



**PROSPECTA
FORMAZIONE**
Alta formazione Architetti Ingegneri Geometri

INFOWEB
network per l'edilizia e l'architettura

Malte da ripristino per strutture in calcestruzzo armato:

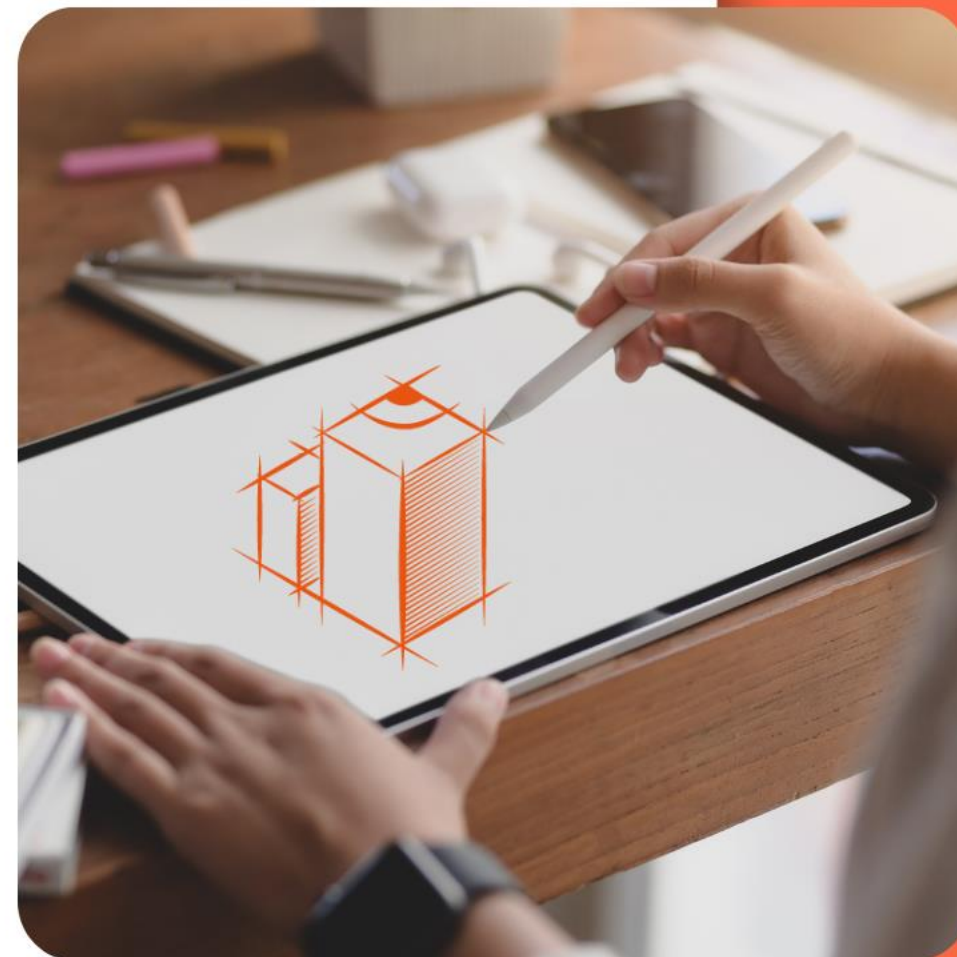
Diagnosi, normativa e soluzioni per la
durabilità delle opere.

Denny Coffetti
Università di Bergamo
denny.coffetti@unibg.it



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BERGAMO**

Dipartimento
di Ingegneria
e Scienze Applicate



Obiettivo del seminario

Meccanismi e processi decisionali per la corretta progettazione ed esecuzione di interventi di ripristino su strutture in calcestruzzo armato

- Il canovaccio del progetto di ripristino
- I principali meccanismi di degrado delle strutture in calcestruzzo armato
- L'impianto normativo e i «principi» della UNI EN 1504
- I meccanismi fondamentali per un intervento di successo: il ritiro contrastato e il ruolo dei protettivi superficiali

La domanda guida

**Quale problema
dobbiamo risolvere, e
quale strategia
vogliamo mettere in
atto per garantire un
ripristino efficace?**

Dal sintomo alla scelta dell'intervento

01

Rilievo

Sopralluogo (rilievo delle patologie e/o carenze strutturali), raccolta dei dati storico-geografici

**02**

Diagnosi definitiva

Cause e severità del danno

**03**

Strategia

Principi EN 1504-9 («OBIETTIVI»)

**04**

Progetto dell'intervento

Materiali, modalità di posa, dettagli costruttivi, controlli

**01 bis**

Sospetto diagnostico e piano d'indagine

Quali informazioni sono necessarie?
Come e dove reperirle?

L'intervento non comincia dalla malta ma dalla causa del degrado e dalla prestazione richiesta.

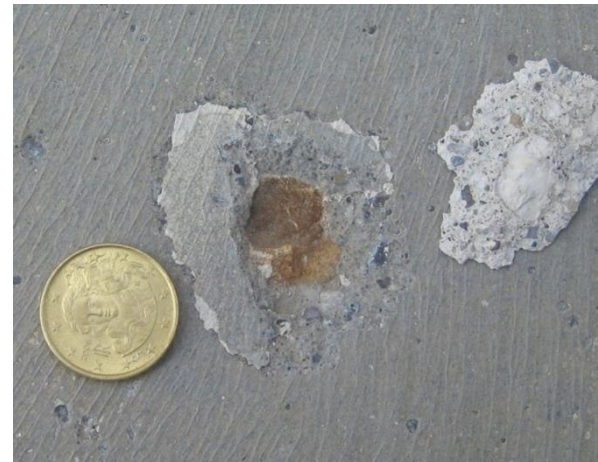


Forme di degrado/dissesto: endogene ed esogene

Endogene

Cause legate a difetti progettuali, ad un'impropria composizione del calcestruzzo e/o ad un'erronea produzione, posa in opera, compattazione e maturazione

- Errata scelta degli ingredienti
- Errori progettuali
- Difetti costruttivi



Forme di degrado/dissesto: endogene ed esogene



Esogene

Cause legate all'ambiente e all'uso della struttura

- Contatto con aria ed umidità
- Contatto con soluzioni acquose ricche di cloruri, solfati, etc.
- Cicli termici
- Sovraccarichi, eventi sismici

Corrosione delle barre di armatura nel calcestruzzo: carbonatazione

Passività delle armature
pH elevato:
velocità processo anodico trascurabile



Processo anodico
 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$

Conduzione
elettrica nel
metallo

Conduzione
elettrica nel
calcestruzzo

Processo catodico
 $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$



Presenza di O_2 e H_2O

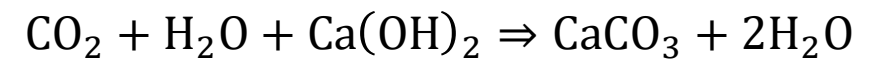
CO_2 atmosferica



pH ~ 8 - 9

pH ~ 12,5

Tenore di umidità



Corrosione delle barre di armatura nel calcestruzzo: carbonatazione

Effetti sulla struttura

Prodotti di corrosione espansivi



Nascita di sollecitazioni di trazione nel copriferro



Superamento della resistenza a trazione del calcestruzzo

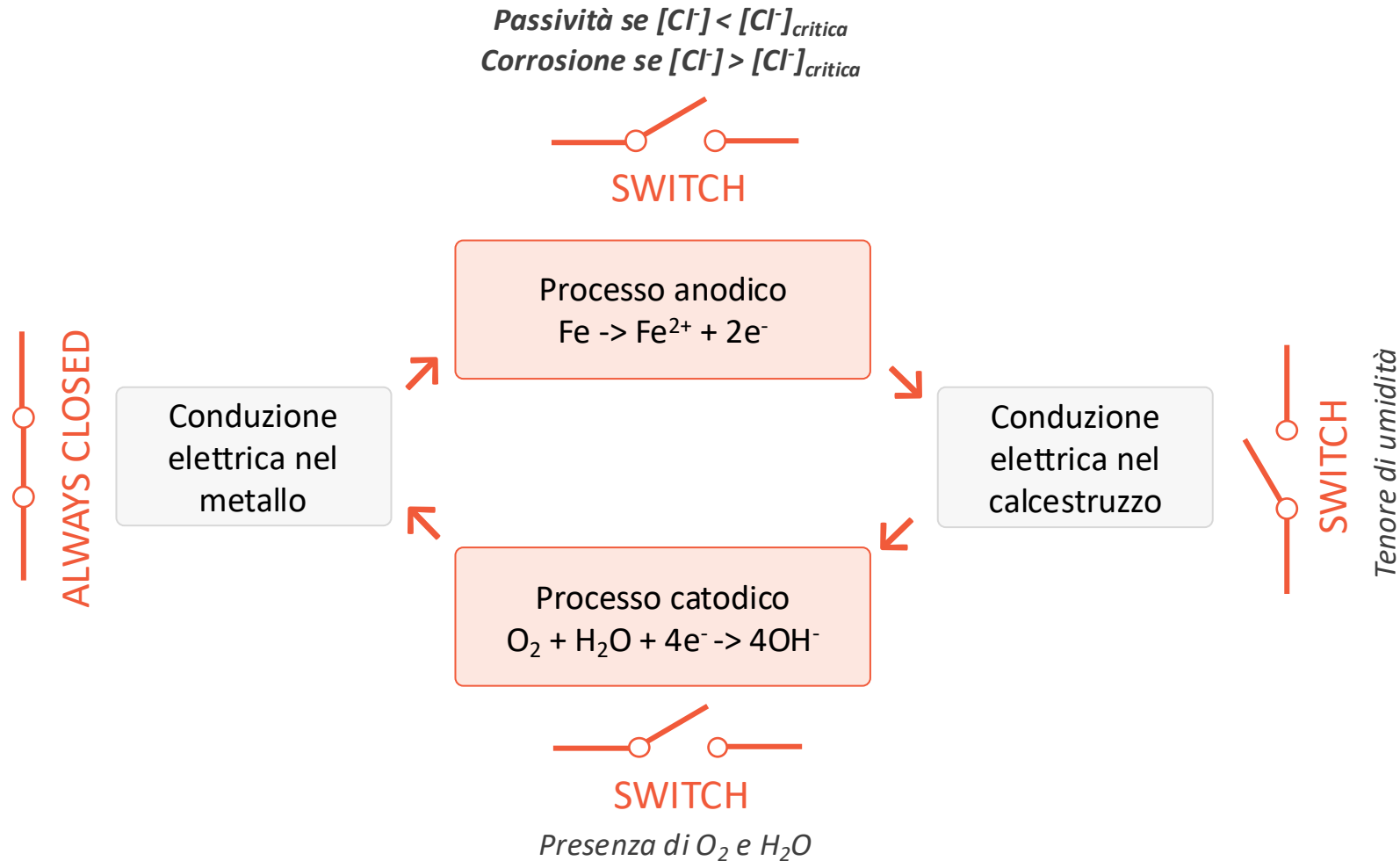


Espulsione del copriferro con successivo incremento della velocità di danneggiamento, perdita di sezione resistente

Corrosione generalizzata



Corrosione delle barre di armatura nel calcestruzzo: attacco da cloruri



Nelle strutture aeree
 $[Cl^-]_{critica} \sim 0,3 - 1\% \text{ vs cem}$

Nelle strutture totalmente immerse $[Cl^-]_{critica}$ è un ordine di grandezza maggiore

Corrosione localizzata, profonda, con riduzione della sezione resistente



La serie UNI EN 1504

La serie organizza prodotti, metodi di prova, requisiti e criteri di conformità per la protezione e il ripristino del calcestruzzo.

UNI EN 1504-1 Definizioni

UNI EN 1504-2 Sistemi di protezione della superficie di calcestruzzo

UNI EN 1504-3 Riparazione strutturale e non strutturale

UNI EN 1504-4 Incollaggio strutturale

UNI EN 1504-5 Iniezione del calcestruzzo

UNI EN 1504-6 Ancoraggio dell'armatura di acciaio

UNI EN 1504-7 Protezione contro la corrosione delle armature

UNI EN 1504-8 Controllo di qualità e valutazione della conformità

UNI EN 1504-9 Principi generali per l'utilizzo dei prodotti e dei sistemi

UNI EN 1504-10 Applicazione in opera di prodotti e sistemi e controllo di qualità dei lavori

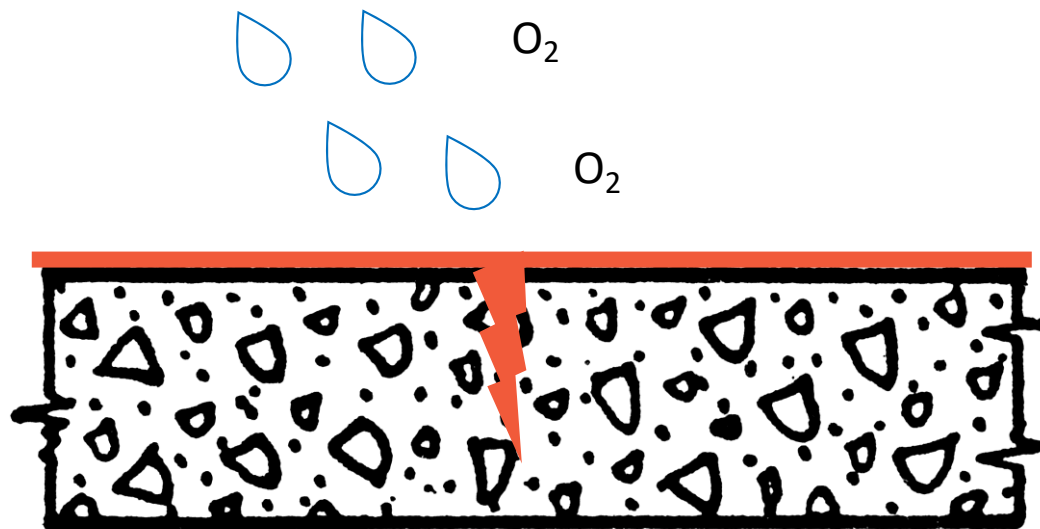
I principi della UNI EN 1504-9

**Protection
Ingress (PI)**

Protezione contro l'ingresso di
sostanze aggressive

**Cathodic
control (CC)**

Limitare la diffusione dell'ossigeno
nelle aree catodiche



Applicazione di
impregnanti sulla
superficie del calcestruzzo

Applicazione di
rivestimenti protettivi
filmogeni sulla superficie
del calcestruzzo

Sigillatura delle lesioni
con paste e resine
epossidiche



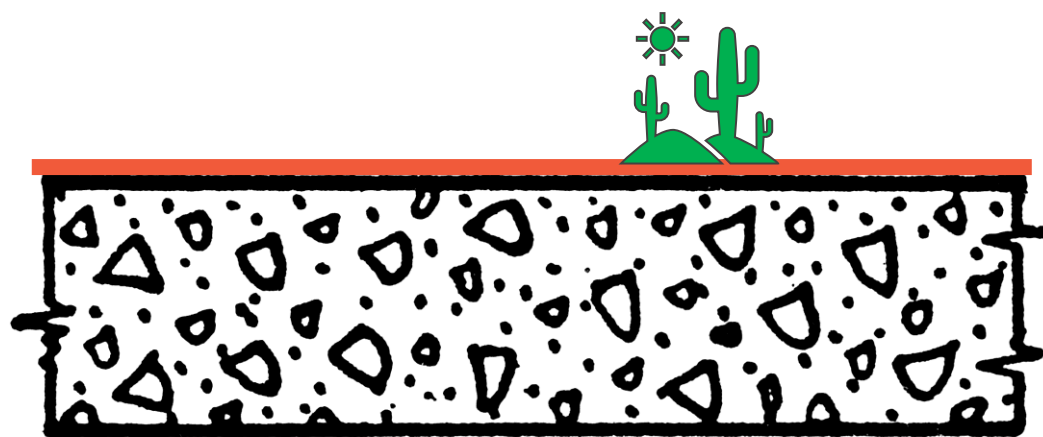
I principi della UNI EN 1504-9

**Moisture
content (MC)**

Controllo del grado di saturazione
del calcestruzzo

**Increasing
resistivity (IR)**

Aumento della resistività elettrica
del copriferro



Applicazione di
idrorepellenti sulla
superficie del calcestruzzo

Applicazione di
rivestimenti protettivi
filmogeni sulla superficie
del calcestruzzo



I principi della UNI EN 1504-9

Preserving or restoring passivity (PRP)

Ricreare le condizioni di passività delle armature

Control of anodic area (CA)

Impedire alle aree potenzialmente anodiche dell'armatura di corrodersi

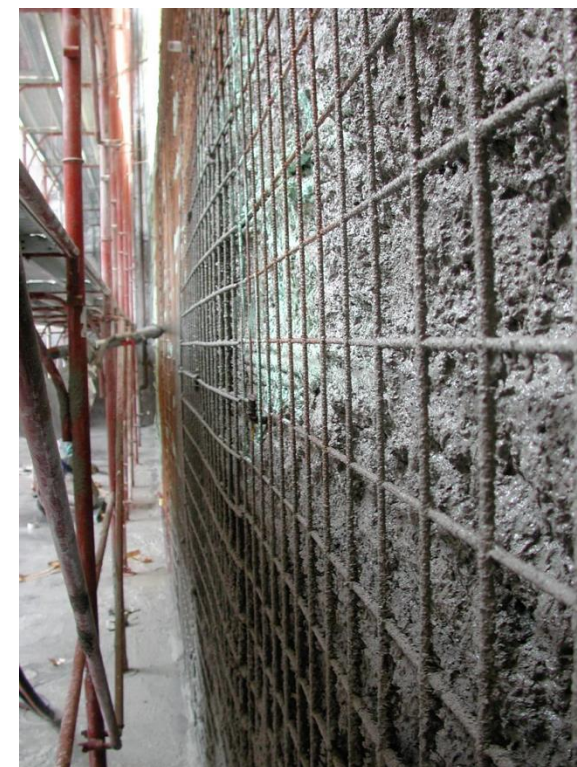


Sostituzione del calcestruzzo carbonatato o contaminato da cloruri (ed eventuale aumento del copriferro) con malte, betoncini o calcestruzzi, anche contenenti inibitori di corrosione

Applicazione sulla superficie del calcestruzzo di inibitori di corrosione migranti

Protezione dell'armatura con rivestimenti protettivi (MSP)

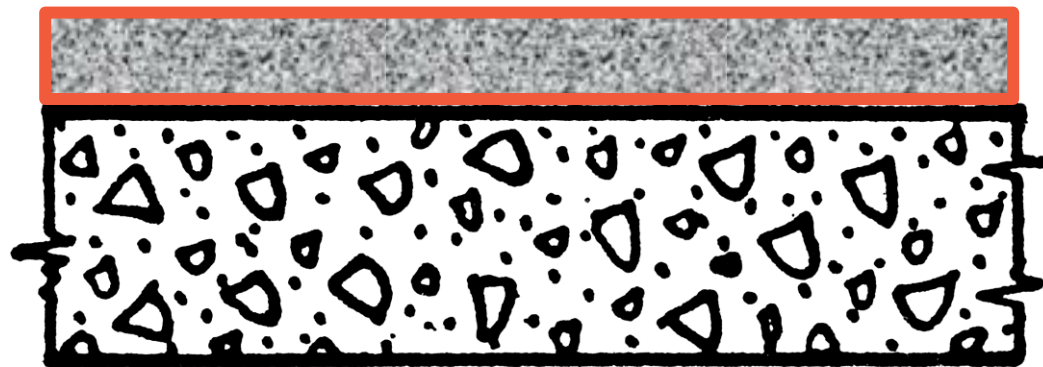
Rialcalinizzazione elettrochimica del calcestruzzo carbonatato o estrazione elettrochimica dei cloruri



I principi della UNI EN 1504-9

Concrete
repair (CR)

Ripristino della sezione in
calcestruzzo



Interventi di ricostruzione
corticale con malte
tixotropiche o colabili

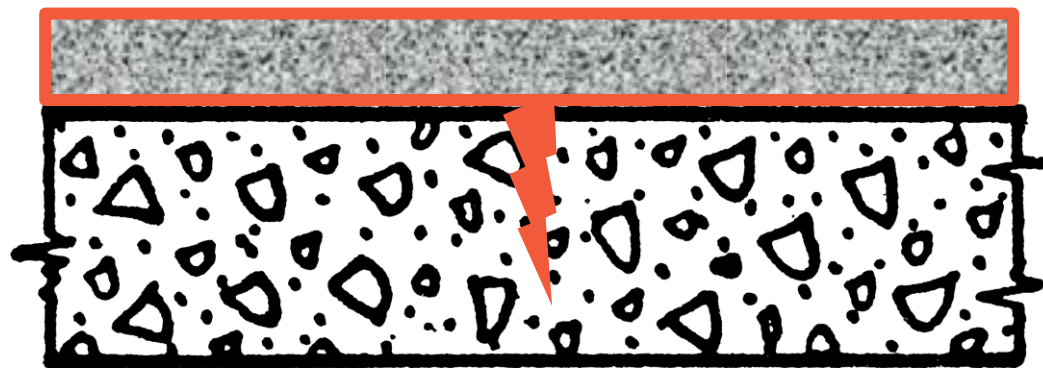
Interventi di ricostruzione
con betoncini e
calcestruzzi colabili o
autocompattanti



I principi della UNI EN 1504-9

**Structural
strengthening (StS)**

Rinforzo strutturale e sismico



Integrazione/sostituzione
di armatura con materiali
compositi (FRP, FRM), reti
e barre metalliche

Interventi con materiali
compositi volti al
miglioramento della
duttilità delle strutture

Sigillatura delle lesioni
con paste e resine
epossidiche

Interventi di «ringrosso»
delle sezioni resistenti



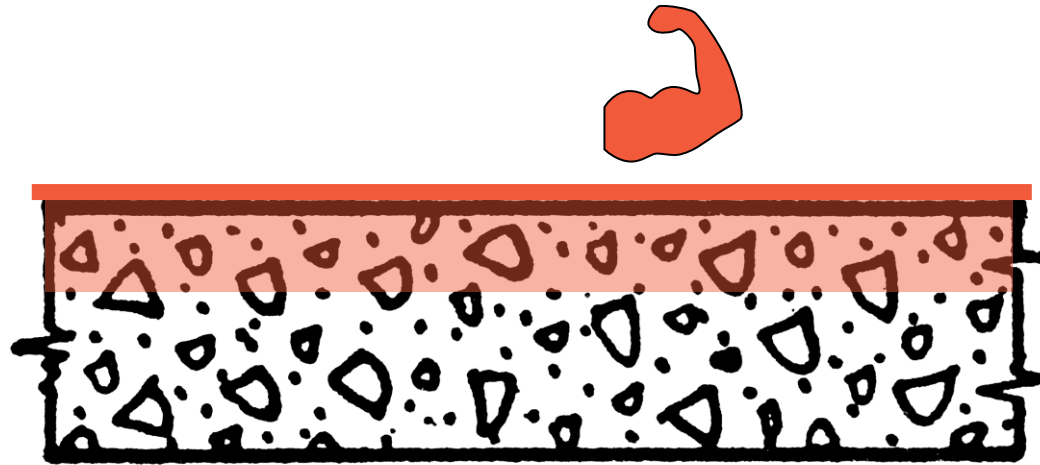
I principi della UNI EN 1504-9

Increasing physical
resistance (PR)

Aumento della resistenza alle
azioni fisiche e meccaniche

Applicazione di
impregnanti sulla
superficie del calcestruzzo

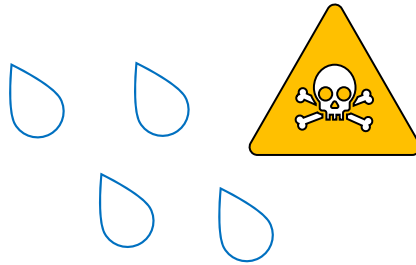
Applicazione di
rivestimenti protettivi
superficiali con requisiti
di resistenza alle azioni
fisiche e meccaniche
(epossidici, poliuretanici,
etc)



I principi della UNI EN 1504-9

Resistance to
chemicals (RC)

Aumento della resistenza agli
attacchi di tipo chimico



Applicazione di
impregnanti sulla
superficie del calcestruzzo

Applicazione di
rivestimenti protettivi
superficiali con requisiti
di resistenza agli attacchi
chimici (epossidici,
poliuretanici, etc)



Interventi corticali e di ricostruzione / ringrossi

Corticale

- Spessore di intervento generalmente limitato al copriferro.
- Ricostruisce la sezione locale e protegge l'armatura.
- L'intervento generalmente non contribuisce alla capacità portante dell'elemento.

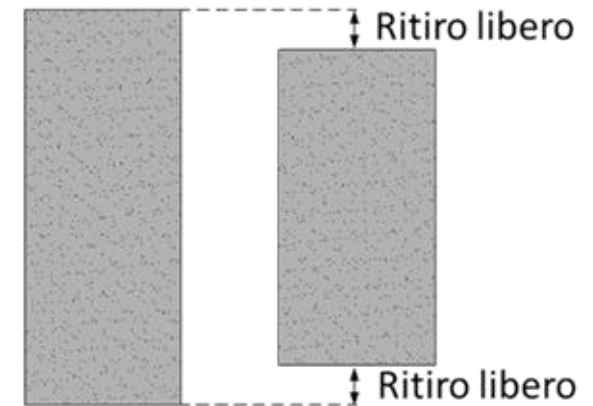
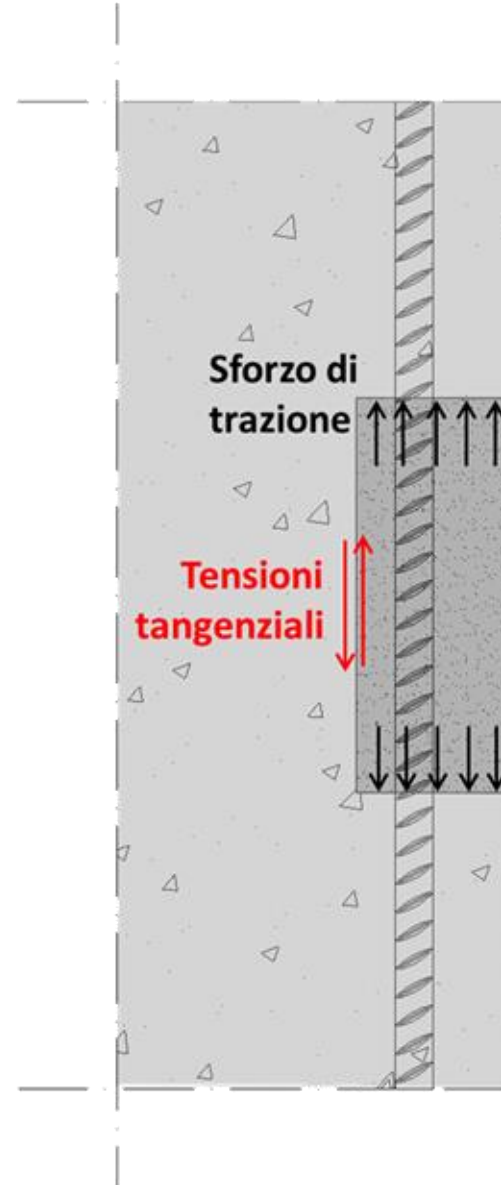


Ricostruzione/Ringrosso

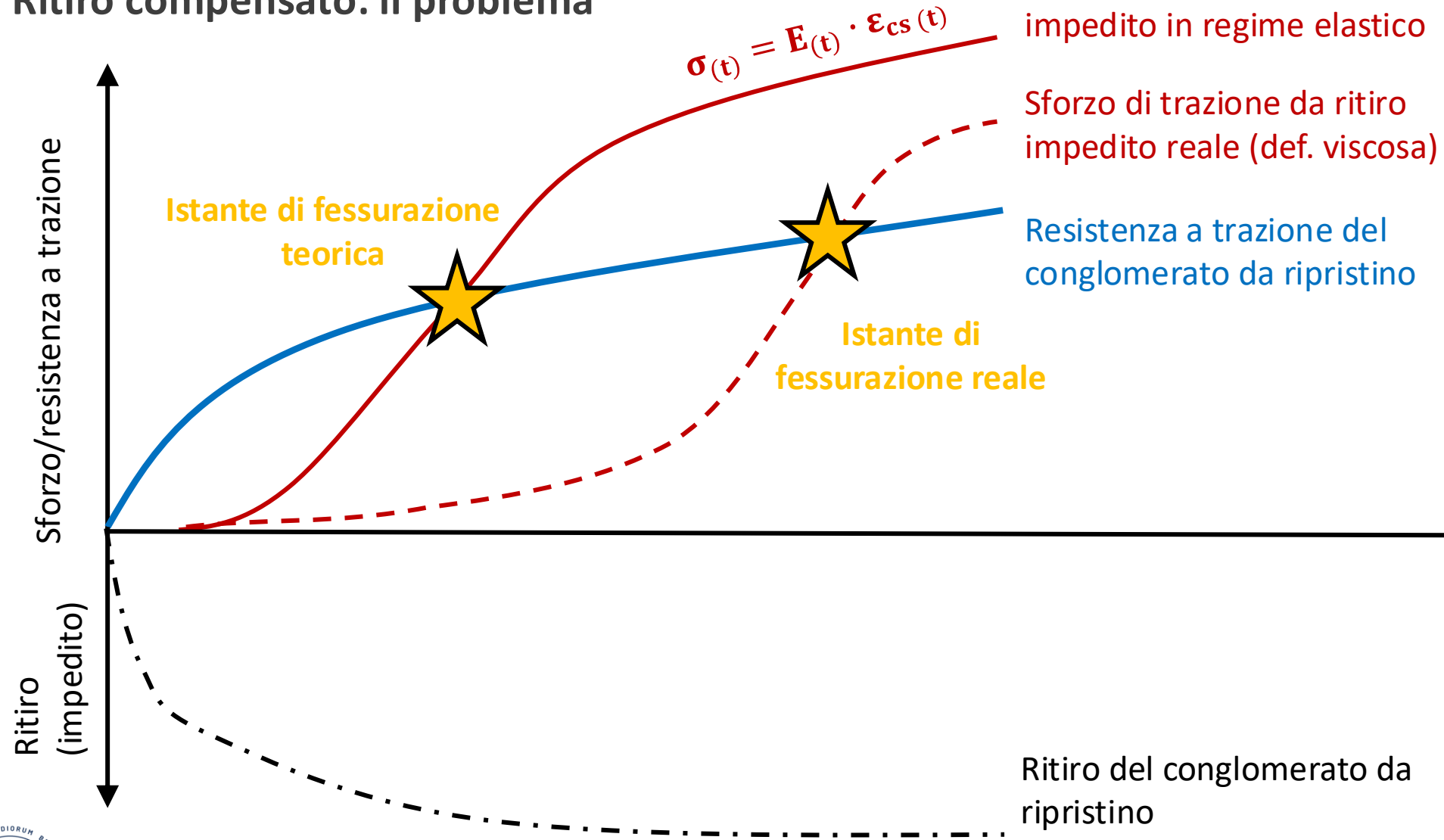
- Intervento che interessa gran parte o tutto l'elemento.
- È richiesto a seguito di eventi sismici, azioni eccezionali o degrado profondo.
- Viene impiegato anche negli adeguamenti sismici o per incrementare la capacità portante e/o la rigidezza di un elemento strutturale
- L'intervento collabora alla risposta strutturale del fabbricato.



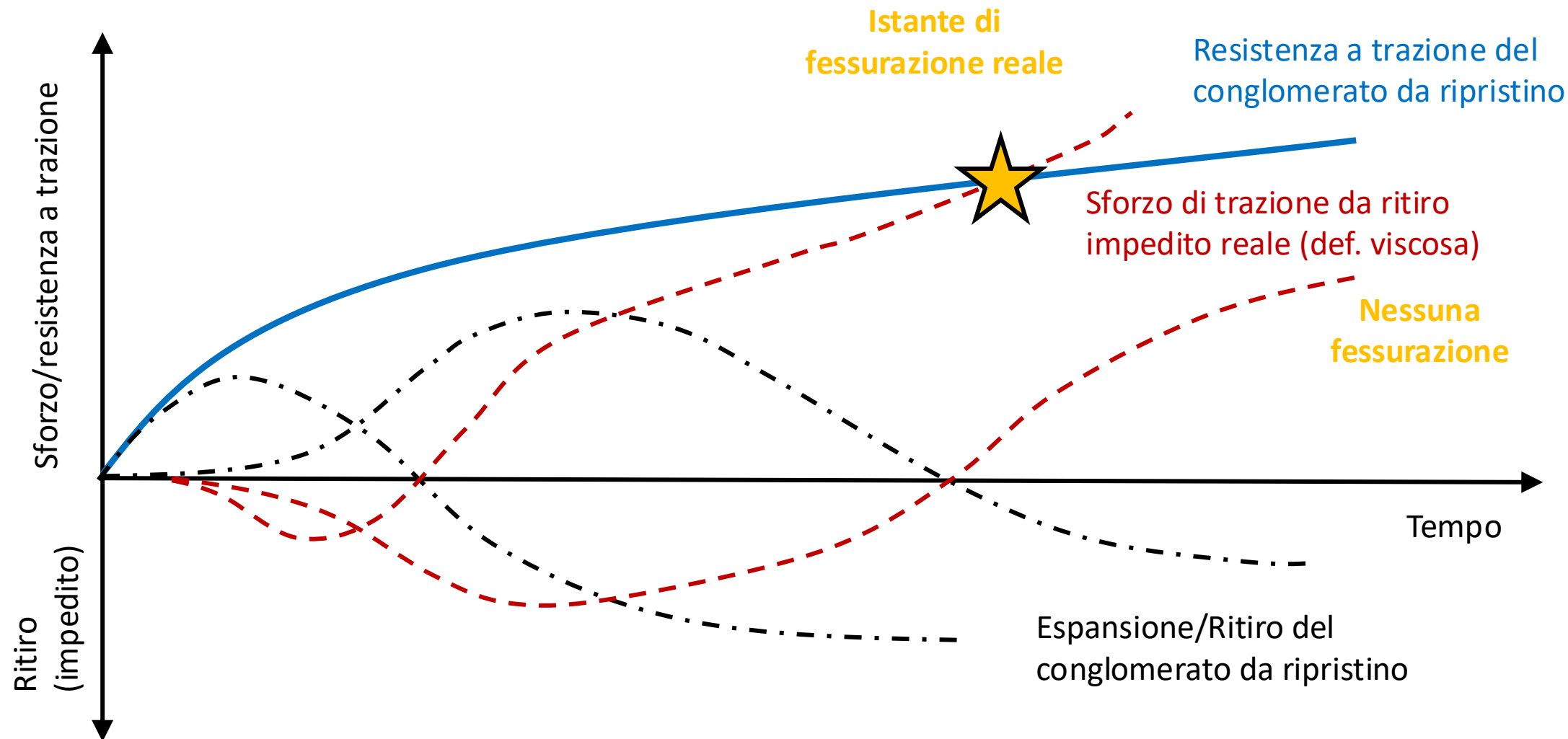
Ritiro compensato: il problema



Ritiro compensato: il problema



Ritiro compensato: il problema



Ritiro compensato: come si controlla

$$\sigma_c + f_t \geq \sigma_t$$

Fattori che massimizzano la «precompressione» σ_c

- Incisione del perimetro delle aree sottoposte a ricostruzione
- Aderenza all'armatura esistente o di contrasto posizionata a nuovo (anche sottoforma di fibre)
- Adesione al substrato
- Maturazione umida o soluzioni che limitano l'evaporazione verso l'esterno

ELEVATA RESISTENZA MECCANICA??

Fattori che minimizzano lo sforzo di trazione derivante dal ritiro σ_t

- Basso contenuto di cemento, rigidità degli aggregati, contenuto di acqua (D_{max} , superfluidificanti), additivi antiritiro
- Geometria dell'intervento (rapporto tra la superficie esposta all'evaporazione e il volume di conglomerato da ripristino)
- Maturazione umida, fibre antiritiro o soluzioni che limitano l'evaporazione verso l'esterno

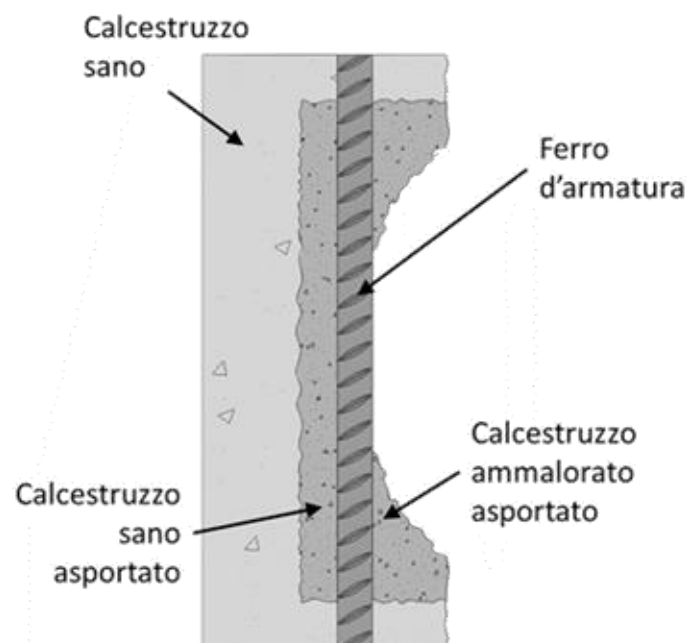
Ritiro compensato: come si controlla

$$\sigma_c + f_t \geq \sigma_t$$

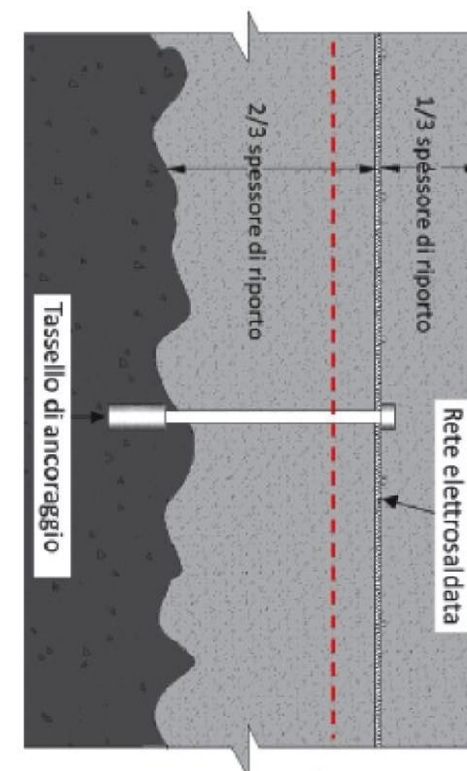
Fattori determinanti

- Scelta del tipo di conglomerato da ripristino
- Preparazione del supporto, scarifica, pulizia dei ferri di armatura
- Posizionamento della rete di contrasto all'espansione (per spessori superiori a 35 mm)
- Maturazione umida o soluzioni che limitano l'evaporazione verso l'esterno

Malta – fino a 60-70 mm di spessore
 Betoncino ($D_{\max}$ 8-12 mm) - fino a 100 mm
 Calcestruzzo ($D_{\max} > 16$ mm) – oltre 100 mm



1 – 1,5 cm a tergo
del ferro di armatura



Protettivi superficiali

Filmogeni

Creano un film continuo sulla superficie dell'elemento in c.a.

- Impiegati per garantire la durabilità dell'elemento in c.a. quando lo spessore di copriferro è insufficiente
- Ritarda l'ingresso di CO₂ e soluzioni aggressive nel copriferro
- Altera l'estetica della superficie

Impregnanti (parzialmente filmogeni)

Occludono le porosità della superficie del calcestruzzo senza creare un film continuo

- Migliorano la qualità del copriferro di calcestruzzi scadenti

Idrorepellenti

Riducono l'assorbimento di acqua della superficie rendendola idrofoba. Non creano film continui

- Riducendo il grado di saturazione del copriferro, rallentano la cinetica di corrosione delle armature
- Alcuni prodotti sono in grado di mantenere il copriferro a tenori di umidità talmente ridotti da rallentare la carbonatazione (che richiede acqua per avvenire)

Protettivi superficiali: protezione nei confronti della carbonatazione

Problema frequente

Struttura in c.a. esposta alle intemperie (classe di esposizione XC4)

- La UNI 11104 richiede uno spessore di copriferro minimo pari a 30 mm e un calcestruzzo di classe C32/40
- Ricostruzione con malte EN 1504-3 di classe R3 o R4
- Copriferro reale 10 mm

$$x_c = k_{CO_2} \cdot \sqrt{t}$$

Per una malta di classe R4, il coefficiente k_{CO_2} vale all'incirca

2-3 mm/anno

Questo significa che si ha la completa carbonatazione di un copriferro da 10 mm in circa 12-20 anni!

È necessario prolungare il «periodo di ritorno» dell'intervento di manutenzione attraverso un protettivo superficiale

Protettivi superficiali: protezione nei confronti della carbonatazione

Resistenza alla diffusione della CO₂

$$Sd_{CO_2} = \mu_{CO_2} \cdot t$$

■ μ_{CO_2} è il fattore di resistenza alla diffusione dell'anidride carbonica (numero puro, indica il rapporto tra la resistenza alla diffusione del materiale in oggetto e quella dell'aria)

■ t è lo spessore

Per un calcestruzzo di classe C32/40, il fattore di resistenza alla diffusione dell'anidride carbonica vale circa 800.

Quindi per essere conformi alle richieste della UNI 11104 per un elemento in classe XC4 è necessario garantire un

$$Sd_{CO_2} = 800 \cdot 0,04 \text{ m} = 32 \text{ m}$$

Acrylic semi-coprente (ASC)

$\mu \sim 600 - 650.000$
 $t \sim 100 \text{ micron}$

$Sd_{CO_2} \geq 60 \text{ m}$

Acrylic coprente (AC)

$\mu \sim 2.000.000$
 $t \sim 125 \text{ micron}$

$Sd_{CO_2} \geq 250 \text{ m}$

Acrylic elastomeric (AE)

$\mu \sim 4.000.000$
 $t \sim 150 \text{ micron}$

$Sd_{CO_2} \geq 600 \text{ m}$

Dal sintomo alla scelta dell'intervento

Pillole conclusive

- La scelta dell'intervento parte dalla diagnosi delle cause di degrado/dissesto, non dal prodotto
- La serie UNI EN 1504 collega i fenomeni di degrado/dissesto alla tecnica dell'intervento attraverso gli «obiettivi» (principi)
- Preparazione del supporto, controllo del ritiro, modalità di posa e maturazione determinano la buona riuscita dell'intervento di ripristino
- La protezione superficiale, se adeguatamente progettata, incrementa la durabilità degli interventi ma NON sostituisce la soluzione della causa del degrado e il corretto ripristino.





**PROSPECTA
FORMAZIONE**
Alta formazione Architetti Ingegneri Geometri

INFOWEB
network per l'edilizia e l'architettura

Malte da ripristino per strutture in calcestruzzo armato:

Diagnosi, normativa e soluzioni per la
durabilità delle opere.

Denny Coffetti
Università di Bergamo
denny.coffetti@unibg.it



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI BERGAMO**

Dipartimento
di Ingegneria
e Scienze Applicate

