

Le metodologie di coltivazione e recupero ambientale delle proprie cave sono in linea con i progetti approvati.

CERTIFICAZIONI AZIENDALI

ISO 9001

Sistema di gestione aziendale che consente di garantire che i suoi servizi e prodotti mantengono i livelli di qualità richiesti.

Questa certificazione garantisce il concetto di Qualità di Colabeton che è il risultato eccellente di **scienza, tecnologia e professionalità**.

Controllo di Produzione in Fabbrica - FPC

Certificazione del sistema di controllo della produzione (FPC) di calcestruzzo preconfezionato ottenuto con un processo industrializzato.

Colabeton si è dotata di adeguate procedure di controllo permanente della produzione, documentate sistematicamente

ISO 14001

L'azienda ha conseguito la certificazione del sistema di gestione ambientale secondo la normativa internazionale UNI EN ISO 14001, che rappresenta oggi un'eccellenza nella gestione di tutte le pratiche relative all'impatto ambientale.

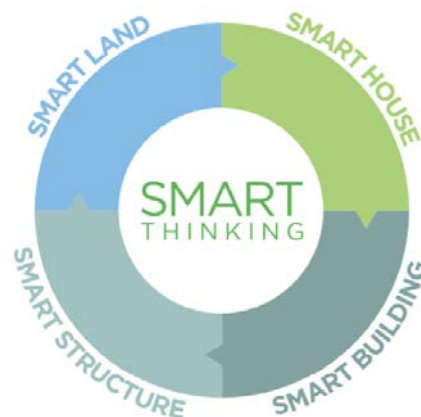
Concrete Sustainability Council

Sistema di certificazione globale per calcestruzzo preconfezionato e prefabbricato proveniente da fonti responsabili

2 - I PRODOTTI

SMART THINKING

Smart Thinking Colabeton è stato sviluppato per i nuovi mercati delle costruzioni. Si parte dalle opere da realizzare per individuare il **calcestruzzo più adatto**, offrendo un mix efficace tra **innovazione, prestazioni e sostenibilità**. Ogni calcestruzzo è funzionale alla realizzazione di luoghi SMART, dove le persone abitano, lavorano, fruiscono di servizi, costruiscono relazioni, partecipano alla comunità, creando valore economico, sociale, culturale. L'obiettivo di SMART THINKING è quindi agevolare al massimo la **scelta del prodotto giusto al progettista e la migliore qualità dell'opera finale**, anche grazie alle potenzialità del **BIM - Building Information Modeling**, tracciando così la via al calcestruzzo del futuro. Un sistema edilizio sicuro, sostenibile e intelligente che migliora la qualità della vita e permette la creazione di SMART LAND, SMART HOUSE, SMART BUILDING e SMART STRUCTURE.



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita

Practice

Calcestruzzi di base durabili a prestazione garantita per impieghi strutturali.
Calcestruzzi ordinari a prestazione garantita per impieghi non strutturali.



#smartFlat

Calcestruzzi per la realizzazione di superfici orizzontali industriali e architettoniche

flatPav ©

Calcestruzzo fluido per pavimentazioni industriali

flatStone* ©

Calcestruzzo fluido colorato per pavimentazioni ad effetto architettonico

flatDrain* ©

Calcestruzzo a consistenza terra umida con effetto drenante

flatMixed

Misto cementato per la realizzazione di sottofondi stradali

flatRoad ©

Calcestruzzo per la realizzazione di strade

flatCover ©

Calcestruzzo fluido per riempimenti

flatScreed-P

Calcestruzzo plastico per la realizzazione di massetti

flatScreed-SL

Calcestruzzo autolivellante per la realizzazione di massetti



BIM

* Può essere fornito anche nella versione fotoluminescente (brightStone e brightDrain)



#smartSCC

Calcestruzzi strutturali autocompattanti

scc60

Calcestruzzo autocompattante a consistenza SF1 (550-650 mm)

scc70

Calcestruzzo autocompattante a consistenza SF2 (660-750 mm)

scc80

Calcestruzzo autocompattante a consistenza SF3 (760-850 mm)



#smartArt

Calcestruzzi strutturali colorati superfici facciavista

artColor

Calcestruzzo fluido colorato

artIvory

Calcestruzzo fluido confezionato con cemento bianco

artWhite

Calcestruzzo fluido confezionato con cemento e aggregati bianchi

artGrey

Calcestruzzo fluido per superfici faccia vista



#smartIsolight

Calcestruzzi fluidi leggeri ideali per l'isolamento termico e acustico

isoClay ☉

Calcestruzzo fluido leggero e isolante confezionato con argilla espansa

isoClayS ☉

Calcestruzzo fluido leggero strutturale e isolante confezionato con argilla espansa

isoPSE ☉

Calcestruzzo fluido leggero confezionato con perline di polistirolo espanso

isoPSE H48 ☉

Calcestruzzo fluido leggero confezionato con perline di polistirolo espanso

isoPumixS ☉

Calcestruzzo fluido leggero strutturale e isolante confezionato con pomice

isoPET

Calcestruzzo fluido confezionato con plastiche riciclate



BIM

** Può essere fornito anche nella versione
fotoluminescente (brightStone e brightDrain)*



#smartbePlus

Calcestruzzi strutturali destinati alla realizzazione di opere d'ingegneria complesse

beQuick

Calcestruzzo fluido a rapido indurimento

beSlow

Calcestruzzo fluido ad elevato mantenimento della lavorabilità

beCool

Calcestruzzo fluido a basso calore di idratazione

beControl ©

Calcestruzzo fluido a ritiro controllato

beSub

Calcestruzzo fluido per getti subacquei

beShot

Calcestruzzo fluido spruzzato

beInject

Boiacca



#smartFiber

Calcestruzzi strutturali fibrorinforzati

S - fiber ©

Calcestruzzo fluido rinforzato con fibre di acciaio e con fibre sintetiche ad elevata tenacità

PP - fiber ©

Calcestruzzo fluido rinforzato con fibre polimeriche

HT - fiber

Calcestruzzo fluido rinforzato con fibre sintetiche ad elevata tenacità

PHT - fiber ©

Calcestruzzo fluido rinforzato con fibre polimeriche e ad elevata tenacità



#smartDry

Calcestruzzi strutturali a permeabilità controllata

drySIL ©

Calcestruzzo fluido con l'aggiunta di fumi di silice

dryCrystal

Calcestruzzo fluido con l'aggiunta di additivi idrofughi e di agenti impermeabilizzanti

dryKaolin ©

Calcestruzzo fluido con l'aggiunta di caolino

dryCrete

Calcestruzzo fluido con l'aggiunta di additivi idrofughi



* Può essere fornito anche nella versione fotoluminescente (brightStone e brightDrain)

3- I PROTOCOLLI DI CERTIFICAZIONE GREEN BUILDING

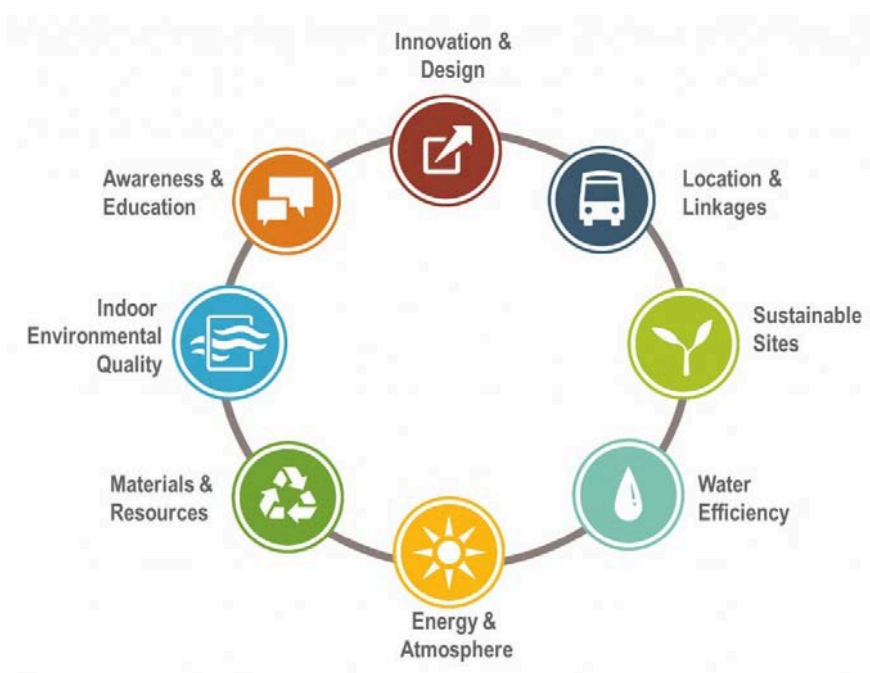
LEED V4.1

Lo standard LEED, acronimo di Leadership in Energy and Environmental Design, si basa su un sistema di prerequisiti e crediti, suddivisi in categorie o famiglie, in base all'area tematica di appartenenza.

I **prerequisiti** sono obbligatori per l'ottenimento della certificazione; i **crediti** sono scelti in base agli obiettivi progettuali, e determinano il punteggio finale ottenuto dall'edificio, che a sua volta stabilisce il livello di certificazione.



9 CATEGORIE



4 LIVELLI



CERTIFIED
40-49 punti



SILVER
50-59 punti



GOLD
60-79 punti



PLATINUM
+80 punti

RATING SYSTEM

BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION

PER PROGETTI DI NUOVE COSTRUZIONI O IMPORTANTI
RISTRUTTURAZIONI

New Construction - Core & Shell - Schools
Retail - Hospitality - Data Centers - Warehouses &
Distribution Centers
Healthcare

INTERIOR DESIGN AND CONSTRUCTION - NEIGHBORHOOD DEVELOPMENT - HOMES

PER PROGETTI DI ARREDO DI INTERNI
PER NUOVI PROGETTI DI SVILUPPO O DI
RIQUALIFICAZIONE DEL TERRITORIO
PER PROGETTI DI EDILIZIA RESIDENZIALE

Commercial Interiors - Homes
Multifamily Lowrise - Multifamily Midrise

Negli anni si sono succedute diverse versioni dello standard LEED; l'ultima in ordine temporale è la LEED v4.1, introdotta il 2 Aprile 2019, che si affianca alla già esistente e ancora disponibile LEED v4.

La nuova versione nasce con l'intento di:

- affrontare le barriere del mercato e le lezioni apprese dai team di progetto sul protocollo LEED v4.
- aggiornare le soglie di prestazione e gli standard di riferimento per garantire che LEED rimanga lo standard di leadership globale per gli edifici ecologici.
- Espandere il mercato per LEED.
- Migliorare le prestazioni per tutta la vita degli edifici, premiare i leader in base alle loro prestazioni e incorporare i rapporti sulle prestazioni per consentire ai proprietari di edifici di monitorare i progressi verso gli obiettivi ambientali, sociali e di governance.
- I principali aggiornamenti introdotti dalla versione LEED v4.1 includono:
 - metriche energetiche che includono sia i costi che le emissioni di gas serra (una novità per LEED);
 - eseguito l'upgrade a ASHRAE 90.1-2016;
 - aggiornati i requisiti di gestione delle acque piovane con eventi di tempesta percentili minimi inferiori e una guida aggiuntiva per i progetti zero-lot-line;
 - introdotto un nuovo credito per le energie rinnovabili che meglio affronta i diversi metodi di approvvigionamento delle energie rinnovabili e l'evoluzione dei mercati globali delle energie rinnovabili;
 - ristrutturazione dei crediti per materiali e risorse che ora includono opzioni che riconoscono gli sforzi a vari livelli, colmando il divario da dove il mercato è attualmente agli obiettivi identificati in LEED v4 e portati in LEED v4.1.

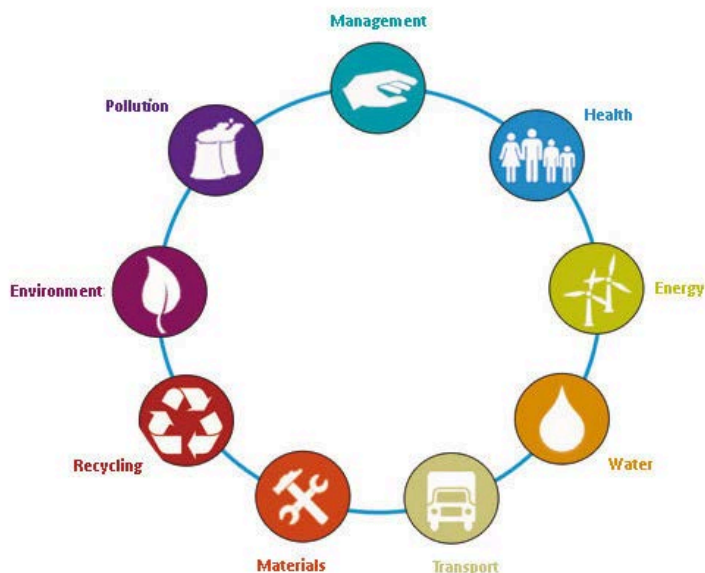
BREEAM

Il sistema BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) utilizza metodi di valutazione riconosciuti e impostati secondo parametri di riferimento per verificare la progettazione, la costruzione e l'utilizzo dell'immobile.



Il sistema si basa su criteri suddivisi in diverse categorie, dalla gestione delle risorse all'ecologia, e comprendono aspetti legati all'utilizzo dell'energia e dell'acqua, l'ambiente interno (salute e benessere), l'inquinamento, i trasporti, i materiali, i rifiuti, l'ecologia e i processi di gestione.

9 CATEGORIE



6 LIVELLI

≥85 % Outstanding	★ ★ ★ ★ ★ ★
≥70 % Excellent	★ ★ ★ ★ ★ ☆
≥55 % Very Good	★ ★ ★ ★ ☆ ☆
≥40 % Good	★ ★ ★ ☆ ☆ ☆
≥25 % Pass	★ ★ ☆ ☆ ☆ ☆
≥10 % Acceptable	★ ☆ ☆ ☆ ☆ ☆

BREEAM internazionalmente è suddiviso nei protocolli BREEAM International New Construction e BREEAM International Refurbishment and Fit-Out.

WELL

Il protocollo WELL è stato introdotto nel 2014 dall'International WELL Building Institute™ (IWBI) con lo scopo di integrare nelle fasi di progetto e costruzione degli edifici gli aspetti connessi alla salute ed il benessere delle persone. Il sistema di certificazione si basa sulla determinazione di parametri prestazionali che misurano gli impatti che gli ambienti interni di un edificio esercitano sull'organismo umano. WELL coniuga le migliori pratiche nella progettazione e costruzione degli edifici con evidenze mediche e scientifiche con lo scopo di creare un'ambiente costruito che promuova il benessere e la salute delle persone che fruiscono tale spazio.

Le interazioni tra le persone e l'ambiente costruito sono organizzate in dieci categorie dette "concepts", ciascuno dei quali si articola attraverso richieste puntuali ed indicazioni da implementare nella fase di progetto, di costruzione o di gestione dell'edificio, attraverso prerequisiti obbligatori ("Preconditions") e crediti che conferiscono punteggio ("Optimizations").



10 CONCEPT



3 LIVELLI



Il Protocollo WELL è stato studiato per essere affiancato alla Certificazione LEED degli edifici: LEED guida la progettazione e realizzazione sostenibile per l'ambiente, WELL la progettazione e la costruzione per la salute ed il benessere delle persone.

4- LEED V4 - V4.1 - LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIROMENTAL DESIGN

SUSTAINABLE SITE

SSc5_Heat Island Reduction

Il credito si pone l'obiettivo di ridurre al minimo gli effetti sul microclima, sulla fauna e sulle comunità imponendo la riduzione delle isole di calore.

Utilizzare materiali per pavimentazione con un valore di riflettanza solare iniziale (SR) di almeno 0,33.

È possibile valutare, nella gamma di prodotti Colabeton, materiali di colorazione chiara quali Flat Stone e Flat Drain, che sottoposti a test garantirebbero l'ottenimento del credito.

MATERIALS AND RESOURCES

MRc1_Building Product Disclosure and Optimization Building Life-Cycle Impact Reduction

Il credito si pone l'obiettivo, in caso di nuova costruzione, la valutazione del ciclo di vita dell'intero edificio.

Colabeton dispone per le sue famiglie di prodotti della certificazione EPD - Environmental Product Declarations.

Tale tipo di certificazione, basato sullo studio LCA, consente di fornire dati precisi, relativamente a ogni prodotto commercializzato, per l'ottenimento del credito.

MRc2_Building Product Disclosure and Optimization Environmental Product Declarations

Il credito si pone l'obiettivo di incoraggiare l'utilizzo di prodotti che dispongano di informazioni relative impatto ambientale, economico e sociale valutate secondo il proprio ciclo di vita.

Colabeton dispone per le sue famiglie di prodotti della certificazione EPD. La società è in grado di fornire uno specifico EPD, relativo al prodotto acquistato, per ogni differente progetto di appartenenza.

MRc3_Building Product Disclosure and Optimization

Sourcing of Raw Materials

Il credito si pone l'obiettivo di valorizzare l'uso di prodotti estratti o approvvigionati in maniera responsabile.

I prodotti Colabeton contengono materiali riciclati, e contribuiscono dunque a ridurre l'estrazione e il consumo di materie prime naturali.

Si producono calcestruzzi con un contributo di riciclato minimo pari al 5%, limite imposto dai criteri ambientali minimi.

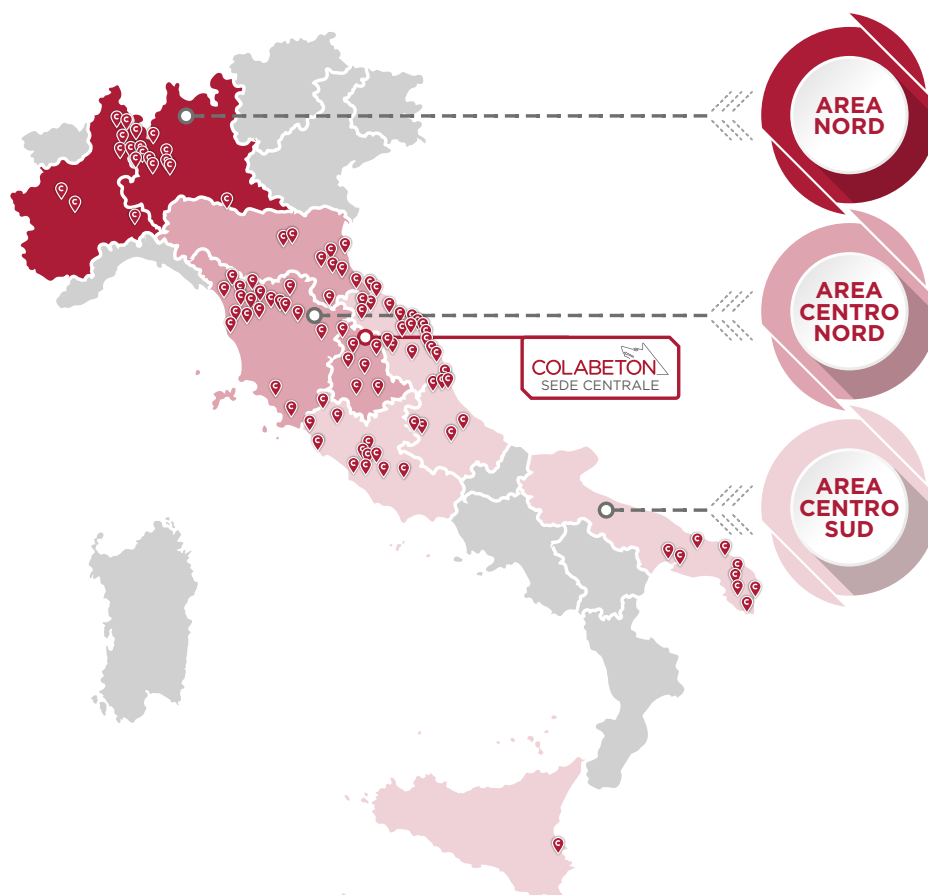
Oltre ai requisiti richiesti negli appalti pubblici, la società si pone come obiettivo l'incremento di tale percentuale per soddisfare le richieste dei clienti, ma sempre garantendo le corrette caratteristiche tecniche richieste da progetto.

Data la collocazione di differenti impianti su tutto il territorio nazionale, Colabeton risulta in grado di fornire il materiale a una distanza ridotta, scelta sostenibile sia a livello ambientale che economico con una riduzione delle emissioni di CO₂.

Valutazione provenienza materie prime e indicazione luogo di produzione

PROVENIENZA DEI MATERIALI

PRESENZA IN ITALIA		2020	2021	2022
Numero impianti a secco	n.	82	82	82
Di cui dotati anche di impianti a umido	n.	11	12	13



MRc4_Building Product Disclosure and Optimization - Material Ingredients

Il credito si pone l'obiettivo di premiare i prodotti per i quali gli ingredienti chimici risultino inventariati utilizzando una metodologia accettata, e quelli che contengano al minimo l'uso e la produzione di sostanze nocive.

Valutare REACH, C2C, HPD e Declare.

MRc5_Construction and Demolition Waste Management

Il credito si pone l'obiettivo di ridurre i rifiuti da costruzione e demolizione destinati a discarica o incenerimento, preferendone una gestione che li invio a recupero, riutilizzo e riciclo.

A fine vita il prodotto risulta completamente riciclabile. Idoneamente raccolto e a seguito delle opere di macinazione il prodotto risulta riutilizzabile come materiale inerte.

INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY

EQc2_Low-Emitting Materials

Il credito si pone l'obiettivo di ridurre le concentrazioni dei contaminanti chimici che possono danneggiare la qualità dell'aria, la salute umana, la produttività e l'ambiente. Nello specifico si richiede che i prodotti installati siano conformi alle richieste della categoria con test emissioni VOC e contenuto in caso di prodotti wet applied.

I calcestruzzi rientrano nella categoria dei prodotti intrinsecamente non emissivi.

Appartenendo alla categoria dei prodotti inherently nonemitting sources risultano conformi al credito. Non risulta quindi necessario fornire documentazione che attesti il contenuto e le emissioni di composti organici volati VOC

5 - BREEAM - BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHOD

MANAGEMENT

Man02 - Life cycle cost and service life planning

Fornire un valore per l'intero ciclo di vita incoraggiando l'uso del costo del ciclo di vita per migliorare la progettazione, le specifiche, la manutenzione e il funzionamento per tutta la vita e attraverso la diffusione della rendicontazione dei costi di capitale promuovere la sostenibilità economica.

Colabeton è in grado di fornire indicazioni relative alla vita utile e costi di gestione

Vita utile:

Il calcestruzzo Colabeton contribuisce al mantenimento degli specifici livelli prestazionali di una opera soggetta alla necessaria manutenzione durante la sua vita nominale di progetto VN.

CONSIDERAZIONI TECNICHE:

Costi:

I principali costi necessari all'utilizzo del materiale riguardano principalmente gli oneri relativi all'installazione. Non sono previsti costi durante l'utilizzo occorre solo un controllo sulle condizioni e sullo stato del materiale.

CONFRONTO CON ALTRI MATERIALI:

Confrontando il prodotto con altri materiali naturali, quali ad esempio pietra elaterizi, il calcestruzzo garantisce, oltre a un'elevata facilità di posa adeguandosi e adattandosi alla forma necessari, un elevato livello di prestazione e limitati costi di manutenzione.

HEALTH AND WELLBEING

HEA02 - Indoor air quality

Riconoscere e incoraggiare la salubrità degli ambienti interni con l'installazione di:

- *adeguati impianti,*
- *sistema di ventilazione,*
- *finiture.*

Elaborare un piano di qualità dell'aria che riduca al minimo l'inquinamento dell'aria interna durante l'occupazione. Contribuirà al credito anche l'installazione di prodotti testati con basse emissioni di VOC e l'installazione di un corretto sistema di ventilazione che riduca la concentrazione e il ricircolo di sostanze inquinanti.

Data la tipologia e la composizione dei materiali, essendo non emissivi, risultano conformi al credito. Non risulta quindi necessario fornire documentazione che attesti il contenuto e le emissioni di composti organici volati VOC.

MATERIALS

Mat01 - Life cycle impacts

Riconoscere e incoraggiare l'uso di appropriati strumenti di valutazione del ciclo di vita con conseguente scelta di materiali da costruzione a basso impatto ambientale per l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Redigere un life cycle assessment (LCA) dell'edificio installando materiali in possesso di certificazione EPD. È possibile prevedere solo due materiali per ognuna delle categorie indicate dal Manuale BREEAM di riferimento

Colabeton dispone per le sue famiglie di prodotti della certificazione EPD. La società è in grado di fornire uno specifico EPD, relativo al prodotto acquistato, per ogni differente progetto di appartenenza.

Mat03 - Responsible sourcing of materials

Incoraggiare l'approvvigionamento di prodotti da costruzione di provenienza responsabile.

Colabeton garantisce per alcune delle sue sedi produttive la certificazione del sistema di Gestione Ambientale ISO 14001.

Nella seguente tabella si elencano le sedi produttive certificate ISO 14001:

LUOGO PRODUTTIVO CERTIFICATO

Impianto Colabeton - Via Sempione, 205 - 28053 Castelletto sopra Ticino (NO)

MAT05 - Designing for durability and resilience

Fornire un'adeguata protezione degli elementi esposti dell'edificio e degli esterni, riducendo quindi al minimo la frequenza di sostituzione e massimizzando l'ottimizzazione dei materiali.

Il calcestruzzo Colabeton garantisce la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all'azione dell'ambiente, in quanto è progettato adottando i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e quelli derivanti dai cicli di gelo e disgelo.

Mat06 - Material efficiency

Ottimizzare l'efficienza dei materiali al fine di ridurre al minimo l'impatto ambientale dei materiali utilizzati e dei rifiuti senza compromettere la stabilità strutturale, la durabilità o la vita utile dell'edificio.

I prodotti Colabeton contengono materiali riciclati, e contribuiscono dunque a ridurre l'estrazione e il consumo di materie prime naturali.

Si producono calcestruzzi con un contributo di riciclato minimo pari al 5%, limite imposto dai criteri ambientali minimi,

oltre ai requisiti richiesti negli appalti pubblici, la società si pone come obiettivo l'incremento di tale percentuale per soddisfare le richieste dei clienti, ma sempre garantendo le corrette caratteristiche tecniche richieste da progetto.

Data la collocazione di differenti impianti su tutto il territorio nazionale, Colabeton risulta in grado di fornire il materiale a una distanza ridotta, scelta sostenibile sia livello ambientale che economico con una riduzione delle emissioni di CO₂.

6 - WELL - WELL BUILDING STANDARD

V03 Circulation Network

Incoraggiare l'uso delle scale attraverso il design estetico, la segnaletica e la visibilità delle scale.

È possibile utilizzare calcestruzzi colorati, o differenti tipologie di finiture, per guidare le persone e incoraggiarle, tramite vie indicate e colori differenti e che stimolino interesse l'utilizzo delle scale. Colabeton dispone delle idonee famiglie di prodotti che contribuiscono all'ottenimento del Concepts.

X06 VOC Restrictions

Ridurre al minimo l'impatto dei composti organici volatili (COV) emessi dai prodotti sulla qualità dell'aria interna.

I calcestruzzi rientrano nella categoria dei prodotti intrinsecamente non emissivi.

X07 Materials Transparency

Promuovere la trasparenza dei materiali nella catena di fornitura dei materiali da costruzione e dei prodotti.

Valutare REACH, C2C, HPD e Declare.

X08 Materials Optimization

Promuovere la trasparenza dei materiali nella catena di fornitura dei materiali da costruzione e dei prodotti.

Valutare REACH, C2C, HPD e Declare.

X09 Waste Management

Mitigare la contaminazione ambientale e l'esposizione associata ai pericoli presenti in alcuni rifiuti. Gestire con metodologie sicure e minimizzare i rifiuti associati a sostanze chimiche pericolose presenti nei prodotti di uso comune.

A fine vita il prodotto risulta completamente riciclabile. Idoneamente raccolto, e a seguito delle opere di macinazione, il prodotto risulta riutilizzabile come materiale inerte.

7 - CAM – CRITERI AMBIENTALI MINIMI

CRITERI COMUNI A TUTTI I COMPONENTI EDILIZI

2.4.14 Disassemblabilità

Almeno il 70% peso/peso dei componenti edilizi e degli elementi prefabbricati utilizzati nel progetto, esclusi gli impianti, sia sottoponibile, a fine vita, a disassemblaggio o demolizione selettiva (decostruzione) per essere poi sottoposto a preparazione per il riutilizzo, riciclaggio o altre operazioni di recupero.

A fine vita il prodotto risulta completamente riciclabile. Idoneamente raccolto, e a seguito delle opere di macinazione, il prodotto risulta riutilizzabile come materiale inerte.

2.5.1 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati

I calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati hanno un contenuto di materie riciclate, ovvero recuperate, ovvero di sottoprodotti, di almeno il 5% sul peso del prodotto, inteso come somma delle tre frazioni. Tale percentuale è calcolata come rapporto tra il peso secco delle materie riciclate, recuperate e dei sottoprodotti e il peso del calcestruzzo al netto dell'acqua (acqua efficace e acqua di assorbimento). Al fine del calcolo della massa di materiale riciclato, recuperato o sottoprodotto, va considerata la quantità che rimane effettivamente nel prodotto finale. La percentuale indicata si intende come somma dei contributi dati dalle singole frazioni utilizzate.

La percentuale di materia riciclata deve essere dimostrata tramite una delle seguenti opzioni: una dichiarazione ambientale di Prodotto di Tipo III (EPD), una certificazione tipo ReMade in Italy®, Plastica Seconda Vita o equivalenti tramite una dichiarazione ambientale autodichiarata, conforme alla norma ISO 14021 con verifica esterna.

2.5.2 Calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati

I calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati hanno un contenuto di materie riciclate, ovvero recuperate, ovvero di sottoprodotti, di almeno il 5% sul peso del prodotto, inteso come somma delle tre frazioni. Tale percentuale è calcolata come rapporto tra il peso secco delle materie riciclate, recuperate e dei sottoprodotti e il peso del calcestruzzo al netto dell'acqua (acqua efficace e acqua di assorbimento). Al fine del calcolo della massa di materiale riciclato, recuperato o sottoprodotto, va considerata la quantità che rimane effettivamente nel prodotto finale.

La percentuale indicata si intende come somma dei contributi dati dalle singole frazioni utilizzate.

La percentuale di materia riciclata deve essere dimostrata tramite una dichiarazione ambientale di Prodotto di Tipo III (EPD), o in alternativa, tramite una dichiarazione ambientale autodichiarata, conforme alla norma ISO 14021 con verifica esterna.

8 - TABELLA RIASSUNTIVA LEED

LEED						
PRODOTTI	SSc5_Heat Island Reduction	MRc1_Building Product Disclosure and Optimization Building - Life- Cycle Impact Reduction	MRc2_Building Product Disclosure and Optimization - Environmental Product Declarations	MRc3_Building Product Disclosure and Optimization - Sourcing of Raw Materials	MRc5_Construction and Demolition Waste Management	EQc2_Low- Emitting Materials
 #smartPracticeCalcestruzzi durabili a prestazione garantita	Practice	●	●	●	●	●
	flatPav	● *	●	●	●	●
	flatStone*	● *	●	●	●	●
	flatDrain*		●	●	●	●
	flatMixed		●	●	●	●
	flatRoad		●	●	●	●
	flatCover		●	●	●	●
	flatScreed-P		●	●	●	●
 #smartFlatCalcestruzzi per la realizzazione di superfici orizzontali industriali e architettoniche	flatScreed-SL		●	●	●	●
	scc60**		●	●	●	●
	scc70**		●	●	●	●
	scc80**		●	●	●	●
 #smartArtCalcestruzzi strutturali colorati superfici facciavista	artColor		●	●	●	●
	artIvory		●	●	●	●
	artWhite		●	●	●	●
	artGrey		●	●	●	●
 #smartIsoLightCalcestruzzi fluidi leggeri ideali per l'isolamento termico e acustico	isoClay		●	●	●	●
	isoClayS		●	●	●	●
	isoPSE		●	●	●	●
	isoPSE H48		●	●	●	●
	isoPumix		●	●	●	●
	isoPumixS		●	●	●	●
	isoPET		●	●	●	●

LEED						
PRODOTTI	SSc5_Heat Island Reduction	MRc1_Building Product Disclosure and Optimization Building - Life- Cycle Impact Reduction	MRc2_Building Product Disclosure and Optimization - Environmental Product Declarations	MRc3_Building Product Disclosure and Optimization - Sourcing of Raw Materials	MRc5_Construction and Demolition Waste Management	EQc2_Low- Emitting Materials
 #smartbePlusCalcestruzzi strutturali destinati alla realizzazione di opere d'ingegneria complesse	beForce	●	●	●	●	●
	beQuick	●	●	●	●	●
	beSlow	●	●	●	●	●
	beMAXX	●	●	●	●	●
	beCool	●	●	●	●	●
	beControl	●	●	●	●	●
	beFreeJ	●	●	●	●	●
	beSub	●	●	●	●	●
	beShot	●	●	●	●	●
	beInject	●	●	●	●	●
 #smartFiberCalcestruzzi strutturali fibrinforzati	S - fiber	●	●	●	●	●
	PP - fiber	●	●	●	●	●
	HT - fiber	●	●	●	●	●
	PHT - fiber	●	●	●	●	●
	G - fiber	●	●	●	●	●
 #smartDryCalcestruzzi strutturali a permeabilità controllata	drySIL	●	●	●	●	●
	dryCrystal	●	●	●	●	●
	dryKaolin	●	●	●	●	●
	dryCrete	●	●	●	●	●

* conformità dimostrabile a seguito di test del prodotto
N.a. - Non applicabile

9 - TABELLA RIASSUNTIVA BREEAM

BREEAM							
PRODOTTI		Man02 - Life cycle cost and service life planning	HEA02 - Indoor air quality	Mat01 - Life cycle impacts	Mat03 - Responsible sourcing of materials	MAT05 - Designing for durability and resilience	Mat06 - Material efficiency
 #smartPracticeCalcestruzzi durabili a prestazione garantita	Practice	●	●	●	●	●	●
	flatPav	●	●	●	●	●	●
	flatStone*	●	●	●	●	●	●
	flatDrain*	●	●	●	●	●	●
	flatMixed	●	●	●	●	●	●
	flatRoad	●	●	●	●	●	●
	flatCover	●	●	●	●	●	●
	flatScreed-P	●	●	●	●	●	●
 #smartFlatCalcestruzzi per la realizzazione di superfici orizzontali industriali e architettoniche	flatScreed-SL	●	●	●	●	●	●
	scc60**	●	●	●	●	●	●
	scc70**	●	●	●	●	●	●
	scc80**	●	●	●	●	●	●
 #smartSCCCalcestruzzi strutturali autocompattanti	artColor	●	●	●	●	●	●
	artIvory	●	●	●	●	●	●
	artWhite	●	●	●	●	●	●
	artGrey	●	●	●	●	●	●
 #smartArtCalcestruzzi strutturali colorati superfici facciavista	isoClay	●	●	●	●	●	●
	isoClayS	●	●	●	●	●	●
	isoPSE	●	●	●	●	●	●
	isoPSE H48	●	●	●	●	●	●
	isoPumix	●	●	●	●	●	●
	isoPumixS	●	●	●	●	●	●
	isoPET	●	●	●	●	●	●
 #smartIsoLightCalcestruzzi fluidi leggeri ideali per l'isolamento termico e acustico							

BREEAM						
PRODOTTI	Man02 - Life cycle cost and service life planning	HEA02 - Indoor air quality	Mat01 - Life cycle impacts	Mat03 - Responsible sourcing of materials	MAT05 - Designing for durability and resilience	Mat06 - Material efficiency
 #smartbePlusCalcestruzzi strutturali destinati alla realizzazione di opere d'ingegneria complesse	beForce	●	N.a.	●	●	●
	beQuick	●	N.a.	●	●	●
	beSlow	●	N.a.	●	●	●
	beMAXX	●	N.a.	●	●	●
	beCool	●	N.a.	●	●	●
	beControl	●	N.a.	●	●	●
	beFreeJ	●	N.a.	●	●	●
	beSub	●	N.a.	●	●	●
	beShot	●	N.a.	●	●	●
	beInject	●	N.a.	●	●	●
 #smartFiberCalcestruzzi strutturali fibrinforzati	S - fiber	●	N.a.	●	●	●
	PP - fiber	●	N.a.	●	●	●
	HT - fiber	●	N.a.	●	●	●
	PHT - fiber	●	N.a.	●	●	●
	G - fiber	●	N.a.	●	●	●
 #smartDryCalcestruzzi strutturali a permeabilità controllata	drySIL	●	●	●	●	●
	dryCrystal	●	●	●	●	●
	dryKaolin	●	●	●	●	●
	dryCrete	●	●	●	●	●

* conformità dimostrabile a seguito di test del prodotto
N.a. - Non applicabile

10 - TABELLA RIASSUNTIVA WELL

WELL				
PRODOTTI		V03 Circulation Network	X06 VOC Restrictions	X09 Waste Management
 #smartPracticeCalcestruzzi durabili a prestazione garantita	Practice		●	●
	flatPav	●	●	●
	flatStone*	●	●	●
	flatDrain*	●	●	●
	flatMixed	●	●	●
	flatRoad	●	●	●
	flatCover	●	●	●
	flatScreed-P	●	●	●
 #smartFlatCalcestruzzi per la realizzazione di superfici orizzontali industriali e architettoniche	flatScreed-SL	●	●	●
	scc60**		●	●
	scc70**		●	●
	scc80**		●	●
 #smartSCCCalcestruzzi strutturali autocompattanti	artColor	●	●	●
	artIvory	●	●	●
	artWhite	●	●	●
	artGrey	●	●	●
 #smartArtCalcestruzzi strutturali colorati superfici facciavista	isoClay		●	●
	isoClayS		●	●
	isoPSE		●	●
	isoPSE H48		●	●
	isoPumix		●	●
	isoPumixS		●	●
	isoPET		●	●
 #smartIsolightCalcestruzzi fluidi leggeri ideali per l'isolamento termico e acustico				

WELL			
PRODOTTI	V03 Circulation Network	X06 VOC Restrictions	X09 Waste Management
 #smartbePlusCalcestruzzi strutturali destinati alla realizzazione di opere d'ingegneria complesse	beForce	•	•
	beQuick	•	•
	beSlow	•	•
	beMAXX	•	•
	beCool	•	•
	beControl	•	•
	beFreeJ	•	•
	beSub	•	•
	beShot	•	•
	beInject	•	•
 #smartFiberCalcestruzzi strutturali fibrorinforzati	S - fiber	•	•
	PP - fiber	•	•
	HT - fiber	•	•
	PHT - fiber	•	•
	G - fiber	•	•
 #smartDryCalcestruzzi strutturali a permeabilità controllata	drySIL	•	•
	dryCrystal	•	•
	dryKaolin	•	•
	dryCrete	•	•

* conformità dimostrabile a seguito di test del prodotto
N.a. - Non applicabile



Progettare Strutture con Calcestruzzi Sostenibili

COLABETON 

1 - PREMESSA

Negli ultimi decenni abbiamo assistito ad un deciso cambiamento del clima, ormai indiscutibilmente attribuibile secondo la comunità scientifica alle **eccessive emissioni di anidride carbonica responsabili del surriscaldamento globale**. Negli ultimi cinque anni, i più caldi mai registrati, i rischi legati ai cambiamenti climatici sono cresciuti in maniera esponenziale ^[1]; disastri come alluvioni, uragani, siccità e incendi stanno diventando sempre più severi e frequenti tanto da portare il *World Economic Forum* nel *Global Risk Report 2020* ad indicare il fallimento delle operazioni di mitigazione del surriscaldamento globale come il rischio numero uno per il futuro dell'umanità ^[2].

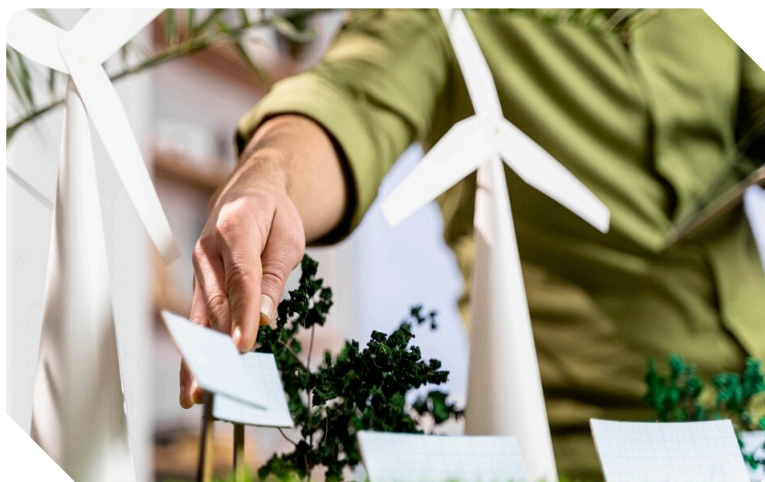
Il 2020 è stato caratterizzato da temperature superiori di oltre 1°C rispetto alla temperatura media dell'epoca pre-industriale e il trend di crescita a cui si sta assistendo ormai da mezzo secolo consente di prevedere un aumento di 1.5°C tra il 2030 e il 2052 e una crescita fino a +3°C entro la fine del secolo, nonostante gli scienziati concordino sulla necessità di limitare il surriscaldamento globale a 1.5°C per evitare conseguenze catastrofiche sul piano economico, sociale ed ambientale.

Prendendo in considerazione i livelli attuali di emissioni di gas serra, prossimi a 42 miliardi di tonnellate all'anno, si stima che, in assenza di drastiche riduzioni nelle emissioni, solo 10 anni ci separerebbero dal superamento della soglia dei 1.5°C ^[3].



In questo scenario, le Nazioni Unite attestano che la popolazione mondiale ha raggiunto ormai quota 8 miliardi, con una crescita prossima all'1% annuo che ha portato ad un incremento di oltre un miliardo di persone dal 2007 e due miliardi dal 1994 ^[4]. Per il futuro si prospetta un'ulteriore crescita che porterà la popolazione globale a raggiungere gli 8.5 miliardi nel 2030 e i 9.7 miliardi nel 2050 con l'Africa sub-sahariana come motore trainante della crescita che si contrapporrà con alcune aree del globo come l'Asia, l'Europa e l'America settentrionale che vedranno una lieve decrescita o una sostanziale stabilità della popolazione.

L'industria delle costruzioni, quindi, è chiamata a rispondere a due bisogni dell'uomo apparentemente inconciliabili tra loro: **salvaguardare l'ambiente** e, allo stesso tempo, **far fronte alla domanda di nuove abitazioni ed infrastrutture (dighe, ponti, viadotti, gallerie, etc.)** per sostenere la crescita della popolazione ^[5].



Il calcestruzzo ha un impatto ambientale molto elevato a causa dei suoi volumi di produzione, stimati globalmente oltre 10 miliardi di metri cubi per anno ^[6].

Ad oggi, è stato stimato che la produzione del calcestruzzo è responsabile del 9% di emissioni di gas serra, la maggior parte delle quali provenienti dalla produzione di cemento (nell'ordine del 7-8%) ^[7]. Anche se il fabbisogno energetico per la produzione del cemento è in continua diminuzione grazie ad importanti innovazioni tecnologiche (come ad esempio, i processi a secco in sostituzione degli obsoleti processi ad umido), una moderna cementeria consuma mediamente 3.4 GJ di energia per ogni tonnellata di clinker prodotta ^[8]; **l'impatto ambientale del calcestruzzo è quindi fortemente determinato dall'impatto ambientale del cemento.**

Un altro aspetto fondamentale dell'impatto ambientale del calcestruzzo è il suo enorme consumo di risorse naturali che non si limita alle ingenti quantità di argilla e calcare destinate alla produzione del cemento Portland (in media sono richieste 1.22 tonnellate di calcare e 0.31 tonnellate di argilla per ogni tonnellata di clinker prodotta), ma si estende all'estrazione di sabbia e ghiaia impiegati come aggregati ^[9,10]. Ogni anno per la produzione del calcestruzzo viene consumato un quantitativo di aggregati che consentirebbe di realizzare intorno all'equatore un muro largo 30 m e alto 10 m.

Oltre ad un'enorme domanda di aggregati naturali, la produzione del calcestruzzo richiede anche ingenti quantitativi di acqua, soprattutto potabile; infatti, contrariamente a quanto percepito comunemente, l'utilizzo di acqua come costituente del calcestruzzo non rappresenta solamente il 15% dell'acqua necessaria per produrre il conglomerato cementizio, ma la produzione del cemento e l'estrazione e frantumazione degli aggregati richiedono quantitativi di acqua decisamente superiori, nell'ordine rispettivamente del 38% e 45% (*Figura 1*) [11]. Ne consegue che se teniamo presente che il dosaggio medio di acqua di impasto per un metro cubo di calcestruzzo è pari all'incirca a 180 kg, il consumo complessivo di acqua per produrre il conglomerato è all'incirca pari a 1340 kg/m³.

WATER CONSUMPTION

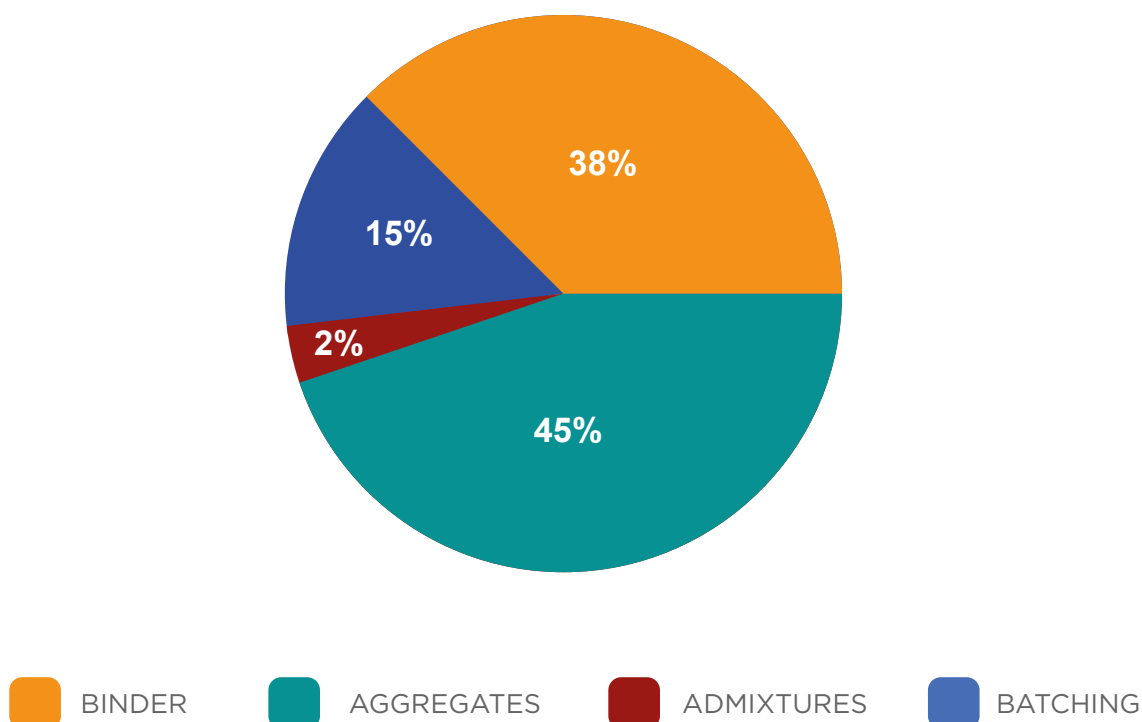


Figura 1 – Distribuzione dell'acqua consumata per la produzione del calcestruzzo e dei suoi costituenti. Dati rielaborati da [11]

2 - SOLUZIONI

In seguito a quanto detto in premessa le soluzioni percorribili per **incrementare la sostenibilità del calcestruzzo** sono basate su:

- **impiego di cementi a basso contenuto di clinker;**
- **adozione di tutte quelle strategie finalizzate a ridurre il più possibile il dosaggio di cemento per metro cubo di conglomerato cementizio a pari prestazioni reologiche e meccaniche;**
- **uso di materie riciclate, ovvero recuperate, ovvero di sottoprodotti.**

2.1 CEMENTI A BASSO CONTENUTO DI CLINKER

Una delle strategie attualmente perseguibili per il confezionamento dei calcestruzzi green è, quindi, quella di far ricorso – nel rispetto delle normative nazionali ed europee vigenti – a cementi d’altoforno, pozzolanici e compositi (CEM III e/o CEM IV e/o CEM V), ma anche a cementi II/C e VI (introdotti dalla norma EN 197- 5), che grazie al minor tenore di clinker, sono caratterizzati da un minor impatto ambientale, **minore impronta carbonica** ^[12] e **minor consumo energetico** (Figura 2), rispetto ai cementi di tipo I, II/A e II/B:

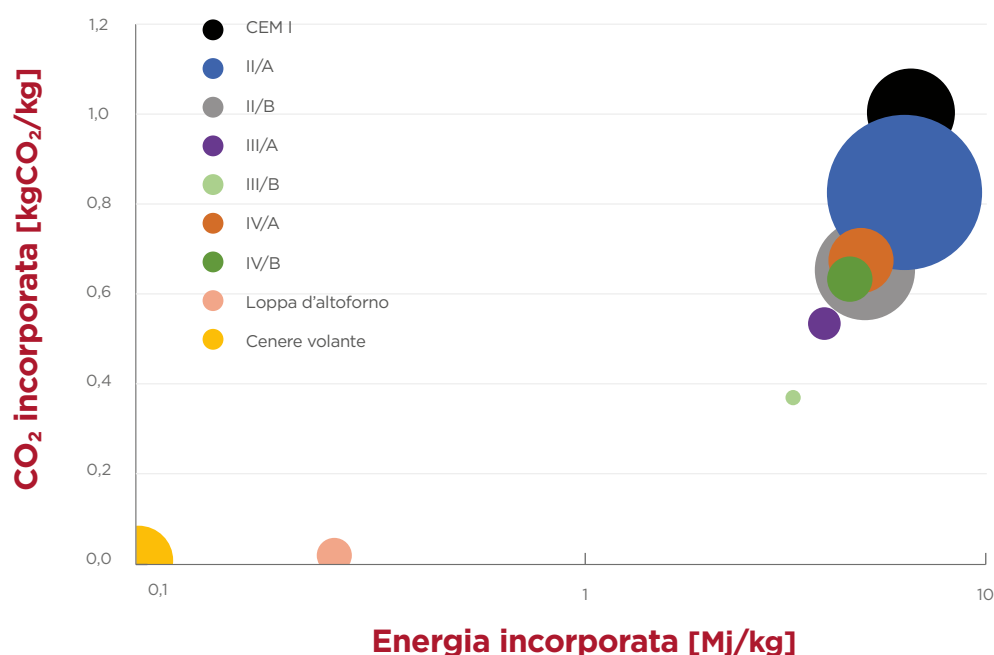


Figura 2 - Energia ed anidride carbonica incorporata in diversi leganti tradizionali e materiali cementizi supplementari. La dimensione del cerchio rappresenta il volume di produzione annuo italiano (per le ceneri volanti si riporta la somma dei tipi V e W). Dati rielaborati da [10,13 e 14]

2.2 RIDUZIONE DOSAGGI CEMENTO

Qualsiasi sia il tipo di cemento utilizzato, vanno nella direzione di mitigare fortemente l'impronta carbonica del calcestruzzo tutti i provvedimenti finalizzati alla riduzione del dosaggio di cemento a pari prestazioni reologiche, elasto-meccaniche e di durabilità; ad esempio:

- utilizzo di efficaci additivi super-riduttori di acqua, conformi alla EN 934-2;
- impiego di additivi detti promotori di cristallizzazione del CSH (C-S-H Nucleation Seeding: CSHNS). Questi additivi consentono di conseguire le prestazioni desiderate in termini di resistenza a compressione con dosaggi di cemento più contenuti, grazie all'incremento del grado di idratazione (frazione di cemento che reagisce con l'acqua) e, conseguentemente, alla riduzione della porosità capillare (modello di Powers).

2.3 USO DI MATERIALE RICICLATO

L'uso di materiale riciclato permette di ridurre il consumo di risorse naturali, garantendo allo stesso tempo di soddisfare i Criteri Ambientali Minimi (CAM).



3 - ESEMPI

Colabeton adotta sistematicamente le soluzioni indicate al paragrafo precedente, contestualizzando le scelte alle ulteriori esigenze e specifiche richieste dai committenti/imprese/progettisti/direzioni lavori.

A titolo di esempio sono analizzati quattro studi diversi di uno stesso conglomerato cementizio rappresentativo di uno standard costruttivo per medie/grandi opere.

Gli studi sono elaborati con diversi cementi a basso impatto ambientale, aggiunte minerali e additivi promotori di cristallizzazione (CSHNS) e sono messe a confronto con il prodotto standard produttivo. In queste miscele, pur mantenendo inalterate le caratteristiche del conglomerato sia allo stato fresco (ad es.: Consistenza, Omogeneità) che allo stato indurito (Prestazioni meccaniche, Durabilità) è stato possibile, attraverso l'impiego dei diversi componenti prima indicati, ottenere una modifica del **“carbon footprint”** del conglomerato cementizio così da poter identificare la soluzione più vantaggiosa, migliorando e contribuendo, di fatto, alla sostenibilità ambientale.

Per semplificare l'analisi, per il momento **solo qualitativa**, è stato introdotto un **indicatore** denominato **“EC”** (EcoCalcestruzzo) che valuta il contributo, in termini di impatto ambientale, **dato al calcestruzzo dal solo cemento che, come precedentemente asserito, è l'ingrediente determinante**; sono stati quindi trascurati i contributi conferiti dagli altri ingredienti considerati poco significativi per questo specifico caso di studio, dal momento che l'obiettivo che ci si pone è quello di identificare un **delta di sostenibilità (Δ%)** tra il calcestruzzo ipotizzato e il relativo calcestruzzo di riferimento di pari prestazioni.

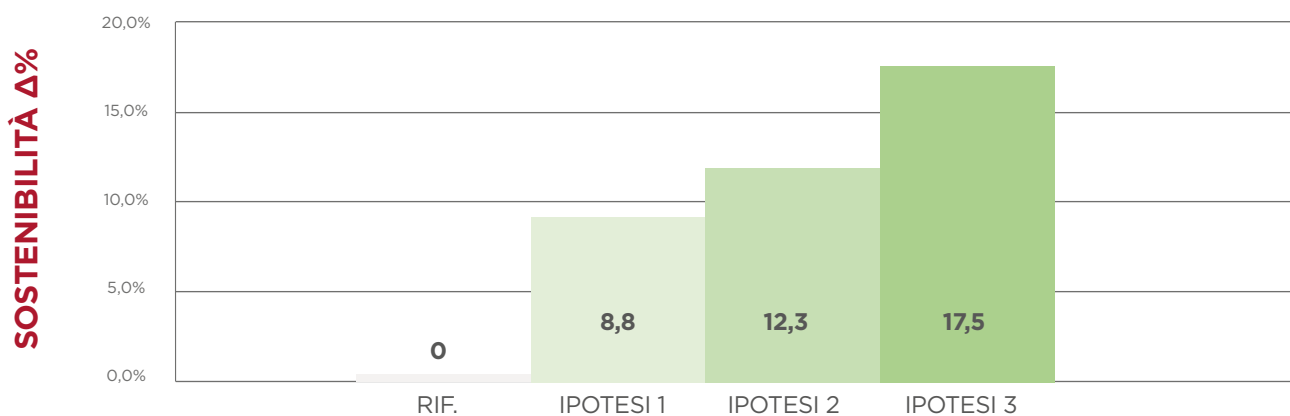
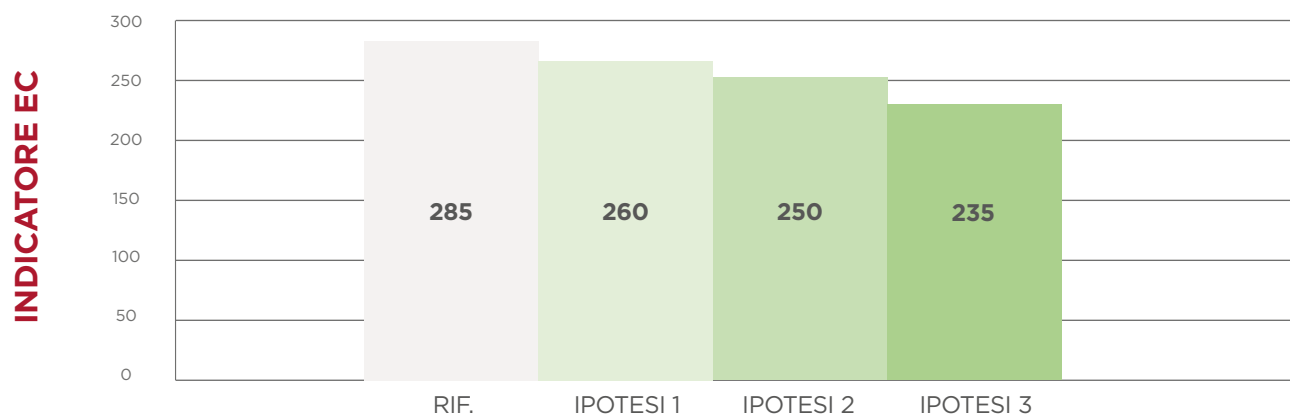
$$EC = Cem * GWP_{cem}$$

Dove:

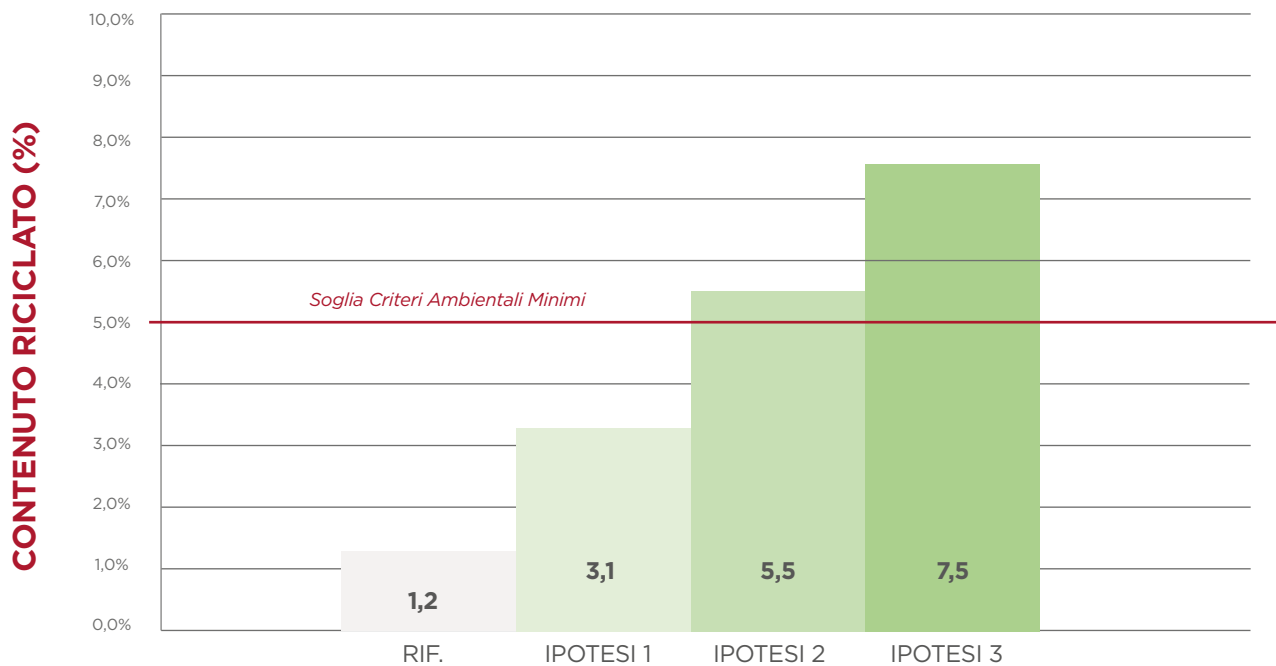
- **EC** rappresenta un **indicatore** dell'impronta carbonica di 1 m³ di calcestruzzo;
- **Cem** rappresenta il dosaggio di cemento ipotizzato per la realizzazione di 1 m³ di calcestruzzo;
- **GWP_{cem}** rappresenta l'impronta carbonica del cemento.

	CLS RIFERIMENTO	IPOTESI 1	IPOTESI 2	IPOTESI 3
Tipo Cemento	CEM II/A-LL 42,5R COLACEM RASSINA	CEM II/A-LL 42,5R COLACEM RASSINA	CEM IV/A 42,5N SR COLACEM CARAVATE	CEM IV/B 32,5N LH/SR COLACEM CARAVATE
Cem [kg/m³]	385	350	390	430
Rapp. a/c	0,478	0,462 ^[*]	0,462	0,419
Additivi Nucleatori CSHNS	NO	SI	NO	NO
Tipo Aggiunta	-	Microsilice	-	-
Indicatore EC	285	260	250	235
% Materiale riciclato	1,3%	3,1%	5,5%	7,5%

(*): rapporto a/(cemento+k x aggiunta)



Gli esempi di studio aprono la strada per sviluppare miglioramenti sul piano della sostenibilità ambientale anche grazie all'uso di materiali **riciclati** e/o componenti che ne contengono una parte (ad esempio alcuni cementi). In alcuni casi il contenuto di materiale riciclato permette di soddisfare i **Criteri Ambientali Minimi**, garantendo un contenuto di riciclato superiore al 5%



4 - EPD: ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

Le considerazioni riportate alle pagine precedenti sono di carattere qualitativo e possono determinare risultati diversi, più o meno rilevanti, in funzione delle materie prime presenti nel luogo di utilizzo; la **reale impronta carbonica** di un calcestruzzo può essere desunta dalla Dichiarazione Ambientale di Prodotto (**Environmental Product Declaration, EPD**) rilasciata per ogni singolo prodotto, basata sulla **Analisi del Ciclo di Vita (Life Cycle Assessment, LCA)**, in seguito alla identificazione di tutte le informazioni rilevanti relative alla vita del prodotto in tutte le sue fasi.

Nella EPD oltre al potenziale riscaldamento globale (Global Warming Potential: GWP) dovuto alla CO₂ emessa da un determinato prodotto, vengono anche riportati altri dati essenziali relativi all'impatto ambientale quali il **contenuto di materiale riciclato**, la potenziale riduzione dello strato di ozono stratosferico, la potenziale formazione dello strato di ozono troposferico, il potenziale di acidificazione delle acque e del suolo, il potenziale di eutrofizzazione, il potenziale di esaurimento abiotico delle risorse fossili e non fossili.

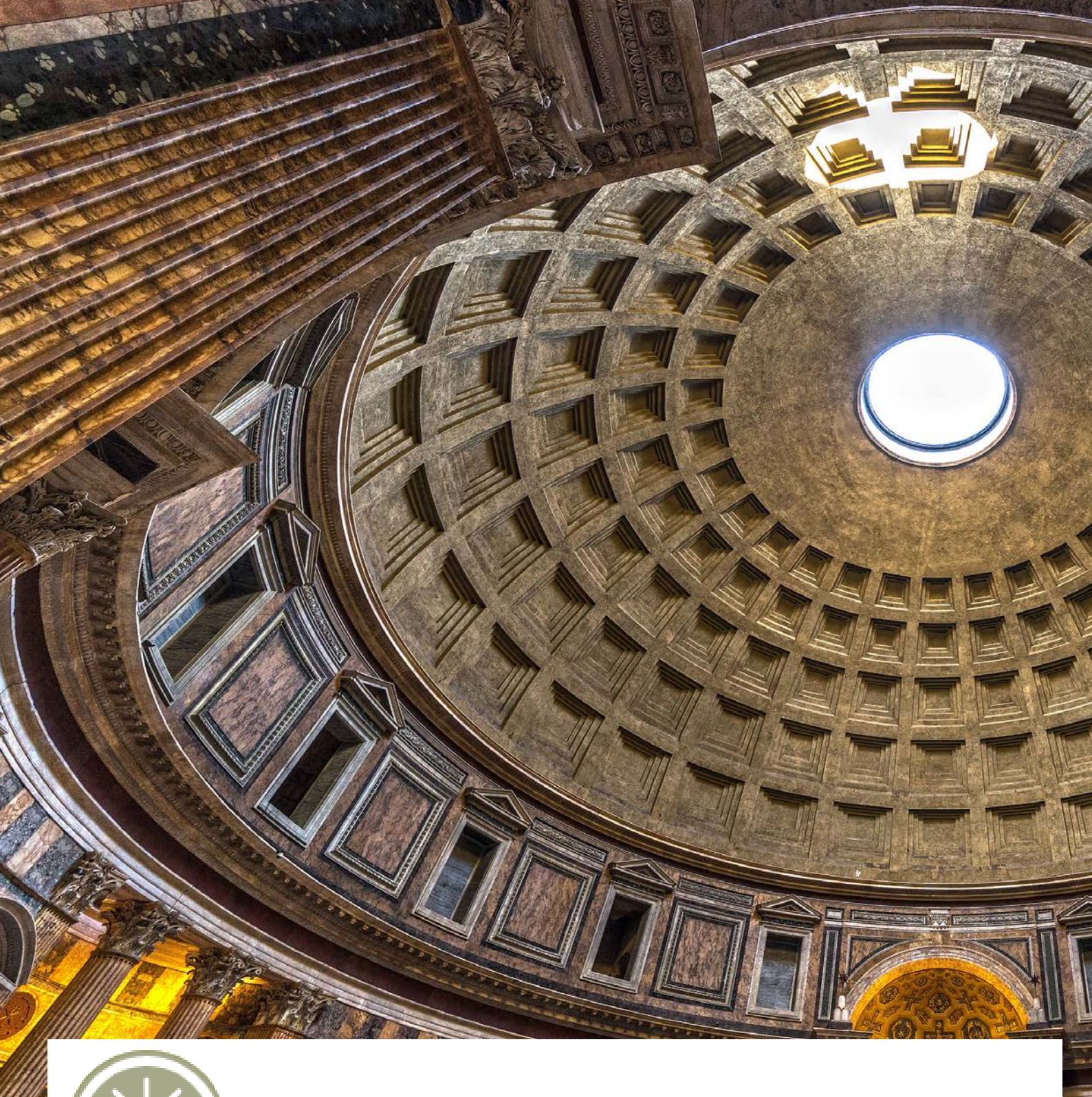
SMART
THINKING

5 - BIBLIOGRAFIA

1. National Centers for Environmental Information - National Oceanic and Atmosphere Administration Of USA Climate Monitoring Data Available online: <http://www.ncdc.noaa.gov/climate-monitoring/>.
2. World Economic Forum The Global Risks Report 2020; 2020;
3. Swiss Re Institute Natural catastrophes and man-made disasters in 2018: “secondary” perils on the frontline; 2019;
3. McSweeney, R.; Pearce, R. Analysis: Just four years left of the 1.5C carbon budget Available online: <https://www.carbonbrief.org/analysis-four-years-left-one-point-five-carbon-budget>.
4. United Nations - Department of Economic And Social Affairs - Population Division *World Population Prospect* 2019; 2019;
5. Coppola, L.; Coffetti, D.; Lorenzi, S. Per uno sviluppo sostenibile delle costruzioni: dalla cultura del “non più di” a quella del “non meno di.” *Struct.* 200 2015, 1-11, doi:10.12917/ Stru200.28.
6. Sivakrishna, A.; Adesina, A.; Awoyera, P.O.; Rajesh Kumar, K. Green concrete: A review of recent developments. *Mater. Today Proc.* 2020, 27, 54-58, doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.202>.
7. Organization for Economic and Co-operation and Development (OECD) *Global Material Resources Outlook to 2060*; 2018;
8. International Energy Agency (IEA) *Cement*; 2020;
9. Coppola, L.; Coffetti, D.; Crotti, E.; Gazzaniga, G.; Pastore, T. An Empathetic Added Sustainability Index (EASI) for cementitious based construction materials. *J. Clean. Prod.* 2019, 220, doi:10.1016/j.jclepro.2019.02.160.
10. U.S. Geological Survey; U.S. Department of Interior *Mineral Commodity Summaries* 2020; 2020;
11. Miller, S.A.; Horvath, A.; Monteiro, P.J.M. Impacts of booming concrete production on water resources worldwide. *Nat. Sustain.* 2018, 1, 69-76, doi:10.1038/s41893-017-0009-5.
12. Smith, I. Design of fly ash concretes. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Construction Materials*; 1967; pp. 760-790.
13. Snellings, R. Assessing, Understanding and Unlocking Supplementary Cementitious Materials. *RILEM Tech. Lett.* 2016, 1, 50-55, doi:10.21809/rilemtechlett.2016.12.

SONO STATI CONSULTATI ANCHE I SEGUENTI TESTI/NORME/LINEE GUIDA:

- A)** L. Coppola, **“Concretum”**, pp.700, McGraw-Hill, Milano, Italia (2007), ISBN 978-88-386-6465-6.
- B)** L. Coppola, **“Il manuale del calcestruzzo di qualità”**, pp.350, Il Sole 24 Ore, Milano, Italia (Aprile 2008), ISBN 978-88-324-7027-7.
- C)** **Linee Guida sul calcestruzzo strutturale** a cura del Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP.
- D)** Norme Tecniche per le Costruzioni. **D.M. 17 Gennaio 2008.**
- E)** UNI EN 1992-1-1:2005. Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Regole generali e regole per gli edifici.
- F)** **UNI EN 206-UNI 11104.** Calcestruzzo. Specificazione, prestazione, produzione e conformità.
- G)** M. Collepardi, L. Coppola, **“Mix-Design del calcestruzzo”**, depositato presso la Prefettura e la Procura della Repubblica di Treviso nel maggio 1996 in ottemperanza al D.Lgs. Luogotenenziale 31 agosto 1945, n. 660.
- H)** A.M. Neville, **“Properties of Concrete”**, Pearson – Prentice Hall, Fourth Edition (2002).
- I)** M. Collepardi, L. Coppola, **“Materiali Innovativi per Calcestruzzi Speciali”**, depositato presso la Prefettura e la Procura della Repubblica di Treviso nel maggio 1996 in ottemperanza al D.Lgs. Luogotenenziale 31 Agosto 1945, n. 660.



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione
garantita

COLABETON 



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



“Calcis structio” era la definizione che veniva utilizzata per le strutture realizzate con un composto di calce aerea, pozzolana, frammenti di pietra e acqua, che si è evoluto nei secoli fino a diventare l’odierno calcestruzzo. Esempio emblematico di strutture realizzate con tecniche di questo genere è l’imponente cupola del Pantheon a Roma



La durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ha cominciato, finalmente, a rivestire un ruolo fondamentale nella progettazione delle opere in calcestruzzo armato con l’entrata in vigore delle Norme Tecniche sulle Costruzioni del 2008 (D.M. 14.01.2008) successivamente sostituite dal D.M del 18.01.2018. Per lunghi anni, infatti, soprattutto nel periodo storico che è coinciso con la ricostruzione post-bellica e la forte industrializzazione del nostro Paese (anni ‘50-’70), si è costruito considerando il calcestruzzo armato un materiale “eterno”, durevole al pari delle pietre naturali. Solo all’inizio degli anni ‘80, invece, ci si è resi conto che questo materiale, al pari di tutte le opere dell’uomo, può presentare i segni dell’invecchiamento, del proprio ciclo di vita che, in molti casi, può essere addirittura molto breve (15-20 anni). Le strutture in c.a., infatti, possono evidenziare fenomeni di alterazione e degrado confermando la “caducità” dei materiali utilizzati. Ad esempio, la corrosione dei ferri d’armatura con la conseguente formazione della incoerente e voluminosa ruggine determina consistenti espulsioni del copriferro di calcestruzzo degradando le opere sia dal punto di vista estetico che funzionale. Inoltre, lungo le coste l’azione della salsedine marina enfatizza questi fenomeni di alterazione, così come l’utilizzo massiccio dei sali disgelanti compromette l’integrità delle infrastrutture stradali e autostradali. L’evidenza che si stesse trattando di un materiale vulnerabile all’azione aggressiva dell’ambiente, ha indotto gli studiosi a condurre studi più approfonditi, finalizzati alla comprensione dei meccanismi di degrado, ai fattori che lo esaltano e, soprattutto, ad individuare i possibili rimedi per poterli prevenire, da adottare nelle fasi di dimensionamento e di realizzazione delle strutture in c.a. al fine di realizzare strutture durevoli che non necessitassero di interventi di manutenzione straordinaria prima che fosse trascorsa la vita nominale dell’opera.



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



Garantire la durabilità di una struttura in calcestruzzo è diventato un obiettivo di primaria importanza al fine di contenere i costi totali della realizzazione dell'opera, intesi come la somma dei costi di realizzazione iniziale e di quelli imposti dalla manutenzione straordinaria (che dovrebbero essere ridotti al minimo - o annullati - durante la vita nominale dell'opera). La durabilità dell'opera, quindi, diviene – unitamente ai carichi statici e dinamici – un parametro progettuale da tenere in considerazione nella scelta del calcestruzzo, nella definizione dello spessore del copriferro oltre che nella progettazione dei particolari costruttivi (in primis quelli legati ad un corretto smaltimento delle acque piovane) che possano mitigare l'azione aggressiva dell'ambiente. Costruire durevole, in definitiva, significa progettare l'opera, dimensionare le sezioni degli elementi costruttivi, prescrivere i materiali in relazione alla potenziale aggressione dell'ambiente, seguire le fasi di messa in opera e stagionatura dei getti. Pertanto, il progettista che si appresta a dimensionare una struttura in calcestruzzo armato deve innanzitutto scegliere i materiali ed, in particolare, il tipo di calcestruzzo per garantire sia i requisiti strutturali che quelli legati alla durabilità. Nel D.M. 17.01.2018 al punto 11.2.11 si riporta che “Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario o precompresso, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado..... A tal fine, valutate opportunamente le condizioni ambientali del sito ove sorgerà la costruzione o quelle di impiego..... in fase di progetto dovranno essere indicate le caratteristiche del calcestruzzo da impiegare in accordo alle **Linee Guida sul Calcestruzzo Strutturale** emanate dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici facendo anche, in assenza di analisi specifiche, utile riferimento alle norme **UNI EN 206** ed



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



UNI 11104". Pertanto, in fase di progettazione, per la scelta e successiva prescrizione del calcestruzzo durevole, si farà riferimento alla norma UNI EN 206 e al documento di applicazione nazionale UNI 11104, che costituisce, in Italia, parte integrante della norma EN 206. Nelle norme vengono indicate 6 classi di esposizione - in funzione dell'ambiente cui sarà esposta la struttura durante la sua vita di servizio - a loro volta articolate in diverse sottoclassi; ovviamente la classe di esposizione per uno stesso elemento in c.a. o c.a.p. può essere multipla, ciò significa che una classe non esclude l'altra e che un determinato elemento strutturale può essere esposto a più di un meccanismo di degrado. Si riportano, in Tabella 1 e Tabella 2, le classi di esposizione, la forma di degrado ad essa collegata e alcuni esempi di opere che rientrano nelle classi/sottoclassi previste dalla normativa vigente.

Tabella 1 - Classi di esposizione - Meccanismi di degrado

Classe di esposizione Meccanismo di degrado		
X0	Assenza di rischio di corrosione o attacco	
XC	Corrosione indotta da carbonatazione	XC1
		XC2
		XC3
		XC4
XD	Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti da acqua di mare	XD1
		XD2
		XD3
XS	Corrosione indotta da cloruri presenti in acqua di mare	XS1
		XS2
		XS3
XF	Attacco dei cicli di gelo/disgelo con o senza sali disgelanti	XF1
		XF2
		XF3
		XF4
XA	Attacco chimico	XA1
		XA2
		XA3



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita

Tabella 2 – Classi di esposizione - Esempi di strutture

Esempi	
X0	Calcestruzzo non armati oppure armati ma in climi molto asciutti come all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa.
XC1	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa oppure stabilmente immerso in acqua.
XC2	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua/terreno. Fondazioni.
XC3	Calcestruzzo all'esterno, ma protetto dalla pioggia.
XC4	Superfici di calcestruzzo soggette a cicli di asciutto/bagnato.
XD1	Superfici di calcestruzzo esposte a nebbia salina
XD2	Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri. Vasche di contenimento di salamoie.
XD3	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri, pavimentazioni e parcheggi (anche interrati in climi rigidi)
XS1	Strutture esposte alla salsedine ma non in contatto diretto con acqua di mare
XS2	Strutture permanentemente immerse nell'acqua di mare
XS3	Parti di strutture marine esposte alle onde oppure alla marea soggette a cicli di asciutto/bagnato.
XF1	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo non in contatto con agente antigelo
XF2	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e nebbia di agenti antigelo
XF3	Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo senza impiego di agente antigelo
XF4	Strade, impalcati da ponte e superfici di calcestruzzo a contatto con nebbia contenente agenti antigelo e al gelo
XA1	Strutture site in un ambiente chimico debolmente aggressivo
XA2	Strutture site in un ambiente chimico moderatamente aggressivo
XA3	Strutture site in un ambiente chimico altamente aggressivo



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



Una volta individuata/e la/e classe/i di esposizione in cui gli elementi strutturali ricadono, sarà necessario consultare il prospetto 4 della norma UNI 11104 in cui si riportano i valori limiti per la composizione e le proprietà del calcestruzzo in funzione delle classi di esposizione.

	Nessun rischio di corrosione	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione			
		XC1	XC2	XC3	XC4
Massimo rapporto a/c	-	0.60		0.55	0.50
Minima classe di resistenza	C12/15	C25/30		C30/37	C32/40
Minimo contenuto in cemento [kg/m ³]	-	300		320	340



Come si può notare per ogni classe di esposizione è fissata una classe minima di resistenza caratteristica a compressione, un valore massimo del rapporto a/c e un dosaggio minimo di cemento. Nel caso si usino aggiunte di tipo II:

- cenere volante conforme alla UNI EN 450-1;
- fumi di silice conformi alla UNI EN 13263-1;
- loppa d'altoforno granulata macinata conforme alla UNI EN 15167-1;

il rapporto massimo a/c e il contenuto minimo di cemento sono calcolati in conformità al punto 5.2.2 della stessa UNI 11104. Per quanto riguarda la classe di esposizione XS è richiesto anche l'utilizzo di cementi resistenti all'acqua di mare secondo la UNI 9156. Inoltre, la norma specifica che l'acqua di mare, per quanto riguarda l'attacco chimico, è da considerare come un ambiente moderatamente aggressivo. Per questo motivo, le strutture direttamente a contatto con l'acqua di mare, in classe XS2 e XS3, devono ricadere anche in classe di esposizione XA2.



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita

	Corrosione dell'armatura indotta da cloruri					
	Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti		
	XS1	XS2 + XA2	XS3 + XA2	XD1	XD2	XD3
Massimo rapporto a/c	0.50	0.45		0.55	0.50	0.45
Minima classe di resistenza	C32/40	C35/45		C30/37	C32/40	C35/45
Minimo contenuto in cemento [kg/m ³]	340	360		320	340	360



Nel caso in cui l'elemento ricada in classe di esposizione XF è richiesto l'utilizzo di aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo. Per le classi XF2-XF3-XF4 è richiesto anche un minimo contenuto di aria da inglobare, ricorrendo nel confezionamento del calcestruzzo all'utilizzo di additivi aeranti.

	Attacco causato da cicli gelo/disgelo			
	XF1	XF2	XF3	XF4
Massimo rapporto a/c	0.50	0.50		0.45
Minima classe di resistenza	C32/40	C25/30		C30/37
Minimo contenuto in cemento [kg/m ³]	320	340		360
Contenuto minimo in aria [%]	-	4		

Qualora si ritenga opportuno impiegare calcestruzzo aerato anche in classe di esposizione XF1 si adottano le specifiche di composizione prescritte per le classi XF2 e XF3.



Nel caso di strutture idrauliche o di fondazione che vengano in contatto con acque ricche di solfato o con terreni gessosi/selenitosi, i limiti del prospetto 2 della UNI EN 206 sono:

	Ambiente aggressivo per attacco chimico		
	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto a/c	0.55	0.50	0.45
Minima classe di resistenza	C30/37	C32/40	C35/45
Minimo contenuto in cemento [kg/m ³]	320	340	360

È previsto l'uso di cemento resistente ai solfati conforme alla norma UNI EN 197-1



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



In linea generale, al fine di garantire la durabilità delle opere in calcestruzzo dovranno essere sempre utilizzate classi di resistenza almeno pari a C25/30. Come precedentemente accennato, la corretta scelta del calcestruzzo risulta essere una condizione necessaria, ma non sufficiente a garantire la durabilità dell'opera. Ad esempio, per le classi di esposizione in cui l'attacco ambientale si esplicita in forma di corrosione dei ferri di armatura promossi dall'azione dell'anidride carbonica dell'aria (carbonatazione: classe di esposizione XC) e/o dai cloruri (dovuti ai sali disgelanti: XD oppure di origine marina: XS), alle prescrizioni relative al calcestruzzo dovrà essere associato un valore minimo per il copriferro nominale calcolato secondo quanto riportato al punto 4.4 della norma UNI EN 1992-1-1 (Eurocodice 2). Per le strutture in classe di esposizione XC, XD e XS, infatti, il calcestruzzo agisce da barriera all'ingresso degli agenti depassivanti per l'acciaio. Pertanto, per garantire la durabilità dei ferri - impedendo che essi arrugginiscano - è necessario fare in modo che le sostanze aggressive giungano in prossimità dei ferri allorquando la struttura ha raggiunto la sua vita nominale. Per conseguire questo obiettivo, il calcestruzzo del copriferro deve possedere una bassa porosità capillare, conseguita riducendo il rapporto a/c (che equivale ad adottare calcestruzzi di resistenza a compressione medio-alta), deve essere compatto, privo di macrodifetti e fessurazioni. Queste caratteristiche possono essere conseguite attraverso una corretta posa in opera (che impedisca la formazione di vespai e nidi di ghiaia), un'efficace vibrazione dei getti finalizzata alla completa espulsione dell'aria in eccesso e una accurata maturazione umida che possa prevenire fenomeni di evaporazione precoce dell'acqua responsabile della formazione di dannose fessure attraverso le quali gli agenti aggressivi sarebbero facilitati nel raggiungere il ferro. Se questi provvedimenti vengono accompagnati da un copriferro di sufficiente spessore (che significa "allungare il cammino" che la sostanza aggressiva deve effettuare per raggiungere il ferro e innescare il



#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita



processo di corrosione) si potrà conseguire l'ambito obiettivo e prevenire fenomeni di corrosione delle barre per l'intera vita nominale dell'opera evitando, quindi, onerosi costi aggiuntivi per la manutenzione straordinaria delle strutture. Si tenga, infine, conto che tutti i fenomeni di alterazione e degrado del calcestruzzo e delle armature sono legati ad azioni fisiche, chimiche ed elettrochimiche che, per potersi manifestare, hanno bisogno della presenza dell'acqua. Ne consegue che la durabilità di un'opera può essere conseguita se – unitamente alla corretta prescrizione del calcestruzzo e dello spessore del copriferro – verranno curati i particolari costruttivi finalizzati ad un corretto smaltimento delle acque piovane che evitino il ruscellamento o il ristagno della stessa sugli elementi in c.a..

Il Ponte sul mare più lungo del mondo è in calcestruzzo, ed unisce l'isola di Hong Kong a Macao.

Per realizzarlo sono stati necessari 1,08 milioni di m³ di calcestruzzo





#smartPractice

Calcestruzzi durabili a prestazione garantita

In conclusione, garantire la durabilità di un'opera in calcestruzzo è il risultato di una eccellente progettazione, una corretta prescrizione dei materiali, un'attenta esecuzione durante le fasi di messa in opera e di stagionatura dei getti coinvolgendo quindi, in egual misura, tutte le figure coinvolte quali il progettista, il fornitore di calcestruzzo, l'impresa esecutrice e la Direzione Lavori.

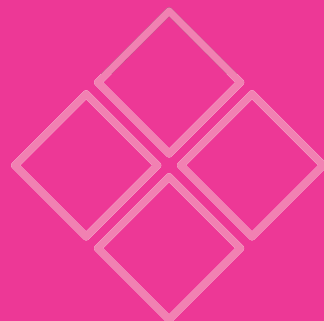




flatPav

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
interne ed esterne**

#smartFlat



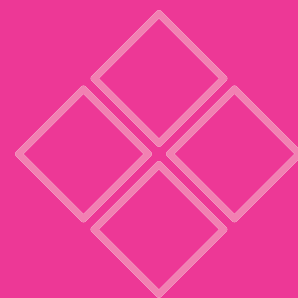
COLABETON 



flatPav

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
interne ed esterne**

#smartFlat



#smartFlat

Calcestruzzi per la realizzazione di
superfici orizzontali industriali e
architettoniche

flatPav

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni interne ed esterne

flatStone

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni ad effetto architettonico

flatDrain

Calcestruzzo drenante a consistenza terra
umida

flatMixed

Misto cementato per la realizzazione di
sottofondi stradali

flatRoad

Calcestruzzo strutturale per la
realizzazione di strade

flatCover

Calcestruzzo fluido per riempimenti

flatScreedP

Betoncino plastico per la realizzazione di
massetti

flatScreedSL

Betoncino autolivellante per
la realizzazione di massetti

Le pavimentazioni industriali in calcestruzzo sono state ritenute per lungo tempo, erroneamente, elementi accessori a completamento di una struttura prefabbricata molto più complessa e, pertanto, non meritevoli di particolari attenzioni dal punto di vista progettuale ed esecutivo. Numerosi sono stati in passato i pavimenti realizzati senza alcuna progettazione strutturale, senza alcuna attenzione alle prescrizioni di capitolato per il calcestruzzo e per le armature, alle modalità di realizzazione e al corretto posizionamento dei giunti, alla realizzazione dello strato di usura. Nella maggior parte delle situazioni, le indicazioni relative alla realizzazione di queste opere erano riassunte in una sintetica, quanto carente, voce di elenco prezzi recante unicamente lo spessore del pavimento e la resistenza a compressione del calcestruzzo da impiegare. Purtroppo, questa erronea prassi ha determinato per queste strutture un crescente ed abnorme contenzioso, se si pensa che il calcestruzzo per pavimentazioni industriali rappresenta circa il 10% della produzione totale del conglomerato, mentre le contestazioni legali per vizi e difetti più o meno manifesti che interessano questa tipologia di strutture rappresentano più del 90% del contenzioso in ambito di edilizia civile.

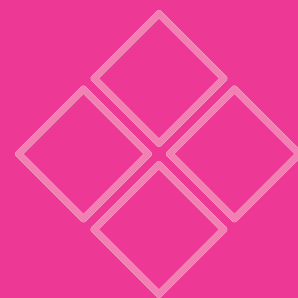
Al fine di porre rimedio a questa situazione, sono intervenute le Norme Tecniche per le Costruzioni, approvate con D.M. del 14/01/2008 e successivamente aggiornate con D.M. del 17/01/2018, esplicative della Legge 1086, che legifera in materia di progettazione, esecuzione e collaudo delle strutture in c.a. e c.a.p..



flatPav

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
interne ed esterne**

#smartFlat



Le Norme sopramenzionate, hanno evidenziato che è necessario ricorrere alla progettazione e alla Direzione Lavori - al punto 4.1 il D.M. recita:

“Formano oggetto delle presenti norme le strutture di:

- *calcestruzzo armato normale (cemento armato)*
- *calcestruzzo armato precompresso (cemento armato precompresso)*
- *calcestruzzo a bassa percentuale di armatura o non armato.*

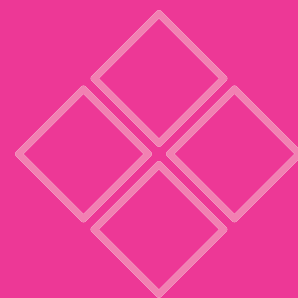
In quest'ultima tipologia di strutture ricadono proprio le pavimentazioni industriali in calcestruzzo, generalmente sprovviste di armatura strutturale, ove la presenza di ferri in forma di reti elettrosaldate assolve ad un mero compito di controllo dei movimenti di natura termo-igrometrica. In definitiva, quindi, le pavimentazioni industriali in accordo al D.M. 17/01/2018 sono riconducibili a strutture non armate o a bassa percentuale di armatura e, pertanto, necessitano di essere progettate con i criteri contenuti proprio nel D.M. sopramenzionato alla stregua di qualsiasi opera in calcestruzzo armato e precompresso. A supporto del progettista, vi sono diversi documenti tecnici e raccomandazioni cui far utile riferimento per la progettazione di questa tipologia di strutture. In particolare, si segnalano le “Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Pavimentazioni di Calcestruzzo” del CNR (CNR DT 211) che costituiscono *“un utile riferimento non solo dal punto di vista tecnico per i progettisti ed appaltatori, ma anche nella redazione dei capitolati tecnici per la realizzazione di tali opere, e si applicano alle pavimentazioni di edifici industriali e delle relative pertinenze, con l'esclusione di vie stradali ed aeroportuali”*.



flatPav

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
interne ed esterne**

#smartFlat



Altresì in Italia è disponibile la norma UNI 11146 che definisce i criteri da utilizzare per la progettazione, la costruzione ed il collaudo dei pavimenti di calcestruzzo ad uso industriale.

Le pavimentazioni industriali sono classificate in funzione:

- del tipo di supporto;
- della destinazione d'uso;
- della resistenza all'abrasione.





flatPav

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
interne ed esterne**

#smartFlat

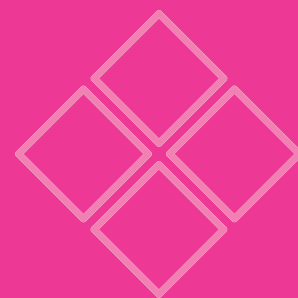
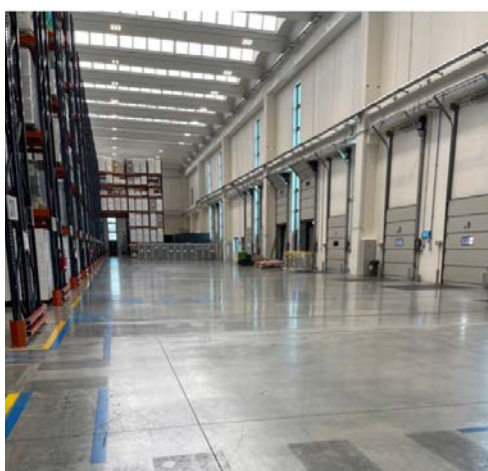


Tabella 1 -UNI 11146 – Prospetto 1

Classificazione dei pavimenti industriali in base all'utilizzo

Tipo	Campi d'impiego prevalenti	Condizioni di carico più frequenti ⁷⁾
1	Uffici, marciapiedi, cantine, disimpegni	Statiche e dinamiche non comprese nei tipi successivi
2	Autorimesse, piazzali	Automezzi su pneumatici di massa totale $\leq 3,5$ t
3	- Magazzini e industria con uso occasionale di transpallets, presenza di scaffalature leggere - Piazzali autorimesse	- Carrelli elevatori con pneumatici di massa totale $\leq 2,5$ t - Scaffalature aventi carico massimo ≤ 10 kN/appoggio - Automezzi su pneumatici di massa totale ≤ 13 t
4	Magazzini grande distribuzione e industria con uso intensivo di carrelli elevatori, presenza di scaffalature	- Carrelli elevatori con pneumatici di massa totale $> 2,5$ t - Transpallet con massa totale ≤ 1 t - Carrelli elevatori con ruote piene di massa totale $\leq 4,5$ t - Scaffalature aventi carico massimo ≤ 30 kN/appoggio - Automezzi su pneumatici di massa totale ≤ 30 t
5	Industria, scaffalature, moli e banchine portuali e carichi speciali, piazzali	- Transpallets con massa totale > 1 t - Carrelli elevatori con ruote piene di massa totale $> 4,5$ t - Scaffalature aventi carico massimo > 30 kN/appoggio - Automezzi su pneumatici di massa totale > 30 t



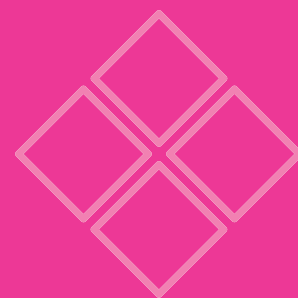
Innanzitutto, occorre precisare che per pavimentazione industriale si intende l'insieme della piastra di calcestruzzo e dello strato di usura. La piastra, inoltre, può poggiare direttamente su terreno, su soletta in c.a., su pavimentazione esistente oppure su strato di materiale coibente (ad esempio, un materassino come avviene nelle pavimentazioni riscaldate). Nel caso in cui la piastra poggi su terreno sarà di fondamentale importanza che lo stesso possieda una portanza sufficiente, in relazione ai carichi in gioco, al fine di limitare lo spessore della piastra in calcestruzzo e di impedire cedimenti eccessivi che producano la fessurazione del conglomerato.



flatPav

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
interne ed esterne**

#smartFlat



Nel caso in cui il terreno presenti caratteristiche geomeccaniche scadenti, sarà necessario procedere ad una stabilizzazione dello stesso mediante calce e/o cemento oppure realizzare uno strato di misto granulare o cementato per incrementarne la portanza. Si sottolinea come per procedere ad un corretto dimensionamento della piastra, la quantificazione delle caratteristiche di portanza del sottofondo, attraverso la misura della costante di Winkler, è fondamentale. Note le condizioni di esercizio, il progettista potrà stabilire i carichi che graveranno sulla pavimentazione e, in accordo alle norme vigenti, procedere al calcolo dello spessore della piastra, definendo conseguentemente le prescrizioni di capitolato per il calcestruzzo e per le armature sia in forma delle tradizionali reti elettrosaldate che di rinforzo fibroso discreto.

Tabella 2 - UNI 11146 Prospetto 7 – Valori indicativi delle caratteristiche elastiche dei sottofondi in funzione del tipo di terreno

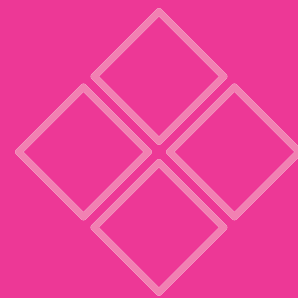
Tipo di terreno	$K [N/mm^2]$
Terreno di coltura	0.005 – 0.0015
Riporto di recente	0.010 – 0.020
Sabbia fine o leggermente costipata	0.015 – 0.03
Sabbia ben costipata	0.05 – 0.10
Sabbia molto ben costipata	0.10 – 0.15
Argilla (umida)	0.03 – 0.06
Argilla	0.08 – 0.10
Argilla mista a sabbia	0.08 – 0.10
Ghiaia frantumata e sabbia	0.10 – 0.15
Ghiaia frantumata grossolana	0.20 – 0.25
Ghiaia frantumata ben compattata	0.20 – 0.30
Lastre di polistirene	0.1 per massa volumica
Lana di roccia	0.03 per massa volumica



flatPav

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
interne ed esterne**

#smartFlat



La normativa comunque prevede che, nel caso in cui non si conoscano le condizioni di esercizio, possano essere considerati forfetariamente un carico distribuito pari a 20.0 kN/m^2 e un carico concentrato di 20.0 kN su un'area di $100 \times 100 \text{ mm}$. Ovviamente, si sottolinea che in tale evenienza, all'atto in cui sarà definita la destinazione d'uso, il progetto dovrà essere rivisto alla luce dei nuovi carichi effettivamente gravanti sulla piastra di pavimentazione per valutare se la stessa è in grado di sopportarli oppure si renda necessario ricorrere ad un rinforzo strutturale.

Oltre che al dimensionamento strutturale vero e proprio, al progettista è demandata anche la progettazione dei giunti di contrazione, costruzione e di isolamento. Quest'ultimi separano la pavimentazione dalle strutture con le quali entra in contatto (quali muri di tamponamento, muri di corpi scala, cordoli di collegamento delle fondazioni, cordoli di recinzione e pilastri) e sono realizzati mediante interposizione tra gli elementi esistenti e la piastra in calcestruzzo di uno strato di materiale deformabile di altezza almeno pari a quella del pavimento e di spessore sufficiente ad assecondare l'allungamento prodotto dall'aumento di temperatura diurno o stagionale.



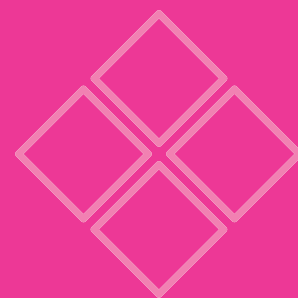
Nelle pavimentazioni di grande estensione superficiale, allorquando non è possibile completare la realizzazione dell'opera nell'arco di una sola giornata lavorativa, l'esecuzione della pavimentazione avverrà segmentando il pavimento in diversi settori. Le porzioni di pavimento già gettate e quelle limitrofe che debbono ancora essere realizzate identificano un giunto di costruzione, la cui realizzazione necessita dell'adozione di alcuni accorgimenti progettuali e costruttivi.



flatPav

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
interne ed esterne**

#smartFlat



Esistono diverse modalità realizzative: utilizzo di barrotti in acciaio liscio disposti perpendicolarmente alla interruzione del getto nella mezzeria della piastra di diametro variabile tra 14 e 20 mm, lunghi almeno 45 cm e disposti ad interasse di circa 30 cm (3 ogni metro lineare) oppure (e questa ormai è la situazione più ricorrente) si possono impiegare giunti preformati da scegliere in funzione dello spessore della piastra e dei carichi da trasferire.



Dopo il getto del calcestruzzo, infine, ad indurimento avvenuto e comunque entro le 48 ore dalla posa in opera del conglomerato (24 ore nel periodo estivo), o nel caso si proceda alla maturazione umida delle superfici con fogli in plastica e geotessile immediatamente dopo la rimozione di queste protezioni, occorre realizzare i giunti di contrazione mediante taglio con sega a disco diamantato praticato sulla piastra per una profondità almeno pari ad un quarto dello spessore del pavimento evitando che durante la loro esecuzione si recida la rete elettrosaldata. La distanza tra due tagli contigui deve essere opportunamente calcolata in funzione dello spessore, del tipo di calcestruzzo e della pavimentazione (interna o esterna). Eseguendo i tagli dovranno essere realizzate campiture per lo più quadrate o al massimo rettangolari garantendo però che il rapporto tra i due lati non sia superiore a 2.

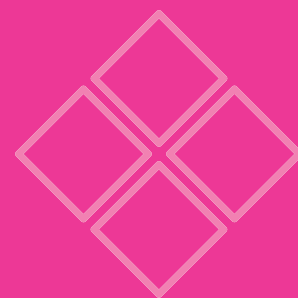
Si evidenzia che, nel caso in cui si utilizzi un calcestruzzo espansivo sarà possibile realizzare pavimentazioni jointless senza giunti di contrazione, che in funzione sia della forza lavoro disponibile che della continuità di fornitura del calcestruzzo dall'impianto, potranno raggiungere estensioni che variano dai 900 m² fino ad un massimo di 1200 m² per forme quadrate.



flatPav

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
interne ed esterne**

#smartFlat



Le pavimentazioni industriali possono essere realizzate utilizzando calcestruzzo standard (ordinario) o espansivo, rinforzato con rete elettrosaldata, fibre oppure con una soluzione ibrida in calcestruzzo armato fibrorinforzato. A prescindere dal tipo di rinforzo utilizzato la miscela dovrà essere opportunamente formulata e proprio per questo è sempre di fondamentale importanza prima dell'ordine all'impianto specificare che il conglomerato sarà destinato al getto di una pavimentazione. Sarà, quindi, possibile fornire al cliente calcestruzzi caratterizzati da bassi rapporti a/c, elevata lavorabilità - in particolar modo nel caso in cui sia prevista la stesa manuale - senza rischi di segregazione e bleeding, ma soprattutto riducendo i tempi di finitura e di realizzazione dello strato di usura. Uno dei maggiori problemi legati alla realizzazione dello strato di finitura è indubbiamente rappresentato dai tempi di frattazzabilità: tempistiche troppo lunghe obbligherebbero le maestranze a rimanere in cantiere anche durante la notte, al contrario tempi brevi rischierebbero di essere troppo "ristretti" e pericolosi per il ritardo in cui potrebbe incorrere il pavimentista nell'incorporo dello spolvero alla sottostante piastra in conglomerato cementizio con rischio di precoce distacco al primo transito di mezzi sul pavimento.

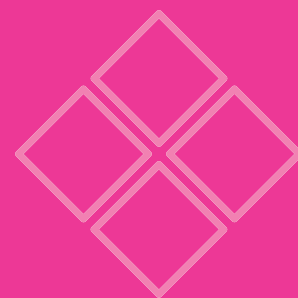




flatPav

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
interne ed esterne**

#smartFlat



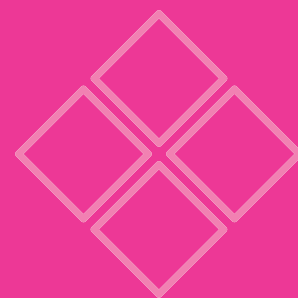
Il calcestruzzo destinato al settore delle pavimentazioni, inoltre, deve contenere negli aggregati quantità limitate di sostanze organiche leggere poiché queste, rifluendo verso la superficie, riducono la resistenza all'abrasione del pavimento. Infine, è necessario limitare il rischio di reazioni alcali-aggregato soprattutto all'interfaccia tra lo strato di usura e la piastra di calcestruzzo, escludendo aggregati che all'esame petrografico presentino forme alcali-reattive, utilizzando eventualmente cementi pozzolanici oppure Portland composti con aggiunte di ceneri volanti in misura non inferiore a 50 kg/m^3 ed, infine, se la pavimentazione deve essere realizzata in zone ove il rischio di reazione alcali-aggregato è particolarmente elevato, come accade lungo le regioni della fascia adriatica, impiegando spolveri confezionati con aggiunta di fumo di silice o con cementi pozzolanici alle ceneri. Durante le fasi realizzative, soprattutto per pavimentazioni esterne, le pendenze da garantire dovranno essere sufficienti per assicurare un corretto smaltimento delle acque (circa 1.5 cm per m), evitando ristagno e conseguentemente degradi precoci, soprattutto in clima rigido. Inoltre, occorre evitare che l'acqua possa imbibire la massicciata e risalire per capillarità verso l'estradosso del pavimento, predisponendo un foglio di politene sul sottofondo prima del getto del conglomerato. Lo strato di usura di una pavimentazione industriale può essere realizzato a spolvero, a pastina o a riporto. Con i metodi a spolvero o a pastina viene applicato su calcestruzzo fresco un prodotto premiscelato "secco" costituito da aggregati duri e cemento (spolvero) o da una malta fluida realizzata con aggregati duri, cemento e acqua (pastina).



flatPav

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
interne ed esterne**

#smartFlat



Con il metodo a riporto si utilizza una miscela indurente a forte spessore stesa sul calcestruzzo precedentemente indurito e stagionato. In taluni casi, ovviamente in funzione della destinazione d'uso o su indicazioni del Committente o del progettista, non viene realizzato un vero e proprio strato di finitura, ma dopo un opportuno sistema di densificazione e lisciatura, la parte superiore del calcestruzzo può essere lasciata tal quale, scopata, stampata o anche, una volta indurita, potrà essere eseguita una levigatura superficiale lasciando a vista la grana della miscela, ovviamente in tutti i casi sarà necessaria curare la stagionatura umida. Infatti, anche per le pavimentazioni è necessario effettuare e garantire una corretta maturazione umida per evitare l'insorgenza di fessurazioni diffuse che ovviamente ne altererebbero l'estetica e in taluni casi potrebbero comprometterne la durabilità.



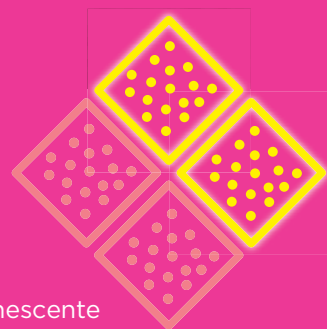


flatStone*

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
ad effetto architettonico**

#smartFlat

*può essere fornito anche nella versione fotoluminescente



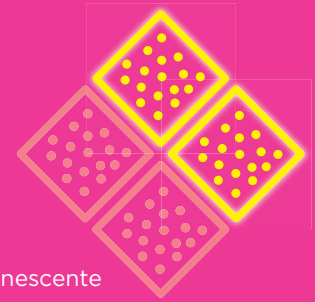

COLABETON

flatStone*

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
ad effetto architettonico**

#smartFlat

*può essere fornito anche nella versione fotoluminescente



#smartFlat

**Calcestruzzi per la realizzazione di
superfici orizzontali industriali e
architettoniche**

flatPav

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni interne ed esterne

flatStone

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni ad effetto architettonico

flatDrain

Calcestruzzo drenante a consistenza terra
umida

flatMixed

Misto cementato per la realizzazione di
sottofondi stradali

flatRoad

Calcestruzzo strutturale per la
realizzazione di strade

flatCover

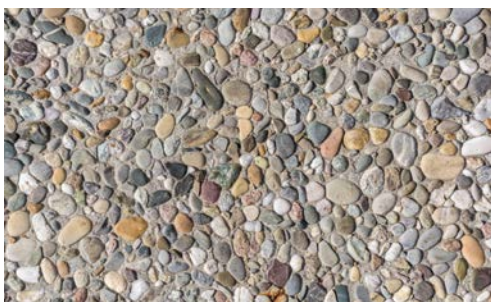
Calcestruzzo fluido per riempimenti

flatScreedP

Betoncino plastico per la realizzazione di
massetti

flatScreedSL

Betoncino autolivellante per
la realizzazione di massetti



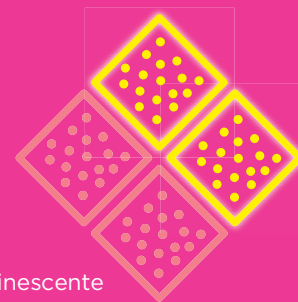
I calcestruzzi decorativi con aggregati parzialmente in vista (conosciuti anche come “calcestruzzi con ghiaio lavato”) rappresentano una particolare tipologia di calcestruzzi, utilizzati per la realizzazione di elementi strutturali che presentano un’eccellente estetica caratterizzata da aggregati parzialmente in vista, ma anche – negli ultimi anni – da superfici colorate, disegnate o che simulano materiali da costruzione quali pietre, mattoni, etc. La realizzazione di elementi in calcestruzzo decorativo avviene rimuovendo – generalmente il giorno successivo alla posa in opera del conglomerato cementizio – alcuni millimetri della pasta di cemento superficiale con l’intento di lasciare parzialmente a vista gli aggregati, evidenziandone sia la tessitura che il colore. Questa operazione – realizzabile mediante una operazione di sabbiatura effettuata per asportare “la pelle” del calcestruzzo indurito – in realtà, è di più facile realizzazione se sulla superficie del manufatto, immediatamente dopo la posa in opera, viene spruzzata una “lacca ritardante” (o se vengono applicati dei film plastici a base di sostanze ritardanti), che impedisce ai primi millimetri di pasta di cemento di indurire, in modo che la stessa possa essere asportata con un trattamento meccanico in presenza di acqua. In base alla natura della “lacca ritardante” e al quantitativo di prodotto spruzzato sulla superficie dell’elemento in calcestruzzo, il ritardo del processo di idratazione ed indurimento del cemento può interessare spessori via via crescenti del manufatto, in relazione all’obiettivo estetico e tessiturale che si vuole conseguire. Inoltre, scegliendo accuratamente il colore e la distribuzione granulometrica degli aggregati grossi, sarà possibile ottenere superfici ove:

flatStone*

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
ad effetto architettonico**

#smartFlat

*p uò essere fornito anche nella versione fotoluminescente



-soltanto gli spigoli dei granuli degli aggregati di maggiori dimensioni vengono rivelati;

-all'incirca il 50% dai granuli degli aggregati grossi è in vista;

-in vista sono predominanti i granuli dell'aggregato grosso.

L'applicazione delle lacche ritardanti (o delle pellicole), in ogni caso, deve avvenire in modo da non rimuovere spessori di pasta di cemento maggiori di $\frac{1}{4}$ della dimensione massima dell'aggregato grosso. Si intuisce come, in base a questa raccomandazione, l'impiego di aggregati tondeggianti/frantumati nel confezionamento del calcestruzzo è indispensabile e come debbano essere, invece, esclusi all'utilizzo aggregati piatti che, per effetto dell'asportazione della pasta di cemento, sarebbero a rischio di distacco.

Si tenga presente che qualora l'asportazione della "pelle" del calcestruzzo dovesse avvenire senza la preventiva applicazione della lacca ritardante, ma ricorrendo alla sola sabbatura, la tessitura superficiale non renderebbe visibile i granuli dell'aggregato grosso, ma soltanto quello delle sabbie. Per le innumerevoli possibilità offerte dal punto di vista del colore e della tessitura superficiale, i calcestruzzi decorativi vengono impiegati nella realizzazione di aree di parcheggio, pavimentazioni soggette a traffico leggero, rampe di accesso alle abitazioni e ai garage privati, camminamenti pedonali e marciapiedi, aree di spiaggia delle piscine all'aperto e per i pannelli di tamponamento prefabbricati.

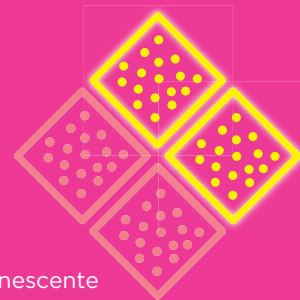
L'estetica superficiale di una struttura in calcestruzzo decorativo dipende strettamente sia dalla qualità dell'esecuzione, che dalla scelta degli aggregati. Relativamente a quest'ultimo aspetto, si segnala come combinando opportunamente aggregati di forma, colore e natura diversi si possano ottenere infinite combinazioni di colore e tessitura superficiale.

flatStone*

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
ad effetto architettonico**

#smartFlat

*può essere fornito anche nella versione fotoluminescente



Allo scopo, possono essere impiegati aggregati tondi di fiume, aggregati quarzitici, carbonatici, di granito oppure di marmo. Per quanto attiene al colore, gli aggregati di quarzo sono disponibili nelle colorazioni bianco, giallo, verde e rosa. Il granito offre diverse soluzioni cromatiche: rosa, grigio, rosso, blu, bianco e nero. Il calcare presenta una gamma di colori meno ampia: generalmente il bianco, il nero e la scala di grigi. Il marmo in linea di massima fornisce la più ampia gamma di colori: rosso, verde, giallo, nero, bianco e grigio.

Tutti gli aggregati debbono essere selezionati nelle diverse pezzature granulometriche e accuratamente lavati prima dell'utilizzo. Inoltre, si segnala che le tessiture di maggior pregio estetico si ottengono con aggregati di dimensioni comprese nei seguenti intervalli: 12-20 mm, 16-22 mm, 20-25 mm e 25-40 mm. In linea di massima, le tessiture e le estetiche più belle si ottengono per intervalli granulometrici molto stretti 16-22 e 20-25 mm.

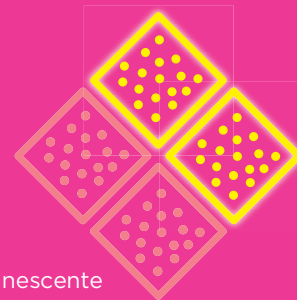
Indipendentemente dalla natura e dalle dimensioni dei granuli dell'aggregato, è fondamentale che essi siano puliti e lavati, avendo cura di rimuovere le eventuali frazioni di natura argillosa, ma anche le particelle organiche leggere come fogliame o frammenti di legno che finirebbero, qualora presenti, per pregiudicare l'estetica dei manufatti. È, infine, opportuno segnalare come risulti necessario impiegare aggregati di eccellente qualità e con bassi valori di assorbimento (contenuto di acqua in percentuale rispetto alla massa secca dell'aggregato per realizzare le condizioni s.s.a.) in quanto, soprattutto in zona a clima freddo, l'utilizzo di aggregati troppo porosi (con elevato assorbimento) potrebbe

flatStone*

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
ad effetto architettonico**

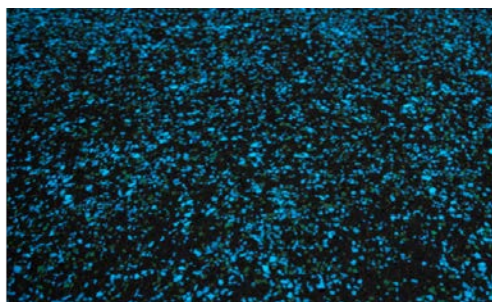
#smartFlat

*p uò essere fornito anche nella versione fotoluminescente

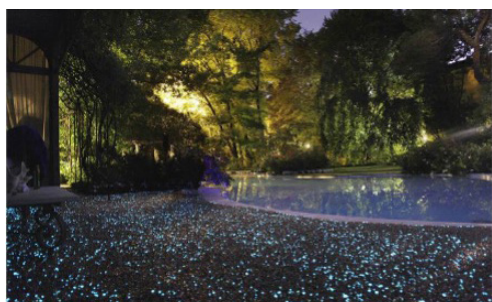


determinare fenomeni di distacco e disgregazione per via dell'eccessiva gelività, che potrebbe essere esaltata dal fatto che i granuli non sono completamente annegati nella pasta di cemento. Pertanto, per evitare questi inconvenienti, è opportuno ricorrere all'utilizzo di aggregati con assorbimento inferiore a 1%, oppure di classe F_1 o F_2 (MS_{25} o MS_{18}).

Ulteriore possibilità riguardo alla gamma di colori, è offerta dall'utilizzo di calcestruzzi colorati mediante pigmenti aggiunti al calcestruzzo al momento del confezionamento, che permettono di realizzare superfici "tono su tono" (colore del calcestruzzo uguale a quello prevalente degli aggregati grossi), oppure "in contrasto" con l'utilizzo di pigmenti di colorazione volutamente diverse da quella granuli lapidei.



Questo tipo di pavimentazioni si possono realizzare anche con effetto fotoluminescente. La fosforescenza, detta anche fotoluminescenza, è quel fenomeno di emissione di luce che possiedono alcuni materiali quando questi vengono attivati da una radiazione di grande energia (luce solare). L'energia assorbita nelle ore diurne, infatti, viene riemessa nelle ore notturne a lunghezza d'onda maggiore, nella banda dello spettro visibile. La particolare peculiarità legata alla fotoluminescenza, rende questi calcestruzzi particolarmente indicati per la realizzazione di marciapiedi, sentieri pedonali e ciclabili luminosi, piazze, parcheggi e aree di movimentazione delle merci anche in zone di scarsa illuminazione.



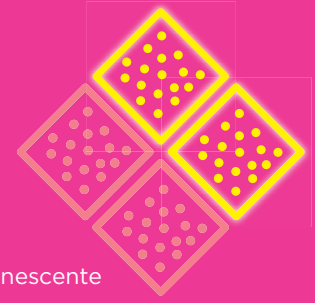
Il fenomeno della fotoluminescenza rende la pavimentazione una fonte di energia pulita, rinnovabile ed innocua per gli esseri umani e per l'ambiente circostante.

flatStone*

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
ad effetto architettonico**

#smartFlat

*può essere fornito anche nella versione fotoluminescente



La componente luminescente può essere realizzata in diverse colorazioni (giallo, blu, rosso, etc.) offrendo una vasta possibilità di combinazioni sia cromatiche che di tessitura superficiale, grazie alla combinazione di aggregati, di cementi colorati e anche mediante l'utilizzo di speciali ossidi colorati.

Per quanto attiene alle modalità di realizzazione delle pavimentazioni in calcestruzzo decorativo, valgono le stesse regole delle piastre realizzate in calcestruzzo ordinario. Pertanto, lo spessore e l'armatura della piastra devono essere progettati in base alle caratteristiche geo-meccaniche del terreno (modulo di reazione del sottofondo), all'entità e al tipo di carico (fisso, mobile, concentrato, distribuito, etc.) cui la pavimentazione è soggetta e alle caratteristiche elasto-meccaniche del calcestruzzo impiegato. Allo stesso modo, occorrerà seguire le raccomandazioni per i giunti di costruzione, isolamento e controllo della fessurazione indotta dal ritiro impedito. Nessuna differenza, inoltre, rispetto ad un pavimento in calcestruzzo ordinario vi è da segnalare in merito al getto, alla stesa e alla staggiatura del calcestruzzo. Si segnala, soltanto, che la realizzazione di un pavimento decorativo può avvenire gettando l'intero spessore della lastra in "decorative concrete", oppure realizzando preliminarmente il getto con un calcestruzzo ordinario sul quale, "fresco su fresco", per evitare la formazione di un giunto freddo pregiudizievole per la statica dell'elemento, mettere in opera il calcestruzzo decorativo in spessore comunque mai inferiore a 7 cm.

Terminata la posa e la staggiatura della superficie del pavimento, si procederà all'applicazione della lacca o del film ritardante. La qualità materica della superficie, da questo momento in poi, dipenderà strettamente dalle operazioni di

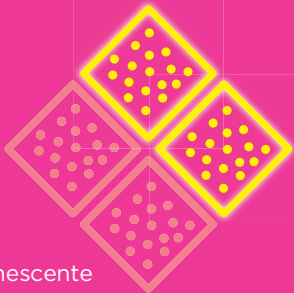


flatStone*

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni
ad effetto architettonico**

#smartFlat

*p uò essere fornito anche nella versione fotoluminescente



rimozione della pasta legante che, generalmente, inizieranno quando il calcestruzzo comincia la presa e che corrisponde al momento in cui l'operatore appoggiando le ginocchia sulla superficie del pavimento non lascia alcuna impronta. L'operazione di pulizia si avvale di spazzoloni con fibre non rigide esercitando sulla superficie un leggero sfregamento in presenza di acqua. Non è consigliabile utilizzare acqua in pressione, in quanto potrebbe essere eccessivo lo spessore di pasta legante rimosso, con il rischio di provocare il distacco dei granuli dell'aggregato. L'operazione continua fino a quando si ottiene la tessitura desiderata.

Le qualità estetiche e la durabilità del manufatto potranno essere preservate nel tempo applicando sulla superficie un trattamento incolore con caratteristiche idrorepellenti. Tuttavia, questo trattamento necessita inevitabilmente di prove preliminari tese a valutare se l'originale aspetto l'aspetto estetico venga o meno modificato.

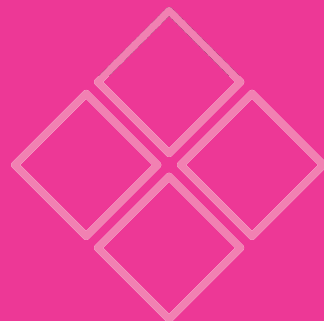




flatRoad

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni stradali**

#smartFlat



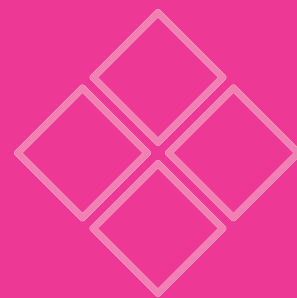
COLABETON 



flatRoad

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni stradali**

#smartFlat



#smartFlat

Calcestruzzi per la realizzazione di
superfici orizzontali industriali e
architettoniche

flatPav

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni interne ed esterne

flatStone

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni ad effetto architettonico

flatDrain

Calcestruzzo drenante a consistenza terra
umida

flatMixed

Misto cementato per la realizzazione di
sottofondi stradali

flatRoad

Calcestruzzo strutturale per la
realizzazione di strade

flatCover

Calcestruzzo fluido per riempimenti

flatScreedP

Betoncino plastico per la realizzazione di
massetti

flatScreedSL

Betoncino autolivellante per
la realizzazione di massetti

Sebbene in Italia le pavimentazioni stradali in calcestruzzo siano poco diffuse e rappresentano solo un'aliquota marginale dell'intera rete stradale ed autostradale, numerosi sono i Paesi del Nord Europa e, soprattutto, dell'America del Nord dove queste pavimentazioni, per contro, rappresentano la principale tipologia utilizzata per la realizzazione di strade e autostrade sia di piccola che di grande comunicazione. Tralasciando i motivi della mancata diffusione delle pavimentazioni in calcestruzzo nel nostro paese, è auspicabile che la loro realizzazione negli anni a venire diventi sempre più massiccia per gli innegabili vantaggi che esse presentano rispetto alle tradizionali pavimentazioni in conglomerato bituminoso. Questi vantaggi, rispetto ai manti in bitume, possono essere riassunti in minori costi di manutenzione, una più elevata resistenza a fatica derivante dal passaggio di mezzi pesanti, una maggiore sicurezza nei confronti dell'incendio, soprattutto nei tratti in galleria e anche in una diminuzione del riscaldamento urbano (per via della maggiore riflettanza delle superfici derivanti dal colore chiaro).

Le pavimentazioni stradali in calcestruzzo possono essere realizzate:

- a lastre non armate (Joint Plain Concrete Pavement: JPCP);
- ad armatura continua (CRCP: Continuous Reinforced Concrete Pavement);
- polifunzionali (PCP: Polifunctional Concrete Pavement).

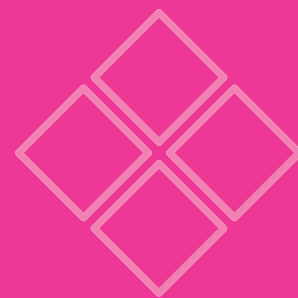




flatRoad

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni stradali**

#smartFlat

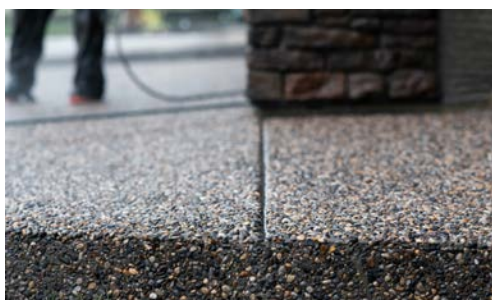


Queste ultime rappresentano una soluzione ibrida, in quanto la funzione portante è affidata ad una lastra in calcestruzzo ad armatura continua sormontata da uno strato di usura e scorrimento realizzato in “asfalto drenante”.

La lastra in calcestruzzo non armata viene realizzata con un getto unico a conseguire lo spessore prefissato. Quelle ad armatura continua, invece, possono essere realizzate a singolo o doppio strato (single or dual layer), a seconda se la stesa, per raggiungere lo spessore progettato, avviene in getto unico di calcestruzzo oppure in due fasi. In questa seconda evenienza, il getto del secondo strato deve avvenire prima dell’inizio della presa del calcestruzzo precedentemente posto in opera. Oltre a garantire la posa “fresco su fresco”, è necessario che lo strato superiore non risulti di spessore inferiore a 5/6 cm circa.



Al fine di ridurre la rumorosità derivante dal passaggio dei mezzi, la superficie della lastra può essere realizzata con parziale esposizione degli aggregati grossi, mediante il procedimento tipico dei “decorative concrete”, che consiste nell’applicare dopo la staggiatura del conglomerato una lacca ritardante che possa poi facilitare l’asportazione di alcuni millimetri di pasta legante superficiale, lasciando gli aggregati grossi parzialmente in vista. In questa evenienza, è necessario il ricorso esclusivo ad aggregati di frantumazione di pezzatura massima non superiore ad $\frac{1}{4}$ dello spessore della piastra di calcestruzzo e, per le pavimentazioni armate, non superiore a $\frac{1}{3}$ dell’interferro tra le armature longitudinali.



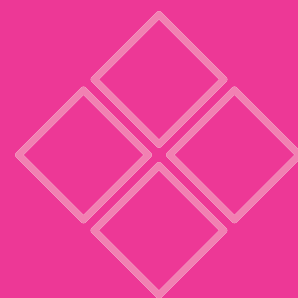
Il getto della lastra di calcestruzzo avviene dopo aver realizzato un sottofondo di sufficiente portanza realizzato in



flatRoad

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni stradali**

#smartFlat



misto granulare oppure cementato. Qualora il getto avvenisse su sottofondo non legato, è opportuno predisporre, prima della stesa del calcestruzzo, uno strato di separazione costituito da un foglio di politene. Se il getto avviene, invece, su misto legato a cemento, sarà necessario bagnare il sottofondo per evitare che esso assorba acqua dal calcestruzzo inficiandone l'adesione e predisponendo la piastra ad un maggior rischio di fessurazione. Il sottofondo, ovviamente, dovrà essere accuratamente compattato al fine di conseguire caratteristiche di portanza compatibili con i carichi di esercizio della piastra. Il calcestruzzo può essere steso meccanicamente impiegando casseri fissi oppure scorrevoli. La lavorabilità ottimale nelle due situazioni è quella della classe di consistenza S3 o V4, rispettivamente. Se la stesa avviene manualmente, l'impasto deve essere superfluido con classe di consistenza S5 (slump di riferimento 240 ± 20 mm).

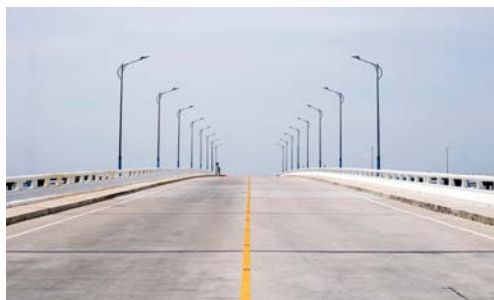
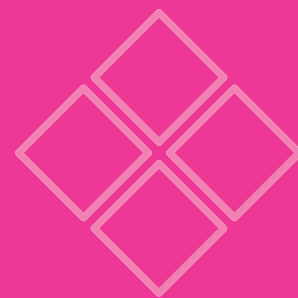
Per quanto riguarda i parametri composizionali del calcestruzzo, indipendentemente dalle modalità di stesa, il dosaggio di cemento minimo è pari a 400 kg/m^3 . Qualora si dovesse garantire la resistenza ai cicli di gelo-disgelo, sarà, inoltre, necessario ricorrere all'utilizzo di additivi aeranti capaci di sviluppare un volume di aria inglobata pari al 4-6% del volume del calcestruzzo. La classe di resistenza a compressione del calcestruzzo per pavimentazioni stradali non è mai inferiore a C35/45 cui deve corrispondere un rapporto acqua/cemento non maggiore di 0.45. Le resistenze a flessione del conglomerato vengono fissate dal progetto, ma non sono mai inferiori a 5.5 MPa (in molti casi pari a 7 MPa).



flatRoad

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni stradali**

#smartFlat



I requisiti meccanici per il conglomerato cementizio debbono essere conseguiti limitando il valore del ritiro idraulico a 28 giorni ad un valore non superiore a 0.3 mm/m (valutato alla temperatura di 20°C e U.R. 50%). Eventualmente, può essere presa in considerazione la possibilità di utilizzare un calcestruzzo a ritiro compensato confezionato con l'aggiunta di agente espansivo a compensare completamente il ritiro idraulico a 6-12 mesi. Al fine di conseguire gli obiettivi di resistenza meccanica a compressione/flessione, controllando il valore del ritiro idraulico, il confezionamento del calcestruzzo deve avvenire facendo ricorso all'impiego di additivi riduttori di acqua ad alta efficacia – con un maggior dosaggio rispetto a quello tipico dei calcestruzzi ordinari – per ridurre l'acqua di impasto, il rapporto a/c e, conseguentemente, limitare le contrazioni dimensionali dovute al ritiro idraulico.

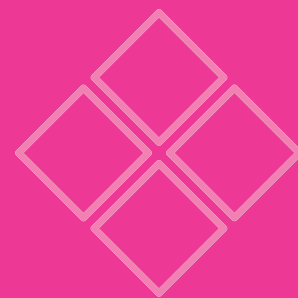
Unitamente alla riduzione del ritiro idraulico attraverso un corretto proporzionamento della miscela, al fine di controllare i fenomeni fessurativi, sarà necessario predisporre nella pavimentazione giunti opportunamente spaziatissimi sia di tipo trasversale che longitudinale. I giunti trasversali sono tipicamente di contrazione, per il controllo del ritiro, o di costruzione e corrispondono alle interruzioni di getto nelle diverse giornate lavorative. I giunti longitudinali sono quasi esclusivamente di costruzione (o anche di movimento). I giunti trasversali vengono di norma distanziati di 4-5 m a



flatRoad

**Calcestruzzo strutturale
per pavimentazioni stradali**

#smartFlat



dipendenza dello spessore della piastra e dell'eventuale presenza di barrotti di compartecipazione tra le diverse lastre che compongono la pavimentazione. I giunti debbono, poi, essere opportunamente sigillati mediante materiali siliconici, poliuretanici oppure in conglomerato bituminoso.

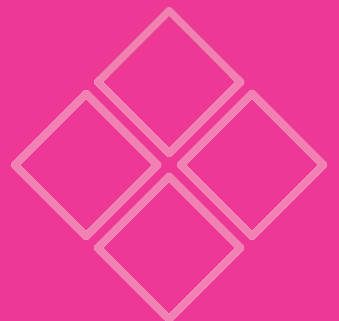




flatCover

**Calcestruzzo fluido
per riempimenti**

#smartFlat



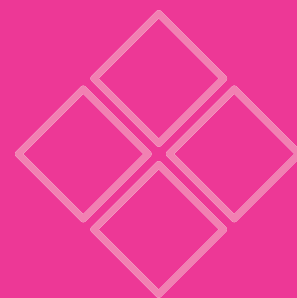
COLABETON 



flatCover

**Calcestruzzo fluido
per riempimenti**

#smartFlat



#smartFlat

Calcestruzzi per la realizzazione di
superfici orizzontali industriali e
architettoniche

flatPav

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni interne ed esterne

flatStone

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni ad effetto architettonico

flatDrain

Calcestruzzo drenante a consistenza terra
umida

flatMixed

Misto cementato per la realizzazione di
sottofondi stradali

flatRoad

Calcestruzzo strutturale per la
realizzazione di strade

flatCover

Calcestruzzo fluido per riempimenti

flatScreedP

Betoncino plastico per la realizzazione di
massetti

flatScreedSL

Betoncino autolivellante per
la realizzazione di massetti



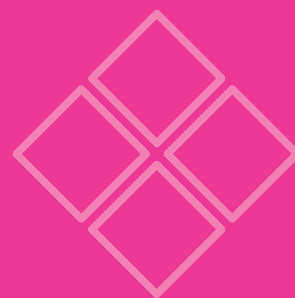
Tra i lavori stradali vengono annoverati anche le operazioni di scavo del terreno per l'alloggiamento dei cavi e delle tubazioni per il trasporto dell'energia elettrica, delle reti dati, del gas, etc. Una volta collocati i cavi e le tubazioni, si deve procedere al riempimento dello scavo avendo cura di compattare efficacemente il terreno onde evitare – soprattutto se lo scavo è limitrofo alla carreggiata stradale – indesiderati cedimenti con formazione sulla sede stradale di ormaie pericolose per la circolazione dei veicoli. Il riempimento con terreno naturale – di solito lo stesso che è stato scavato – presenta questi rischi, in quanto il riutilizzo degli strati superiori, generalmente costituiti da terreno vegetale o torboso, non consentono – anche con una compattazione efficace – di prevenire la comparsa di cedimenti e avvallamenti. Un riempimento efficace dovrebbe prevedere uno studio specifico sulla granulometria del terreno e sul contenuto di umidità che consenta di ottenere la maggiore densità possibile per effetto della compattazione. Inutile dire che questa valutazione preliminare delle caratteristiche del terreno non viene mai effettuata, anche perché l'impatto sull'economia del lavoro, soprattutto quando gli scavi sono di poche centinaia di metri, sarebbe improponibile. Tuttavia, anche quando la posa dei cavi avviene su estensioni maggiori, la variazione del terreno naturale lungo lo scavo imporrebbe di effettuare una serie di prove preliminari che diventerebbero antieconomiche. Per risolvere questa problematica, il riempimento degli scavi può avvenire in maniera agevole ed economica ricorrendo all'impiego di calcestruzzi (Trench Filling Concrete: TFC) con prestazioni superiori (in termini di modulo di deformazione o



flatCover

**Calcestruzzo fluido
per riempimenti**

#smartFlat



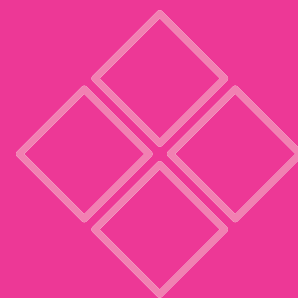
di costante di reazione del sottofondo) a quelle di un terreno ben compattato di ottime caratteristiche geotecniche. I Trench Filling Concrete vengono posti in opera senza necessità alcuna di compattazione e vibrazione e sono progettati volutamente con una bassa resistenza a compressione in modo che essi siano facilmente rimovibili dallo scavo, qualora si rendesse necessario - nel tempo - effettuare lavori di manutenzione agli impianti, onde accedere agevolmente alle tubazioni o ai cavi. A questo scopo, i TFC sono disponibili anche nella versione colorata. Utilizzando un colore diverso per ogni gestore e tipo di impianto (cavi elettrici, tubazioni del gas, tubi dell'acquedotto, etc.) sarà possibile - qualora dovessero rendersi necessari dei lavori di manutenzione - individuare immediatamente in quale zona effettuare la demolizione con ripercussioni positive sulla celerità e sulla sicurezza nella rimozione del calcestruzzo. Rispetto ai tradizionali materiali per riempimento, i TFC presentano il vantaggio che dopo il getto non necessitano di alcuna operazione di compattazione indispensabile quando si fa ricorso a terreni sciolti, misti granulari o cementati.



flatCover

**Calcestruzzo fluido
per riempimenti**

#smartFlat



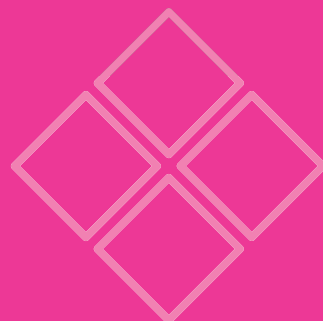
Per conseguire le proprietà reologiche e meccaniche richieste, i Trench Filling Concrete vengono confezionati con additivi aeranti, con lo scopo di conseguire un sistema di microbolle che conferisca alla matrice cementizia ridotta massa volumica, ma allo stesso tempo uno scheletro solido di prestazioni geo-meccaniche significativamente migliori rispetto a quelle garantite da un terreno o da un misto granulare/cementato ben steso e compattato. L'utilizzo di questi additivi aeranti, inoltre, unitamente agli additivi riduttori di acqua permette di ottenere calcestruzzi reoplastici contraddistinti da una eccellente fluidità (o da caratteristiche autolivellanti) accompagnate dalla pratica assenza di segregazione e bleeding. In questo modo, ad indurimento avvenuto, la superficie superiore del riempimento è in quota con quello del terreno circostante e non costringe, quindi, a dover effettuare complicate e onerose operazioni di livellamento con prodotti speciali. Le masse volumiche tipiche dei calcestruzzi per riempimento si attestano nell'intervallo 1500-1850 kg/m³, cui corrispondono resistenze a compressione di circa 1-3 MPa a 28 giorni. Il modulo di reazione del sottofondo (determinato con piastra da 30 cm) conseguibile con questi conglomerati è all'incirca di 500 MPa, di gran lunga superiore a quello (80-100 MPa) ottenibile per un terreno incoerente ben compattato e rullato.



flatDrain

**Calcestruzzo drenante
a consistenza terra umida**

#smartFlat

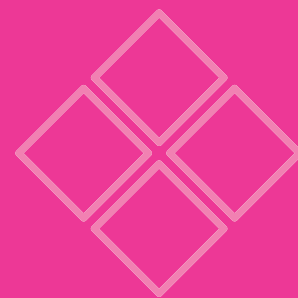




flatDrain

**Calcestruzzo drenante
a consistenza terra umida**

#smartFlat



#smartFlat

Calcestruzzi per la realizzazione di
superfici orizzontali industriali e
architettoniche

flatPav

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni interne ed esterne

flatStone

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni ad effetto architettonico

flatDrain

Calcestruzzo drenante a consistenza terra
umida

flatMixed

Misto cementato per la realizzazione di
sottofondi stradali

flatRoad

Calcestruzzo strutturale per la
realizzazione di strade

flatCover

Calcestruzzo fluido per riempimenti

flatScreedP

Betoncino plastico per la realizzazione di
massetti

flatScreedSL

Betoncino autolivellante per
la realizzazione di massetti

I calcestruzzi drenanti rappresentano una particolare tipologia di calcestruzzi speciali, caratterizzati da una elevata macroporosità, specificatamente indicati per la realizzazione di strutture orizzontali ove si richiede un eccellente drenaggio delle acque piovane al fine di evitare fenomeni di accumulo e di ruscellamento superficiale. Il contenuto di vuoti varia in un calcestruzzo drenante (*pervious concrete*) tra il 18% e il 35%, con i valori più ricorrenti che si attestano tra il 20% e il 25%. Grazie all'elevato contenuto di vuoti, la "velocità di infiltrazione", che corrisponde alla velocità con cui l'acqua viene smaltita, può variare tra 100 e 700 l/m²/min. Ovviamente, la capacità drenante aumenta il volume dei vuoti, ma per contro, diminuisce la resistenza meccanica a compressione.

Questo conglomerato non può ritenersi un materiale "nuovo", in quanto le prime applicazioni risalgono addirittura alla metà del XIX° secolo, ma negli ultimi anni è stato oggetto di un rinnovato interesse a causa della sua capacità di ridurre l'impatto derivante dalle piogge torrenziali in ambienti fortemente urbanizzati.

Il calcestruzzo drenante è un conglomerato poroso, mancante di alcune frazioni lapidee (*gap-graded*), realizzato fondamentalmente mescolando cemento, acqua e aggregati grossi. Nei calcestruzzi ordinari, i granuli di sabbia riempiono i vuoti tra le particelle dell'aggregato grosso. In un calcestruzzo drenante, la sabbia non viene utilizzata affatto, oppure rappresenta una piccola percentuale del volume totale dell'aggregato (inferiore al 10%).

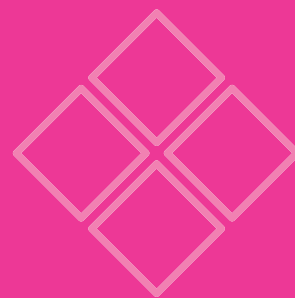




flatDrain

**Calcestruzzo drenante
a consistenza terra umida**

#smartFlat



Oltre alla pratica assenza degli aggregati fini, il calcestruzzo drenante viene confezionato con un volume di pasta di cemento non sufficiente a riempire i vuoti tra le particelle dell'aggregato. L'aggregato utilizzato nel confezionamento dei pervious concrete è tipicamente monogranulare (*single-sized*) di dimensioni comprese nell'intervallo 8-20 mm. Non è consigliabile utilizzare aggregati con intervallo dimensionale maggiore di quello sopra menzionato, in quanto, aumenterebbe inevitabilmente il contenuto di vuoti con ripercussioni negative sulla resistenza a compressione del *pervious concrete*.

La “velocità di infiltrazione”, cioè la velocità con cui l'acqua viene drenata, può variare tra 100 e 700 l/m²/min: un valore tipico è quello di 150 l/m²/min, corrispondente alla capacità di smaltire circa 8500 mm/ora di pioggia. La resistenza meccanica a compressione si attesta generalmente nell'intervallo **5-30 MPa**, quella a flessione tra 1 e 4 MPa e le masse volumiche variano nell'intervallo 1600-2000 kg/m³. All'aumentare della percentuale di vuoti aumenta la capacità drenante, ma ovviamente diminuisce la resistenza meccanica. Si può facilmente intuire che l'incremento del quantitativo di sabbia – che non deve comunque superare il 10% del volume totale degli aggregati, come sottolineato precedentemente – aumenta la massa volumica e la resistenza a compressione, ma riduce la capacità drenante.

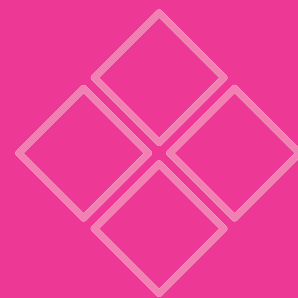
Il calcestruzzo drenante trova applicazione nelle pavimentazioni delle aree di parcheggio soggette a traffico leggero, nelle rampe di accesso alle abitazioni e ai garage privati, nei camminamenti pedonali, nei parchi e nelle strade



flatDrain

**Calcestruzzo drenante
a consistenza terra umida**

#smartFlat



ove i camminamenti realizzati in *pervious concrete* consentono di alimentare con le acque piovane le radici degli alberi, evitando che un loro allontanamento superficiale – come accade in ambienti fortemente urbanizzati – le privi di questo elemento vitale per la crescita. Viene anche utilizzato nella realizzazione dei marciapiedi, dei campi da tennis, delle aree di spiaggia delle piscine all'aperto, delle corsie di emergenza nelle strade e autostrade di grande comunicazione. In linea di massima, il calcestruzzo drenante non può essere impiegato per pavimentazioni stradali e autostradali a grande traffico, soprattutto di tipo pesante.

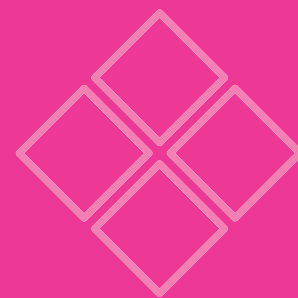
Il calcestruzzo drenante viene, inoltre, identificato come un materiale rispettoso dell'ambiente (*environmentally friendly*), sia perché per il suo confezionamento si fa ricorso a modesti dosaggi di cemento (se confrontato con un calcestruzzo ordinario), ma soprattutto perché esso riesce a filtrare le acque piovane riducendone il contenuto delle sostanze inquinanti (ad esempio le famigerate polveri sottili). In questo modo, si riduce l'inquinamento dei bacini acquiferi naturali e dei fiumi. Si tenga presente, infatti, che sono soprattutto le acque dei primi 30 minuti di pioggia a contenere la maggiore percentuale di inquinanti che vengono "catturate" dal calcestruzzo drenante e che, grazie al naturale percolamento nel terreno, evitano di ruscellare su superfici orizzontali impermeabili concentrandosi in alcune aree. In sostanza, il calcestruzzo drenante esplica la funzione di vasca di accumulo delle piogge, favorendo la dispersione delle stesse su aree di vasta estensione, facilitando, quindi, la ricostituzione delle riserve acquifere naturali e riducendo il pericoloso impatto di improvvise piogge torrenziali in ambienti urbani. Si tenga



flatDrain

**Calcestruzzo drenante
a consistenza terra umida**

#smartFlat



anche presente che l'utilizzo di pavimentazioni in calcestruzzo drenante, limitando fortemente il ruscellamento superficiale delle acque, consente di realizzare anche forti economie nella realizzazione dei sistemi di drenaggio e di accumulo delle acque, in quanto riduce la necessità di realizzare vasche di prima pioggia.

Al fine di ottenere calcestruzzi con eccellenti capacità drenanti, ma che posseggano contestualmente anche sufficienti prestazioni meccaniche, è necessario che la pasta legante, oltre ad essere presente in volume strettamente sufficiente a ricoprire i granuli dell'aggregato grosso, possieda viscosità elevata che impedisca alla stessa durante il getto del calcestruzzo di segregare sul fondo. Questo pregiudicherebbe irrimediabilmente la capacità drenante del sistema. A questo scopo, oltre all'impiego di additivi riduttori di acqua ad alta efficacia, la viscosità può essere modulata attraverso aggiunte pozzolaniche (cenere volante e fumo di silice) e/o ricorrendo a polimeri ad alto peso molecolare (modificatori di viscosità).

Il dosaggio di pasta legante, sebbene dipenda dalle dimensioni dell'aggregato, si attesta tra 270 e 420 kg/m³. Il calcolo del volume di pasta legante (PV: Paste Volume) viene effettuato in base:

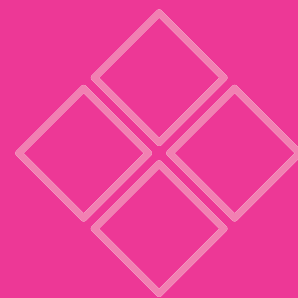
- al valore sperimentale della percentuale di vuoti dell'aggregato lapideo (AV: Aggregate Voids);
- ad un fattore che tiene conto del grado di compattazione (CI: Compaction Index) durante la posa in opera (generalmente



flatDrain

**Calcestruzzo drenante
a consistenza terra umida**

#smartFlat



assunto pari al 5%);

- alla percentuale di vuoti che si vuole conseguire per il calcestruzzo drenante (DVC: Design Void Content).

Il calcolo del volume di pasta legante viene effettuato in accordo alla formula nel seguito riportata:

$$PV = AV + CI - DVC$$

Una volta determinato il volume di pasta legante, si potrà calcolare il rapporto acqua/cemento sulla base del valore di progetto della resistenza a compressione. In linea di massima il rapporto a/c oscilla nell'intervallo 0.30-0.40.

La progettazione di una pavimentazione in calcestruzzo drenante avviene in base ai requisiti di portanza della pavimentazione oltre che alle proprietà idrauliche che si vogliono conseguire. Un calcolo separato dei due obiettivi deve essere realizzato e quello più stringente determinerà i parametri geometrici e prestazionali del pavimento. Sebbene lo spessore debba essere definito in base ai parametri progettuali sopra indicati, le esperienze pratiche indicano che per le aree di parcheggio spessori compresi tra 12 e 15 cm siano sufficienti per resistere al passaggio dei mezzi più pesanti che sono in genere quelli adibiti alla raccolta dei rifiuti. Ovviamente gli spessori possono diventare decisamente maggiori se la pavimentazione è soggetta al transito di carrelli elevatori ove la piastra di pavimentazione potrebbe richiedere spessori di 20-30 cm.

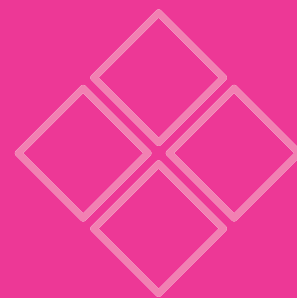
La realizzazione di una pavimentazione drenante dovrebbe avvenire su sottofondi costituiti da terreni di sufficiente



flatDrain

**Calcestruzzo drenante
a consistenza terra umida**

#smartFlat



permeabilità (tipicamente sabbiosi) con velocità di infiltrazione non inferiore a 12.5 mm/ora. Tuttavia, anche se la permeabilità dovesse essere inferiore (2.5 o 0.5 mm/ora tipici di terreni argillosi), il volume di acqua di ruscellamento superficiale risulta comunque inferiore – costruendo una pavimentazione drenante – rispetto a quello del solo terreno naturale. In ogni caso è buona norma non realizzare pavimentazioni su terreni naturali con un “infiltration rate” inferiore a 2.5 mm/ora.

Indipendentemente dalla velocità di infiltrazione, il sottofondo deve essere omogeneamente compattato per evitare cedimenti differenziali e in, alcuni casi, si può prendere in esame la necessità di realizzare un sottofondo drenante in materiale lapideo monogranulare (“vespaio”) che può essere utilizzato come “vasca” di accumulo dell’acqua piovana. Ovviamente, se il terreno naturale possiede un sufficiente permeabilità questo strato non è necessario e il pavimento drenante può essere realizzato direttamente sul terreno naturale. Se si procede alla realizzazione di uno strato di sottofondo è buona norma posizionare un tessuto non tessuto prima del getto del calcestruzzo drenante per evitare l’intasamento dei vuoti ad opera delle particelle fini di terreno.

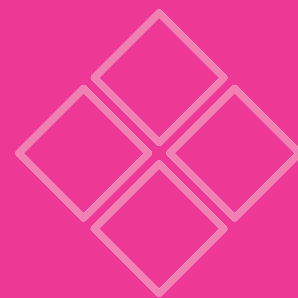
La consistenza tipica dei calcestruzzi drenanti è quella “terra umida” o “asciutta”. Pertanto, siccome le operazioni di posa - effettuate mediante getto entro casseri fissi o ricorrendo alle casseforme a casseri scorrevoli con macchine tipiche per la posa dei conglomerati bituminosi - potrebbero richiedere tempi lunghi, è necessario che, in condizioni di clima caldo,



flatDrain

**Calcestruzzo drenante
a consistenza terra umida**

#smartFlat



nel calcestruzzo venga prevista la presenza di un additivo con caratteristiche collaterali ritardante. In termini di slump, il calcestruzzo drenante possiede valori nell'intervallo 20-40 mm.

La posa del calcestruzzo drenante può avvenire sia mediante il ricorso a casseri fissi che a quelli scorrevoli. La lisciatura può avvenire con staggia manuale o vibrante, evitando però una compattazione eccessiva tale da ridurre troppo la porosità e compromettere la permeabilità del sistema. È importante evidenziare che, per il ridotto quantitativo di acqua di impasto, un'evaporazione eccessiva dall'impasto può favorire la comparsa di fessurazioni. Pertanto, diventa fondamentale curare la maturazione umida delle superfici per prevenire la comparsa di indesiderate fessurazioni. La maturazione deve avvenire già dopo 30 minuti dalla stesa e deve essere protratta per almeno 7 giorni. Per quanto attiene ai giunti di contrazione, le pavimentazioni in calcestruzzo drenante debbono rispettare gli stessi requisiti dei pavimenti in calcestruzzo ordinario. Tuttavia, il minor volume di pasta legante e, conseguentemente, il minor ritiro idraulico di questi conglomerati, consente di aumentare la distanza tra i giunti. Resta inteso che alla luce della minore resistenza al taglio del calcestruzzo drenante è preferibile realizzare i giunti quando il calcestruzzo è ancora fresco evitando di utilizzare la sega a disco diamantato che potrebbe determinare lo sbriciamento del conglomerato.



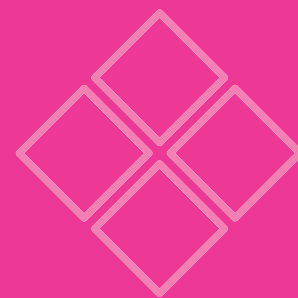
Infine, si segnala come l'efficienza della pavimentazione in termini di permeabilità può essere compromessa dall'accumulo di sporco, di materiale fine e di fogliame sulla



flatDrain

**Calcestruzzo drenante
a consistenza terra umida**

#smartFlat



superficie con conseguente occlusione delle macroporosità.

Per questo motivo, un opportuno piano di pulizia programmato deve essere predisposto per mantenere inalterate le proprietà drenanti del pavimento.

Riguardo alla resistenza ai cicli di gelo-disgelo del calcestruzzo drenante, molte esperienze pratiche indicano un'eccellente durabilità anche in climi particolarmente severi, per la pratica impossibilità che il conglomerato possa presentare vuoti saturi di acqua. Tuttavia, al fine di migliorare questa caratteristica si possono adottare le seguenti misure:

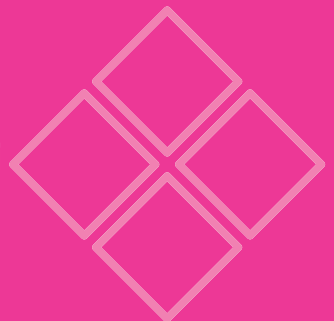
- utilizzare sabbia (< 10% in volume) per aumentare la resistenza a compressione del calcestruzzo;
- confezionare l'impasto con un **additivo aerante**;
- utilizzare **aggregati di grandi dimensioni nell'intervallo 16-40 mm**;
- predisporre un tubo microforato in PVC alla base del pavimento drenante per evitare accumuli di acqua pregiudizievoli per la durabilità della pavimentazione.



flatScreed P/SL

**Betoncini plastici e autolivellanti
per la realizzazione di massetti**

#smartFlat



COLABETON 

flatScreed P/SL

Betoncini plastici e autolivellanti
per la realizzazione di massetti

#smartFlat



#smartFlat

Calcestruzzi per la realizzazione di
superfici orizzontali industriali e
architettoniche

flatPav

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni interne ed esterne

flatStone

Calcestruzzo strutturale per
pavimentazioni ad effetto architettonico

flatDrain

Calcestruzzo drenante a consistenza terra
umida

flatMixed

Misto cementato per la realizzazione di
sottofondi stradali

flatRoad

Calcestruzzo strutturale per la
realizzazione di strade

flatCover

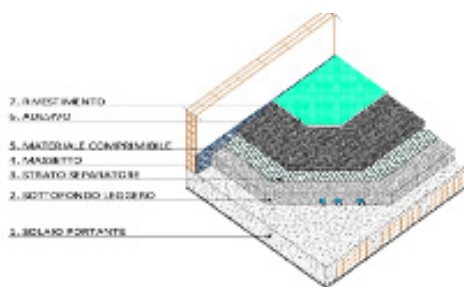
Calcestruzzo fluido per riempimenti

flatScreedP

Betoncino plastico per la realizzazione di
massetti

flatScreedSL

Betoncino autolivellante per
la realizzazione di massetti



Con il termine di **massetto** vengono identificate le piastre realizzate in **betoncino** (dimensione massima dell'aggregato 8 mm) o in **malta** (solo sabbie 0-4 mm) aventi spessori di 35-60 mm circa ed eseguiti prima della posa di pavimenti in **ceramica**, **legno** o in **materiale resiliente** quali il **PVC** e la **gomma**. I conglomerati per massetto possono essere confezionati sia ricorrendo ai **tradizionali aggregati naturali** che all'utilizzo di **aggregati leggeri** di **argilla espansa**, **pomice** oppure ottenuti dal **riciclo di materie plastiche**. I **massetti alleggeriti**, rispetto alle tradizionali malte confezionate con aggregati naturali, consentono di migliorare le **proprietà di isolamento termico e acustico** contribuendo ad un generale **miglioramento del comfort degli ambienti abitati**.

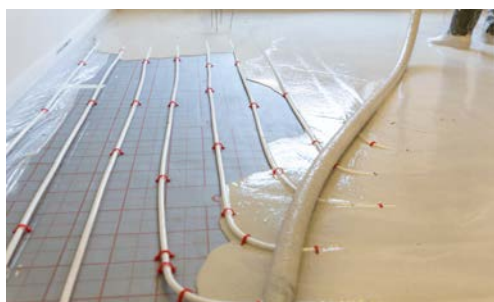
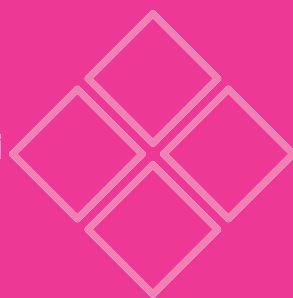
I massetti possono essere realizzati **all'esterno oppure all'interno** degli edifici. I **massetti interni** possono essere realizzati **direttamente ("solidarizzati")** in **aderenza alla struttura portante dell'orizzontamento** (a **soletta piena** oppure in **latero-cemento**). Tuttavia, questa **prassi è poco diffusa**, in quanto **esporrebbe il massetto al rischio elevato di fessurazione per effetto di eventuali movimenti di assestamento della struttura portante** che, inevitabilmente, coinvolgerebbero le **piastrelle di ceramiche** o i **listelli di legno** che **potrebbero subire fenomeni di fessurazione e distacco**. Per questo, motivo si preferisce **realizzare i massetti predisponendo, prima del getto, uno strato di materiale "distaccante"** generalmente costituito da un foglio di **politene ("massetti desolidarizzati")**. Il ricorso al foglio di **politene** avviene anche quando il massetto viene realizzato su una **vecchia pavimentazione esistente in ceramica**, ovviamente allorquando l'altezza utile disponibile consente di



flatScreed P/SL

Betoncini plastici e autolivellanti per la realizzazione di massetti

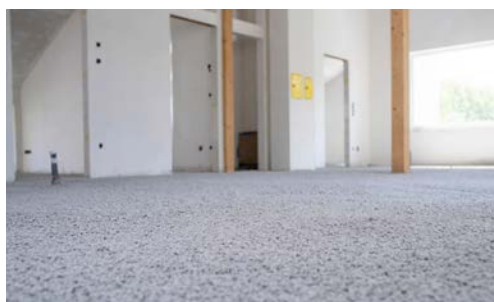
#smartFlat



rispettare – a seguito della realizzazione del nuovo pavimento – i regolamenti di legge in materia di abitabilità. **I massetti interni**, oggi giorno e sempre più spesso, **inglobano le serpentine dell'impianto di riscaldamento/raffrescamento "a pavimento"**. In questa evenienza, si parla di **"massetti radianti"** e il getto del conglomerato avviene **su pannelli di materiale termoisolante** sui quali vengono posizionate le serpentine contenenti il liquido riscaldante/refrigerante.



I massetti interni, inoltre, vengono realizzati **su sottofondi generalmente realizzati con malte alleggerite** per il confezionamento delle quali si fa ricorso ad **aggregati leggeri in forma di argilla espansa, pomice, polistirolo espanso, oppure con aggregati ottenuti dal riciclo di materie plastiche**. La realizzazione dei sottofondi avviene predisponendo un foglio di politene sull'estradosso della sottostante struttura portante dell'orizzontamento in c.a. Nel caso dei **massetti esterni, molto spesso, la loro realizzazione avviene su strati di materiali impermeabili sia in forma di manti bituminosi che di malte polimero-cemento**.



Indipendentemente dalla tipologia di massetto (interno o esterno, solidarizzato, desolidarizzato, radiante, su pavimentazione esistente o su manto impermeabile), la **piastra di calcestruzzo deve essere contraddistinta dalle seguenti prestazioni:**

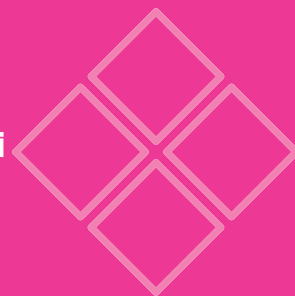
- **assenza di fessurazioni e imbarcamenti**. Questa proprietà si conseguono attraverso un **attento proporzionamento degli ingredienti che deve avere come obiettivo una drastica riduzione del volume di pasta legante** responsabile del ritiro idraulico dei conglomerati cementizi. Per questo



flatScreed P/SL

Betoncini plastici e autolivellanti per la realizzazione di massetti

#smartFlat



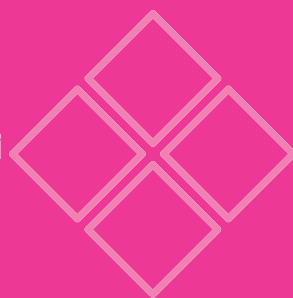
motivo, onde non eccedere nel contenuto di acqua e, conseguentemente, a pari rapporto a/c, nel dosaggio di cemento, **i conglomerati per massetti vengono confezionati a consistenza di terra umida e ricorrendo all'utilizzo di aggregati grossi di pezzatura massima 8 mm** generalmente compatibile con lo spessore del massetto. Negli ultimi anni sono apparsi sul mercato i “massetti autolivellanti”. In realtà, la dicitura non è propriamente corretta, in quanto non sono i massetti ad essere autolivellanti, ma le malte utilizzate per la loro realizzazione. Percentualmente **le malte autolivellanti per massetti rappresentano, tuttavia, ancora un'aliquota molta marginale**, in quanto le caratteristiche “autolivellanti” sono in contrasto con quelle di stabilità dimensionale, che rappresentano requisiti imprescindibili per una posa in sicurezza dei pavimenti. Per possedere una fluidità molto spinta, infatti, le malte per massetti autolivellanti debbono essere confezionati ricorrendo a dosaggi di acqua decisamente maggiori di quelli impiegati per il confezionamento dei massetti a consistenza di terra umida, esasperando i fenomeni di ritiro idraulico responsabili della comparsa di fessure e di indesiderati imbarcamenti. Per ovviare a questi inconvenienti, **le malte autolivellanti per massetto vengono confezionati facendo ricorso a leganti diversi dal tradizionale cemento portland**. In particolare, i leganti sono costituiti da **sistemi ternari a base di cemento alluminoso, cemento portland e gesso** oppure, in tempi più recenti, sostituendo il **cemento alluminoso con il più innovativo cemento solfoalluminoso a base di yelemite**. Questi sistemi leganti sono contraddistinti da **prodotti di idratazione prevalentemente di natura ettringitica** che, notoriamente,



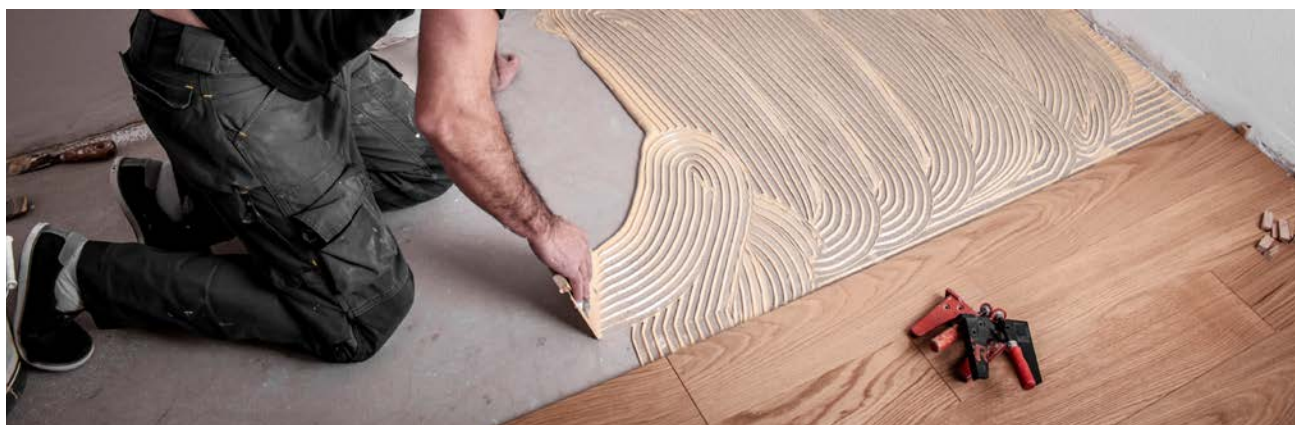
flatScreed P/SL

**Betoncini plastici e autolivellanti
per la realizzazione di massetti**

#smartFlat



posseggono un **comportamento espansivo e di maggiore stabilità dimensionale (minore ritiro idraulico)** rispetto ai **tradizionali conglomerati cementizi**. Indipendentemente che vengano utilizzati conglomerati a consistenza di terra umida o autolivellante, le campiture di massetto dovranno essere prive di fessure e di imbarcamenti eccessivi. In sostanza, sono **ammesse soltanto quelle differenze di quota che potranno essere compensate dall'adesivo utilizzato per la posa del pavimento** sia esso in ceramica o in legno;



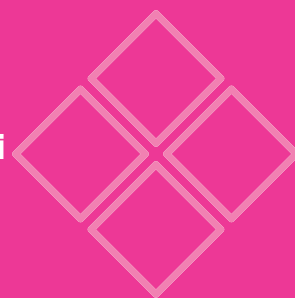
- **assenza di polverosità e/o di materiale incoerente in superficie** che costringerebbe a dover effettuare **costose operazioni di carteggiatura prima della posa** del pavimento, in assenza delle quali l'adesione potrebbe essere fortemente ridotta. Questo obiettivo si consegue riducendo i fenomeni di segregazione e di bleeding, limitando sia l'acqua di impasto che garantendo un sufficiente volume di frazioni fini;



flatScreed P/SL

**Betoncini plastici e autolivellanti
per la realizzazione di massetti**

#smartFlat



- **asciugamento relativamente rapido** per rendere la **posa dei pavimenti compatibile con le tempistiche di realizzazione** dell'opera. Questo problema riguarda principalmente quei massetti sui quali posare un pavimento in legno o in pietra sensibile all'umidità. I tempi di asciugamento, fatto salvo alcuni prodotti premiscelati industriali di costo relativamente elevato e che possono garantire tempi di asciugatura di 1-7 giorni, variano a seconda dello spessore del massetto, della stagione in cui vengono realizzati e, ovviamente, dal tipo di cemento/legante impiegato nel confezionamento dei conglomerati. A meno di esigenze specifiche, generalmente, **i tempi di asciugatura sono di circa 28 giorni e possono essere ridotti impiegando specifici additivi riduttori di acqua con caratteristiche collaterali di accelerazione dell'indurimento a circa tre settimane;**



- **resistenza meccanica a compressione e flessione** compatibili con i carichi che dovranno transitare sul pavimento. In linea di massima, **la resistenza a compressione dopo 28 giorni di maturazione per massetti di edifici di civile abitazione non deve essere inferiore a 20 MPa.** Resistenze a compressione maggiori (ad esempio, **30 MPa**) potranno essere richieste per **massetti di ambienti industriali** ove maggiori sono i carichi che possono transitare sul pavimento;

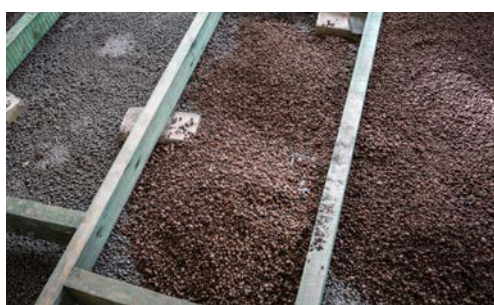
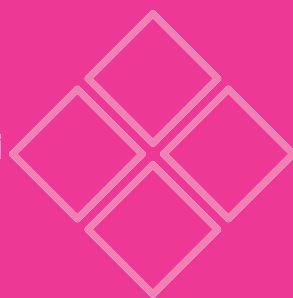
-ove richiesto, **eccellenti proprietà di isolamento termico e acustico.** Queste proprietà possono essere massimizzate



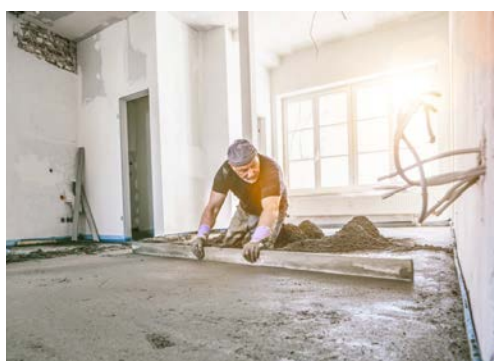
flatScreed P/SL

**Betoncini plastici e autolivellanti
per la realizzazione di massetti**

#smartFlat



ricorrendo all'utilizzo di conglomerati confezionati con **argilla espansa, pomice oppure con aggregati di riciclo di materie plastiche (PET)**. Si tenga presente che, al diminuire della massa volumica del conglomerato aumenta la resistenza termica, ma diminuisce la resistenza a compressione del materiale. Pertanto, la **scelta di una malta per massetto alleggerito deve avvenire nel rispetto sia dei requisiti di portanza che di isolamento termico del massetto**. La resistenza termica della partizione orizzontale ovviamente può essere ulteriormente aumentata facendo ricorso **all'utilizzo combinato di un sottofondo alleggerito (in argilla espansa, pomice, polistirolo espanso, aggregati di riciclo) sul quale gettare un conglomerato leggero di resistenza meccanica a compressione – come si dirà meglio nel seguito – non inferiore a 20 MPa a 28 giorni**.



Le proprietà delle malte/betoncini per massetto vengono stabilite dalla **norma europea EN 13813**, in accordo alla quale il conglomerato viene identificato in base alla **natura del legante** utilizzato per il suo confezionamento (ad esempio, **CT cementizio oppure CA a base anidrite**, etc.), alla **resistenza a compressione (C) e flessione (F) a 28 giorni** (CT C30/F6 è un massetto a base cementizia avente resistenza a compressione e flessione a 28 giorni rispettivamente di 30 e 6 MPa).

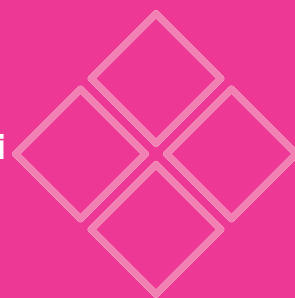
Indipendentemente dalla natura del legante, dalle proprietà meccaniche del conglomerato e dalla consistenza (terra umi-



flatScreed P/SL

**Betoncini plastici e autolivellanti
per la realizzazione di massetti**

#smartFlat



da o autolivellante), per una corretta realizzazione del massetto occorre:

- garantire per i **massetti desolidarizzati (galleggianti) e radianti spessori non inferiori a 35 mm;**



- per i **massetti gettati in aderenza (solidarizzati)** alla struttura portante del solaio, assicurarsi che il substrato sia **privo di polvere, sporco ed altre sostanze che possano ridurre l'ancoraggio**. Qualora, la superficie del substrato si dovesse presentare incoerente e polverosa, si dovrà prendere in esame la necessità di applicare un **primer di ripresa di natura epossidica** prima del getto del massetto. In questa evenienza, il **getto** dovrà comunque avvenire **prima che il sistema epossidico gelifichi**. Infine, lo **spessore minimo** di applicazione per i massetti solidarizzati **non può essere inferiore a 10 mm;**



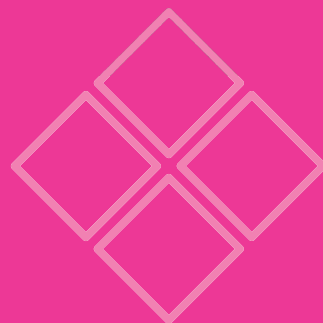
- in **presenza di acqua di risalita capillare predisporre una barriera a vapore** in forma di film di polietene avendo cura di sormontare le giunzioni;

- per i massetti che inglobano al loro interno gli impianti predisporre sulle tubazioni, **in corrispondenza della riduzione di spessore del massetto, spezzoni di rete elettrosaldata di piccolo diametro (ad esempio 3 mm) oppure ricorrere nel confezionamento del massetto all'aggiunta delle fibre**. In ogni caso lo **spessore di ricoprimento minimo** delle tubazioni e/o delle canaline non può essere inferiore a **20-25 mm;**

- dopo la stesa del conglomerato e la relativa staggiatura, **la lisciatura della superficie deve avvenire senza far ricorso a bagnatura con acqua.**

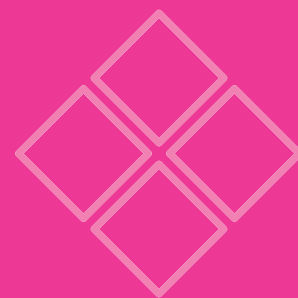


Pavimentazioni architettoniche in pietra



COLABETON 

Pavimentazioni architettoniche in pietra

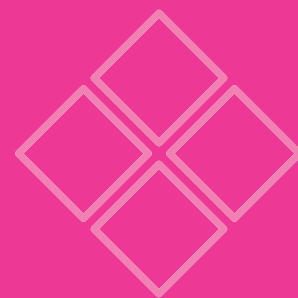


Sempre più frequentemente le **piazze, le strade, le rotonde nei centri storici** vengono realizzati ricorrendo all'impiego di **cubetti di porfido, lastre, ciottoli e masselli in pietra**. Queste pavimentazioni presentano **un'estetica di eccellente qualità**, se confrontate con i manti bituminosi, che contribuisce ad una generale **valorizzazione sia dal punto di vista sociale che culturale dei centri abitati**.

Tuttavia, la durabilità delle pavimentazioni architettoniche in pietra può essere seriamente compromessa dalle azioni derivanti dal passaggio dei veicoli su ruote che **sollecitano le lastre sia a flessione che sottoponendole a sforzi tangenziali per effetto delle frenate e delle sterzate**. Questi rivestimenti, inoltre, possono subire – se non ben realizzati – **fenomeni precoci di degrado per effetto dei cicli di gelo-disgelo e dell'utilizzo, durante il periodo invernale, dei sali disgelanti a base di cloruro**. Questo costringe le amministrazioni comunali a dover effettuare **continui e costanti interventi di manutenzione per evitare il rischio di incidenti e di cadute dei pedoni per effetto di cubetti, ciottoli e lastre distaccatisi dalla pavimentazione**.

Per evitare questi inconvenienti è necessario che la lastra di pavimentazione sia monolitica e risulti incastrata in un sottofondo di eccellenti proprietà meccaniche. Nella pratica questo si realizza allettando gli elementi lapidei su un sottofondo che possieda resistenze meccaniche a compressione – e indirettamente eccellente resistenza agli sforzi tangenziali prodotti dalle frenate e dalle sterzate dei veicoli – tipiche di un conglomerato ad altissime prestazioni meccaniche (resistenze a compressione maggiori di 60 MPa).

Pavimentazioni architettoniche in pietra



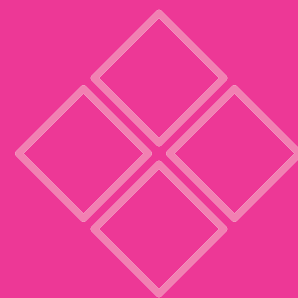
Inoltre, le fughe tra i conci del materiale lapideo debbono essere realizzate con materiale che possieda prestazioni meccaniche (resistenze a compressione maggiori di 55 MPa) simili a quelle della pietra e che sia insensibile all'azione del gelo in presenza di sali disgelanti a base di cloruro. Per evitare che a seguito del ritiro idraulico la fuga possa distaccarsi dai conci lapidei le malte debbono essere confezionate con un agente espansivo che consenta di eliminare questo inconveniente.

Per quanto attiene al sottofondo, è fondamentale anche la scelta della classe di consistenza (lavorabilità) per permettere di inglobare al suo interno parzialmente i cubetti, i masselli e i ciottoli in pietra. La classe di consistenza va modulata in relazione al tipo di rivestimento in pietra che viene utilizzato. Il sottofondo viene realizzato con betoncini confezionati con sabbie ed aggregati grossi con diametro massimo 6 mm. La consistenza, grazie all'aggiunta di specifici additivi modificatori della viscosità, può essere modulata per la produzione dei calcestruzzi a consistenza di terra umida. Le malte colabili per la realizzazione delle fughe invece, vengono confezionate con sabbie 0/2 mm e posseggono consistenza superfluida.

Nella realizzazione delle pavimentazioni architettoniche occorre rispettare le seguenti raccomandazioni:

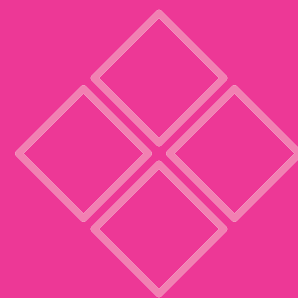
- a) **Non realizzare massetti** a consistenza di terra umida **di spessore superiori a 7 cm** in quanto le operazioni di compattazione mediante battitura del conglomerato non consentirebbero di compattare efficacemente gli strati inferiori a contatto con il sottofondo.

Pavimentazioni architettoniche in pietra



- b) Le operazioni di compattazione mediante **battitura** **debbono essere effettuate prima che il conglomerato inizi la presa.**
- c) Predisporre opportunamente **giunti di dilatazione** in corrispondenza dei cordoli dei marciapiedi, intorno ai chiusini e alle caditoie, lungo le canaline di raccolta dell'acqua piovana e laddove la pavimentazione presenta dei cambi di pendenza.
- d) Per evitare la formazione di ormaie o di cedimenti nella pavimentazione la stessa dovrà essere posata su un **sottofondo di adeguata portanza in relazione alla destinazione d'uso.** Generalmente è preferibile posare la pavimentazione in pietra su una **soletta in c.a. armata con rete elettrosaldata o fibrorinforzata con fibre strutturali metalliche o non metalliche di tipo II.**
- e) Sul sottofondo cospargere uno **strato di sabbia oppure stendere un foglio di geotessile.**
- f) Per la posa di lastre in pietra utilizzare conglomerati a consistenza plastica
- g) Per la posa di cubetti e ciottoli utilizzare conglomerati a consistenza di terra umida
- h) Procedere alla stesa del calcestruzzo in spessore non maggiore di 7 cm. Le superfici di materiale steso debbono essere compatibili con la forza lavoro disponibile per evitare che stendendo superfici troppo ampie in presenza di una forza lavoro ridotta si proceda erroneamente a compattare il massetto quando il conglomerato ha già iniziato la presa.

Pavimentazioni architettoniche in pietra



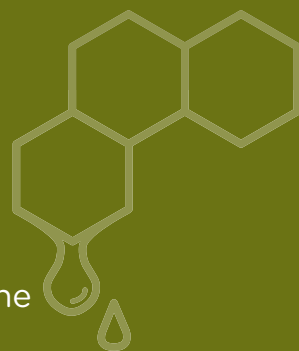
- i) Per la posa delle lastre prima di appoggiare le lastre stesse si dovrà procedere alla stesura di una boiacca d'aggancio a base cementizia additivata con lattici.
- j) Posare le pietre in modo che le fughe abbiano larghezza compresa tra 5 e 20 mm.
- k) Per la posa di pavimentazioni effettuata con conglomerati a consistenza di terra umida, bagnare con un leggero getto di acqua e, quindi, eseguire le operazioni di battitura.
- l) Effettuare il riempimento delle fughe prima che il massetto abbia terminato la presa, preferibilmente nello stesso giorno in cui è stato realizzato il massetto.
- m) Prima di effettuare il riempimento delle fughe la pavimentazione deve essere bagnata evitando comunque ristagni di acqua o presenza di materiale incoerente all'interno delle fughe stesse.
- n) Proteggere il pavimento – soprattutto nei periodi caldi e ventilati – per almeno 12 ore per evitare una eccessiva evaporazione di acqua.



#smartSCC*

**Calcestruzzi strutturali
autocompattanti**

*possono essere forniti anche nella versione
CFA (Continuous Flight Auger)



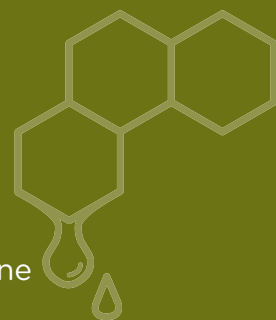
COLABETON



#smartSCC*

Calcestruzzi strutturali autocompattanti

*possono essere forniti anche nella versione CFA (Continuous Flight Auger)



#smartSCC Calcestruzzi strutturali autocompattanti

9

scc60

Calcestruzzo strutturale autocompattante a consistenza SF1 (550-650 mm)

10

scc70

Calcestruzzo strutturale autocompattante a consistenza SF2 (660-750 mm)

11

scc80

Calcestruzzo strutturale autocompattante a consistenza SF3 (760-850 mm)



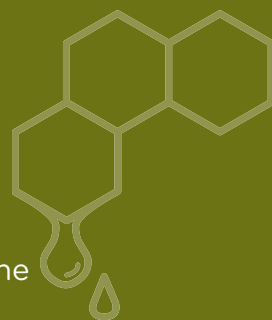
La ricerca nel settore del calcestruzzo è da sempre volta allo sviluppo e allo studio di nuovi conglomerati che possano consentire, in modo agevole, anche l'esecuzione di elementi strutturali con geometrie molto complesse e fortemente armati. Tutto ciò, indipendentemente dalla qualità della manodopera disponibile in cantiere, ha come obiettivo di diminuire (o addirittura annullare) il gap prestazionale tra il calcestruzzo in opera (calcestruzzo in situ) e quello vibrato a rifiuto e maturato nelle condizioni standard ("ideali") di laboratorio. È ben noto, come una stessa miscela di conglomerato cementizio – che possiede potenzialmente prestazioni meccaniche e di durabilità eccellenti se valutate nelle condizioni standard su provini correttamente confezionati, compattati a rifiuto e maturati alla temperatura di 20°C in ambiente umido (o sott'acqua) – possa evidenziare in opera delle problematiche: zone mancanti di pasta di cemento (vespai e nidi di ghiaia) per deficit di fluidità e/o per errori legati alle operazioni di posa in opera e di stesura del conglomerato nelle casseforme, oppure porzioni di struttura caratterizzate da presenza di aria in eccesso e, quindi, più scadenti per via della maggiore porosità complessiva e, conseguentemente, della minore resistenza a compressione determinata da una assente o insufficiente compattazione e vibrazione dei getti. Inoltre, la qualità del calcestruzzo in opera – sia in termini di resistenza a compressione che di durabilità – può essere fortemente penalizzata se prima di procedere al getto del conglomerato, vengono effettuate dannose riaggiunte di acqua al calcestruzzo ritenuto di fluidità non sufficiente per eseguire agevolmente le operazioni di getto e compattazione.



#smartSCC*

Calcestruzzi strutturali autocompattanti

*possono essere forniti anche nella versione CFA (Continuous Flight Auger)



Un parametro chiave per cercare di attenuare il divario prestazionale tra resistenza in situ e resistenza valutata su provini standardizzati è rappresentato dalla lavorabilità del calcestruzzo in fase di getto. Maggiore sarà la lavorabilità e:

- **minore sarà il rischio che in cantiere si proceda alle dannose riaggiunte di acqua** che determinerebbero una riduzione della resistenza in opera di circa il 6-7.5% per ogni 10 lt/m³ di acqua aggiunta al calcestruzzo;
- **minore sarà il rischio che al disarmo possano presentarsi zone prive di pasta di cemento** (vespai e nidi di ghiaia) o addirittura che presentino “lacune” di conglomerato cementizio;
- **minore sarà il rischio che la resistenza in opera non superi il criterio di collaudabilità** imposto dal D.M. 17/01/2018). Nell’ottica che la resistenza in opera risulti prossima a quella dei provini confezionati e vibrati a rifiuto e maturati nelle condizioni standard di laboratorio, indipendentemente dalla qualità dell’esecuzione, delle operazioni di posa e compattazione, è stata sviluppata una categoria di conglomerati cementizi che, grazie ad una fluidità molto spinta, vengono definiti autolivellanti o autocompattanti (**self-levelling/self-compacting**).

Questa categoria di calcestruzzi possiede le seguenti caratteristiche:

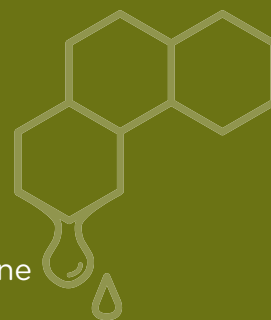
- non è esposta al rischio delle riaggiunte di acqua in cantiere (**no retempering**);



#smartSCC*

Calcestruzzi strutturali autocompattanti

*possono essere forniti anche nella versione CFA (Continuous Flight Auger)

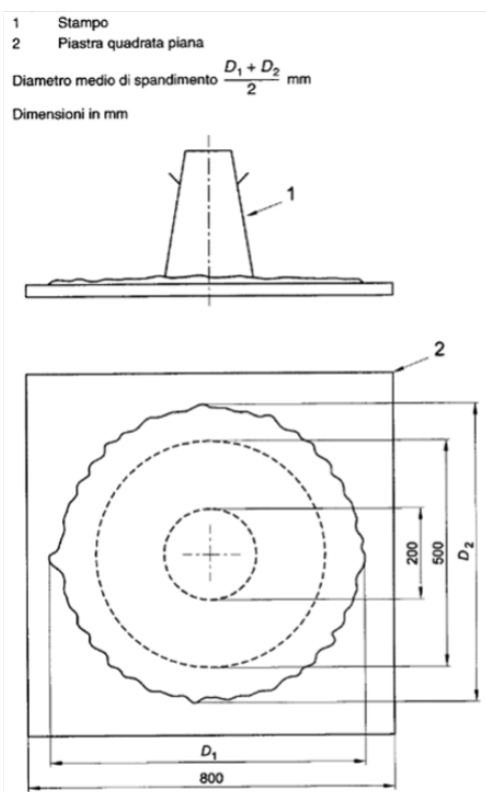


- non è esposta al rischio di presentare al disarmo dei casseri presenza di vuoti, di zone lacunose, di vespai e nidi di ghiaia, in quanto questi conglomerati sono contraddistinti da una segregazione sostanzialmente assente (**no segregation**) e da una capacità di fluire anche attraverso le sezioni di elementi in c.a. fortemente armate (capacità di attraversamento o di **passing ability**);

- non è esposta al rischio di riduzione della resistenza in opera per carenza o insufficiente compattazione in quanto questa particolare categoria di calcestruzzi non necessita di alcuna vibrazione dopo la posa (**no vibration or compaction**) poiché è in grado di espellere da sola l'aria in eccesso intrappolata nel conglomerato.

Questi conglomerati cementizi vengono definiti anche **SCC (acronimo di Self Compacting Concrete)**: calcestruzzi che si compattano da soli senza dover ricorrere ad alcuna fonte di energia vibrante esterna per espellere l'aria dal conglomerato.

Un calcestruzzo **autocompattante** è **caratterizzato da un'elevata fluidità** per poter scorrere agevolmente all'interno dei casseri ed assicurarne un completo riempimento e, nel contempo, **da una buona resistenza alla segregazione**. Tuttavia, queste due proprietà sono tra loro antitetiche, in quanto aumentando le caratteristiche di scorrevolezza dell'impasto inevitabilmente si riduce la resistenza alla segregazione. Per questo motivo per la valutazione delle prestazioni reologiche degli SCC non è possibile affidarsi ai metodi utilizzati per i calcestruzzi superfluidi (classe di consistenza S5), ma si deve

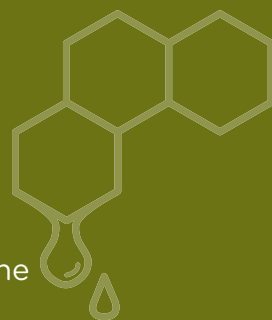




#smartSCC*

Calcestruzzi strutturali autocompattanti

*possono essere forniti anche nella versione CFA (Continuous Flight Auger)



ricorrere a metodologie di prova specifiche che consentano di avere un quadro esaustivo circa le proprietà (di fluidità e scorrevolezza da una parte e di resistenza alla segregazione dall'altra) richieste per questa tipologia di conglomerati.

Il calcestruzzo autocompattante, in termini di consistenza (fluidità), viene classificato in tre classi in base al **diametro di spandimento al cono di Abrams (Slump-Flow; UNI EN 12350-8)**.

Tabella 1 - UNI EN 206: Prospetto 6 - Classi di spandimento al cono di Abrams

Classe	Spandimento al cono di Abrams (EN 12350-8)
SF1	da 550 a 650 mm
SF2	da 660 a 750 mm
SF3	da 760 a 850 mm

La classificazione non è applicabile al calcestruzzo con D_{max} maggiore di 40 mm

Unitamente allo slump-flow, sarà necessario, in relazione alla tipologia di struttura cui il calcestruzzo autocompattante è destinato, definire le **classi di viscosità del conglomerato (VS) mediante il t_{500}** (tempo in secondi per raggiungere un diametro di spandimento di 500 mm nella prova di spandimento con il cono di Abrams: **UNI EN 12350-8**) oppure determinando il **tempo di svuotamento al V-funnel (VF: UNI EN 12350-9)**.

Tabella 2 - UNI EN 206: Prospetto 7 - Classi di viscosità - t_{500}

Classe	t_{500} (EN 12350-8)
VS1	< 2.0 secondi
VS2	≥ 2.0 secondi

La classificazione non è applicabile al calcestruzzo con D_{max} maggiore di 40 mm





#smartSCC*

Calcestruzzi strutturali autocompattanti

*possono essere forniti anche nella versione CFA (Continuous Flight Auger)

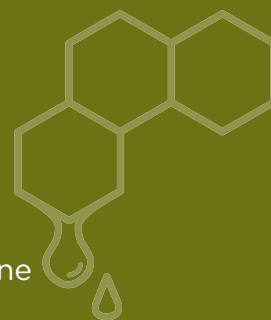


Tabella 3 - UNI EN 206: Prospetto 8 - Classi di viscosità - tempo di efflusso

Classe	t_v in conformità alla EN 12350-9
VF1	< 9.0 secondi
VF2	Da 9.0 a 25.0 secondi

La classificazione non è applicabile al calcestruzzo con D_{max} maggiore di 22.4 mm

Per le strutture armate, in funzione della percentuale di armatura, potrà essere necessario anche definire la **capacità di attraversamento del calcestruzzo mediante la prova con la scatola ad L (PL: UNI EN 12350-10) oppure ricorrendo allo J-ring (PJ: UNI EN 12350-12).**

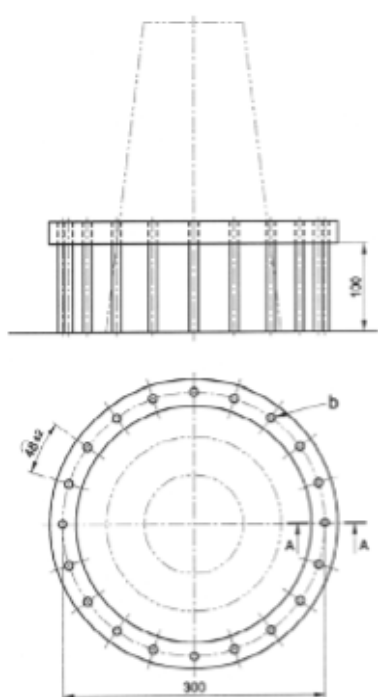


Tabella 4 - UNI EN 206: Prospetto 9 - Classi di capacità di attraversamento scatola a L

Classe	Rapporto della scatola a L in conformità alla EN 12350-10
PL1	≥ 0.80 con 2 barre di armatura
PL2	≥ 0.80 con 3 barre di armatura

Tabella 5 - UNI EN 206: Prospetto 10 - Classi di capacità di attraversamento anello a J

Classe	Altezza all'interno e all'esterno dell'anello a J in conformità alla EN 12350-12
PJ1	≤ 10 mm con 12 barre di armatura
PJ2	≤ 10 mm con 15 barre di armatura

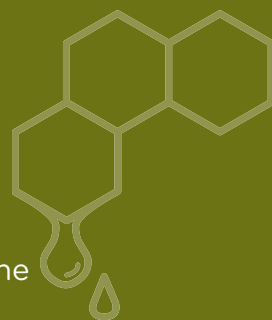
La classificazione non è applicabile al calcestruzzo con D_{max} maggiore di 40 mm



#smartSCC*

Calcestruzzi strutturali autocompattanti

*possono essere forniti anche nella versione CFA (Continuous Flight Auger)

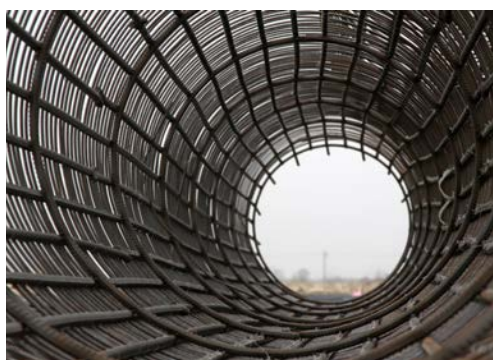


Infine, utili indicazioni sulla resistenza alla segregazione del calcestruzzo potranno essere desunte mediante la prova di **“resistenza alla segregazione al setaccio” (SR: EN 12350-11)**.

Tabella 6 - UNI EN 206: Prospetto 11 - Classi di resistenza alla segregazione al setaccio

Classe	Porzione segregata sottoposta a prova in conformità alla EN 12350-11
SR1	$\leq 20\%$
SR2	$\leq 15\%$

La classificazione non è applicabile al calcestruzzo con D_{max} maggiore di 40 mm



È importante sottolineare come l'**autocompattabilità non può essere valutata solo attraverso una mera determinazione dello spandimento al cono di Abrams (Slump-Flow)**, ma è indispensabile, a seconda delle esigenze legate alla realizzazione della struttura cui il conglomerato è destinato, la determinazione delle altre proprietà (resistenza alla segregazione, viscosità, capacità di attraversamento) fondamentali per una completa ed esaustiva caratterizzazione di questa tipologia di conglomerati cementizi. Infatti, due calcestruzzi appartenenti ad una stessa classe di fluidità (stesso SF) possono evidenziare una diversa classe di resistenza alla segregazione o una diversa capacità di attraversamento.

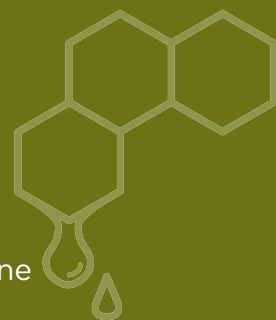
Pertanto, basare la scelta, ma soprattutto la prescrizione di capitolato del calcestruzzo autocompattante, solo sull'indicazione di una classe di fluidità (trascurando, quindi, viscosità, resistenza alla segregazione e passing ability) può



#smartSCC*

Calcestruzzi strutturali autocompattanti

*possono essere forniti anche nella versione CFA (Continuous Flight Auger)



risultare del tutto erroneo.

In definitiva, il **calcestruzzo autocompattante** deve essere **prescritto e progettato** tenendo in considerazione le **modalità di messa in opera, la geometria dell'elemento, la percentuale dei ferri e la distanza che la miscela deve percorrere dal punto in cui viene gettata**. In linea del tutto generale si possono dare alcune indicazioni sulle classi da prescrivere. Ad esempio, per realizzare una struttura poco armata, ove la miscela non deve percorrere grandi distanze dal punto di introduzione nel cassero, si consiglia di impiegare una miscela viscosa e non molto fluida di classe SF1/VF2. Se, invece, si devono realizzare strutture fortemente armate, quali i solai con travi a spessore, i nuclei ascensore, pareti sottili oppure i muri di notevole altezza la classe di spandimento sarà SF3 (miscela molto fluida) e VF1 la classe di viscosità alla quale dovrà essere affiancata anche una eccellente capacità di attraversamento, identificata con la classe di **passing ability** PL1 o PL2 per l'eventuale presenza di distanze minime tra i ferri minori di 80-100 mm.

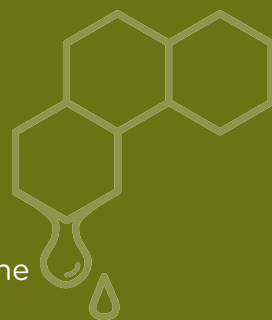
È opportuno ancora ribadire come le proprietà di flusso dei calcestruzzi autocompattanti (valutate attraverso lo slump-flow) e quelle che determinano la viscosità, la resistenza alla segregazione e la capacità di attraversamento delle sezioni armate sono tra di loro incongruenti. È intuibile, infatti, come aumentando lo slump-flow si riduca la resistenza alla segregazione e la capacità di attraversamento. Pertanto, il **mix-design (la progettazione della ricetta) di un calcestruzzo autocompattante presenta maggiori difficoltà rispetto a quello di un tradizionale conglomerato superfluido**.



#smartSCC*

Calcestruzzi strutturali autocompattanti

*possono essere forniti anche nella versione CFA (Continuous Flight Auger)



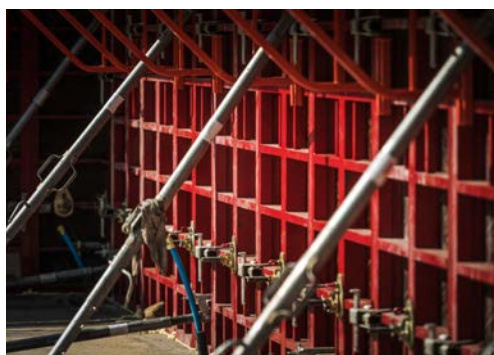
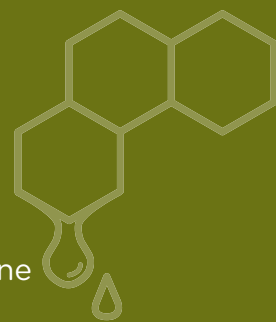
Inoltre, il conseguimento degli obiettivi antitetici di fluidità e resistenza alla segregazione/capacità di attraversamento impone l'utilizzo di ingredienti non impiegati solitamente nel confezionamento di calcestruzzi ordinari, oppure il ricorso ad aggiunte minerali utilizzate in dosaggi molto maggiori rispetto ai calcestruzzi di consistenza S4-S5. In particolare, il **confezionamento degli SCC si basa sull'impiego degli agenti modificatori di viscosità (AMV), specifici additivi che hanno l'effetto di aumentare la resistenza alla segregazione del calcestruzzo senza, però, interferire negativamente sulle proprietà di flusso dell'impasto.** Inoltre, la progettazione della miscela prevede un'attenta **valutazione del dosaggio degli additivi riduttori di acqua.** Un sovradosaggio del superfluidificante, infatti, se, da una parte, avrebbe l'effetto di aumentare la resistenza alla segregazione del calcestruzzo, per contro, potrebbe penalizzare le proprietà di flusso del conglomerato riducendo le caratteristiche di autocompattabilità. Per questo motivo, **in un calcestruzzo autocompattante sarà di fondamentale importanza calibrare correttamente il dosaggio degli additivi superfluidificanti e modificatori di viscosità cercando un compromesso tra le proprietà di flusso e quelle legate alla resistenza alla segregazione e alla capacità di attraversamento delle sezioni congestionate.** Unitamente al corretto dosaggio degli additivi superfluidificanti e modificatori di viscosità, di fondamentale importanza nella realizzazione di un SCC è il **volume di materiale finissimo (di dimensioni inferiori a 0.125 mm).** Quest'ultimo, infatti, unitamente all'acqua e all'aria fisiologica presente nell'impasto costituisce il **"fluido**



#smartSCC*

Calcestruzzi strutturali autocompattanti

*possono essere forniti anche nella versione CFA (Continuous Flight Auger)



trasportatore” della “fase trasportata” rappresentata dai granuli dell’aggregato.

Quest’ultimo viene trasportato con maggiore difficoltà all’aumentare delle sue dimensioni.

Pertanto, nel confezionamento degli SCC si **preferisce limitare sia la pezzatura massima dell’aggregato a 20 mm che il volume complessivo della frazione di aggregato grosso (dimensioni maggiori di 4 mm) che risulta minore rispetto a quello di un tradizionale impasto superfluido**. Una regola pratica è quella di garantire un **volume di materiale finissimo compreso all’incirca tra 160 e 190 l/m³**. Il conseguimento di questo obiettivo, ovviamente, **non può essere perseguito mediante il ricorso al solo cemento, in quanto occorrerebbe impiegare dosaggi di cemento abnormi (500-600 kg/m³)** che porterebbero ripercussioni negative sui fenomeni di ritiro sia di tipo igrometrico che termico e, quindi, sulla fessurazione dei getti. Pertanto, per poter garantire un sufficiente volume di materiale finissimo, **al cemento abitualmente utilizzato in dosaggi simili a quelli dei tradizionali conglomerati superfluidi va affiancato l’impiego di materiale finissimo con lenta o pressoché nulla velocità di idratazione, quali la cenere volante e il calcare macinato**.

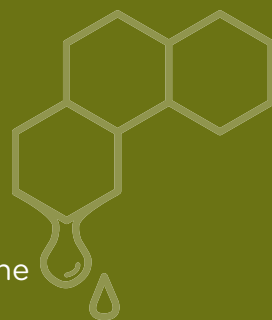
Relativamente alle fasi di messa in opera, si evidenzia che l’impiego di un calcestruzzo autocompattante richiede alcuni accorgimenti particolari. Considerando che **generalmente le velocità di riempimento dei casseri, quando vengono impiegati gli SCC, superano generalmente i 10 m/h**, sulle sponde si generano delle pressioni di tipo



#smartSCC*

Calcestruzzi strutturali autocompattanti

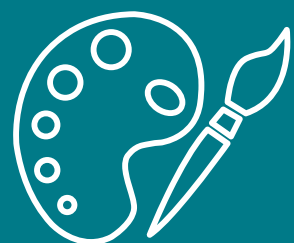
*possono essere forniti anche nella versione CFA (Continuous Flight Auger)



idrostatico. Di conseguenza, quando si gettano calcestruzzi autocompattanti sarà indispensabile utilizzare casseri, opportunamente progettati, in grado di resistere alle pressioni che si genereranno senza incorrere in indesiderate fuoriuscite di conglomerato oppure, nella peggiore delle ipotesi, in aperture del cassero stesso compromettendo inevitabilmente la realizzazione dell'elemento. Alla luce del fatto che i calcestruzzi SCC hanno una maggior resistenza alla segregazione, potranno essere gettati anche con altezze di caduta superiori ai 50 cm fissati come limite per i calcestruzzi standard: si tenga comunque conto che un'eccessiva altezza di caduta potrebbe peggiorare il facciavista anche con gli SCC a causa della maggiore difficoltà a espellere l'aria dall'impasto. Inoltre, per ottenere un'ottima finitura superficiale, anche utilizzando un calcestruzzo autocompattante, sarà necessario considerare gli stessi parametri che influenzano il facciavista delle strutture realizzate con i tradizionali conglomerati, quali tipologia dei casseri e qualità del disarmante. Con gli SCC sarà possibile raggiungere valori di resistenza in situ del calcestruzzo maggiori rispetto a quelli conseguibili con un conglomerato standard. Da questo punto di vista si può concludere che le strutture realizzate con gli SCC presentano un maggiore coefficiente di sicurezza strutturale oltre che una maggiore durabilità rispetto ad analoghe strutture realizzate con un calcestruzzo di pari classe di resistenza ma con lavorabilità S3-S5.



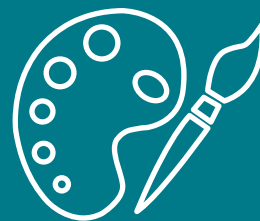
**LE STRUTTURE IN
CALCESTRUZZO
FACCIAVISTA**



COLABETON



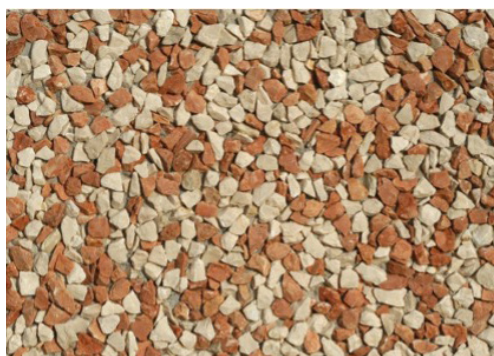
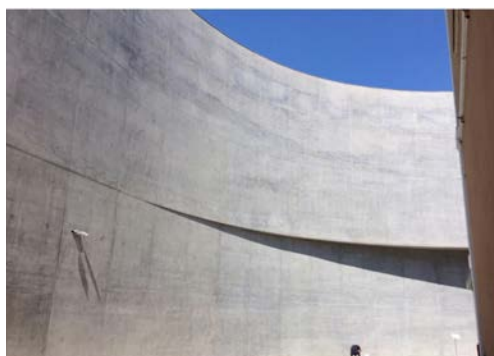
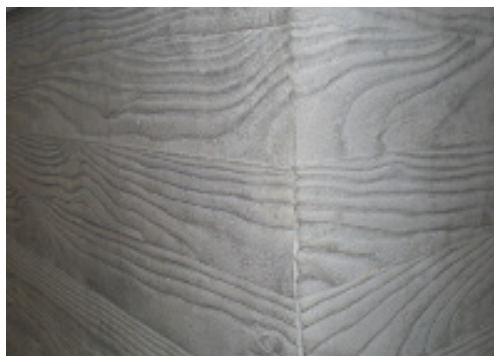
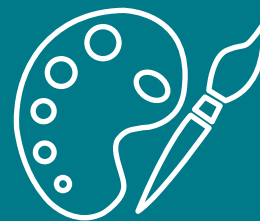
LE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO FACCIAVISTA



Con il termine “calcestruzzo facciavista” si intende una particolare miscela di conglomerato cementizio che una volta gettata all’interno dei casseri, dopo averne atteso l’indurimento, in modo da poter procedere allo scassero e al disarmo, e debitamente maturata rappresenterà la superficie finita di un elemento strutturale in c.a. sulla quale non dovranno essere effettuati altri trattamenti aggiuntivi. Per questo motivo, il calcestruzzo facciavista è definito anche calcestruzzo architettonico (*“architectural concrete”*) in quanto la sua tessitura e il suo colore, nonché il suo aspetto “materico”, sono parte integrante – insieme alle forme e alle geometrie degli elementi strutturali – del progetto architettonico dell’opera. Già nello scorso secolo in Italia abbiamo assistito alla realizzazione di importanti opere in calcestruzzo facciavista, tra cui occorre citare il Palazzetto dello Sport di Roma di Nervi, la Sede del Gruppo Mondadori a Segrate (MI) di Niemeyer, il Ponte sul fiume Basento di Musmeci o più recentemente il Museo MAXXI di Roma realizzato in calcestruzzo facciavista su progetto di Zaha Hadid. In tutte queste opere, il ruolo del calcestruzzo nella valorizzazione del progetto architettonico è stato fondamentale, il suo aspetto di pietra artificiale, di naturale bellezza ha esaltato le forme e le geometrie degli elementi costruttivi senza dover ricorrere ad alcuna ricopertura con intonaci e tinteggiature, né mascherando le superfici con materiali considerati magari di maggior pregio quali pietre, mattoni o piastrelle di mosaico. In definitiva, quindi, per un calcestruzzo destinato ad una struttura facciavista la proprietà fondamentale è rappresentata dalla qualità estetica (materia, tessitura, colore) che costituirà l’elemento di maggior valenza da associare ai requisiti di base (stabiliti sia in funzione delle esigenze strutturali che di durabilità) che comunque il calcestruzzo facciavista dovrà garantire. L’ottenimento di strutture in calcestruzzo facciavista di eccellente fattura è il risultato di un giusto equilibrio tra accurata progettazione, dell’opera, corretto mix-design del conglomerato cementizio, scelta accurata dei casseri e meticolosa posa in opera e stagionatura.



LE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO FACCIAVISTA



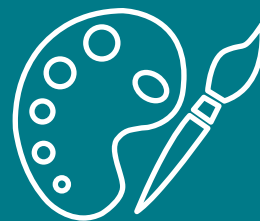
Innanzitutto il progettista dovrà aver ben chiaro il tipo di finitura che vorrà ottenere dando già indicazioni relativamente al tipo di cassero da utilizzare. Ad esempio, utilizzando casseri assorbenti in forma di tavole di legno accostate, si può ottenere una superficie leggermente ruvida che riproduce le venature dell'essenza utilizzata. Per ottenere superfici facciavista di colore e tessitura omogenea, tuttavia, sarà necessario usare tavole che siano state impiegate lo stesso numero di volte e caratterizzate dal medesimo assorbimento (le tavole debbono essere ottenute dal taglio e dalla lavorazione dello stesso legno). Nel caso in cui si volesse, invece, ottenere una superficie con tessitura molto liscia, dovranno essere utilizzati casseri non assorbenti (pannelli multistrato in legno trattati o casseri d'acciaio) ideali per grandi superfici anche perché gli stessi possono essere riutilizzati più volte. In questa evenienza, tuttavia, occorrerà fare attenzione alla comparsa di antiestetiche bolle superficiali la cui formazione potrà essere mitigata da una corretta scelta e applicazione del tipo di disarmante oltre che da idonee procedure di posa e compattazione finalizzate all'espulsione dell'aria dai getti. I casseri a pannelli metallici, inoltre, possono essere rivestiti con guaine di plastica o polistirolo lavorati ottenendo così diversi tipi di finitura superficiale. Casi particolari di finiture estetiche superficiali sono riservati alla produzione di pannelli prefabbricati. In tale settore, infatti, le tipologie di finitura sono svariate. Alcuni esempi attualmente in commercio sono i pannelli bocciardati, levigati, polimero impregnato, striati e in "ghiaio lavato".

Il progettista dovrà poi dare indicazioni sull'organizzazione del cantiere suddividendo gli elementi da realizzare in settori a prevalente sviluppo verticale in modo, ad esempio, da far coincidere la ripresa di getto in corrispondenza degli spigoli tra muri contigui oppure predisporre già un layout dei giunti.

Una volta progettata l'opera e fissati i requisiti base per il calcestruzzo quali classi di esposizione e resistenza a



LE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO FACCIAVISTA

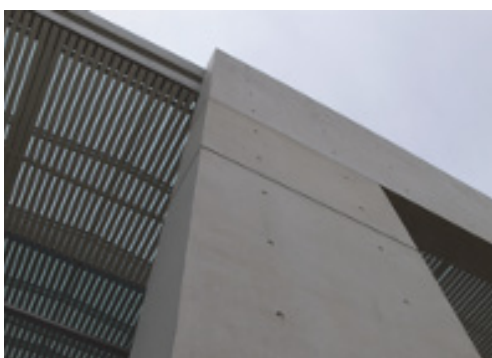
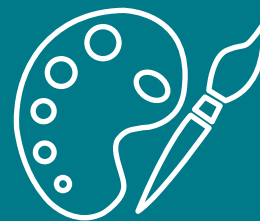


compressione sarà necessario aggiungere delle ulteriori prescrizioni, rivolte direttamente al produttore di calcestruzzo poiché la qualità estetica della superficie delle strutture oltre che essere funzione di fattori che attengono strettamente alla progettazione e all'esecuzione dell'opera, dipende anche dalla composizione e dalle prestazioni del calcestruzzo impiegato. Innanzitutto la scelta del cemento è basilare in termini di colore. Infatti, tutti i cementi conformi alla UNI-EN 197-1 sono idonei per la produzione del calcestruzzo facciavista, ma è bene sapere che il cemento Portland conduce a superfici con tonalità cromatiche sul grigio, mentre superfici più chiare si possono ottenere con il cemento Portland al calcare. Nel caso in cui si vogliano ottenere superfici di particolare bianchezza oppure il calcestruzzo debba essere additivato con pigmenti per ottenere colorazioni pastello si deve utilizzare il cemento Portland bianco. In ogni caso, per evitare variazioni cromatiche, è necessario che il conglomerato venga confezionato con lo stesso tipo/classe di cemento con un dosaggio minimo di almeno 350 kg/m^3 e avendo cura che la somma del cemento e dei granuli di materiale inerte di dimensioni inferiori a 0.125 mm risulti non minore di 400 kg/m^3 . Un altro ingrediente che influenza fortemente la colorazione finale del calcestruzzo è l'aggregato e, in particolare, la sabbia. Quindi, per evitare variazioni cromatiche è necessario che durante la fornitura del calcestruzzo la fonte di provenienza dei materiali lapidei non cambi. Inoltre, per evitare difettosità superficiali si deve imporre un limite nel contenuto di particelle leggere negli aggregati (0.25 e 0.05% rispettivamente per aggregati fini e grossi). Relativamente all'acqua d'impasto, sempre per non avere alterazioni cromatiche delle superfici, sono da escludere le acque di riciclo ricorrendo all'impiego di sole acque potabili. Ovviamente anche il rapporto a/c nominale previsto deve essere rispettato, ma soprattutto non deve subire oscillazioni di ± 0.03 in quanto variazioni maggiori potrebbero creare delle disomogeneità nella colorazione degli elementi. Infine, a livello compositivo per limitare la tendenza alla segregazione dell'impasto è opportuno per





LE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO FACCIAVISTA

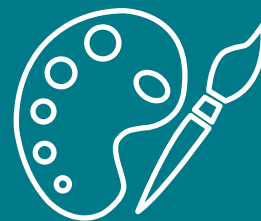


le strutture facciavista utilizzare uno slump di riferimento di 18 ± 2 cm (classe di consistenza S4). Per il calcestruzzo da mettere in opera mediante pompa si possono utilizzare anche conglomerati con classe di consistenza S5 purché a livello compositivo si adottino i necessari provvedimenti per ottenere impasti coesivi e resistenti alla segregazione.

Eseguita un'accurata progettazione, redatte le prescrizioni di capitolato e formulato il mix-design sarà possibile procedere alla messa in opera del calcestruzzo. Come già evidenziato precedentemente, fermo restando le indicazioni sulla tipologia di cassero da utilizzare, per ottenere un'ottima qualità estetica occorre evitare che la superficie del cassero sia inquinata da sporco, terriccio o ghiaccio che potrebbero produrre la comparsa di difetti più o meno evidenti in forma di macchie o di variazioni di tonalità del colore del calcestruzzo. Dovranno, inoltre, essere presi gli accorgimenti per garantire una perfetta tenuta dei casseri in modo che non ci sia perdita di pasta di cemento in corrispondenza delle giunzioni e di conseguenza difetti estetici superficiali in termini di macroporosità. Particolare cura dovrà essere usata nell'applicazione del disarmane, il cui quantitativo dovrà essere sufficiente a garantire un omogeneo e completo ricoprimento della superficie del cassero. Un eccesso di disarmane, infatti, verrebbe a essere trascinato sulla superficie del calcestruzzo con la conseguente comparsa di macchie. Pertanto, prima di procedere al getto, è sempre opportuno eseguire delle prove preliminari di compatibilità tra cassero e disarmane, soprattutto utilizzando casseri non assorbenti. Preparati i casseri, trattati con olio disarmane e posizionata l'armatura si procederà al getto del calcestruzzo cercando di non far cadere il conglomerato da altezze superiori a 40-50 cm e di eseguire la vibrazione su strati non spessi più di 50 cm evitando anomali intrappolamenti di aria con la conseguente comparsa di bolle superficiali all'atto dello scassero oltre che alla segregazione che porterebbe alla formazione di dannosi vespai e nidi



LE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO FACCIAVISTA



di ghiaia soprattutto alla base degli elementi strutturali. Dopo aver scassato gli elementi gettati sarà necessario eseguire le operazioni necessarie a garantire una corretta maturazione umida. Si evidenzia che la bagnatura delle superfici del calcestruzzo con acqua o l'utilizzo di pellicole in plastica applicate direttamente sulla superficie può promuovere la comparsa di antiestetiche macchie. Le modalità di protezione consigliate per le strutture facciavista sono quelle basate sull'impiego di un geotessile oppure quelle realizzate con foglio di plastica tenuto distante dalla superficie della struttura in calcestruzzo evitando comunque che si crei un effetto camino che possa favorire l'evaporazione di acqua dal conglomerato. Infine, la qualità estetica delle superfici di calcestruzzo dipende strettamente dalle condizioni di ventilazione e di umidità esistenti durante la realizzazione e la successiva maturazione del getto: climi asciutti e ventilati producono colorazioni diverse da quelle che si realizzano in periodi caldo-umidi. Pertanto, è buona norma, ai fini dell'ottenimento di colorazioni omogenee delle superfici, che i getti di un determinato elemento strutturale vengano completati nell'arco di una stessa giornata.





**I CALCESTRUZZI
LEGGERI**



COLABETON 



I CALCESTRUZZI LEGGERI



I **calcestruzzi leggeri** hanno massa volumica inferiore a 2000 kg/m³, minore di quella (solitamente 2250-2400 kg/m³) dei conglomerati cementizi ordinari, conseguenza della presenza all'interno del calcestruzzo di un sistema di vuoti ottenuto:

- sostituendo in parte o in toto gli aggregati ordinari (quarzitici, calcarei, granitici, etc.) con **aggregati leggeri (naturali, artificiali o di riciclo)** caratterizzati da una massa volumica media del granulo inferiore rispetto a quella degli aggregati normali. Questi conglomerati vengono identificati con il termine di **calcestruzzi con aggregati leggeri** o semplicemente **calcestruzzi leggeri**

- realizzando all'interno della matrice cementizia **un sistema di bolle di aria ricorrendo all'impiego di schiume, di additivi aeranti oppure di sostanze capaci di sviluppare gas in ambiente alcalino**. Generalmente, questi impasti vengono realizzati con soli aggregati fini (sabbie) e vengono identificati con il termine di **calcestruzzi cellulari** (in realtà più correttamente si dovrebbe parlare di malte cellulari) in quanto la loro microstruttura è contraddistinta da vuoti di dimensione micrometrica non comunicanti. Appartengono a questa categoria di calcestruzzi, i **conglomerati impiegati nel riempimento degli scavi effettuati per collocare cavi e tubazioni** (Trench Filling Concrete – vedi QT 2.4), **ma anche per la produzione di blocchi utilizzati per realizzare pareti di tamponamento** con elevate caratteristiche di isolamento termico e assorbimento acustico;

- utilizzando **soltanto aggregati grossi di massa volumica normale, monogranulari, e un ridotto volume di pasta di cemento** rispetto a quella di un calcestruzzo normale. Per l'assenza di sabbia (se presente il volume di sabbia è inferiore al 10% del volume totale degli aggregati), questi conglomerati, che vengono identificati con il termine di **calcestruzzi alveolari** (o con il termine inglese **no-fine concrete**), presentano una struttura fortemente porosa rappresentata dai vuoti tra i granuli degli aggregati grossi che non possono essere occlusi per la carenza sia di aggregati fini che di pasta di cemento.



I CALCESTRUZZI LEGGERI



Questi calcestruzzi grazie all'elevata permeabilità all'acqua (la velocità di infiltrazione di questi conglomerati varia tra 100 e 700 l/m²/min) stanno ricevendo un rinnovato interesse per la realizzazione di pavimentazioni **drenanti** e per questo motivo vengono anche identificati con il termine di **pervious concrete** (vedi QT 2.4).



I CALCESTRUZZI CON AGGREGATI LEGGERI NATURALI, ARTIFICIALI O DI RICICLO

I calcestruzzi leggeri possono essere confezionati con aggregati leggeri:

- **naturali**, come la **pomice**;
- **artificiali** ottenuti per cottura di materie prime disponibili in natura come l'**argilla espansa** oppure costituiti da prodotti di sintesi come il **polistirene espanso** (le perline di polistirolo);
- ottenuti dal **riciclo di materie plastiche come il PET**.

I calcestruzzi leggeri confezionati con pomice argilla espansa presentano, rispetto ai conglomerati tradizionali, una maggiore difficoltà nella messa in opera mediante pompa e possono evidenziare già durante il trasporto una maggiore perdita di lavorabilità rispetto ai calcestruzzi tradizionali, in quanto gli aggregati, non saturi di acqua subito dopo la fine del mescolamento degli ingredienti, tendono a sottrarla all'impasto determinando una inevitabile perdita di consistenza del calcestruzzo fresco. Questa sottrazione di acqua è accentuata dalla pressione esercitata durante il pompaggio e può determinare l'arresto del calcestruzzo nel tubo. Si può risolvere questo problema **saturando a rifiuto gli aggregati leggeri** con acqua durante lo stoccaggio prima di introdurli nel mescolatore. Oppure si può ricorrere, nel confezionamento del calcestruzzo leggero, ad un **incremento della viscosità della pasta, adottando una serie di provvedimenti combinati che consistono nell'aumentare il volume di pasta mediante**



I CALCESTRUZZI LEGGERI



l'impiego di ceneri volanti e filler calcarei e nell'utilizzare degli agenti modificatori di viscosità del tipo di quelli usati nella produzione del calcestruzzo autocompattante;

- i calcestruzzi leggeri con pomice, argilla espansa, ma anche con **perline di polistirolo** o aggregati derivanti dal **riciclo del PET**, possono presentare, rispetto ai conglomerati di massa volumica normale, una maggiore **tendenza alla segregazione** con galleggiamento degli aggregati verso le zone superiori del getto, mentre la pasta di cemento e le frazioni fini di aggregato (solitamente di massa volumica normale) tendono a depositarsi sul fondo. Anche questo potenziale inconveniente si può risolvere **aumentando la viscosità della pasta mediante l'utilizzo di additivi superfluidificanti** e impiegando un dosaggio relativamente elevato di frazioni di materiale finissimo oltre ad alleggerire la pasta di cemento (ed è il caso dei conglomerati confezionati con perline di polistirolo) mediante l'introduzione di un sistema di bolle in modo che la sua massa volumica risulti non troppo discosta da quella degli aggregati leggeri;

- i calcestruzzi leggeri presentano **minori prestazioni meccaniche** rispetto a quelle dei calcestruzzi normali. La resistenza meccanica a compressione (ma anche quella a trazione, l'aderenza acciaio/calcestruzzo, etc.) risulta, a pari rapporto a/c, **tanto minore quanto più è bassa la massa volumica del conglomerato**. In sostanza, la massima resistenza a compressione conseguibile in un calcestruzzo leggero dipende non tanto, come avviene nei calcestruzzi tradizionali, dai parametri compositivi della matrice cementizia (a/c e tipo/classe di cemento), quanto dalle caratteristiche dell'aggregato e dalla percentuale in volume con cui lo stesso è presente nel calcestruzzo. Per questo motivo, il confezionamento di calcestruzzi leggeri strutturali destinati alla realizzazione di pareti e solai, deve avvenire sia ricorrendo ad aggregati di struttura porosa non elevata (argilla espansa e pomice) che limitandone la frazione in volume nell'impasto.



I CALCESTRUZZI LEGGERI



Se si aumenta la porosità del granulo e/o il suo volume (in sostanza diminuendo la massa volumica) si eleva il rischio che, sottoposto a sforzi di compressione, il conglomerato collassi per rottura dell'aggregato e non della più resistente pasta di cemento. Pertanto, in questi casi non si ottiene alcun beneficio, in termini di aumento della resistenza a compressione, realizzando impasti di minore rapporto a/c, in quanto la rottura è comunque governata dall'elemento debole della catena rappresentato proprio dall'aggregato leggero;

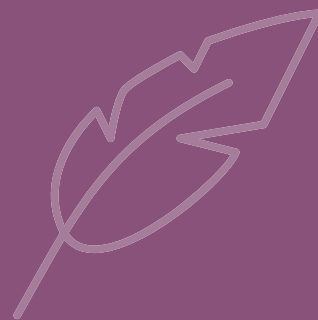
- i calcestruzzi leggeri presentano, per via del fatto che gli aggregati leggeri sono meno rigidi di quelli di massa volumica normale, un **minor modulo di elasticità** rispetto ai conglomerati normali. Questa diminuzione di rigidità, ovviamente, in un elemento orizzontale sottoposto a flessione e taglio determina a pari condizioni di carico e di luce una maggiore deflessione rispetto a quella che lo stesso elemento evidenzerebbe qualora fosse realizzato con un calcestruzzo tradizionale. Tuttavia, è da evidenziare che la minore rigidità costituisce un vantaggio, in quanto attenua gli stati coattivi generati da impedimenti alla contrazione da ritiro termo-igrometrico;

- rispetto ai calcestruzzi di massa volumica normale quelli leggeri sono contraddistinti da un **maggior ritiro idraulico e da una più elevata deformazione viscosa perché gli aggregati meno rigidi non riescono ad opporsi in maniera efficace alla contrazione di volume della pasta di cemento**;

- la riduzione della massa volumica rispetto ai conglomerati normali rende i calcestruzzi leggeri particolarmente indicati in quei contesti laddove **la riduzione dei pesi propri degli elementi strutturali è uno degli obiettivi predominanti da conseguire nella progettazione strutturale**. E' il caso, ad esempio, delle strutture in zona sismica dove la riduzione delle masse riduce le forze orizzontali in gioco, delle grandi coperture a volta, degli



I CALCESTRUZZI LEGGERI



interventi di consolidamento delle strutture voltate in mattoni o in pietra o degli interventi di irrigidimento dei solai in legno con la tecnica della cappa in calcestruzzo all'estradosso dove l'impiego di conglomerati leggeri consente di ridurre i carichi gravanti sulle strutture originarie;

- la **struttura cellulare** che contraddistingue i conglomerati leggeri conferisce al materiale **eccellenti proprietà di isolamento termico**. Per questo motivo, i conglomerati leggeri posseggono anche una **maggiore resistenza al fuoco** rispetto ai calcestruzzi normali. Grazie a queste proprietà i calcestruzzi leggeri vengono utilizzati per **pareti tagliafuoco e, in generale, quale materiale di riempimento nei solai** (sia come sottofondi che per la realizzazione di massetti), nelle coperture o nelle intercapedini delle pareti oppure per la realizzazione di intonaci coibenti per migliorare le proprietà di isolamento termico dei fabbricati.

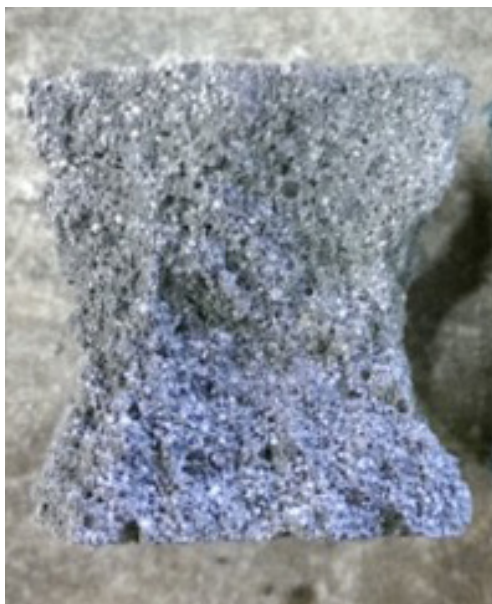
I **calcestruzzi leggeri per usi strutturali**, per la realizzazione di strutture in c.a. e c.a.p., vengono prodotti con **sabbie di massa volumica normale e aggregati grossi leggeri in forma di argille espanse e pomice** dotati di eccellenti proprietà meccaniche da poter confezionare calcestruzzi di resistenza caratteristica a compressione variabile tra 22 e 38 N/mm² e, quindi, utilizzabili anche per scopi strutturali, e con massa volumica non inferiore a 1700 kg/m³. Se si **aumenta la frazione di argille espanse o di pomice a scapito della percentuale di aggregati naturali, la massa volumica diminuisce significativamente (inferiore a 1600 kg/m³)**, però le resistenze a compressione non consentono di utilizzare il calcestruzzo per usi strutturali, ma soltanto per la **realizzazione di massetti e/o di riempimenti di sottofondi e intercapedini**. Allo stesso modo se, in luogo delle argille espanse e della pomice, si ricorre nel confezionamento del calcestruzzo **ad aggregati provenienti dal riciclo del PET**, si



I CALCESTRUZZI LEGGERI



potranno conseguire resistenze sufficienti per un massetto, ma non per realizzare elementi strutturali. Inoltre, se vengono impiegati **aggregati in forma di perline di polistirolo**, le masse volumiche dell'impasto e le prestazioni meccaniche a compressione subiscono delle drastiche penalizzazioni e si attestano, rispettivamente, su valori dell'ordine **300-1000 kg/m³** e di **1-2 N/mm²** rendendo possibile l'utilizzo di questi materiali solo per scopi di isolamento termico.



Come già anticipato la massa volumica del calcestruzzo con aggregati leggeri oscilla in un intervallo molto ampio in relazione alla massa volumica dell'aggregato utilizzato e al volume complessivo che esso occupa nel conglomerato. In linea di massima, nei **conglomerati per usi strutturali (con pomice e argille espanse)**, destinati alla realizzazione di travi, pilastri, impalcati, setti e pareti, la massa volumica del calcestruzzo varia nell'intervallo 1700-2000 kg/m³. Per contro, nei **conglomerati destinati alla realizzazione di massetti (con pomice, argilla espansa e aggregati provenienti dal riciclo del PET)**, invece, la massa volumica si attesta nell'intervallo **1200-1600 kg/m³**. I conglomerati confezionati con **polistirolo** posseggono **masse volumiche inferiori a 1000 kg/m³** con i valori più ricorrenti che si attestano tra 300 e 600 kg/m³.

Come è già stato menzionato, la resistenza a compressione di un conglomerato leggero è inversamente proporzionale alla sua massa volumica. Pertanto, i **conglomerati leggeri ad uso strutturale (con pomice o argilla espansa)** posseggono, per la maggiore massa volumica, derivante principalmente dall'utilizzo di sabbie ordinarie e da aggregati grossi leggeri di piccolo diametro massimo (di solito non superiore ai 16 mm), **resistenze caratteristiche a compressione nell'intervallo 22-38 N/mm²** (i valori più alti sono quelli conseguibili nei



I CALCESTRUZZI LEGGERI



conglomerati con massa volumica maggiore di 1850 kg/m^3). Nei calcestruzzi con aggregati leggeri (argilla espansa, pomice o aggregati provenienti dal riciclo del PET) per caldane e massetti la resistenza a compressione media si attesta tra 10 e 20 N/mm^2 con i valori più elevati conseguibili con gli impasti di massa volumica intorno a 1600 kg/m^3 . Infine, negli impasti con perline di polistirolo, la resistenza a compressione varia generalmente tra 0.7 e 1.2 N/mm^2 con i valori più bassi caratteristici degli impasti con masse volumiche di 300 kg/m^3 .

Relativamente alla resistenza a trazione, il calcestruzzo leggero possiede valori inferiori di questa caratteristica rispetto a quelli di un conglomerato ordinario di pari resistenza a compressione. In linea di massima, la diminuzione della resistenza a trazione, almeno per i calcestruzzi leggeri strutturali (con pomice o argilla espansa), è dell'ordine del 20-30% rispetto al valore del calcestruzzo ordinario di pari resistenza a compressione.

Anche l'aderenza acciaio/calcestruzzo è influenzata negativamente dalla minore rigidità e resistenza dell'aggregato leggero rispetto a quella degli elementi lapidei naturali di massa volumica normale. In linea di massima, si ammette per le tensioni di aderenza acciaio/calcestruzzo (f_{bd}) una riduzione del 20% rispetto a quella evidenziata da un conglomerato ordinario di pari resistenza a compressione. La riduzione delle tensioni di aderenza, ovviamente, ha come conseguenza che nelle strutture in c.a. realizzate con calcestruzzi leggeri strutturali con argilla espansa o pomice occorre aumentare le lunghezze di ancoraggio delle barre e la sovrapposizione delle stesse per poter compensare la minore f_{bd} .



I CALCESTRUZZI LEGGERI



Il modulo di elasticità del calcestruzzo può essere considerato come una media ponderale dei moduli elastici dell'aggregato e della pasta di cemento. Pertanto, essendo gli aggregati leggeri contraddistinti da un modulo di elasticità minore rispetto alle sabbie e agli aggregati grossi naturali, ne consegue che i **calcestruzzi con aggregati leggeri posseggono minore rigidità rispetto ai conglomerati di massa volumica normale**. Il modulo elastico del conglomerato, al pari della massa volumica e della resistenza a compressione, oscilla in un intervallo molto ampio in funzione della rigidità degli aggregati utilizzati e del volume che essi occupano nell'impasto. Ad esempio, il modulo di elasticità di **conglomerati leggeri strutturali confezionati con pomice strutturale o con argille espanse varia tra 18000 e 25000 N/mm²**.



Il ritiro idraulico del calcestruzzo leggero è influenzato dagli stessi parametri che governano quello del conglomerato ordinario e cioè dal rapporto a/c, i/c e dalla rigidità degli aggregati. Pertanto, **a pari rapporto a/c il conglomerato leggero evidenzierà rispetto ad un conglomerato normale un ritiro tanto maggiore quanto meno rigido è l'aggregato e maggiore la sua percentuale in volume nel calcestruzzo (quanto più bassa è la sua massa volumica)**. Alla luce delle rilevanti oscillazioni di massa volumica e di rigidità degli aggregati leggeri utilizzati non è possibile dare una indicazione precisa circa l'intervallo di variazione del ritiro idraulico di questi conglomerati. In linea di massima, **nei calcestruzzi leggeri ad uso strutturale (con argilla espansa o pomice) si ammette che il ritiro idraulico sia all'incirca del 50% superiore rispetto a quello di un conglomerato ordinario di pari resistenza a compressione**.

Per la ridotta rigidità degli aggregati leggeri anche la deformazione viscosa dei calcestruzzi leggeri è maggiore di



I CALCESTRUZZI LEGGERI



quella di un conglomerato ordinario di pari resistenza a compressione. In linea di massima, per i **calcestruzzi leggeri strutturali (con argilla espansa o pomice)** la **deformazione viscosa per unità di sforzo può risultare da 2 a 3 volte maggiore di quella del conglomerato ordinario di pari resistenza a compressione.**



E' importante sottolineare che i calcestruzzi leggeri presentano proprietà di isolamento termico e di resistenza al fuoco migliori rispetto ai calcestruzzi ordinari. I fattori che influiscono maggiormente sulla capacità isolante sono:

- **volume di aria (porosità):** infatti, all'aumentare del volume dei pori aumenta, purché gli stessi siano asciutti, anche la capacità isolante, in quanto l'aria é un ottimo isolante termico;
- **grandezza e distribuzione dei pori:** le proprietà di isolamento termico migliorano, se a parità di volume di pori, gli stessi sono di piccole dimensioni e distribuiti uniformemente nella massa del conglomerato;
- **tenore di umidità del materiale:** le proprietà di isolamento termico sono fortemente influenzate dal tenore di acqua presente nella matrice. Un materiale poroso asciutto possiede eccellenti proprietà di isolamento termico; per contro, lo stesso materiale che dovesse presentare tutte le sue porosità saturate di acqua perderebbe gran parte delle sue capacità isolanti. L'acqua, infatti, ha una conducibilità termica¹ maggiore di circa 25 volte quella dell'aria;

¹ La conducibilità (o conducibilità) termica di un materiale omogeneo rappresenta la quantità di calore che, in regime stazionario, cioè con temperature costanti, attraversa per conduzione in un'ora e su un metro quadrato di superficie, un metro di spessore del materiale, in presenza di una differenza di temperatura di un grado tra due superfici esterne parallele. L'unità di misura della conducibilità è $W/(m^{\circ}C)$.



I CALCESTRUZZI LEGGERI



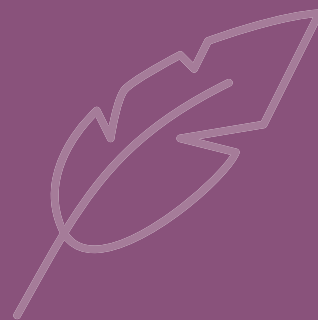
- **la caratteristica termoisolante dell'aggregato**, funzione della composizione chimica e della struttura dello stesso, che può provocare una variazione della conduttività termica, anche a parità di massa volumica.



In accordo con quanto sopra riportato, si intuisce che **un calcestruzzo leggero possiede valori di conducibilità termica minori rispetto a quelle di un conglomerato ordinario**. Pertanto, i **calcestruzzi leggeri hanno maggiori capacità di isolamento termico e, quindi, di limitare le dispersioni di calore**. In prima approssimazione, il parametro che governa la **conducibilità termica del materiale è la sua massa volumica: minore è la massa volumica e più bassa risulta la conducibilità termica del materiale**. A parità di massa volumica, interviene, anche la natura dell'aggregato leggero a definire le proprietà di isolamento termico del conglomerato. In Tabella 1 sono riportati alcuni valori della conducibilità di betoncini ($D_{\max}$ 8 mm) leggeri di differente massa volumica confezionati con argille espanse, pomice o aggregati di riciclo del PET e per confronto l'analoga prestazione per un betoncino ordinario contenente aggregati di natura calcarea. Come si può notare, la conducibilità termica dei betoncini leggeri diminuisce con la massa volumica. La Tabella 1 indica, inoltre, che il massetto realizzato con un betoncino ordinario per garantire stessa resistenza termica di un massetto in betoncino alleggerito ($m_v=1400 \text{ kg/m}^3$) di spessore 47 mm deve possedere uno spessore di 133 mm. La Tabella 2, invece, riporta la conducibilità termica di malte confezionate con aggregati di polistirolo, confrontata con quella di uno strato sciolto di perlite sfusa. Come si può notare, la conducibilità termica di queste malte è di gran lunga inferiore a quella dei betoncini con argilla espansa. Pertanto, questi conglomerati si prestano per essere convenientemente utilizzati quale materiale di riempimento delle intercapedini delle pareti o nei solai di copertura per migliorare la coibenza termica dei fabbricati.



I CALCESTRUZZI LEGGERI



E' interessante, altresì, notare come una malta di polistirolo di massa volumica pari a 300 kg/m^3 possieda una proprietà di isolamento termico di gran lunga maggiore di quello della perlite sciolta. Infatti, perché quest'ultima garantisca la stessa resistenza termica di uno spessore di malta di polistirolo di 50 mm è necessario che lo spessore dello strato di materiale sciolto risulti di 340 mm.

Tabella 1 - Massa volumica e conducibilità termica di betoncini leggeri e normali per caldane e spessore del massetto per ottenere la stessa resistenza termica. Si riportano anche i valori indicativi della resistenza a compressione

Aggregato	Massa volumica [kg/m ³]	Resistenza a compressione [N/mm ²]	Conducibilità termica [W/m°C]	Spessore per ottenere resistenza termica [mm]
Ghiaia e sabbie calcaree	2200	30	1.20	133
Argilla espansa o pomice o PET	1400	15	0.42	47
Argilla espansa o pomice o PET	1600	20	0.54	60
Argilla espansa o pomice o PET	1700	30	0.65	70

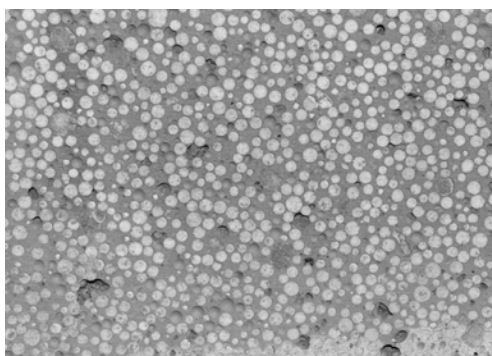
Tabella 2 - Massa volumica e conducibilità termica di malte leggere confezionate con diversi tipi di aggregato per il riempimento di intercapedini e per strati di isolamento di coperture e solai. Per confronto sono riportati i dati di un riempimento realizzato con granuli di perlite sciolta. Si riportano anche i valori indicativi della resistenza a compressione

Aggregato	Massa volumica [kg/m ³]	Resistenza a compressione [N/mm ²]	Conducibilità termica [W/m°C]	Spessore per ottenere resistenza termica [mm]
Polistirolo	300	1.0	0.080	50
Polistirolo	600	1.2	0.130	80
Perlite sfusa	120	-	0.549	340

Inoltre, i calcestruzzi leggeri presentano una migliore capacità, rispetto a quelli ordinari, di abbattere i rumori grazie alla struttura cellulare che li contraddistingue. Sono in particolare i conglomerati prodotti con aggregati leggeri a cellule chiuse a possedere le migliori capacità fonoassorbenti.



I CALCESTRUZZI LEGGERI

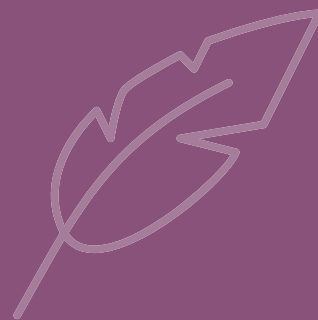


Per questo motivo i calcestruzzi prodotti con perline di polistirolo vengono impiegati per la realizzazione di strati fono isolanti per gli elementi di partizione orizzontale. L'isolamento acustico dei solai può ulteriormente essere incrementato se dopo la realizzazione del riempimento con malte contenenti polistirolo si realizzano le caldane (massetti) ricorrendo all'utilizzo di aggregati leggeri a base di argille espanse, pomice o aggregati di riciclo del PET.

Grazie alla minore conducibilità termica, i calcestruzzi leggeri prodotti con aggregati non organici sono molto resistenti al fuoco. La maggiore resistenza alle alte temperature discende anche dalla maggiore stabilità dell'aggregato leggero che durante la produzione è stato assoggettato ad elevate temperature di cottura. Anche questa proprietà è influenzata dalla massa volumica del calcestruzzo: la resistenza al fuoco cresce al diminuire della massa volumica del conglomerato. In linea di massima nei calcestruzzi prodotti con argilla espansa o pomice il tempo necessario a raggiungere una temperatura prefissata sulla parete opposta a quella di un elemento di un certo spessore (ad esempio 100 mm), per effetto dell'applicazione di una fonte di calore sulla parete opposta, raddoppia se in luogo di un conglomerato ordinario viene impiegato calcestruzzo leggero. La capacità del calcestruzzo leggero di resistere alle azioni aggressive promosse dall'ambiente dipende dagli stessi parametri che influenzano la durabilità dei conglomerati tradizionali. Pertanto, per realizzare strutture in calcestruzzo leggero durevoli valgono gli stessi accorgimenti da adottare per quelle in calcestruzzo ordinario (adozione di rapporti a/c relativamente bassi, sufficiente spessore del copriferro e maturazione umida dei getti per almeno 7 giorni). Occorre segnalare che i calcestruzzi leggeri, rispetto a quelli ordinari, sono contraddistinti da una minore sensibilità agli effetti derivanti dai cicli di gelo-disgelo.



I CALCESTRUZZI LEGGERI



Questo comportamento è da ascrivere alla presenza di numerosi vuoti in cui l'acqua in pressione può scaricarsi prima di attingere valori superiori alla resistenza del materiale. Quindi, in linea di principio sarebbe possibile confezionare calcestruzzi leggeri resistenti ai cicli di gelo-disgelo privi di additivi aeranti. Tuttavia, è opportuno segnalare che la maggiore porosità dei calcestruzzi leggeri potrebbe rivelarsi un fattore negativo nei confronti del gelo-disgelo per via del maggior grado di saturazione del conglomerato. Pertanto, si consiglia di sottoporre preliminarmente il calcestruzzo a prove di gelività qualora si volesse produrli senza ricorrere all'impiego di aeranti.





**IL CALCESTRUZZO AD ALTE
PRESTAZIONI MECCANICHE
(HIGH STRENGTH CONCRETE: HSC)**



COLABETON 



IL CALCESTRUZZO AD ALTE PRESTAZIONI MECCANICHE (HIGH STRENGTH CONCRETE: HSC)



I conglomerati cementizi maggiormente impiegati per la realizzazione di strutture, mediante getti effettuati direttamente in cantiere sia in Italia che nell'area EU, sono contraddistinti da resistenze caratteristiche a compressione comprese nell'intervallo 30-45 MPa. Questi calcestruzzi definiti **ordinari o a normale resistenza**, tuttavia, non possono rispondere a qualsiasi esigenza costruttiva. Vi sono numerose situazioni, infatti, per motivi che possono essere legati alla durabilità e/o ad esigenze di tipo strutturale, in cui è necessario far ricorso a **conglomerati cementizi aventi classi di resistenza a compressione cubica superiore (High Strength Concrete: HSC) a quella dei conglomerati a normale resistenza**. E' il caso, ad esempio, delle **piattaforme off-shore** per l'estrazione del gas o del petrolio che operano in ambiente marino e, quindi, fortemente esposte al rischio di corrosione promosso dal cloruro, all'aggressione del solfato e del magnesio, all'azione ciclica esercitata dalle onde, all'abrasione dei solidi sospesi in acqua di mare, per le quali è necessario ricorrere per la loro realizzazione ad un calcestruzzo di alte prestazioni meccaniche (di bassa porosità). Allo stesso modo, **nei basamenti degli impianti eolici** le vibrazioni indotte dal continuo movimento delle pale producono fenomeni di fatica ciclica che possono portare al collasso della struttura, se realizzata con conglomerati cementizi di normale resistenza, per l'elevato rischio di superare il limite di fatica del calcestruzzo durante l'esercizio. Altri campi di applicazione dei calcestruzzi ad alta resistenza a compressione sono rappresentati dai **ponti di grande luce** e, in generale, da tutte le **infrastrutture di importanza strategica**, dagli **edifici multipiano** ed, in particolare, dai **grattacieli**, e da quegli **elementi strutturali che vengono sottoposti in cantiere a post-tensione**.



IL CALCESTRUZZO AD ALTE PRESTAZIONI MECCANICHE (HIGH STRENGTH CONCRETE: HSC)



I calcestruzzi ad alta resistenza a compressione, presentano rispetto ai tradizionali conglomerati a normale resistenza:

– **una porosità capillare minore sia in termini di volume complessivo che di dimensione media dei pori.** Inoltre, il raggiungimento di elevati valori di resistenza meccanica a compressione è attribuibile ad una ridotta porosità e all'assenza di microfessure all'interfaccia pasta-aggregato (la zona di transizione) cui si associa l'impiego di aggregati di caratteristiche geo-meccaniche tali da garantire che il collasso per sforzi di compressione si manifesti comunque nella matrice legante. Il conseguimento di elevati valori della resistenza meccanica a compressione nei calcestruzzi HSC viene ottenuto ricorrendo:

- a rapporti acqua-cemento equivalente - $(a/c)_{eq}$ – **inferiori a 0,45;**

- a **cementi ricchi nella componente alitica (C_3S) e caratterizzati da una elevata finezza.** La maggiore superficie specifica di questi cementi – derivante proprio dall' elevata finezza di macinazione – consente di idratare una maggiore frazione di cemento, contribuendo ad una generale diminuzione del volume complessivo dei pori capillari;

- al fine di non eccedere nel contenuto di legante – onde non penalizzare il ritiro idraulico complessivo del conglomerato cementizio – **ad additivi riduttori di acqua ad alta efficacia dosati in percentuali superiori a quelli dei tradizionali calcestruzzi a normale resistenza.** Grazie alla dispersione dei granuli di cemento derivante dall'aggiunta di questi superfluidificanti, si contribuisce ulteriormente ad aumentare la frazione di cemento idratata riducendo ulteriormente la porosità capillare. La riduzione nel volume complessivo dell'acqua di impasto – unitamente all'utilizzo di cementi di elevata finezza e di particelle sub-microniche



IL CALCESTRUZZO AD ALTE PRESTAZIONI MECCANICHE (HIGH STRENGTH CONCRETE: HSC)



di cui si accennerà al punto successivo – consente, inoltre, di **ridurre i fenomeni di bleeding interno contribuendo ad un generale miglioramento della zona di transizione** all'interfaccia pasta-aggregato che nei calcestruzzi a normale resistenza determina i modesti valori della resistenza a compressione del conglomerato cementizio;

- ad **additivi “nucleatori di C-S-H”** che consentono – unitamente agli additivi super-riduttori di acqua – di raggiungere le prestazioni meccaniche desiderate con un minor dosaggio di cemento riducendo il rischio di fessurazione legato a fenomeni di ritiro termo-igrometrico;

- ad una **densificazione della matrice legante mediante particelle sub-microniche ad altissima attività pozzolanica**. Questi conglomerati, infatti, vengono anche identificati con il termine **Densified Small Particles (DSP)**, ad evidenziare che le particelle sub-microniche – aventi dimensioni di uno-due ordini di grandezza rispetto al diametro medio delle particelle di cemento – possano svolgere **il ruolo di “filler” dei vuoti tra i granuli di cemento**. A questa azione “riempitiva”, le particelle sub-microniche di fumo di silice associano anche quelle derivante dalla altissima attività pozzolanica che le contraddistingue e che si rende responsabile di una riduzione del volume complessivo dei pori oltre che della dimensione media degli stessi (**refinement della porosità capillare**). Queste particelle, infatti, sono costituite, per la quasi totalità, da silice amorfa altamente reattiva anche per la dimensione sub-micronica dei granuli. **L'elevata finezza del fumo di silice contribuisce ad eliminare quasi totalmente il fenomeno del bleeding interno conferendo alla zona di transizione all'interfaccia pasta-aggregato elevate capacità di resistenza a compressione**. Al generale miglioramento della zona di transizione contribuisce anche l'altissima attività pozzolanica





IL CALCESTRUZZO AD ALTE PRESTAZIONI MECCANICHE (HIGH STRENGTH CONCRETE: HSC)



del fumo di silice che **riduce la quantità di cristalli di idrossido di calcio** responsabili della scadente qualità meccanica della zona di transizione nei calcestruzzi a normale resistenza;
- ad **aggregati selezionati** provenienti da rocce di resistenza a compressione maggiore delle matrici leganti a bassa porosità tipiche dei calcestruzzi ad alta resistenza.



I calcestruzzi ad alta resistenza a compressione presentano, rispetto ai conglomerati a normale resistenza, un differente comportamento sforzo-deformazione che può essere sintetizzato in:

- **una linearità del tratto ascendente che si estende fino a valori dello sforzo applicato pari all'80% circa della resistenza a compressione del materiale.** Nei calcestruzzi a normale resistenza questo tratto lineare si protrae all'incirca per valori dello sforzo pari al 40% della tensione di rottura a compressione. Questo **differente legame costitutivo del materiale è in massima parte ascrivibile negli HSC al generale miglioramento della qualità della zona di transizione** come diretta conseguenza della quasi totale eliminazione del bleeding interno. Inoltre, la linearità del tratto ascendente, per valori prossimi alla resistenza a compressione del materiale, negli HSC deriva dalla **minore differenza in termini di modulo di elasticità tra la matrice legante e l'aggregato che consente di evitare le concentrazioni di sforzo nella zona di transizione** tipiche dei calcestruzzi a normale resistenza a compressione;
- **un tratto discendente della curva sforzo-deformazione più ripido e una minore deformazione ultima rispetto ai calcestruzzi ordinari che evidenziano per i conglomerati ad alta resistenza meccanica una maggiore fragilità.**



IL CALCESTRUZZO AD ALTE PRESTAZIONI MECCANICHE (HIGH STRENGTH CONCRETE: HSC)



Questo comportamento fragile è attribuibile proprio alla **più omogenea distribuzione degli sforzi di compressione tra matrice legante e aggregato** che determina una minore possibilità di microfessurazione della zona di transizione. Il risultato è rappresentato dal fatto che il reticolo fessurativo ha scarse ramificazioni nella matrice cementizia e, pertanto, **minore è la redistribuzione degli sforzi tra pasta e aggregato con conseguente collasso fragile del materiale**. La maggiore fragilità dei calcestruzzi ad alta resistenza a compressione impone nella progettazione delle strutture il ricorso ad un **coefficiente parziale di sicurezza del materiale maggiore rispetto a quello adottato nel design degli elementi costruttivi realizzati con calcestruzzo a normale resistenza**. Minore, inoltre, risulta anche la **deformazione ultima a rottura nel legame costitutivo alla base della progettazione degli elementi in c.a.**



I calcestruzzi ad alta resistenza a compressione sono caratterizzati da un **modulo di Poisson minore rispetto a quello dei calcestruzzi a normale resistenza**. In linea di massima il modulo di Poisson decresce all'aumentare della resistenza a compressione e si approssima a 0.15 (0.20-0.24 è il modulo di Poisson tipico dei calcestruzzi ordinari e di quelli a bassa resistenza a compressione, rispettivamente). **La minore deformazione laterale dei calcestruzzi ad alta resistenza rende meno efficaci tutti i provvedimenti finalizzati ad incrementare la capacità portante di pilastri e colonne attraverso azioni di confinamento** (armature e/o tessuti in materiale composito o in acciaio). Pertanto, di questo si deve tener conto nella progettazione degli elementi strutturali. Si tenga anche presente che **sia la resistenza a trazione che il modulo di elasticità crescono meno rispetto alla resistenza a compressione**. Ne consegue che **le correlazioni resistenza a trazione-resistenza a compressione e quelle modulo**



IL CALCESTRUZZO AD ALTE PRESTAZIONI MECCANICHE (HIGH STRENGTH CONCRETE: HSC)

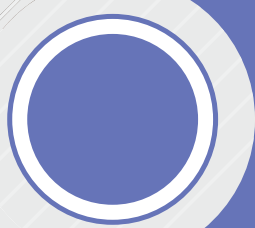


elastico-resistenza a compressione valide per i calcestruzzi a normale resistenza non possono essere estese ai conglomerati cementizi ad alta resistenza a compressione, ma occorre avvalersi di correlazioni specifiche basate su ricerche sperimentali condotte su questi conglomerati. Correlazioni disponibili si trovano sia nel D.M. 18.01.2018 che in documenti internazionali quali il CEB FIP Model Code 90.



Si tenga, infine, presente che nei calcestruzzi ad alta resistenza a compressione non è trascurabile **il ritiro autogeno** determinato dalle tensioni indotte dalla sottrazione di acqua esercitata dai pori di minore dimensione rispetto a quelli di diametro maggiore. Gli stati tensionali che insorgono – indipendenti dalle condizioni ambientali – possono determinare la **comparsa di quadri fessurativi anche se gli elementi in calcestruzzo vengono protetti dall'evaporazione di acqua** (ad esempio, mantenendoli nel cassero o proteggendoli con teli in plastica). Per evitare la comparsa delle soluzioni di continuità è indispensabile che le superfici del getto vengano irrorate con acqua in modo da saturare i pori di maggiori dimensioni soggetti alla disidratazione. Pertanto, **nelle strutture realizzate con calcestruzzi ad alta resistenza**, al fine di prevenire le fessurazioni determinate dal ritiro autogeno, occorre:

- **dopo l'inizio della presa ricoprire le superfici non cascate con geotessuto mantenuto costantemente bagnato per 7 giorni;**
- **rimuovere i casseri dopo 24 ore e ricoprire le superfici con geotessuto mantenuto costantemente bagnato per almeno 7 giorni.**



**PROGETTERE IL CALCESTRUZZO
PER GETTI IN CLIMA
INVERNALI ED ESTIVI**



COLABETON 

PROGETTARE IL CALCESTRUZZO PER GETTI IN CLIMA INVERNALI ED ESTIVI

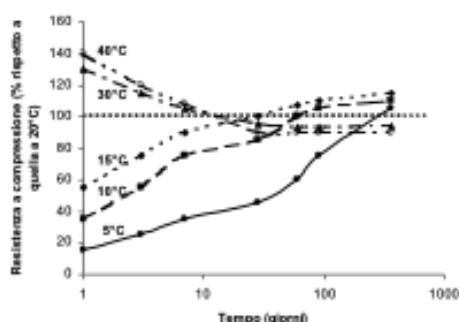


Figura 1 - Resistenza meccanica a compressione in funzione del tempo di calcestruzzi maturati a temperature comprese tra 5°C e 40°C

E' ben noto che tutte le proprietà del calcestruzzo vengono determinate convenzionalmente alla canonica temperatura di 20°C. A questa temperatura, ad esempio, sono maturati i provini destinati alla valutazione della resistenza caratteristica a compressione. In realtà, però, il confezionamento, il trasporto, la posa in opera e la maturazione del calcestruzzo avvengono sovente a temperature diverse da quella convenzionale di 20°C. Nei nostri climi e nelle diverse regioni del Paese, infatti, durante il periodo tardo-primaverile/estivo le temperature si attestano ben al di sopra dei 20°C, mentre in quello invernale le stesse sono spesso vicine a 0°C. Quando le temperature si discostano dai canonici 20°C tutte le proprietà del calcestruzzo subiscono delle inevitabili variazioni se confrontate con le stesse proprietà valutate alla temperatura canonica (di laboratorio) di 20°C. Le motivazioni alla base di questa affermazione sono sostanzialmente riconducibili al fatto che le reazioni di idratazione del cemento con l'acqua – responsabili sia delle proprietà del calcestruzzo allo stato fresco che indurito – vengono fortemente influenzate dalla temperatura del calcestruzzo. In particolare, le basse temperature rallentano la cinetica dell'idratazione del cemento; per contro, le alte temperature accelerano questo processo. Potremmo riassumere questa influenza della temperatura e le conseguenti implicazioni sulle lavorazioni di cantiere affermando che:

- le elevate temperature influenzano in maniera pesante tutte le fasi della lavorazione del conglomerato (trasporto, posa in opera, compattazione e maturazione dei getti) che risultano, pertanto, più complicate per il minor tempo a disposizione;
- le basse temperature, per contro, pongono una serie di problematiche, dopo aver completato la posa in opera e la



PROGETTERE IL CALCESTRUZZO PER GETTI IN CLIMA INVERNALI ED ESTIVI



vibrazione, e che riguardano le fasi di maturazione e di successiva presa e indurimento dei getti in quanto esposti a possibili gelate nella notte immediatamente successiva a quella di getto.

LE LAVORAZIONI IN CLIMA CALDO

La realizzazione delle strutture nel periodo estivo richiede il ricorso di calcestruzzi specificatamente progettati per poter essere utilizzati quando le temperature ambientali superano abbondantemente i 20°C. I conglomerati cementizi, per le lavorazioni in clima caldo, differiscono da quelli, di pari prestazione meccanica, che debbono essere posti in opera quando il clima è più mite o allorquando le temperature ambientali si attestano in prossimità dello zero termico. Un calcestruzzo da utilizzare durante il periodo estivo, in particolare, sarà progettato e confezionato con ingredienti diversi rispetto a quelli utilizzati nel periodo invernale. Diversi saranno i tipi/classe di cemento e il tipo/dosaggio di additivi nelle diverse stagioni.



A seguito dell'elevata temperatura e della conseguente accelerazione dei processi di idratazione del cemento con l'acqua, nelle stagioni calde, il conglomerato cementizio evidenzia una rapida perdita di lavorabilità durante le fasi di trasporto e di scarico del calcestruzzo in cantiere. Questa perdita di lavorabilità sarà tanto maggiore quanto più elevata è la temperatura ambientale e più lungo è il tempo di trasporto. Se non si adottassero opportuni provvedimenti in termini di mix-design, questa perdita di lavorabilità potrebbe rendere molto difficoltosa la posa e la compattazione dei getti soprattutto per quegli elementi strutturali che presentano sezioni di geometria complicata e/o fortemente congestionati di armature. Le conseguenze pratiche (negative) di questa ridotta fluidità del calcestruzzo

PROGETTARE IL CALCESTRUZZO PER GETTI IN CLIMA INVERNALI ED ESTIVI

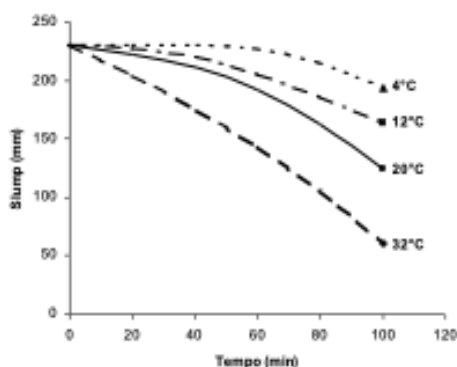


Figura 2 - Lavorabilità del calcestruzzo (CEM II/B-LL 32,5, $a/c=0.60$) in funzione del tempo e della temperatura del conglomerato

sono rappresentate da elementi che presentano zone con mancanze di calcestruzzo (lacune) o non efficacemente vibrato, con inevitabili ripercussioni negative sulla qualità del calcestruzzo in opera sia in termini di ridotte prestazioni meccaniche che di minore durabilità dei manufatti. Una ridotta lavorabilità al getto, inoltre, potrebbe indurre le maestranze addette alle operazioni di betonaggio a richiedere dannose riaggiunte di acqua per ripristinare la fluidità necessaria ad effettuare agevolmente le operazioni di posa o di compattazione, con conseguente incremento del rapporto acqua/cemento che – pur garantendo un completo riempimento dei casseri ed una efficace espulsione dell'aria per effetto della vibrazione – finirebbe per pregiudicare irrimediabilmente le prestazioni meccaniche del calcestruzzo in opera. Si tenga conto che, relativamente a questo aspetto, un'aggiunta di acqua di appena 10 kg/m^3 determinerebbe un abbattimento della prestazione meccanica di circa il 6-7,5%.

Unitamente alla precoce perdita di lavorabilità, le alte temperature producono un accorciamento dei tempi di inizio e fine presa del conglomerato cementizio. E' opportuno ricordare come il tempo di inizio presa rappresenta il limite ultimo per completare la vibrazione dei getti, oltre il quale il calcestruzzo non può più essere compattato. Si intuisce, quindi, come in clima caldo si riduca il tempo a disposizione per effettuare queste operazioni. Pertanto, il calcestruzzo dovrà essere progettato tenendo conto dell'effettivo tempo che trascorre tra il mescolamento e la fine delle operazioni di betonaggio (posa e vibrazione). Si tenga anche conto, che nelle strutture che richiedono per la loro realizzazione volumi di calcestruzzo che debbono essere forniti con più autobetoniere, l'accorciamento dei tempi di presa,

PROGETTARE IL CALCESTRUZZO PER GETTI IN CLIMA INVERNALI ED ESTIVI

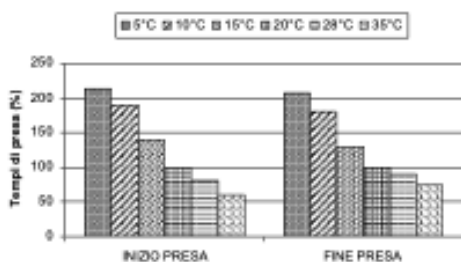


Figura 3 - Tempi di inizio e fine presa del calcestruzzo (CEM II/B-LL 32.5, a/c=0.60) in funzione della temperatura

determinato dall'alta temperatura, potrebbe determinare la formazione di pericolosi giunti freddi se tra uno scarico e l'altro i tempi dovessero essere superiori al tempo di fine presa del conglomerato.

Per ovviare a questi inconvenienti e far sì che le operazioni di posa in opera e compattazione avvengano senza pregiudizio alcuno per la qualità degli elementi strutturali è necessario progettare e confezionare l'impasto per:

- ridurre al minimo la perdita di lavorabilità durante il trasporto e lo scarico dall'autobetoniera;
- allungare i tempi di presa al fine di permettere un agevole posa in opera e compattazione evitando la formazione di indesiderati giunti freddi che pregiudicherebbero la monoliticità degli elementi strutturali.

Per conseguire questi obiettivi occorre adottare nel confezionamento dell'impasto:

- cementi con ridotto tenore di clinker, preferibilmente d'altoforno, pozzolanici o di miscela di tipo II/B di classe 32.5N o R;
- sostituire - compatibilmente con i requisiti richiesti per il rapporto $(a/c)_{eq}$ per esigenze di durabilità - parte del cemento con materie prime di natura pozzolanica ed, in particolare, con cenere volante;
- utilizzare additivi riduttori di acqua ad alta efficacia con caratteristiche collaterali ritardanti conformi ai prospetti 11.1 e 11.2 della norma UNI EN 934-2;
- per tempi di trasporto e scarico molto lunghi e/o per condizioni climatiche particolarmente avverse (temperature superiori a 30-35°C) far ricorso ad additivi ritardanti conformi al prospetto 8 della norma UNI EN 934-2.



PROGETTERE IL CALCESTRUZZO PER GETTI IN CLIMA INVERNALI ED ESTIVI



Adottando i provvedimenti sopra riportati è possibile confezionare calcestruzzi utilizzabili in qualsiasi contesto climatico anche quando i tempi che intercorrono tra confezionamento dell'impasto e fine scarico risultano superiori a 90-120 minuti. Resta inteso che dopo la posa e la vibrazione dei getti sarà necessario provvedere ad un'accurata maturazione delle superfici del calcestruzzo non caserate per evitare la precoce evaporazione di acqua dal conglomerato che finirebbe per favorire la formazione di antiestetici e dannosi quadri fessurativi. Quest'ultima operazione, tuttavia, non differisce nelle modalità rispetto a quelle da adottare allorché il getto avvenga in clima mite o freddo.

LE LAVORAZIONI IN CLIMA FREDDO

Le problematiche relative alla realizzazione delle strutture in clima freddo sono completamente diverse da quelle sopra discusse per le lavorazioni in clima caldo. Infatti, quando la temperatura ambientale si attesta al di sotto di 10°C, tutte le reazioni di idratazione del cemento vengono fortemente rallentate in misura tanto maggiore quanto più rigido è il clima. Come conseguenza di questo rallentamento della cinetica di reazione del cemento con l'acqua, si registra una trascurabile perdita di lavorabilità del calcestruzzo durante il trasporto e lo scarico del conglomerato cementizio in cantiere. Inoltre, i tempi di inizio e fine presa subiscono un notevole allungamento se confrontati con quelli tipici dei climi miti o ancor più delle stagioni calde. Conseguentemente, possiamo concludere che il clima freddo agevola (favorisce), rendendole più semplici tutte le operazioni di scarico, di getto e stesa del conglomerato e di compattazione dei getti. La trascurabile perdita di lavorabilità durante le fasi di trasporto





PROGETTARE IL CALCESTRUZZO PER GETTI IN CLIMA INVERNALI ED ESTIVI



e scarico non espone il getto alle pericolose riaggiate di acqua. Inoltre, l'allungamento dei tempi di inizio e fine presa consente agli operatori di cantiere di avere a disposizione un maggior lasso di tempo per completare la vibrazione. Per gli stessi motivi, è improbabile che durante il periodo invernale possano formarsi giunti freddi tra due getti contigui anche se tra lo scarico di due autobotti dovesse intercorrere un tempo relativamente lungo (superiore alle due ore). In definitiva, nella stagione invernale se il progettista ha definito correttamente la classe di consistenza dell'impasto (in relazione all'elemento da realizzare, alla sua geometria e alla percentuale di armatura presente) è improbabile che al disarmo possano presentarsi zone del cassero non perfettamente riempite e/o non accuratamente vibrato.

In clima freddo i problemi insorgono dopo che le operazioni di posa e compattazione sono state completate. Innanzitutto occorre evidenziare che, a causa della bassa temperatura, la durata della maturazione umida delle superfici non caserate deve essere molto più lunga rispetto ad un'analoga struttura che dovesse essere realizzata nel periodo caldo. Infatti, essendo i processi di idratazione e, quindi, l'indurimento del calcestruzzo più lenti, è necessario proteggere le superfici per un tempo maggiore. A parità di numero di giorni trascorsi dal getto un calcestruzzo maturato in clima freddo, infatti, ha consumato un minor quantitativo di acqua nell'idratazione del cemento rispetto allo stesso getto effettuato nella stagione calda. Conseguentemente, l'impasto contiene una maggiore quantità di acqua libera che può evaporare dalle superfici non protette. Sarà, quindi, necessario proteggere più a lungo per far sì che il getto contenga ridotte quantità di acqua esposte al fenomeno dell'evaporazione. Alle basse temperature, inoltre, ridurre la cinetica di



PROGETTARE IL CALCESTRUZZO PER GETTI IN CLIMA INVERNALI ED ESTIVI



idratazione significa anche che, a parità di tempo trascorso dal getto, la resistenza a compressione è più bassa (la porosità è maggiore). Tenendo presente che la durata della maturazione umida deve cessare quando è stato raggiunto un livello minimo per la resistenza a compressione del materiale, in clima freddo questa soglia si raggiunge dopo un tempo più lungo e questo spiega perché la maturazione dei getti in clima freddo deve essere protratta per un maggior tempo rispetto ad un analogo getto effettuato nel periodo estivo.

Fermo restando quanto espresso in merito alla maturazione, i problemi maggiori per un getto effettuato in clima rigido sono rappresentati dal fatto che se la temperatura ambientale nelle ore notturne immediatamente successive scende al di sotto di 0°C e il calcestruzzo non ha raggiunto una sufficiente resistenza a compressione, il conglomerato cementizio potrebbe essere disgregato per effetto delle pressioni che insorgono a causa del congelamento dell'acqua liquida presente nell'impasto. Ovviamente, sono maggiormente esposte a questo rischio le strutture di elevato rapporto superficie/volume (le strutture, come le solette, di modesto spessore), mentre quelle massive possono beneficiare del naturale riscaldamento dovuto allo sviluppo di calore derivante dal sia pur lento processo di idratazione del cemento.

Una regola pratica è quella di conseguire – al fine di evitare la distruzione della matrice di cemento – una resistenza a compressione di circa 3.5 MPa nel momento in cui la temperatura ambientale scende al di sotto di 0°C. Questo obiettivo apparentemente facile è in realtà molto difficile da conseguire e il suo raggiungimento è strettamente dipendente da una scelta stringente delle materie prime e da un oculato procedimento di mix design. I provvedimenti da adottare nel confezionamento del calcestruzzo per getti in climi freddi possono essere così riassunti:



PROGETTARE IL CALCESTRUZZO PER GETTI IN CLIMA INVERNALI ED ESTIVI

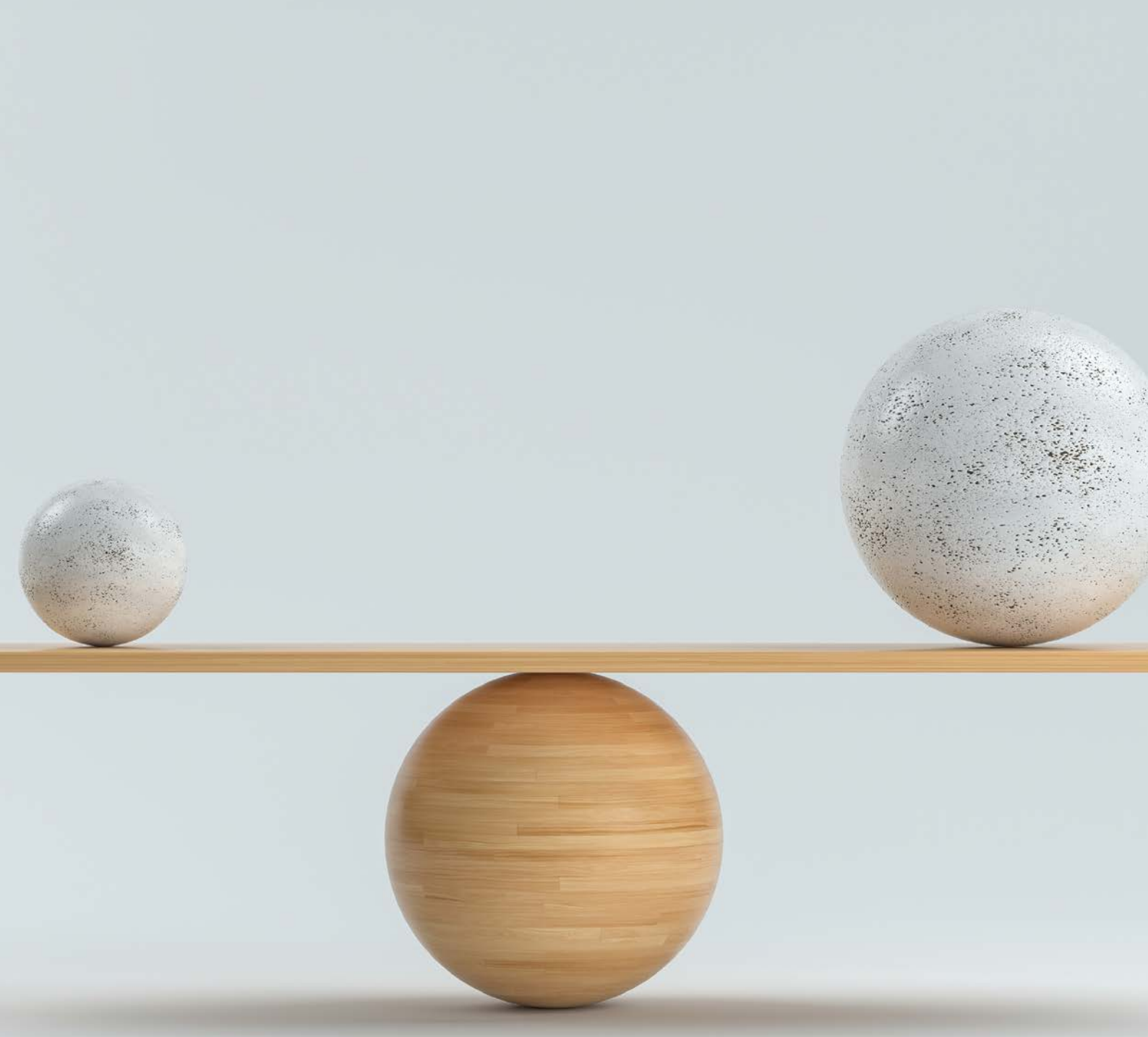


- impiego di cementi ricchi in clinker aventi classe di resistenza non inferiore alla 42.5R. Sono da escludere per queste applicazioni i cementi di tipo II/B e tutti i cementi pozzolanici, d'altoforno e compositi;
- impiego di rapporti acqua/cemento relativamente bassi;
- utilizzo di additivi riduttori di acqua con caratteristiche collaterali neutre o acceleranti conformi ai prospetti 3.1 e 3.2 della UNI EN 934-2;
- utilizzo di materiali ad altissima attività pozzolanica come il fumo di silice;
- per getti con temperature molto basse e prossime a 0°C far ricorso ad additivi acceleranti di indurimento privi di cloruro.

Tabella 1 - Tempo necessario per raggiungere la resistenza a compressione di 3.5 MPa al variare di a/c e T per calcestruzzi confezionati con cemento CEM II/A-LL 42.5R con e senza additivo accelerante di indurimento

a/c	Accelerante di indurimento (UNI EN 934-2/7)	t [ore] per raggiungere Rc=3.5 MPa con T=5°C	t [ore] per raggiungere Rc=3.5 MPa con T=10°C	Rck (T=20°C)
0.40	-	20 ÷ 22	9 ÷ 10	50
0.40	1.5% vs massa cemento	10 ÷ 12	4 ÷ 5	50
0.50	-	28 ÷ 30	14 ÷ 15	40
0.50	1.5% vs massa cemento	16 ÷ 18	8 ÷ 9	40
0.60	-	44 ÷ 46	20 ÷ 21	30
0.60	1.5% vs massa cemento	24 ÷ 26	12 ÷ 13	30

Resta inteso che ove questi provvedimenti non fossero sufficienti, in particolar modo per quelle strutture che necessitano di essere immediatamente caricate, un'ulteriore possibilità, unitamente agli accorgimenti sopramenzionati è rappresentata dal ricorso a casseri isolati termicamente (a materassini coibenti per le superfici non casserate) che impedendo al calore di idratazione del cemento di essere dissipato all'esterno determinano un incremento della temperatura del calcestruzzo impedendo, quindi, all'acqua contenuta nell'impasto di poter congelare anche se la temperatura ambientale si attesta al di sotto di 0°C.



**PROGETTARE STRUTTURE IN
CALCESTRUZZO “PESANTE”
(HEAVY-WEIGHT CONCRETE
STRUCTURES)**



COLABETON 



PROGETTARE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO “PESANTE” (HEAVY-WEIGHT CONCRETE STRUCTURES)



I **calcestruzzi pesanti** sono conglomerati cementizi caratterizzati da una **massa volumica (2700-3400 kg/m³) superiore a quella (2300-2450 kg/m³)** dei tradizionali calcestruzzi usualmente impiegati nella realizzazione delle **strutture in c.a.**. Questa tipologia di calcestruzzi risulta particolarmente indicata nella costruzione di **strutture ed edifici destinati alla protezione nei confronti delle radiazioni ionizzanti e della radioattività**, quali quelli destinati alle **sale radiografiche negli ospedali – ed, in generale alla medicina nucleare - ai rifugi antiatomici, all’industria nucleare** ove è richiesta un’efficace **schermatura nei confronti delle radiazioni X e Gamma**, che presentano una penetrazione nell’aria molto elevata e che, in funzione dell’energia, possono raggiungere diverse centinaia di metri. La necessità di schermare le pareti e i solai degli ambienti discende dal fatto che **le radiazioni ionizzanti possono avere degli effetti di tipo biologico temporanei oppure permanenti di tipo somatico o genetico**. Entrambi gli effetti risultano particolarmente **pericolosi in quanto possono promuovere lo sviluppo di tumori, leucemie o favorire mutazioni genetiche o aberrazioni cromosomiche**.

Sebbene la **determinazione dell’effettiva funzione protettiva di una struttura (parete o solaio) in calcestruzzo pesante non può prescindere dalle prescrizioni degli specialisti di radioprotezione** e dai precisi riferimenti alle apparecchiature da installare - in quanto dipende dalle caratteristiche delle sorgenti di emissione - il **grado di schermatura di un calcestruzzo pesante risulta almeno doppio rispetto a quello garantito da un calcestruzzo ordinario**. Ovviamente, la **protezione offerta nei confronti delle radiazioni aumenta con la massa volumica del conglomerato cementizio**. La **progettazione (mix-design) e il confezionamento di un calcestruzzo pesante** – proprio per le inevitabili ripercussioni che una scelta inadeguata delle materie e/o un non corretto



PROGETTARE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO “PESANTE” (HEAVY-WEIGHT CONCRETE STRUCTURES)



proporzionamento degli ingredienti potrebbe avere sulla salute delle persone – **deve avvenire con una attenzione maniacale a tutti gli aspetti che attengono alle proprietà del materiale sia allo stato fresco che indurito.** In particolare:

- **gli aggregati** utilizzati per il confezionamento di questi conglomerati cementizi debbono essere contraddistinti da **una massa volumica media del granulo in condizioni s.s.a. superiore a 4000 kg/m³**, quindi, di gran lunga maggiore di quella dei tradizionali aggregati per calcestruzzi i cui valori di massa volumica generalmente si attestano tra 2600 e 2750 kg/m³. Allo scopo, per il confezionamento dei calcestruzzi pesanti si fa ricorso ad **aggregati di solfato di bario (aggregati baritici con massa volumica di 4100-4300 kg/m³)** o in casi eccezionali utilizzando **aggregati metallici di massa volumica superiore a 7500 kg/m³**. In base alla massa volumica che si vuole garantire per il calcestruzzo il confezionamento dell'impasto potrà avvenire:

- impiegando **miscele di aggregati naturali e aggregati baritici;**
- utilizzando **soltanto aggregati baritici;**
- miscelando **aggregati baritici e metallici;**
- facendo ricorso ai **soli aggregati di natura metallica.**

La **massa volumica risultante del calcestruzzo** – e, quindi, le sue proprietà schermanti nei confronti delle radiazioni ionizzanti – **aumenta muovendosi dalla prima verso l'ultima soluzione sopra proposta;**

- **l'impiego di aggregati pesanti** (sia parzialmente che in totale sostituzione degli aggregati naturali) può **accentuare la tendenza alla segregazione** dell'impasto durante la posa. E' inutile sottolineare che la presenza di zone della struttura



PROGETTARE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO “PESANTE” (HEAVY-WEIGHT CONCRETE STRUCTURES)

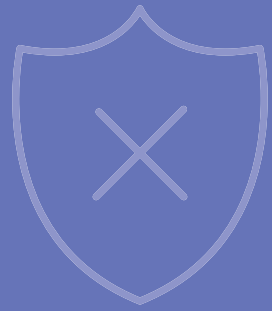


– per errori nella posa accentuati proprio dalla naturale tendenza degli aggregati grossi pesanti ad accumularsi sul fondo del cassero – con **vespai o nidi di ghiaia finirebbe per pregiudicare in maniera drastica le proprietà schermanti nei confronti delle radiazioni**. Per ridurre al minimo il rischio di segregazione, i calcestruzzi pesanti vengono confezionati:

- **riducendo il quantitativo di acqua di impasto**. Allo scopo, debbono essere utilizzati additivi riduttori di acqua ad alta efficacia in dosaggi sufficienti a garantire la lavorabilità prefissata senza eccedere nel contenuto di acqua;
- **garantendo un sufficiente volume di materiale fine** ricorrendo all’impiego di aggiunte pozzolaniche quali la cenere volante o inerti (polveri fini di carbonato di calcio);
- **tenendo presente che molto spesso le strutture adibite alla protezione dalle radiazioni ionizzanti possono essere di spessore considerevole**, occorrerà adottare anche tutti i provvedimenti richiesti per le **strutture massive**. Qualora, infatti, per l’eccessivo sviluppo di calore durante l’indurimento dei getti dovessero insorgere quadri fessurativi determinati dal gradiente termico tra le zone più intime del getto e quelle corticali, la protezione nei confronti delle radiazioni verrebbe seriamente compromessa. Pertanto, occorrerà adottare nel confezionamento del calcestruzzo **cementi a bassi sviluppo di calore di tipo LH (Low Heat)** conformi alla norma EN 197-1 e **adottare tutti quei provvedimenti finalizzati a ridurre il dosaggio di cemento nel confezionamento del calcestruzzo** (adottare per l’aggregato la massima pezzatura possibile compatibilmente con l’interferro e il copriferro dell’elemento strutturale e **distribuzioni granulometriche sottosabbiate** finalizzate a diminuire la richiesta d’acqua e, conseguentemente, a pari rapporto a/c, a ridurre dosaggio di cemento).



PROGETTARE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO “PESANTE” (HEAVY-WEIGHT CONCRETE STRUCTURES)



Sempre nell’ ottica di ridurre la presenza di discontinuità e di fessure sarà fondamentale **eseguire con cura le riprese di getto tra i diversi elementi costruttivi**. Occorrerà, inoltre, che **uno stesso elemento costruttivo venga realizzato senza soluzioni di continuità** e che venga assicurata una **efficace e prolungata maturazione umida dei getti (non meno di 3 giorni)**.





**PROGETTARE STRUTTURE
MASSIVE
IN CALCESTRUZZO
ARMATO**



COLABETON 



PROGETTARE STRUTTURE MASSIVE IN CALCESTRUZZO ARMATO



Le **strutture in calcestruzzo armato massive (o massicce)** comprendono quegli elementi costruttivi che sono contraddistinti da un elevato rapporto volume di calcestruzzo gettato/superficie quali, ad esempio, i plinti di fondazione delle pile da ponte, i dadi di fondazione delle turbine negli impianti di produzione dell'energia elettrica, gli impalcati da ponte monolitici di grande spessore, le travi rovesce di fondazione e i muri di grande sezione, le platee di fondazione di edifici a notevole sviluppo verticale. Dal punto di vista pratico si ritiene massivo un muro di fondazione, una platea o una soletta di spessore almeno pari a 80-100 cm. Per elementi isolati, invece, quali i plinti, le condizioni di struttura massiva si realizzano allorquando la dimensione minima della sezione supera i 150 cm circa.

Il problema principale nella realizzazione di una struttura massiva è rappresentato dal fatto che:

- a) la **reazione di idratazione del cemento con l'acqua è di tipo esotermico** e, quindi, dà luogo ad uno sviluppo di calore;
- b) per effetto dello sviluppo di calore, **la temperatura del getto aumenta rispetto alla temperatura iniziale** che, ragionevolmente, può essere assunta **pari alla temperatura ambientale esistente al momento della posa in opera**;
- c) il **calcestruzzo è un materiale caratterizzato da una bassa conducibilità termica**. Pertanto, gli strati corticali di un getto massivo si comportano come isolante termico nei confronti delle porzioni più intime della struttura. Il **“cuore” del getto si trova, quindi, ad operare in condizioni adiabatiche senza la possibilità di dissipare il calore prodotto**. Conseguentemente, il **“cuore” della struttura raggiunge temperature maggiori rispetto agli**

PROGETTARE STRUTTURE MASSIVE IN CALCESTRUZZO ARMATO



strati corticali che, trovandosi a più diretto contatto con l'ambiente esterno, dissipano una maggiore quantità di calore, attestandosi su una temperatura più bassa. La temperatura massima che si raggiunge nel cuore del getto, a parità di calcestruzzo impiegato, dipende da quanto tempo persistono le condizioni adiabatiche che, a sua volta, è funzione dello spessore della struttura: **maggiori le dimensioni minime, più a lungo rimangono le condizioni adiabatiche e maggiore sarà la temperatura raggiunta nel cuore.** Da un punto di vista pratico, si può assumere che in un getto di spessore inferiore a 60-80 cm, le condizioni adiabatiche persistano per un tempo così ridotto (meno di 24 ore) da non generare un aumento di temperatura significativo nel cuore della struttura. Per contro, nelle strutture di maggiore spessore **le condizioni adiabatiche possono durare 3 o 7 giorni rispettivamente per manufatti di spessore minore/uguale o maggiore di 2 m;**

- d) **maggior è la temperatura raggiunta nel cuore e più elevato risulterà il gradiente termico tra le zone più intime del getto e quelle superficiali.** Pertanto, in base a quanto sopra esposto, all'aumentare dello spessore degli elementi costruttivi aumenta il gradiente termico. La temperatura degli strati più esterni non è, invece, sostanzialmente influenzata dallo spessore minimo dell'elemento strutturale, essendo strettamente legata alle condizioni ambientali che si realizzano nell'intorno della struttura. Possiamo, quindi, concludere che – **per un dato calcestruzzo – il gradiente termico che si stabilisce tra “cuore” e superficie è fondamentalmente dipendente dallo spessore dei getti. Maggiore è lo spessore, più elevato risulterà il gradiente termico, maggiore sarà il rischio di fessurazione delle strutture.** Queste



PROGETTARE STRUTTURE MASSIVE IN CALCESTRUZZO ARMATO



fessure sono determinate dal diverso comportamento dilatazionale degli strati di calcestruzzo che compongono un determinato elemento strutturale. Il “cuore” dell’elemento strutturale, infatti, raggiunta la massima temperatura inizierà a raffreddarsi (questo accade quando la velocità di sviluppo del calore è più bassa di quella con cui lo stesso viene dissipato). Al raffreddamento conseguirebbe una inevitabile contrazione dimensionale del materiale che, tuttavia, risulta impedita dagli strati più esterni che sono in equilibrio con l’ambiente esterno. **L’impedimento alla contrazione dimensionale del cuore del getto, durante la fase di raffreddamento, produce su queste porzioni di struttura la nascita di stati tensionali di trazione che, superando la resistenza a trazione del conglomerato cementizio, fessurano il calcestruzzo.** Gli stati tensionali di trazione responsabili del quadro fessurativo sono proporzionali al gradiente termico generato e, quindi, sono direttamente riconducibili alla temperatura raggiunta nel cuore. Pertanto, la limitazione del rischio fessurativo in una struttura massiva non può prescindere dall’impiego di un conglomerato cementizio che sia confezionato in modo da ridurre al minimo lo sviluppo di calore responsabile dell’incremento di temperatura nel cuore del getto. **Una regola pratica è quella di utilizzare calcestruzzi caratterizzati da un incremento di temperatura in condizioni adiabatiche valutate dopo 3 o 7 giorni (a seconda se lo spessore è minore/uguale o maggiore di 2 m) dal getto, non superiore a 35°C;**

- e) **l’incremento di temperatura in condizioni adiabatiche è funzione del tipo/classe e del dosaggio di cemento.** In particolare, l’incremento di temperatura aumenta con il

PROGETTARE STRUTTURE MASSIVE IN CALCESTRUZZO ARMATO



dosaggio di cemento e impiegando cementi ricchi in clinker e a rapido indurimento (che contengono un maggior quantitativo di silicato tricalcico - il costituente mineralogico che maggiormente contribuisce al riscaldamento dei getti - ma anche una finezza di macinazione più spinta). Pertanto, sulla base di quanto sopra affermato si può concludere che sono particolarmente indicati per la realizzazione dei getti massivi quei calcestruzzi confezionati con:

1. e.1. **cementi a basso sviluppo di calore di tipo LH (Low Heat)** conformi alla norma EN 197-1. Questi cementi sono caratterizzati da una ridotta percentuale di clinker e, pertanto, rispondono ai requisiti dei cementi LH, ad esempio, i cementi d'altoforno di tipo III/B e III/C, i cementi compositi di tipo V, i cementi pozzolanici di tipo IV/B. Inoltre, presentano caratteristiche LH i cementi di classe di resistenza 32.5N e quelli di classe 32.5R. In ogni caso, indipendentemente dalla composizione (dal tipo) e dalla classe di cemento sarà necessario richiedere – al fine di calcolare il massimo gradiente in condizioni adiabatiche di un getto in modo da calcolare se risulti o meno inferiore al valore di soglia (35°C) – al produttore del cemento il calore di idratazione unitario sviluppato da un kg di cemento a 3 e a 7 giorni (q_3 e q_7 , rispettivamente) da utilizzare a seconda che il calcolo riguardi un getto massivo di spessore minore/uguale o maggiore di 2 m, rispettivamente.

e.2 **adottare tutti quei provvedimenti finalizzati a ridurre il dosaggio di cemento nel confezionamento del calcestruzzo** e che in sintesi possono così essere riassunti:

e.2.1. – adottare **per l'aggregato la massima pezzatura** possibile compatibilmente con l'interferro e il copriferro dell'elemento strutturale;

PROGETTARE STRUTTURE MASSIVE IN CALCESTRUZZO ARMATO



e.2.2. – adottare **per gli aggregati distribuzioni granulometriche sottosabbiate** finalizzate a diminuire la richiesta d'acqua e, conseguentemente, a pari rapporto a/c, a ridurre dosaggio di cemento;

e.2.2 – impiegare **additivi riduttori di acqua ad alta efficacia** conformi ai prospetti 3.1/3.2 o 11.1/11.2 della EN 934-2 al fine di adottare il minor dosaggio di acqua di impasto e, conseguentemente, a pari rapporto a/c, il minor dosaggio di cemento;

e.2.3 – impiegare additivi **“nucleatori di C-S-H”** che consentono a pari prestazione meccanica di ridurre il dosaggio di cemento;

e.2.4 – solo se i provvedimenti sopra menzionati non fossero sufficienti a limitare l'incremento di temperatura al di sotto di 35°C, **si potrà valutare la possibilità di ridurre la lavorabilità del calcestruzzo al getto** compatibilmente con le difficoltà di posa in opera del conglomerato cementizio.

Noto il calore di idratazione unitario del cemento (q_3 oppure q_7) prescelto e stabilito il dosaggio di cemento (c), il calcolo del massimo riscaldamento in condizioni adiabatiche (ΔT) potrà così essere effettuato:

$$\Delta T = (q_3 \cdot c) / (m \cdot p) \text{ per strutture di spessore } \leq 2m$$

$$\Delta T = (q_7 \cdot c) / (m \cdot p) \text{ per strutture di spessore } > 2m$$

dove m è la massa volumica del calcestruzzo e p è il calore specifico del conglomerato (in genere assunto pari a 1.1 kJ/(kg*°C)).

Sarà, quindi, possibile valutare se il riscaldamento in condizioni adiabatiche è inferiore o meno a 35°C.



PROGETTARE STRUTTURE MASSIVE IN CALCESTRUZZO ARMATO

Qualora questo obiettivo non fosse soddisfatto, si potrà intervenire a cambiare il tipo di cemento, scegliendone uno caratterizzato da un minor calore di idratazione unitario, e/o si potranno adottare tutti quegli accorgimenti finalizzati a ridurre il dosaggio di cemento.

Si segnala, infine, che oltre a limitare – utilizzando gli accorgimenti sopramenzionati – l’incremento di temperatura in condizioni adiabatiche, si può ridurre il gradiente termico nelle strutture massive predisponendo sulla superficie del manufatto dei materassini coibenti (ad esempio, in polistirolo) al fine di evitare la dissipazione del calore dagli strati più esterni del getto che, riscaldandosi si attesteranno su temperature prossime a quelle del cuore. Si tenga presente, tuttavia, come l’adozione di queste protezioni non può rappresentare da sola la soluzione al problema dello sviluppo di fessure nei getti massivi, in quanto i materassini dovranno ad un certo punto essere rimossi. Quando questo accade gli strati più esterni si raffredderanno più in fretta rispetto a quelli interni generando comunque la nascita di un gradiente termico che sarà tanto maggiore quanto più elevata è la temperatura raggiunta nel “cuore”, cioè quanto maggiore è stato l’incremento di temperatura in condizioni adiabatiche. Pertanto, l’adozione dei materassini coibenti potrebbe da sola non essere sufficiente a prevenire la comparsa dei quadri fessurativi se questo provvedimento non è accompagnato dalla scelta di un calcestruzzo specifico per questo tipo di strutture che sia contraddistinto da un incremento di temperatura inferiore a 35°C. Infine, si segnala che questo obiettivo (quello di limitare l’incremento di temperatura a 35°C) è fondamentale per quelle strutture massive che sono vincolate ad un elemento strutturale precedentemente realizzato e che si trova già in equilibrio con la temperatura ambientale.

PROGETTARE STRUTTURE MASSIVE IN CALCESTRUZZO ARMATO



E' il caso, ad esempio, di un muro massivo vincolato alla fondazione o di un impalcato monolitico vincolato ai setti verticali. In queste strutture, infatti, limitare l'incremento di temperatura è fondamentale per ridurre il gradiente termico non solo tra "cuore" e superficie, ma anche tra i due elementi costruttivi. Si intuisce come in questa situazione l'impiego dei soli materassini coibenti non può rappresentare la soluzione al problema del gradiente termico tra le due diverse strutture.





**I CALCESTRUZZI A RITIRO
CONTROLLATO E
COMPENSATO**



COLABETON 



I CALCESTRUZZI A RITIRO CONTROLLATO E COMPENSATO



I **calcestruzzi a ritiro controllato e quelli a ritiro compensato** (quest'ultimi identificati anche come espansivi) rappresentano, al momento, i conglomerati a maggior contenuto tecnologico nell'ambito della tecnologia dei materiali da costruzione a base cementizia. In particolare:

- i **calcestruzzi a ritiro controllato** vengono confezionati impiegando, unitamente ai tradizionali ingredienti (acqua, cemento, additivi riduttori di acqua, sabbia e aggregati grossi), degli **specifici agenti riduttori del ritiro (Shrinkage Reducing Admixture: SRA) a base di glicoli etilenici** aggiunti all'impasto al momento del confezionamento in misura dell'1-2% rispetto alla massa del cemento;

- i **calcestruzzi a ritiro compensato o espansivi**, impiegano, a fianco dei tradizionali componenti, un **agente espansivo** – in misura di circa $18-25 \text{ kg/m}^3$ - capace di espandere in fase di indurimento per effetto di una reazione chimica con l'acqua di impasto;

- i **calcestruzzi a ritiro controllato e compensato** sfruttano l'effetto sinergico derivante dall'utilizzo combinato di SRA ed agenti espansivi.

I CALCESTRUZZI A RITIRO CONTROLLATO

Gli **additivi riduttori del ritiro a base di glicoli etilenici** sono in grado, attraverso una diminuzione della tensione superficiale dell'acqua contenuta all'interno dei pori, di determinare una **drastica riduzione del ritiro idraulico (fino all'incirca al 65%) rispetto ad un analogo conglomerato di pari rapporto a/c e i/c**. Il dosaggio dell'additivo varia all'incirca tra l'1 e il 2% della massa di cemento e viene modulato in relazione alla riduzione del ritiro che si vuole conseguire. Dosaggi superiori ai valori sopramenzionati sono cautelativamente da escludere, in quanto le sostanze a base di glicole etilenico possono determinare, come effetto collaterale, una riduzione del grado di idratazione del cemento e, di conseguenza, penalizzare le prestazioni elasto-meccaniche rispetto a un calcestruzzo non





I CALCESTRUZZI A RITIRO CONTROLLATO E COMPENSATO



additivato. Grazie alla riduzione del ritiro idraulico derivante dall'impiego degli SRA, i calcestruzzi a ritiro controllato risultano particolarmente indicati per quelle strutture che presentano un elevato rapporto tra superficie esposta all'aria e volume. Rientrano in questa categoria le **pavimentazioni industriali sia poggianti su terreno che su solaio, le cappe di completamento dei solai latero-cemento, ma anche quelle realizzate a completamento dei solai prefabbricati e le solette da ponte**. Per le pavimentazioni industriali, l'utilizzo del calcestruzzo a ritiro controllato consente di **aumentare la distanza tra i giunti di contrazione** la cui realizzazione, pertanto, risulta più economica. Nel caso si volesse lasciare invariata la distanza tra i giunti, rispetto a quella di un analogo pavimento realizzato in calcestruzzo ordinario, la pavimentazione sarà interessata da un **minore ritiro differenziale e, quindi, da fenomeni di imbarcamento trascurabili che rendono, pertanto, idonei i calcestruzzi a ritiro controllato laddove è previsto un transito massiccio di carrelli elevatori, ma anche l'impiego di sistemi robotizzati di movimentazione delle merci**. Allo stesso modo, il calcestruzzo a ritiro controllato potrebbe **ridurre il numero di giunti in strutture a prevalente sviluppo lineare**, come nel caso di muri di grande estensione, prevenendo, quindi, la comparsa delle antiestetiche fessurazioni verticali tipiche del fenomeno del ritiro.

I CALCESTRUZZI A RITIRO COMPENSATO

I **calcestruzzi a ritiro compensato** sono conglomerati prodotti ricorrendo all'impiego di **specifiche materie prime che, a contatto con l'acqua, aumentano di volume**. Gli agenti espansivi impiegati nel settore del calcestruzzo sono quelli a base di ossido di calcio (CaO) oppure di solfoalluminato tetracalcico ($\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$) che a contatto con l'acqua producono il corrispondente idrossido e l'ettringite, rispettivamente. Ovviamente, entrambi i prodotti finali (idrossido di calcio

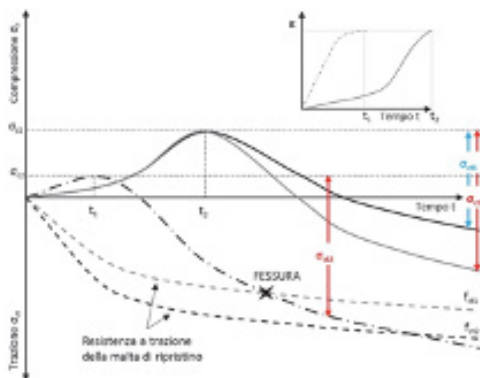
I CALCESTRUZZI A RITIRO CONTROLLATO E COMPENSATO



ed ettringite) potenzialmente occuperebbero un volume maggiore rispetto a quelli di partenza inducendo, quindi, **un'espansione volumetrica che ha effetti benefici nel calcestruzzo solo se è opportunamente contrastata in modo da creare uno stato di coazione interna (compressione)**; in caso contrario, infatti, **se l'aumento di volume potesse avvenire liberamente, l'effetto risultante sarebbe rappresentato solo da una mera variazione di geometria dell'elemento strutturale.**

I **dosaggi di agente espansivo** nel calcestruzzo possono essere compresi tra 15 e 30 kg/m³ anche se nella pratica variano tra **18 e 25 kg/m³** e sono strettamente legati al **ritiro atteso** per l'elemento strutturale, alla **resistenza meccanica del calcestruzzo alle brevissime stagionature (24 ore)** e alla **percentuale di armatura** presente nell'elemento da realizzare.

La caratteristica principale di un agente espansivo per la produzione di calcestruzzo a ritiro compensato è legata al fatto che **l'espansione si manifesti in minima parte durante le prime ore dal confezionamento dell'impasto (nella fase in cui il conglomerato è ancora plastico), mentre la maggior parte di essa deve avvenire quando il calcestruzzo è già indurito, in un arco di tempo che, a seconda della natura e della finezza dell'agente espansivo, varia da 1 a 7 giorni circa.** Infatti, se **l'espansione avvenisse completamente durante la fase plastica (2-8 ore dalla posa in opera)**, non avendo ancora il conglomerato raggiunto livelli significativi di resistenza a compressione né di aderenza con le barre di armatura, nell'elemento **si genererebbe uno stato di compressione (σ_c) esiguo tanto da non essere sufficiente a contrastare lo stato tensionale di trazione (σ_t) che insorge successivamente per via della contrazione impedita**



I CALCESTRUZZI A RITIRO CONTROLLATO E COMPENSATO



generatasi a seguito dell'esposizione all'aria, con l'inizio della fase di ritiro. Pertanto, nel momento in cui la tensione di trazione, dopo aver rilassato lo sforzo di compressione, supera la resistenza a trazione del materiale, il calcestruzzo si fessura. Se, invece, si utilizza **un agente espansivo in grado di esplicare la sua reazione a fine presa, dopo circa 6-8 ore dal getto, l'aumento di volume, impedito dalla rigidità del calcestruzzo, dalle forze di aderenza tra calcestruzzo e barre d'armatura, nonché dai vincoli interni ed esterni all'elemento strutturale, genera la nascita di uno stato di compressione (σ_c) maggiore**. Lo sforzo di trazione (σ_t), che comunque insorgerà per via del ritiro, sarà inferiore alla somma della resistenza a trazione del materiale e dello sforzo di compressione creato dall'espansione in fase di indurimento e, quindi, non sufficiente a promuovere la fessurazione del conglomerato. In conclusione, **utilizzando prodotti in grado di espandere quasi esclusivamente dopo che il calcestruzzo ha terminato la presa e modulandone opportunamente il dosaggio in funzione della contrazione dimensionale attesa, è possibile indurre uno stato di precompressione in grado di fronteggiare il rilassamento dello sforzo dovuto al ritiro evitando l'insorgere di soluzioni di continuità nelle strutture**. Per questo motivo, vengono **esclusi dal confezionamento dei calcestruzzi a ritiro compensato gli agenti espansivi metallici** (a base di polveri di materiali anfoteri come l'alluminio o lo zinco), in quanto **l'aumento di volume** generato dalla formazione di idrogeno in ambiente basico – oltre alla pericolosità – **avverrebbe quando l'impasto è ancora plastico senza imprimere, pertanto, nella struttura alcuno stato benefico di compressione**. Per contro, sia l'ossido di calcio che il solfo-alluminato tetracalcico, entrambi esplicano la loro funzione espansiva durante la fase d'indurimento e, quindi, almeno potenzialmente sono in grado di imprimere la

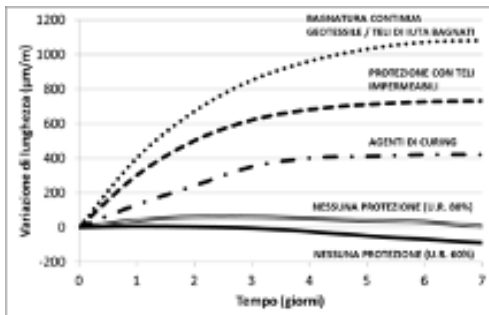


I CALCESTRUZZI A RITIRO CONTROLLATO E COMPENSATO



coazione benefica richiesta per il conglomerato cementizio. I due prodotti si differenziano esclusivamente per la cinetica di espansione, in quanto quelli a base di ossido di calcio si stabilizzano già dopo un solo giorno, mentre per quelli a base di solfoalluminato tetracalcico è necessario prolungare il contatto diretto con l'acqua per almeno 7 giorni al fine di conseguire la completa idratazione e raggiungere la massima espansione. Un altro aspetto molto importante per un corretto utilizzo degli agenti espansivi è legato alla **classe di resistenza caratteristica a compressione cubica del conglomerato che deve essere almeno pari a 37 N/mm² (C30/37)**. Infatti, a pari dosaggio e natura dell'agente espansivo, **lo sforzo di compressione** indotto dall'impedimento all'espansione **sarà tanto maggiore** (e, quindi, benefico) quanto più rigido è il materiale e, quindi, **quanto maggiore la resistenza caratteristica a compressione del calcestruzzo alle brevi stagionature e, in particolare, a 1 giorno**. L'efficacia degli agenti espansivi dipende anche **dal diametro e dalla percentuale di armatura presente nell'elemento da realizzare**, in quanto le barre metalliche hanno la funzione di contrastare l'espansione, trasformandola in una sorta di precompressione indotta sul calcestruzzo, in maniera analoga a quanto avviene per i manufatti precompressi. La soluzione ideale sarebbe quella di predisporre un'opportuna armatura di contrasto all'espansione **in forma di ferri di piccolo diametro distribuiti omogeneamente nella sezione dell'elemento strutturale**, avendo cura, soprattutto in presenza di **copriferro di spessore superiore a 40 mm, di disporre un'opportuna armatura di pelle in forma di rete elettrosaldata** (ad esempio, $\Phi 6/10 \times 10$). In alternativa, alle tradizionali armature di contrasto in forma di tondini o di

I CALCESTRUZZI A RITIRO CONTROLLATO E COMPENSATO



reti elettrosaldate, è possibile ricorrere all'utilizzo di **fibre strutturali** sia di tipo metallico che sintetiche, in dosaggi non inferiori a circa 3 l/m^3 (corrispondenti a circa 25 kg/m^3 di fibre di acciaio e 2.5 kg/m^3 di fibre in polipropilene).

Indipendentemente dalla natura dell'agente espansivo, **l'aumento di volume può manifestarsi solo se viene garantita una corretta maturazione umida dei getti**, in assenza della quale l'aumento di volume non si manifesta. In sostanza, se la maturazione umida non viene garantita, l'efficacia di questi agenti espansivi risulta molto limitata, se non addirittura inesistente. Si tenga anche presente che **in alcuni casi**, soprattutto per quelle strutture caratterizzate da un elevato ritiro idraulico, per ottenere un'espansione in grado di bilanciare la tensione di trazione indotta dal ritiro impedito, evitando, così, la formazione di fessure, **il dosaggio di agente espansivo da utilizzare dovrebbe essere rilevante (superiore a $25\text{-}30 \text{ kg/m}^3$)**. Un dosaggio eccessivo di agente espansivo, genera non pochi inconvenienti. Infatti, a causa della maggiore espansione che si genera per l'aumento del dosaggio di agente espansivo, dovrà, necessariamente, **essere predisposta un'armatura in direzione perpendicolare al ritiro in percentuale uguale a quella già presente in direzione parallela per garantire un opportuno contrasto**. Questo inevitabilmente incide sull'economia dell'opera. Inoltre, **dosaggi elevati di espansivo incrementano lo sviluppo di calore nel calcestruzzo**, poiché la reazione che conduce alla formazione dei prodotti idratati è di tipo esotermico. In tal evenienza, a causa della modesta conducibilità termica del conglomerato ($5.5 - 8 \text{ KJ/(mh}^\circ\text{C)}$), gli strati più esterni del getto si comportano come materiale



I CALCESTRUZZI A RITIRO CONTROLLATO E COMPENSATO



isolante impedendo la dissipazione verso l'esterno del calore sviluppato e si generano degli stati tensionali interni che provocano la nascita di soluzioni di continuità nel manufatto stesso. **Un eccessivo dosaggio di espansivo**, infine, per l'anticipo dei tempi di presa del conglomerato derivanti proprio dallo sviluppo di calore dovuto alla reazione dello stesso con l'acqua, **potrebbe creare non pochi problemi nelle pavimentazioni industriali rifinite a "spolvero" o a "pastina" per il minor tempo a disposizione per le operazioni di "elicotteratura e incorporo"**. Il rischio è quello di avere strati di usura non ben incorporati alla lastra di calcestruzzo con possibili precoci distacchi degli strati superficiali.

Per far fronte a questi inconvenienti che riguardano soprattutto le solette e i pavimenti di ridotto spessore, e nell'ottica di sfruttare al meglio gli effetti benefici ottenibili dall'impiego sia degli agenti espansivi sia degli additivi riduttori del ritiro, è stata studiata **un'interessante sinergia nell'impiego combinato dei due prodotti (SRA ed espansivo) per la realizzazione di calcestruzzi a ritiro controllato e compensato**. L'espansione, infatti, **in presenza dell'additivo SRA sembra poco dipendente dalle modalità di stagionatura e può avvenire anche se il conglomerato viene esposto all'aria asciutta in assenza di protezione umida**. Inoltre, la **contrazione da ritiro subisce una drastica diminuzione grazie alla riduzione della tensione superficiale dell'acqua all'interno dei pori** determinata dall'aggiunta dell'SRA (Figura 1). Conseguentemente, **il dosaggio di agente espansivo può essere ridotto senza dover ricorrere a quei dosaggi abnormi che costringerebbero a dover utilizzare antieconomiche armature di contrasto aggiuntive e a esporre al rischio di distacco gli strati di usura nelle pavimentazioni industriali**.

I CALCESTRUZZI A RITIRO CONTROLLATO E COMPENSATO

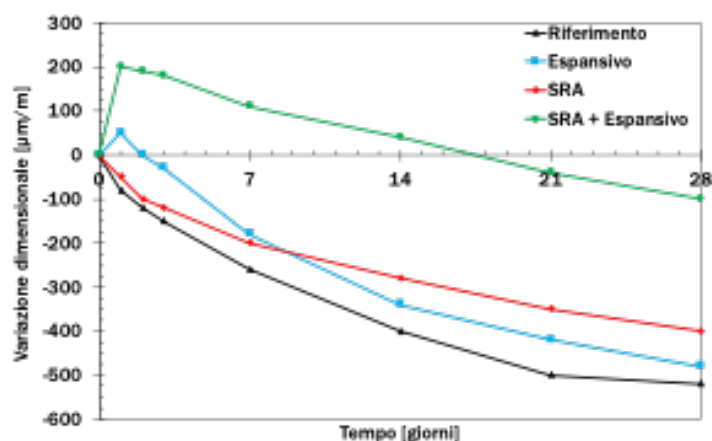


Figura 1 – Espansione/ritiro su provini di calcestruzzo confezionate senza e con SRA e agenti espansivi a base di ossido di calcio esposti all'aria subito dopo il getto.

I calcestruzzi espansivi a ritiro controllato e compensato sono particolarmente indicati per:

- la realizzazione di **pavimentazioni industriali di estensione variabile tra 600 e 900 m² prive di giunti di contrazione o di controllo**;
- la produzione di calcestruzzi per la **ricostruzione parziale o completa di elementi verticali quali pilastri e setti portanti**. Questa esigenza si ha allorché si interviene su edifici laddove i pilastri hanno subito un danno rilevante per effetto di un evento sismico. La ricostruzione di questi elementi verticali se eseguita con calcestruzzo ordinario, per effetto del ritiro che il conglomerato subisce nel tempo, determina sui correnti stati tensionali permanenti che potrebbero non essere compatibili con la geometria e l'armatura degli elementi strutturali. L'impiego di



I CALCESTRUZZI A RITIRO CONTROLLATO E COMPENSATO



calcestruzzo a ritiro controllato e compensato consente di eliminare questi effetti permanenti;

- **nel ringrosso strutturale di pile da ponte o di pilastri quando si vuole incrementare sia la portanza che la rigidità.** In questo caso, l'utilizzo di calcestruzzo a ritiro controllato e compensato è finalizzato a controbilanciare gli effetti derivanti dal differente comportamento deformativo del nucleo originario (che ormai ha già scontato il ritiro) rispetto al ringrosso che deve, invece, ancora scontare la contrazione igrometrica;
- **nel consolidamento di fondazioni di edifici in muratura allorquando occorre eseguire delle sottomurazioni mediante dadi in calcestruzzo.**





**IL CALCESTRUZZO PER
GETTI SUBACQUEI**



COLABETON 



IL CALCESTRUZZO PER GETTI SUBACQUEI



I getti di calcestruzzo sott'acqua (getti subacquei) vengono tipicamente effettuati per la realizzazione di **elementi non strutturali** quali ture (opere provvisorie che costituiscono un diaframma impermeabile per mettere all'asciutto un tratto di terreno sommerso) e **strutturali** quali pareti e platee dei **bacini di carenaggio o prese d'acqua, strutture portuali** (frangiflutti, porzioni di moli), strutture per il **rinforzo degli argini** dei fiumi e dei laghi, per i **getti di fondazione in presenza di acque di falda (ad es. pali trivellati)**, per la realizzazione di chiuse. Il calcestruzzo gettato sott'acqua è anche utilizzato per **appesantire conci** prefabbricati da affondare, per **collegare sezioni di tunnel** già in opera e per **riparare elementi di strutture idrauliche** interessate da danneggiamenti e dissesti dall'erosione e da cavitazione.

Sebbene, in via del tutto generale la progettazione (mix design) e il confezionamento di un calcestruzzo per getti subacquei debba seguire i **principi di base adottati per i calcestruzzi ordinari**, le **particolari condizioni** in cui avvengono i getti, impongono che la **"ricetta"**, sia in termini di ingredienti che di dosaggio dei costituenti, **venga formulata** per conseguire l'obiettivo specifico per questa tipologia di calcestruzzi rappresentato dalla **pratica assenza di dilavamento durante la fase di posa in opera** allorquando **l'impasto allo stato fresco viene direttamente in contatto con l'acqua**. E' utile anche evidenziare come la realizzazione di strutture mediante getti di calcestruzzo sott'acqua, non può prescindere dall'adozione di una serie di accorgimenti relativi alle delicate fase di posa in opera del conglomerato sott'acqua. Relativamente a questi aspetti legati sia alla composizione dell'impasto che alle modalità di getto, utili indicazioni possono essere desunte dalla consultazione del documento **"ACI 304R-00 - Guide for Measuring, Mixing, Transporting,**



IL CALCESTRUZZO PER GETTI SUBACQUEI



and Placing Concrete - Chapter 8 - Concrete placed under water”, al quale questo quaderno tecnico si è ispirato. I calcestruzzi per **getti subacquei** sono **particolarmente esposti durante la fase di posa in opera al rischio di dilavamento della matrice cementizia, alla segregazione, alla formazione di giunti freddi e all'intrappolamento di aria**. Inoltre, non potendo beneficiare, durante la posa, della compattazione del conglomerato si dovrà di questo tener conto per evitare che le strutture realizzate con getti subacquei possano presentare – soprattutto quelle con funzioni strutturali – una scadente resistenza in opera per eccesso di aria e di macro vuoti nella matrice di cemento. La progettazione del calcestruzzo e la modalità di posa in opera, pertanto, debbono avere come obiettivo quello di eliminare questi inconvenienti. Per conseguire questi obiettivi, si debbono adottare nel progetto della miscela i seguenti accorgimenti:

- **aumentare il volume di pasta riducendo il volume degli aggregati** e, in particolare, delle frazioni di dimensioni maggiori a 4 mm;
- **aumentare la coesione e la viscosità plastica** del calcestruzzo.

Nella pratica questi obiettivi si conseguono:

- limitando il **diametro massimo degli aggregati (D_{max}) a 25 mm**. Tuttavia, è opportuno che per le **strutture armate** la pezzatura massima dell'aggregato non superi i **20 mm**. Eccezionalmente, e soltanto per **opere massive non armate** potranno essere prese in considerazione pezzature massime dell'aggregato di **32 e 40 mm**;
- garantendo una **percentuale di sabbia sul volume totale dell'aggregato non minore del 45%**;



IL CALCESTRUZZO PER GETTI SUBACQUEI



- utilizzando un **dosaggio di legante non inferiore a 360 kg/m³** impiegando unitamente al **cemento** materiali ad altissima attività pozzolanica come il **fumo di silice**;

- utilizzando **additivi riduttori di acqua ad alta efficacia neutri o con effetto collaterale di ritardo** conformi rispettivamente ai prospetti 3.1/3.2 e 11.1/11.2 al fine di ridurre drasticamente il contenuto di acqua di impasto onde aumentare la coesione e la viscosità plastica annullando praticamente il rischio di segregazione. La scelta dell'additivo dovrà tener conto dei tempi di trasporto sul cantiere e della durata dei getti per evitare che il calcestruzzo perda di lavorabilità soprattutto quando le distanze di scorrimento sott'acqua sono considerevoli;
- ricorrendo all'impiego di **specifici additivi anti-dilavamento** (*anti wash-out: AWO*) che, senza diminuire la lavorabilità del conglomerato, consentano di aumentare il grado di coesione della pasta di cemento evitando il dilavamento del cemento e delle particelle fini. Questi additivi *anti wash-out* sono costituiti da **prodotti di sintesi di natura organica costituiti da polimeri ad alto peso molecolare** capaci di eliminare il bleeding ed aumentare la coesione anche in quegli impasti che per la minore resistenza meccanica a compressione sono caratterizzati da un minor contenuto di cemento e di parti fini. Il **dosaggio di questi additivi *anti wash-out* si attesta tra 1 e 3 kg/m³**, ove i dosaggi maggiori sono richiesti proprio per i calcestruzzi di minore resistenza a **compressione**. Il dosaggio esatto dell'additivo potrà essere preliminarmente valutato sottoponendo il calcestruzzo (additivato) ad una **prova condotta in accordo alla norma BS 8443:2005 "Determination of washout – Annex A"** in confronto con un analogo impasto confezionato senza l'additivo modificatore di viscosità.



IL CALCESTRUZZO PER GETTI SUBACQUEI



Generalmente, si ritiene che il calcestruzzo possieda proprietà anti-dilavamento allorquando la perdita di massa valutata per immersione sott'acqua non superi il 15%. Si tenga comunque presente che l'aggiunta di un **additivo anti wash-out** ad un calcestruzzo confezionato con 400 kg/m³ di cemento **produce una riduzione del materiale dilavato del 60% e del 90% se utilizzato rispettivamente in misura di 1 o 2 kg/m³**. Dosaggi maggiori di quelli indicati (1-3 kg/m³) sono da evitare. Questi additivi AWO, infatti, presentano effetti collaterali di ritardo e inibizione dell'idratazione del cemento che potrebbero, quindi, determinare indesiderate riduzioni della resistenza meccanica a compressione del calcestruzzo in opera;

- adottando **calcestruzzi di lavorabilità almeno pari alla classe di consistenza S4**. Attesa, infatti, l'impossibilità di eseguire la vibrazione, **il calcestruzzo deve essere in grado di autocompattarsi sotto l'effetto del peso proprio che, purtroppo, è ridotto a causa della spinta idrostatica**. Per questo motivo, la lavorabilità in termini di slump non deve essere inferiore a **180 mm (slump di riferimento 190 ± 10 mm)**. Dati sperimentali, infatti, indicano che la differenza tra calcestruzzo vibrato e non, in termini di resistenza a compressione, si annulla se il getto subacqueo avviene con conglomerati di lavorabilità maggiore di 180 mm.

Fermo restando il rispetto dei requisiti composizionali sopra menzionati la realizzazione di un getto subacqueo non può prescindere dal rispetto di una serie di accorgimenti da adottare durante la posa in opera del conglomerato sott'acqua nel seguito elencati:

- la tubazione per il convogliamento del calcestruzzo sott'acqua deve essere in **acciaio di spessore e peso adeguato** per resistere alle sollecitazioni cui sarà soggetta durante il getto ed, in particolare, per poter sopportare la spinta idrostatica che, nei getti a grande profondità potrebbe determinare indesiderati fenomeni di galleggiamento;



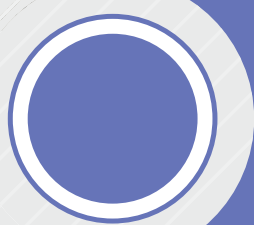
IL CALCESTRUZZO PER GETTI SUBACQUEI



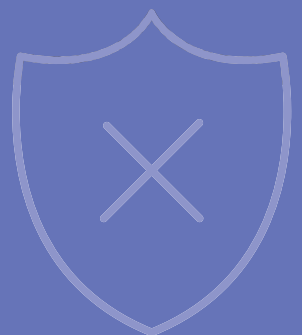
- la tubazione deve avere un **diametro compreso tra 200-300 mm**, sufficiente a far defluire il calcestruzzo evitando intasamenti;
- per getti profondi, la **tramoggia deve essere realizzata in elementi staccabili** in modo che quando la profondità di posa si riduce possano essere facilmente smontabili;
- è opportuno che venga predisposta **una valvola di sfiato della pressione a monte della linea di pompaggio** al fine di prevenire la formazione di bolle d'aria (vuoto);
- **l'ispezione dopo il getto è molto difficoltosa**. Si consiglia, pertanto, di effettuare una pre-ispezione e controllare la posa del calcestruzzo (mediante sub specializzati in queste lavorazioni).

Se la qualità del calcestruzzo è ottimale, e se viene curata attentamente la posa in opera, i conglomerati subacquei presenteranno in servizio eccellenti proprietà meccaniche e durabilità in quanto:

- a) **le condizioni di maturazione sono ideali e, quindi, la resistenza a compressione in opera aumenterà nel tempo anche molti mesi dopo la scadenza canonica dei 28 giorni;**
- a) **le strutture realizzate non sono interessate dal fenomeno del ritiro igrometrico e, pertanto, non sono esposte ad alcun rischio di fessurazione**



**IL CALCESTRUZZO
SPRUZZATO
("SHOTCRETE")**



COLABETON 



IL CALCESTRUZZO SPRUZZATO ("SHOTCRETE")



Il calcestruzzo spruzzato ("shotcrete o spritz beton") viene impiegato prevalentemente nelle **costruzioni sotterranee** per la **protezione nell'avanzamento dello scavo in roccia** dall'eventuale caduta di materiale lapideo e per **bloccare le venute di acqua dalle pareti dello scavo**. Il calcestruzzo proiettato, inoltre, è utilizzato anche per la **protezione degli scavi di fondazione, per il consolidamento di pendii e scarpate**, nonché per l'esecuzione dei **lavori di ripristino delle costruzioni in calcestruzzo degradate** allorquando gli spessori di materiale da riportare superano i 60-70 mm. A differenza dei tradizionali calcestruzzi posati entro i casseri e successivamente sottoposti a vibrazione per l'espulsione dell'aria in eccesso finalizzata a incrementare la resistenza meccanica del calcestruzzo, **nel calcestruzzo spruzzato la posa in opera e la compattazione avvengono con una sola operazione**. La **compattazione** per questi conglomerati, infatti, si realizza sfruttando la **velocità dell'impatto del conglomerato contro le pareti del substrato** costituito dal terreno, dalla roccia oppure dalla struttura in calcestruzzo da riparare. Indipendentemente dalla struttura cui il calcestruzzo è destinato, al fine di **evitare che il conglomerato venga dilavato dall'acqua presente sulle pareti dello scavo e con l'obiettivo di ridurre la quantità di materiale che rimbalza ("lo sfrido")**, questi conglomerati devono **possedere una presa istantanea ("flash set")** che è ottenuta ricorrendo all'aggiunta nell'impasto di **specifici additivi acceleranti di presa**. La posa in opera del calcestruzzo spruzzato può avvenire con due procedimenti distinti: **per "via secca" oppure "per via umida"**. Nel procedimento per **"via secca"** i soli ingredienti in polvere (**cemento, aggregati, aggiunte minerali**) vengono trasportati in una tubazione nella quale, solo in corrispondenza della parte terminale viene aggiunta l'acqua e poi l'additivo accelerante di presa. Nel procedimento per **"via umida"**, invece, **ad essere trasportato nella tubazione è il calcestruzzo e l'aggiunta dell'additivo liquido accelerante avviene alla "lancia" (o "pistola" in**



IL CALCESTRUZZO SPRUZZATO ("SHOTCRETE")



inglese "gun" da cui il termine "gunita" che identifica nel gergo di cantiere il calcestruzzo proiettato) attraverso un condotto separato dalla pompa principale che trasporta il conglomerato fluido. In entrambi i sistemi, la proiezione del calcestruzzo contro **le pareti dello scavo è ottenuta immettendo aria compressa nella parte terminale della tubazione**. I calcestruzzi spruzzati messi in opera per "via umida" sono da preferire rispetto a quelli per "via secca" per la riduzione della polverosità durante la proiezione oltre che per una maggiore produttività.

Rispetto ai tradizionali conglomerati, il calcestruzzo spruzzato presenta delle specificità a livello compositivo e prestazionale. La necessità di **ridurre il "rimbalzo" di materiale durante la proiezione**, soprattutto su quelle pareti di roccia ove vi è presenza di acqua, impone che l'impasto sia caratterizzato da un volume di materiale fine maggiore di quello usualmente presente nei calcestruzzi ordinari. Infatti, **umentando la frazione finissima a scapito di quella lapidea si riduce la perdita di materiale durante la proiezione contro le pareti dello scavo**. In linea di massima, **il dosaggio minimo di cemento non risulta inferiore a 420-450 kg/m³ anche per consentire all'impasto di sviluppare già dopo 6 ore dal getto una resistenza a compressione maggiore di 4 N/mm²**. Generalmente, per la produzione del calcestruzzo proiettato vengono impiegati **aggregati di pezzatura massima non superiore a 8-12 mm**. Inoltre, sempre nell'ottica di migliorare sia le prestazioni meccaniche del calcestruzzo, ma soprattutto per incrementare la coesione dell'impasto e, quindi, sia la resistenza al dilavamento che la minore tendenza al rimbalzo, i calcestruzzi spruzzati sono spesso confezionati ricorrendo all'impiego del **fumo di silice in misura del 5-7% sulla massa del cemento (circa 20-35 kg/m³)**. Infine, per garantire una presa istantanea che favorisca l'adesione alla roccia anche in presenza di consistenti venute di acqua si utilizza un **additivo accelerante di presa**. L'additivo accelerante di presa per "shotcrete" più comune è costituito dal **silicato di sodio generalmente utilizzato in misura variabile tra l'8 e il 15% rispetto alla massa del cemento**; l'aggiunta dell'additivo e il suo dosaggio



IL CALCESTRUZZO SPRUZZATO ("SHOTCRETE")



vengono regolati, in funzione della reologia del calcestruzzo e delle venute di acqua sulle pareti dello scavo, direttamente dall'operatore addetto alle operazioni di proiezione del conglomerato. A fronte di una **presa istantanea**, favorita dall'accelerazione dei processi di idratazione dei silicati e degli alluminati di calcio del clinker di cemento Portland, l'effetto dell'additivo accelerante alle stagionature successive è quello di **ridurre drasticamente il grado di idratazione del cemento a causa dell'impedimento esercitato dai solidi formatisi durante il processo di presa che, ricoprendo i granuli di cemento anidri, ne ostacolano il contatto con l'acqua**. Il risultato pratico di questa "ostruzione" è rappresentato da una crescita modesta delle resistenze a compressione nel tempo. Dopo 28 giorni la resistenza meccanica a compressione di impasti additivati con acceleranti di presa a base di silicato sodico evidenziano una penalizzazione di circa il 10-20% rispetto a quella di un analogo betoncino privo di additivo. È da tener presente, inoltre, che nell'applicazione a spruzzo di questi materiali, il grado di compattazione che si realizza nel rivestimento in calcestruzzo a contatto con le pareti dello scavo risulta inferiore rispetto a quello ottenibile se lo stesso conglomerato venisse posto in opera con le tecniche di posa tradizionali e, poi, sottoposto a un'intensa vibrazione. In linea di massima la riduzione della massa volumica che si consegue per lo "shotcrete" in opera è all'incirca del 5-7% rispetto a quella ottenibile dalla completa compattazione del conglomerato (ovviamente privato dell'additivo accelerante). Pertanto, l'abbattimento della resistenza a compressione a seguito di quest'effetto è stimabile all'incirca tra il 36 e il 45%. In definitiva, s'intuisce come sommando l'effetto del blocco dell'idratazione prodotto dall'accelerante a quello derivante dal ridotto grado di compattazione conseguente alla presa istantanea, **i betoncini spruzzati confezionati con additivi a base di silicati di sodio mostrino una penalizzazione della resistenza a compressione di circa il 50% rispetto**



IL CALCESTRUZZO SPRUZZATO ("SHOTCRETE")



a quella conseguibile da un impasto ben compattato di pari rapporto a/c in assenza di accelerante di presa. Per effetto di questa importante perdita di resistenza meccanica a compressione, i rivestimenti spruzzati realizzati con betoncini additivati con acceleranti di presa a base di silicato di sodio rivestono **nell'ambito della progettazione strutturale della galleria il ruolo di struttura provvisoria**, in quanto nel calcolo delle resistenze alla spinta delle rocce non si tiene conto del contributo da essi offerto. Per questo motivo, negli ultimi anni, la ricerca nel settore degli additivi per "spritzz-beton" è stata orientata verso prodotti che fossero in grado di garantire una presa sufficientemente rapida per poter aderire sulle pareti dello scavo senza "sfrido" eccessivo di materiale, ma che, nel contempo, non pregiudicassero il naturale processo di idratazione del cemento in modo che in servizio il conglomerato possedesse resistenze meccaniche sufficienti per poter contribuire alla resistenza dell'intero rivestimento nei confronti della spinta esercitata dal terreno. Allo scopo, oggi sono disponibili **acceleranti di presa denominati *alkali-free*** (privi di alcali), costituiti da solfato di alluminio che consentono (Tabella 1) di confezionare impasti di calcestruzzo di sufficiente tixotropia, da aderire senza sfridi eccessivi alle pareti dello scavo, ma, soprattutto, se utilizzati in combinazione con fumo di silice e additivi superfluidificanti, consentono di ottenere rivestimenti spruzzati che posseggono prestazioni di poco discoste da quelle di un analogo impasto ben compattato e privo di additivo. Infatti, la resistenza in opera misurata su carote di betoncino (confezionato con additivi *alkali-free*) spruzzato contro le pareti della roccia risulta penalizzata di appena il 10% circa rispetto a quella del calcestruzzo privo di accelerante di presa (Tabella 1). Se si tiene conto che la riduzione di massa volumica del betoncino (con additivi *alkali-free*) spruzzato, rispetto all'analogo impasto senza additivo (messo in opera raggiungendo la massima compattazione) è di appena il 3%,

IL CALCESTRUZZO SPRUZZATO ("SHOTCRETE")



si intuisce come con questi acceleranti di presa *alkali-free*, grazie ad una presa relativamente più lenta rispetto a quella degli impasti con silicati, si riesca ad ottenere una struttura più chiusa caratterizzata da una minore porosità rispetto ai rivestimenti confezionati con silicato di sodio. Inoltre, questi additivi in combinazione con un superfluidificante, non solo non interferiscono negativamente sul processo di idratazione del cemento ma, al contrario, sembra che favoriscano una maggiore dispersione dei granuli di cemento e consentano di aumentare la frazione di cemento idratato tanto da compensare in parte la diminuzione di resistenza attesa sulla base della sola riduzione della massa volumica (Tabella 1).

Tabella 1 - Effetto degli acceleranti di presa sulla resistenza a compressione di calcestruzzi spruzzati
(450 kg/m³ di cemento; 20 kg/m³ di fumo di silice; a/c = 0.42)

VARIAZIONI DI UN CALCESTRUZZO ADDITIVATO CON ACCELERANTE DI PRESA VS UNO STANDARD				
ADDITIVI ACCELERANTI	MASSA VOLUMICA	RESISTENZA A COMPRESSIONE 28gg	RESISTENZA PER EFFETTO DELLA POROSITÀ	RESISTENZA PER EFFETTO DELL'AZIONE INIBENTE
SILICATO DI SODIO (12% vs massa del cemento)	- 6%	- 55%	- (36÷45) %	- (10÷19) %
SILICATO DI SODIO (8% vs massa del cemento)	- 5%	- 54%	- (30÷38) %	- (16÷24) %
ALKALI-FREE (7% vs massa del cemento)	- 3%	- 10%	- (18÷23) %	+ (8÷13) %

Resta da segnalare, tuttavia, come lo sviluppo delle resistenze a compressione nei primi minuti successivi all'applicazione del rivestimento risulta comunque più elevato negli impasti additivati con il silicato di sodio, ma già dopo 4 ore i valori di resistenza a compressione ottenibili con gli acceleranti a base di solfato di alluminio sono sostanzialmente identici a quelli conseguibili con gli acceleranti di presa tradizionali. Questo da un punto di vista pratico pone delle limitazioni all'impiego dei betoncini spruzzati con gli additivi *alkali-free* allorquando sulle pareti dello scavo sono presenti forti venute di acque che potrebbero dilavare il rivestimento appena proiettato; in questi casi particolari, gli acceleranti tradizionali a base di silicato di sodio si fanno ancora preferire a quelli a base di solfato di alluminio.

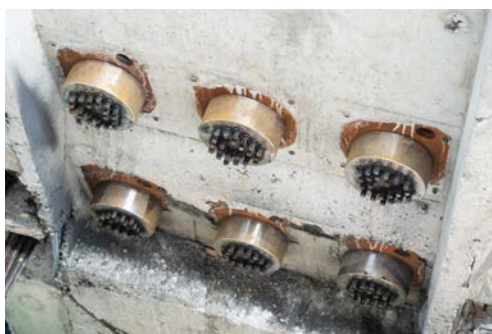


**LE MISCELE DA
INIEZIONE**



COLABETON 

LE MISCELE DA INIEZIONE



Gli interventi di **consolidamento dei terreni e delle rocce** in ambito geotecnico che prevedono l'applicazione di **tiranti in acciaio**, ma anche la realizzazione di **micropali**, il **riempimento delle guaine dei cavi di post-tensione** e il **fissaggio di nuove armature in strutture in calcestruzzo armato esistenti sottoposti ad intervento di restauro e/o di adeguamento sismico** sono i principali campi di applicazione delle **miscele da iniezione**. Queste miscele ottenute **mescolando il legante con sola acqua o ricorrendo anche all'impiego di filler inerti**, debbono possedere **caratteristiche spiccate di fluidità e di assenza di segregazione** per consentire un idoneo e completo riempimento dei fori - realizzati per alloggiare i tiranti (nel caso dei consolidamenti delle rocce), le armature dei micropali o i ferri di ripresa (negli interventi di consolidamento) – o delle guaine (nelle strutture post-tese). La fluidità di questi sistemi deve essere modulata in relazione alla difficoltà di riempimento dei vuoti e degli interstizi che debbono essere iniettati.

A riempimento avvenuto, le miscele debbono evidenziare una **eccellente resistenza alla segregazione e assenza di acqua essudata** per evitare, appunto, che **l'acqua di bleeding possa rifluire verso le zone sommitali inficiando il corretto riempimento e pregiudicando sia le prestazioni che la durabilità degli interventi nel loro complesso**. Si pensi, ad esempio, al riempimento delle guaine dei cavi post-tesi, se a seguito dell'iniezione della miscela, la stessa dovesse evidenziare un fenomeno di segregazione e bleeding, i cavi potrebbero trovarsi solo parzialmente immersi nel sistema iniettante, con il risultato che le zone non annegate nella matrice legante si troverebbero esposte all'aria e, quindi, fortemente esposte al rischio di corrosione. Ancor più grave potrebbe risultare la situazione se lo stesso fenomeno



LE MISCELE DA INIEZIONE



si dovesse presentare nei fori effettuati per alloggiare i tiranti nell'ambito di un intervento di consolidamento di un costone roccioso. In questo caso, infatti, la segregazione della miscela iniettante, oltre a lasciare parzialmente emersi i tiranti stessi esponendoli – come nel caso dei cavi post-tesi – al rischio di corrosione, finirebbe per ridurre l'efficienza del tirante che è strettamente legata alla superficie di attrito tra la miscela iniettante e le pareti del foro. Si tenga anche presente che questo rischio di segregazione delle miscele iniettanti non è solo ipotetico, ma reale, in quanto la necessità di avere delle boiacche da iniezione di fluidità molto spinta per assicurare il completo riempimento di spazi molto angusti, esaspera – se non vengono adottati opportuni accorgimenti di cui si discuterà più avanti sia in termini di ingredienti che di proporzionamento degli stessi – il fenomeno della segregazione e del bleeding. Occorre anche tener presente che il riempimento dei fori nella roccia avviene senza poter procedere alla bagnatura degli stessi; pertanto, se l'iniezione avviene in un terreno asciutto, esiste il rischio che parte dell'acqua di impasto possa essere assorbita dalle pareti del foro determinando una riduzione del grado di idratazione del legante e, quindi, una diminuzione indesiderata dell'aderenza della miscela iniettante alla roccia. Anche in questa evenienza l'efficienza del tirante viene, di fatto, ridotta. Si tenga, infine, presente che, anche in presenza di un perfetto riempimento dei fori o delle guaine, avvenuto, quindi, con una miscela priva di segregazione tanto da garantire una perfetta aderenza della miscela iniettante alle pareti del cavo o della guaina, l'efficienza del tirante e la protezione dei cavi post-tesi potrebbero essere compromessi se, nel tempo, per effetto del ritiro idraulico della matrice legante la boiacca indurita dovesse staccarsi dalle pareti del foro o della guaina stessa.

LE MISCELE DA INIEZIONE



Da quanto sopra evidenziato, si intuisce come la progettazione e la produzione di una miscela di iniezione non può avvenire mescolando il legante con sola acqua, ma si debba far ricorso ad ingredienti speciali che, senza ridurre la fluidità del sistema, siano in grado di prevenire sia i fenomeni di essudazione dell'acqua di bleeding e la segregazione che il ritiro idraulico della matrice legante. In sostanza, la progettazione e la produzione di una miscela iniettante debbono essere finalizzate a conseguire i seguenti obiettivi prestazionali:

- **eccellente fluidità** determinata mediante prova di **svuotamento al cono di Marsh modificato: 15-25 secondi**;
- **eccellente mantenimento della fluidità iniziale** nel tempo determinata mediante prova di svuotamento al cono di Marsh **dopo 30 minuti dal confezionamento della miscela: 25-30 secondi**;
- **bleeding** valutato mediante la metodologia di prova prevista dalla **UNI 445: assente**;
- **espansione in fase plastica: > 0.3%**;
- **espansione contrastata ad 1 giorno valutata in ambiente con U.R. = 60%: > 300 µm/m**;
- **resistenza caratteristica a compressione a 28 gg: ≥ 40 MPa**;
- **resistenza allo sfilamento di barre di acciaio in accordo alla Rilem RC6 78 ≥ 15 MPa**.

Al fine di conseguire questi obiettivi le miscele iniettanti debbono essere confezionate ricorrendo all'impiego di:

- **additivi riduttori di acqua ad alta efficacia** che consentano di ottenere lo svuotamento al cono di Marsh richiesto con il minor quantitativo di acqua, in modo da poter conseguire anche l'obiettivo di bleeding nullo;



LE MISCELE DA INIEZIONE



- **additivi modificatori della viscosità** per aumentare ulteriormente la resistenza alla segregazione della miscela e ridurre la perdita di acqua per sottrazione determinata dalle pareti del foro asciutte. Si tratta generalmente di polimeri ad alto peso molecolare appartenenti alla categoria delle cellulose;
- **agenti espansivi in fase plastica** per compensare anche lievissimi fenomeni di assestamento plastico della miscela assicurando, quindi, una perfetta aderenza del sistema iniettante alle pareti dei fori o delle guaine. Si tratta di additivi capaci di espandere in volume, quando la miscela non ha ancora attivato i processi di presa, grazie alla basicità dell'ambiente garantita dalla presenza di calce apportata dal legante utilizzato nel confezionamento di questi sistemi;
- **agenti espansivi** di natura inorganica (non metallici) a base di ossido di calcio (CaO) oppure di solfoalluminato tetracalcico ($\text{C}_4\text{A}_3\bar{\text{S}}$) che a contatto con l'acqua producono con aumento di volume il corrispondente idrossido e l'ettringite, rispettivamente. L'espansione di volume impedita dal contrasto esercitato proprio dalle pareti del foro o della guaina induce uno stato di coazione interna (**compressione**) che compensa l'effetto del ritiro idraulico. Il dosaggio di agente espansivo viene modulato in modo che il rilassamento dello sforzo indotto dal ritiro impedito risulti comunque inferiore alla coazione iniziale impressa garantendo, quindi, che la miscela iniettante rimanga perfettamente aderente alle pareti del foro assicurando, quindi, sia l'efficienza del tirante che la protezione dello stesso e dei cavi post-tesi dalla corrosione;



LE MISCELE DA INIEZIONE

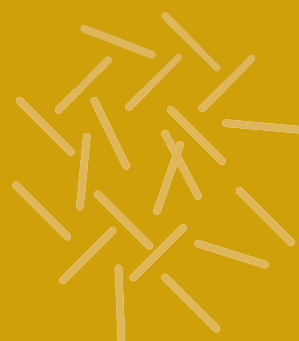


- **adottando un rapporto acqua/legante** sufficiente a garantire una porosità capillare ridotta in modo da proteggere i ferri dall'ingresso delle sostanze aggressive e, quindi, dalla corrosione. Il rapporto a/c prescelto, inoltre, deve garantire una resistenza a compressione medio-alta che assicuri anche un'aderenza all'acciaio eccellente in modo da superare la specifica relativa alla prova di sfilamento delle barre secondo la procedura RILEM.



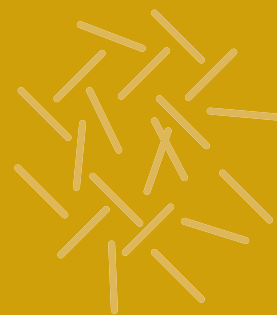


**LE FIBRE E IL
CALCESTRUZZO
FIBRORINFORZATO**



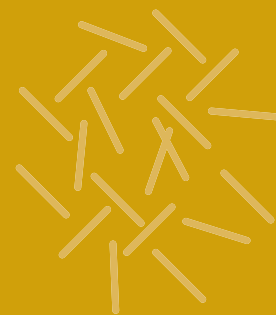
COLABETON 

LE FIBRE E IL CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO



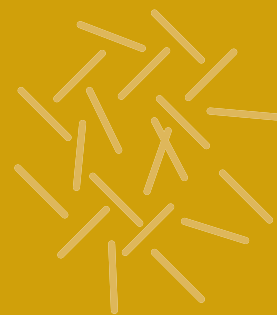
Il concetto che l'inserimento di un rinforzo discreto direttamente nell'impasto di un materiale a comportamento fragile (come una matrice di terra cruda, gesso, calce aerea, calce idraulica, cemento) potesse colmare alcune delle sue intrinseche debolezze, fonda le sue radici in tempi remoti. Basti pensare a quando nei mattoni in terra cruda veniva aggiunta all'impasto di argilla la paglia prima di modellarli e lasciarli asciugare al fine di prevenire la comparsa di fessure legate proprio all'essiccazione del materiale. Ancora oggi i tetti delle capanne nei paesi andini vengono realizzati con impasti di terra cruda rinforzati con fibre di *cardones* (i cactus dell'America Latina). Alla fine dell'800, la necessità di produrre manufatti in cemento di ridotto spessore (quali lastre di copertura, ma anche vasche di contenimento di liquidi e tubazioni) indusse ad un massiccio impiego di fibre naturali a base di amianto, rivelatosi solo successivamente pericoloso per la salute dell'uomo e abbandonato in favore di altre tipologie di fibre più sicure. Già durante la seconda guerra mondiale vennero testate le fibre in acciaio per il miglioramento delle proprietà dei calcestruzzi cui seguirono quelle in vetro e a metà degli anni '70 le fibre in materiale polimerico. Come già accennato, il calcestruzzo è un materiale a comportamento fragile che, unitamente alla modesta resistenza a trazione (nella progettazione strutturale di gran parte degli elementi in c.a. la resistenza a trazione del calcestruzzo si assume pari a zero affidando completamente gli sforzi di trazione all'armatura) e all'innata tendenza a contrarsi per effetto del ritiro idraulico (la contrazione di volume che qualsiasi elemento in calcestruzzo subisce allorché è esposto ad un'atmosfera insatura di vapore), tende a fessurarsi in maniera più o meno evidente. Nella maggior parte dei

LE FIBRE E IL CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO



casi le fessure che si generano per il “fisiologico” ritiro idraulico della pasta cementizia costituiscono un problema di natura estetica più che di natura strutturale. Tuttavia, se consideriamo anche gli aspetti legati alla durabilità delle strutture, in accordo a quanto richiesto dalle norme vigenti, le fessure insorte negli elementi in c.a. potrebbero ridurre la vita nominale delle opere in quanto, queste soluzioni di continuità, favoriscono l’ingresso di agenti aggressivi quali l’anidride carbonica e i cloruri che proprio attraverso le fessure possono raggiungere rapidamente i ferri di armatura promuovendone in tempi molto rapidi i fenomeni di corrosione e di conseguente formazione di ruggine accompagnata dall’espulsione del copriferro. Fenomeni precoci di degrado possono essere determinati dagli agenti chimici aggressivi quali solfati, ammonio e magnesio presenti nel terreno o disciolti in acque a contatto con gli elementi in calcestruzzo soggetti a fessurazione da ritiro idraulico. Infine, la presenza di fessure può esaltare la disgregazione della matrice in quelle strutture esposte a cicli di gelo/disgelo e/o ridurre la resistenza all’abrasione nel caso delle pavimentazioni. Negli anni passati si è cercato di ovviare a queste carenze intrinseche del calcestruzzo utilizzando, nelle sezioni degli elementi in c.a. maggiormente esposti a questo rischio, un’armatura cosiddetta di ripartizione, costituita solitamente da barre di piccolo diametro disposte secondo reticoli a maglia quadrata con lato piccolo. Tuttavia, queste armature possono fronteggiare soltanto gli sforzi che insorgono nelle due direzioni in cui sono disposti i ferri. In realtà, gli sforzi di trazione generati dall’impedimento alla contrazione da ritiro si manifestano anche in direzioni diverse da quelle in cui sono disposte le armature di ripartizione con il risultato che le fessurazioni non possono essere

LE FIBRE E IL CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO



fronteggiate soltanto dall'impiego delle armature tradizionali. Da queste considerazioni nasce l'idea di inserire all'interno dell'impasto un rinforzo diffuso in tutte le direzioni in grado di colmare la carenza di resistenza a trazione del calcestruzzo e ridurre la formazione di fessure da ritiro sia in estensione che in ampiezza. Il rinforzo fibroso, inoltre, può consentire di ottenere un generale miglioramento della resistenza a fatica, ai carichi impulsivi e al fuoco del calcestruzzo armato. I fattori che influenzano le proprietà dei materiali cementizi fibrorinforzati sono:

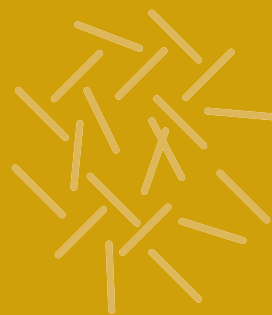
- i. proprietà chimico-fisiche delle fibre
- ii. proprietà chimico-fisiche della matrice cementizia;
- iii. aderenza tra i due materiali.

Per quanto concerne le fibre utilizzabili come rinforzo nel calcestruzzo esse debbono essere marcate CE e conformi alla norma UNI EN 14889 parte 1 e 2 rispettivamente per quelle in acciaio e polimeriche. Le principali proprietà delle fibre che influenzano in termini di prestazioni reologiche e meccaniche il calcestruzzo sono:

- natura/materiale;
- lunghezza della fibra (l_f);
- lunghezza in sviluppo della fibra (l_d);
- diametro equivalente (d_f);
- rapporto di forma (l_f/d_f).

Le fibre di acciaio sono disponibili in forma di aghi di diversa conformazione geometrica: a sezione circolare o rettangolare, a estremità piegate, dentate, ecc. con diametro equivalente (d_f) compreso fra 0.4 e 1.2 mm e lunghezza (l_f) variabile tra 25 e 80 mm. In funzione delle prestazioni da conseguire, il dosaggio delle fibre di acciaio può variare da 25 a 150 kg/m³.

LE FIBRE E IL CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO



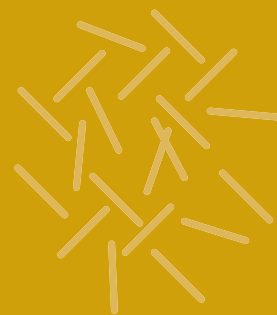
Le fibre metalliche possono essere in acciaio al carbonio, zincate o inox. Per quanto concerne le fibre non metalliche esse si suddividono in:

- a) fibre non metalliche strutturali – di tipo II - di lunghezza variabile tra 20 e 60 mm e diametro equivalente di 0.8-1.3 mm aggiunte in quantità comprese fra 2.5 e 6.0 kg/m³ per la produzione di conglomerati destinati alle stesse applicazioni di quelli prodotti con le fibre di acciaio;
- b) fibre non metalliche non strutturali – di tipo IA - di lunghezza variabile da 10 a 30 mm e diametro di 0.1-0.2 mm aggiunte in misura di 0.8-1.2 kg/m³ per la realizzazione di calcestruzzi destinati prevalentemente a solette e pavimenti di piccolo spessore per attenuare il rischio fessurativo derivante dal ritiro plastico del conglomerato.



In generale le fibre non metalliche possono essere o in vetro o di natura organica (prevalentemente poliacrilonitrile, poliestere e polipropilene). Attualmente quelle strutturali maggiormente utilizzate sono in polipropilene. La differenza di dosaggio tra le fibre in acciaio e quelle polimeriche è legata ai diversi pesi specifici dei materiali. Infatti, se si considerano i dosaggi delle fibre in volume e non in massa, il range di variazione è pari a 1.5-8.0 l/m³ indipendentemente dalla natura del rinforzo, limitato superiormente per non avere eccessivi problemi di reologia degli impasti. Se si utilizzano elevati dosaggi di fibre, infatti, si rischia di rendere l'impasto poco fluido e non raggiungere i livelli di lavorabilità richiesti per una corretta messa in opera. In ogni caso, in queste evenienze, sarà necessario riformulare la ricetta dell'impasto eventualmente modificando dosaggi e tipologie di additivi utilizzati.

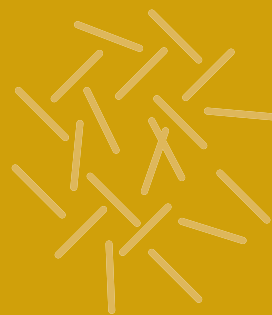
LE FIBRE E IL CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO



Ciò che riveste un ruolo di primaria importanza per il calcestruzzo fibrorinforzato oltre che al tipo e al dosaggio delle fibre e alla classe di resistenza del calcestruzzo, è l'aderenza matrice-fibra in quanto, essendo l'allungamento a rottura di tutte le fibre circa 2-3 ordini di grandezza superiore alla deformazione a rottura della matrice, il conglomerato subirà la rottura molto prima che si possa verificare quella delle fibre, che, quindi, assumeranno importanza predominante solo dopo la fessurazione. Le fibre, infatti, si attivano dopo la fessurazione della matrice e controllano la fessurazione del calcestruzzo, migliorandone la tenacità post-fessurazione ossia la resistenza opposta dal materiale all'avanzamento del processo di frattura per effetto della sua capacità di dissipare energia di deformazione. Pertanto, la proprietà meccanica principale dei calcestruzzi fibrorinforzati è rappresentata non tanto dalla resistenza a compressione, come avviene per la maggior parte dei conglomerati, ma dalla resistenza residua a trazione, ossia dalla capacità di sopportare ancora il carico dopo l'innesco della prima fessurazione. Tale caratteristica è definita tenacità ed è valutata attraverso la prova di flessione secondo la norma UNI EN 14651:2005+A1:2007. I provini prismatici, confezionati in accordo alla UNI EN 12390-1, vengono intagliati in mezzera e sottoposti a una prova di flessione su tre punti di carico in controllo di CMOD (Crack Mouth Opening Displacement), ovvero lo spostamento rilevato fra due punti alla base dell'intaglio. Il calcestruzzo fibrorinforzato viene classificato sulla base di valori puntuali della tensione nominale $f_{R,j}$ corrispondenti a prefissati valori di CMOD e derivati dal carico F_j :

$$f_{R,j} = \frac{3F_j l}{2bh_{sp}^2} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

LE FIBRE E IL CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO



dove:

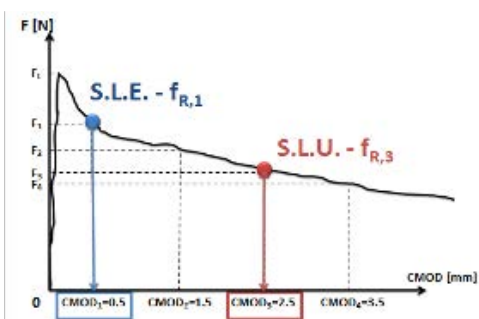
$F_{R,j}$ = resistenza residua a trazione valutata per CMOD = CMOD_j (j = 1, 2, 3, 4) [N/mm²];

F_j = carico corrispondente a CMOD = CMOD_j o $\delta = \delta_j$ (j = 1,2,3,4) [N];

l = luce del provino [mm];

b = larghezza del provino [150 mm];

h_{sp} = distanza tra l'apice dell'intaglio e la superficie superiore del provino [125 mm].



I calcestruzzi fibrorinforzati, in accordo al FIB MC 20101, possono essere denominati mediante la resistenza a flessione ($f_{R,1k}$) corrispondente a un'apertura di fessura di 0.5 mm (Tabella 1) seguita da una lettera che quantifica il rapporto tra $f_{R,3k} / f_{R,1k}$ (Tabella 2). Se ad esempio un calcestruzzo fibrorinforzato, che, a seguito delle prove sperimentali fornisce dei valori di resistenza $f_{R,1k} = 3.1$ N/mm² e $f_{R,3k} = 2.1$ N/mm², sarà classificato 3a, in quanto:

1. $f_{R,1k} = 3.1$ N/mm² → classe 3;
2. $f_{R,3k} / f_{R,1k} = 2.1/3.1 = 0.67 \rightarrow a$

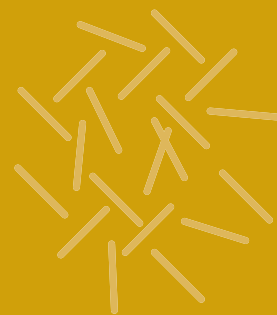
Tabella 1 - Classi di resistenza in funzione del valore di $f_{R,1k}$

Classe $f_{R,1k}$ [N/mm ²]	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabella 2 - Lettera per la denominazione del calcestruzzo fibrorinforzato in funzione del rapporto $f_{R,3k}/f_{R,1k}$

$f_{R,3k}/f_{R,1k}$	Classe
0.5 ÷ 0.7	a
0.7 ÷ 0.9	b
0.9 ÷ 1.1	c
1.1 ÷ 1.3	d
≥ 1.3	e

LE FIBRE E IL CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO



Come si può notare, i due parametri fondamentali in termini di prestazioni, necessari anche alla progettazione di elementi in calcestruzzo fibrorinforzato sono rappresentati dalle tensioni residue all'apertura della fessura di 0.5mm ($f_{R,1}$) e 2.5mm ($f_{R,3}$). In particolare, il calcestruzzo fibrorinforzato può essere utilizzato per fini strutturali allorquando le fibre vengono utilizzate in sostituzione della tradizionale armatura di acciaio secondo la norma:

- CNR-DT 204/2006 se il dosaggio è superiore allo 0.3% in volume
- fib MC 20101 se la resistenza residua all'apertura della fessura di 0.5 mm è almeno pari al 40% della resistenza che il materiale aveva al momento dell'innesco della prima soluzione di continuità (f_{Lk}), nonché all'aumentare dell'ampiezza della fessura da 0.5 a 2.5 mm, la resistenza residua non deve diminuire più del 50%:

$$\begin{cases} \frac{f_{R,1k}}{f_{Lk}} > 0.4 \\ \frac{f_{R,3k}}{f_{R,1k}} > 0.5 \end{cases} \rightarrow \text{calcestruzzo fibrorinforzato strutturale.}$$

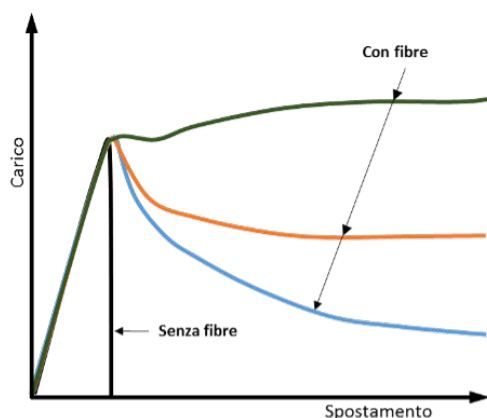
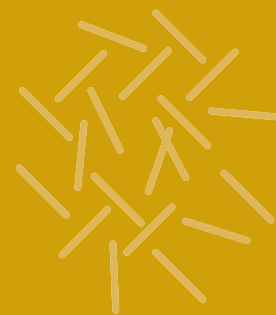
- CNR-DT 211/2014 (solo per pavimentazioni) se la resistenza residua all'apertura della fessura di 0.5 mm e 2.5 mm è almeno pari al 35% e al 25% della resistenza che il materiale aveva al momento dell'innesco della prima soluzione di continuità (f_{Lm})rispettivamente:

$$\begin{cases} \frac{f_{R,1m}}{f_{Lm}} > 0.35 \\ \frac{f_{R,3m}}{f_{Lm}} > 0.25 \end{cases} \rightarrow \text{calcestruzzo fibrorinforzato strutturale per pavimentazioni.}$$

Per poter confrontare tipologie di fibre diverse in termini prestazionali è obbligo per il produttore allegare alla marcatura CE delle fibre anche una DoP (Dichiarazione di



LE FIBRE E IL CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO



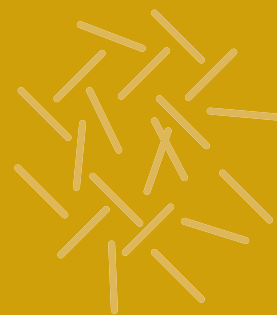
prestazione) nelle quale si riporta il dosaggio minimo di fibre che si deve utilizzare per raggiungere una resistenza residua a flessione di 1.5 MPa a 0.5 mm CMOD ($f_{R,1}$) e di 1.0 MPa a 3.5 mm CMOD oltre che al tempo di Vebè ottenuto con un determinato dosaggio. Ovviamente le miscele di calcestruzzo utilizzate sono standardizzate in accordo alla norma UNI EN 14845, in modo che l'unica variabile sia rappresentata dal tipo e dosaggio di fibre. Rispetto al calcestruzzo tal quale che ha un comportamento spiccatamente fragile in quanto dopo la comparsa della fessurazione volge immediatamente al collasso, il calcestruzzo fibrorinforzato è capace, grazie all'azione di cucitura dei cigli fessurativi, esercitata proprio dalla presenza delle fibre, di sopportare ancora livelli di carico più o meno elevati a seconda del tipo e della conformazione della fibra. In definitiva, aggiungendo le fibre agli impasti a base cementizia, non si hanno sostanziali variazioni in termini di resistenza a compressione, ma è possibile aumentarne la duttilità e di conseguenza la capacità resistente a flessione dopo la fessurazione. Il reale andamento della curva nella fase post-fessurativa dipende da una serie di fattori che generalizzando sono legati al dosaggio e tipo di fibra utilizzata.

Molti elementi strutturali e non sono progettati con l'utilizzo di calcestruzzo rinforzato con fibre sia in parziale che totale sostituzione dell'armatura tradizionale quali:

- pavimentazioni industriali e parcheggi
- elementi prefabbricati strutturali e non
- rivestimenti di gallerie.

Ai fini progettuali, attualmente esistono documenti di comprovata validità che consentono di dimensionare elementi strutturali in calcestruzzo fibrorinforzato quali

LE FIBRE E IL CALCESTRUZZO FIBRORINFORZATO



fib MC 2010 e CNR DT 204; specifici per pavimentazioni ci sono CNR DT 211-2014 e CSTR n.34. cui è possibile far riferimento per avere tutte le indicazioni necessarie per poter procedere ad un corretto progetto di elementi/strutture realizzate in calcestruzzo fibrorinforzato. I principali vantaggi legati all'utilizzo di un calcestruzzo fibrorinforzato sono pertanto riassumibili tra strutturali e realizzativi. In dettaglio, a livello strutturale l'impiego di fibre come rinforzo della matrice cementizia consente di ridurre le dimensioni delle fessure, garantendo una maggiore durabilità dell'opera, aumentare la resistenza a fatica, all'abrasione e ai carichi impulsivi del materiale. Infine, a livello realizzativo, la posa del calcestruzzo fibrorinforzato consente di ridurre i tempi di esecuzione e il costo della manodopera in quanto non si deve posare l'armatura; conseguentemente, è possibile garantire un maggior livello di sicurezza per le maestranze, soprattutto nel caso delle pavimentazioni, poiché gli operai non devono camminare in equilibrio precario sopra l'armatura sia durante le fasi di posa in opera che di getto del calcestruzzo. Infine, distribuire omogeneamente il rinforzo all'interno della miscela evita eventuali problemi connessi alla non corretta disposizione dei ferri all'interno del getto.





**PROGETTARE STRUTTURE
IN CALCESTRUZZO
ARMATO A TENUTA
IDRAULICA**



COLABETON 



PROGETTARE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO A TENUTA IDRAULICA



Le **strutture in calcestruzzo armato a tenuta idraulica** rappresentano una particolare tipologia di opere destinate al contenimento di acque sia potabili che reflue per le quali, oltre a garantire i requisiti strutturali e di durabilità richiesti per le strutture in calcestruzzo ordinario, è necessario conseguire il requisito di **“impermeabilità”** finalizzato ad evitare la perdita di liquidi attraverso gli elementi in c.a. e/o in corrispondenza delle riprese di getto tra gli elementi strutturali che compongono l’opera nel suo complesso. Appartengono a questa categoria di strutture le vasche adibite al contenimento di acque reflue e potabili, le vasche di prima pioggia, le vasche antincendio e le strutture degli impianti fognari e di depurazione. Il requisito di tenuta idraulica, inoltre, è richiesto anche per quelle strutture interrato – in particolari i muri controterra – che operano al di sotto del livello della falda acquifera ove è necessario impedire all’acqua di infiltrarsi e pervenire negli ambienti interni: è questo il caso tipico delle cantine e dei vani interrati, ma anche quello dei parcheggi interrati multipiano.

I requisiti di tenuta idraulica debbono, tuttavia, essere diversificati per quelle strutture in contatto con acqua potabile e per quelle che operano in presenza di acque reflue. Infatti, se da una parte per le strutture in contatto con acqua potabile è necessario assicurare soltanto il requisito di “impermeabilità” e quello di durabilità nei confronti della potenziale aggressione dell’anidride carbonica dell’aria (in particolare per quelle strutture non permanentemente immerse), per le opere che vengono in contatto con acque reflue è necessario garantire non solo un requisito di impermeabilità più stringente (per evitare che perdite di liquido possano provocare l’inquinamento dei terreni e delle falde circostanti), ma anche valutare la presenza di eventuali aggressivi per il calcestruzzo (solfati, ammonio, etc.).



PROGETTARE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO A TENUTA IDRAULICA



Il conseguimento del requisito di tenuta idraulica non può prescindere dall'adozione – nel confezionamento dell'impasto – di un rapporto acqua/cemento relativamente basso al fine di ottenere una matrice cementizia di ridotta porosità capillare che riduca la permeazione dell'acqua attraverso gli elementi in calcestruzzo armato. Una regola pratica è quella di adottare:

- $a/c \leq 0.55$ per strutture in contatto con acque potabili;
- $a/c \leq 0.50$ per opere idrauliche che vengono in contatto con acque reflue non contenenti agenti aggressivi per il calcestruzzo;
- $a/c \leq 0.45$ per opere idrauliche in contatto con acque che contengano agenti aggressivi in concentrazione pari a quelle indicate nella norma EN 206-1 per la classe di esposizione XA3.

Questi accorgimenti in termini di rapporto acqua/cemento e, quindi, di porosità del materiale, possono essere integrati con quelli relativi all'utilizzo di **materie prime ad altissima attività pozzolanica** che possono, da una parte, contribuire a ridurre la porosità attraverso un processo di "refinement" della matrice cementizia riducendo ulteriormente la permeabilità del calcestruzzo e, dall'altra, proprio grazie alla reazione pozzolanica, diminuire il contenuto di idrossido di calcio nella pasta di cemento riducendo così anche il rischio di formazione delle efflorescenze e delle patine biancastre di natura carbonatica contribuendo ad un generale miglioramento anche della qualità estetica dei manufatti. Particolarmente adatte a questo scopo sono le aggiunte pozzolaniche a base di **fumo di silice e metacaolino**. Quest'ultimo permette di ottenere calcestruzzi di porosità



PROGETTARE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO A TENUTA IDRAULICA



ridotte e di permeabilità tali da garantire la tenuta idraulica anche in presenza di acque reflue. Il fumo di silice, permette di realizzare manufatti a tenuta idraulica specificatamente indicati per il contenimento sia delle acque potabili che reflue. E' inutile sottolineare come il raggiungimento del requisito di tenuta idraulica nelle strutture reali non può prescindere da una corretta posa in opera e compattazione dei getti finalizzata ad evitare sia la comparsa di vespai e nidi di ghiaia che di zone con tenori di aria intrappolata eccessivi. Da questo punto di vista, il requisito di tenuta idraulica si consegue ricorrendo all'impiego di **calcestruzzi a consistenza fluida o superfluida** che presentino, grazie al ridotto quantitativo di acqua di impasto, un'eccellente resistenza alla segregazione. Queste proprietà si realizzano sia ricorrendo ad un sufficiente volume di particelle fini, che impiegando efficaci additivi riduttori di acqua i quali, senza pregiudicare la fluidità del calcestruzzo, assicurino la pratica assenza del fenomeno di bleeding. Infine, è altresì essenziale che dopo il getto e la vibrazione, il calcestruzzo venga sottoposto ad una **prolungata maturazione umida** che consenta di prevenire la comparsa di cavillature che potrebbero pregiudicare i requisiti di tenuta idraulica di un manufatto. Per ovviare a questi inconvenienti, tenendo presente che spesso, per ragioni legate alla celerità di esecuzione delle opere, la durata della maturazione umida in cantiere risulta molto breve, si può fare utile ricorso per garantire comunque la tenuta idraulica delle strutture, all'impiego di **specifici additivi capaci di ridurre l'assorbimento d'acqua conformi al prospetto 9 della norma UNI EN 934-2**. Resta inteso, tuttavia, come l'adozione di questi additivi in calcestruzzi di rapporto a/c superiore a 0.55 non consente di confezionare calcestruzzi a tenuta idraulica in senso stretto, ma semplicemente di migliorare il comportamento delle strutture, riducendo



PROGETTARE STRUTTURE IN CALCESTRUZZO ARMATO A TENUTA IDRAULICA



l'assorbimento d'acqua, che solo saltuariamente vengono in contatto con acqua. L'impiego combinato di un rapporto a/c inferiore a 0.55 e di **additivi specifici – denominati self-healing - conformi alla UNI EN 934-2 prospetto 9 e a base di acidi policarbossilici**, invece, garantisce non solo la tenuta idraulica per le strutture che si presentano integre e prive di fessure, ma anche per quei manufatti che – non essendo correttamente maturati a umido – dovessero presentare cavillature di ampiezza inferiore a 0.4 mm. Questi additivi, infatti, in presenza di acqua sono in grado di operare un'azione di risarcitura (di sigillatura) delle lesioni grazie alla formazione di alcuni sali a struttura cristallina che depositandosi nella soluzione di continuità impediscono all'acqua di attraversarle.

Resta, infine da segnalare che in corrispondenza delle riprese di getto tra due elementi strutturali (ad esempio tra fondazione e muri verticali), al fine di garantire la tenuta idraulica di questi punti singolari risulta necessario ricorrere all'impiego di profili espansivi in materiale acrilico o bentonitica per evitare la perdita di acqua attraverso questi "giunti freddi".



www.colabeton.it



Via della Vittorina, 60
06024 - Gubbio (PG) Italia

Assistenza commerciale

Tel. 075 9240044
clienti@colabeton.it

Assistenza tecnologica

Tel. 075 9240054
stc@colabeton.it

