



CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI



POLITECNICO
MILANO 1863



ASSOCIAZIONE
TECNOLOGI
PER L'EDILIZIA



Corso di formazione ATE-mCD La prevenzione della corrosione nel calcestruzzo

Prof. Federica Lollini

Milano, 25 Marzo 2024

Misure di prevenzione aggiuntiva

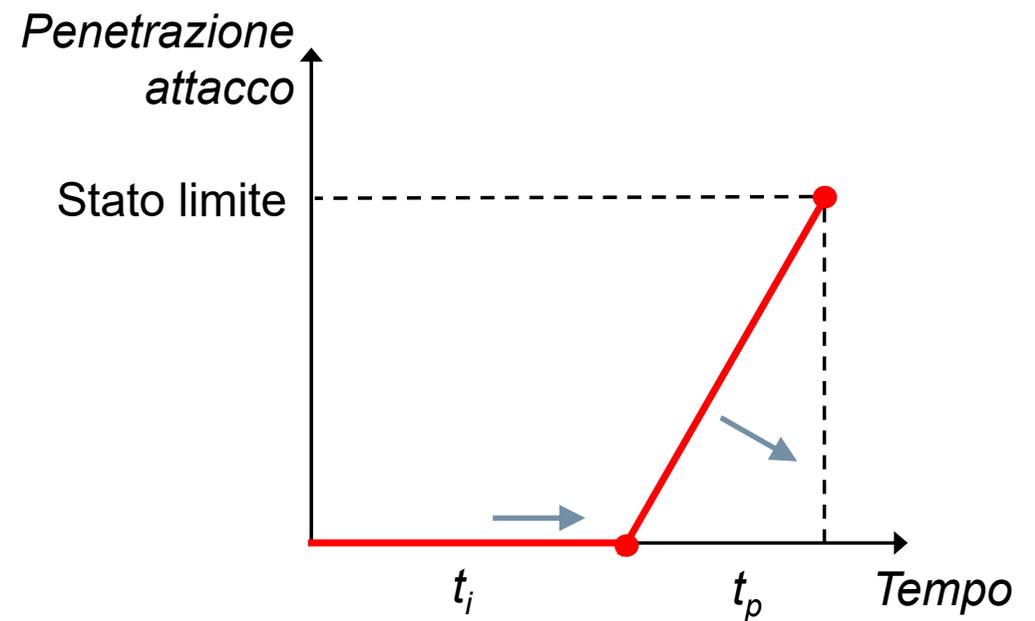
L'impiego di misure di protezione aggiuntiva può risultare necessario in caso di:

- elevata aggressività ambientale (cloruri)
- impossibilità di utilizzare adeguati spessori di copriferro
- difficile accessibilità della struttura
- elevati costi diretti o indiretti di manutenzione
- richiesta di una vita di servizio molto lunghe
- parti critiche della struttura (es. giunti, zona degli spruzzi, ...)
- ... (materie prime inquinate da cloruri)



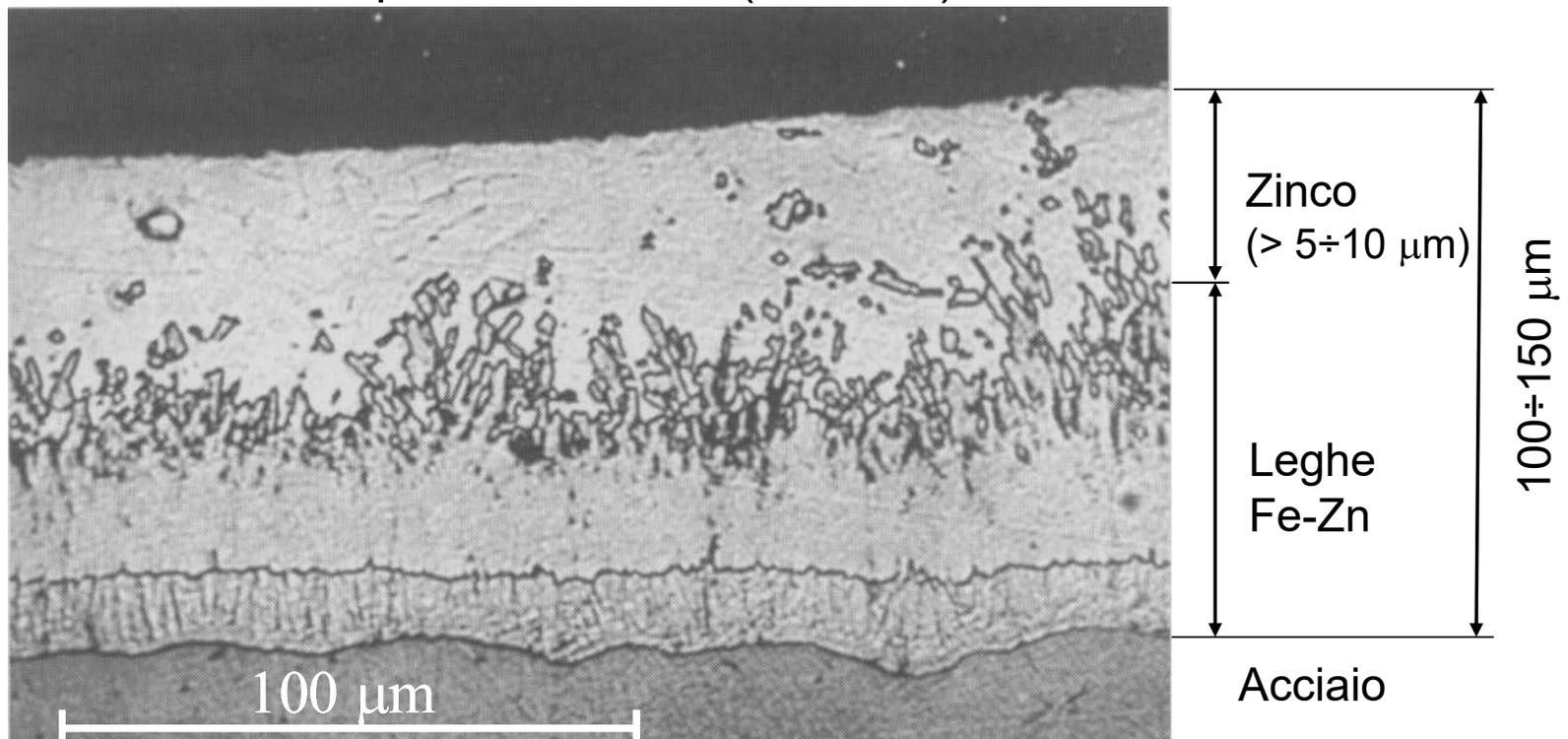
Armature resistenti a corrosione

- Zincate
- Rivestite con resine epossidiche
- In acciaio inossidabile
- FRP
- ...



Armature in acciaio zincato

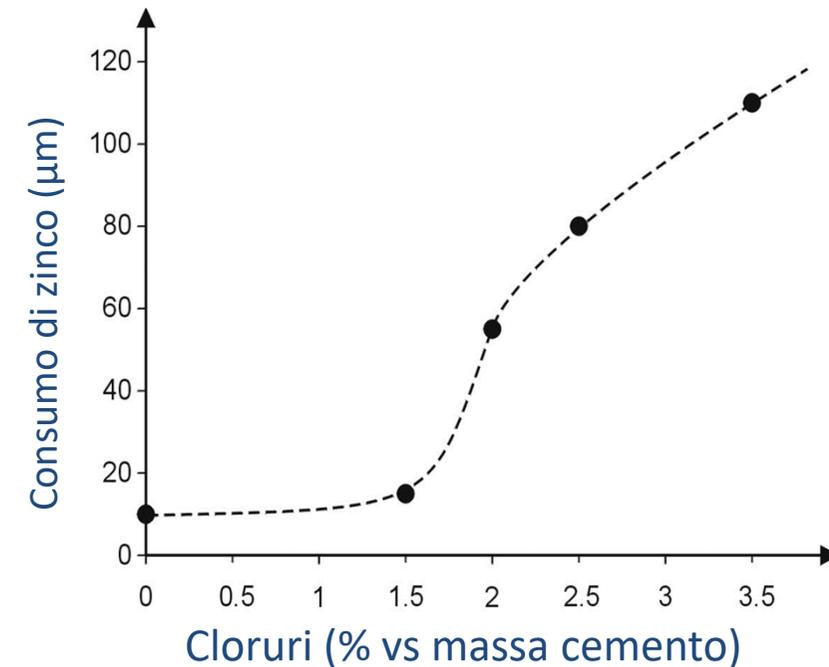
Produzione: zincatura a caldo per immersione ($\sim 450^{\circ}\text{C}$)



Armature in acciaio zincato

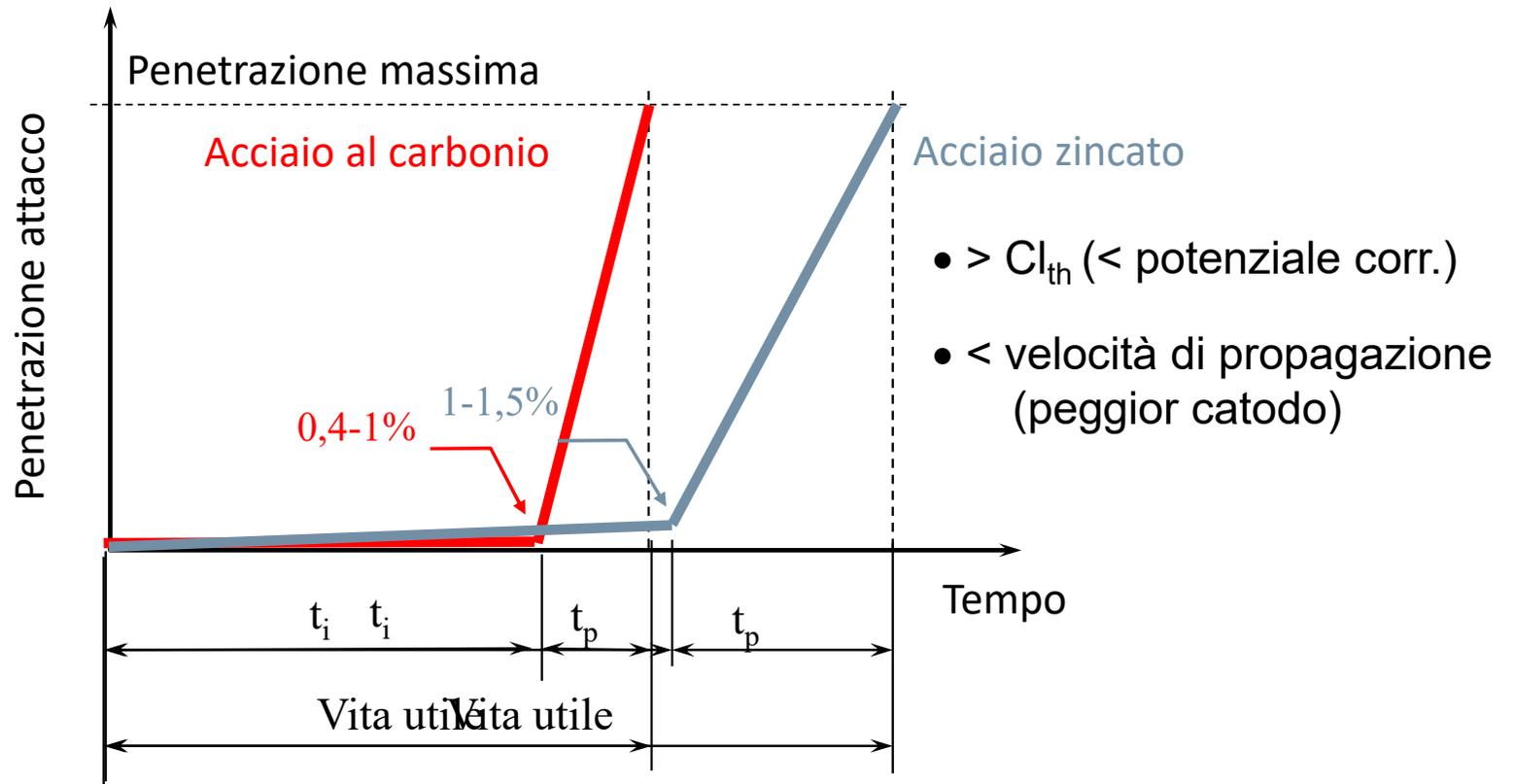
Cloruri

- Se presenti nelle materie prime \Rightarrow interferiscono con la formazione del film protettivo
- Se penetrano dall'ambiente esterno:



Armature in acciaio zincato

Cloruri



Armature in acciaio zincato

Saldatura e costo:

Possono essere saldate, ma il rivestimento deve essere ripristinato (anche nella zona di taglio)

Prezzo: ~ 2 volte prezzo delle normali barre in acciaio al carbonio

Problematiche

- Difettosità del rivestimento
- Accoppiamento con armature in acciaio al carbonio
- Aderenza calcestruzzo - armature (\rightarrow nervature \rightarrow = CS)
- Sviluppo di idrogeno (in fase di produzione, nelle prime ore del getto, in esercizio in assenza di ossigeno)



Armature rivestite con resine epossidiche

Protezione → effetto barriera (importanza spessore e integrità rivestimento)

Caratteristiche richieste al rivestimento

(economicità, resistenza all'ambiente, caratteristiche meccaniche, aderenza, flessibilità, ...)



Armature rivestite con resine epossidiche

Caratteristiche richieste (ASTM A775-1981, ISO 14654-1999):

- Spessore del rivestimento: 170-300 μm (per protezione e aderenza)
- Difetti di produzione (max 5 o 6/m)
- Prove di piega
- Prove di aderenza (riduzione generalmente $< 20\%$)
- Prove di stabilità chimica
- ...

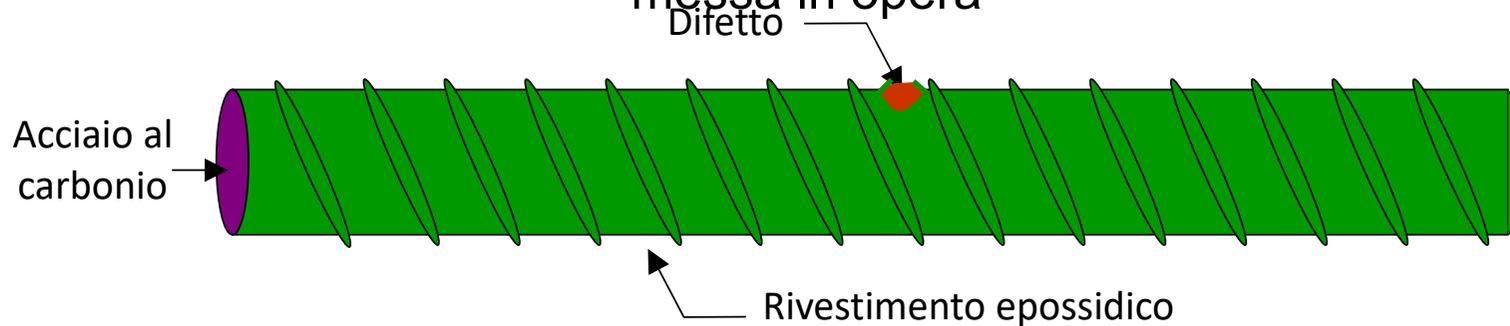


Armature rivestite con resine epossidiche

L'efficacia dipende dalla presenza di difetti

I difetti possono derivare da:

- produzione
- trasporto e stoccaggio
- messa in opera



Situazione più critica in presenza di cloruri (attacco localizzato)

Non devono essere collegate elettricamente alle armature in acciaio al carbonio (accoppiamento galvanico → catodo)



Armature rivestite con resine epossidiche

Difetti → devono essere riparati (pittura epossidica)

Efficacia

Nella maggioranza delle strutture messe in opera a partire dagli anni '70 si sono dimostrate efficaci nel contrastare la corrosione, in particolare da carbonatazione

Insuccessi nel caso di strutture **in ambienti tropicali marini** (Florida Keys: corrosione severa dopo 5-10 anni nella zona degli spruzzi)

Problematiche

- Dubbi in caso d'impiego in strutture esposte in ambienti con cloruri
- Applicabilità di tecniche elettrochimiche (mappatura del potenziale, PC ...)
- Piegature a basse temperature (da evitare per $T < 10^{\circ}\text{C}$)

Prezzo: ~ 2 volte prezzo delle normali barre in acciaio al carbonio



Armature in acciaio inossidabile

Armature "tradizionali"

Microstruttura	Designazioni		Composizione (elementi caratteristici)
	EN 10088	AISI	
Austenitica	1.4307	304L	<0.03%C, 18%Cr, 9%Ni
	1.4404, 1.4436	316L	<0.03%C, 17%Cr, 12%Ni, 2-3%Mo
Duplex	1.4462	22-05	<0.03%C, 22%Cr, 5%Ni, 2,5-3%Mo, N

Armature a basso nichel

Duplex Low-Nickel (1.4362, 1.4162) + Austenitici con Mn (Ferritici)



Armature in acciaio inossidabile

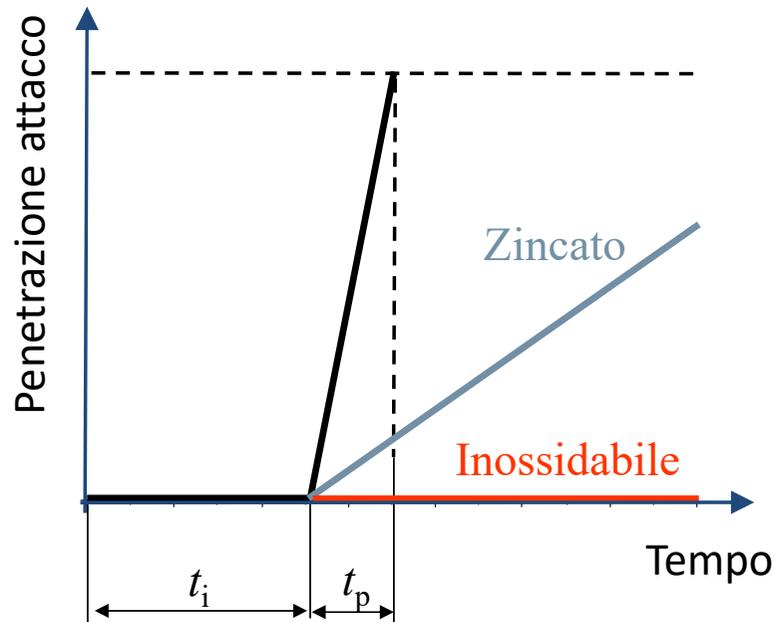
Devono rispettare gli stessi requisiti richiesti per le armature in acciaio al carbonio

Differente coefficiente di dilatazione termica (→ non ha mostrato di dare problemi nella pratica)



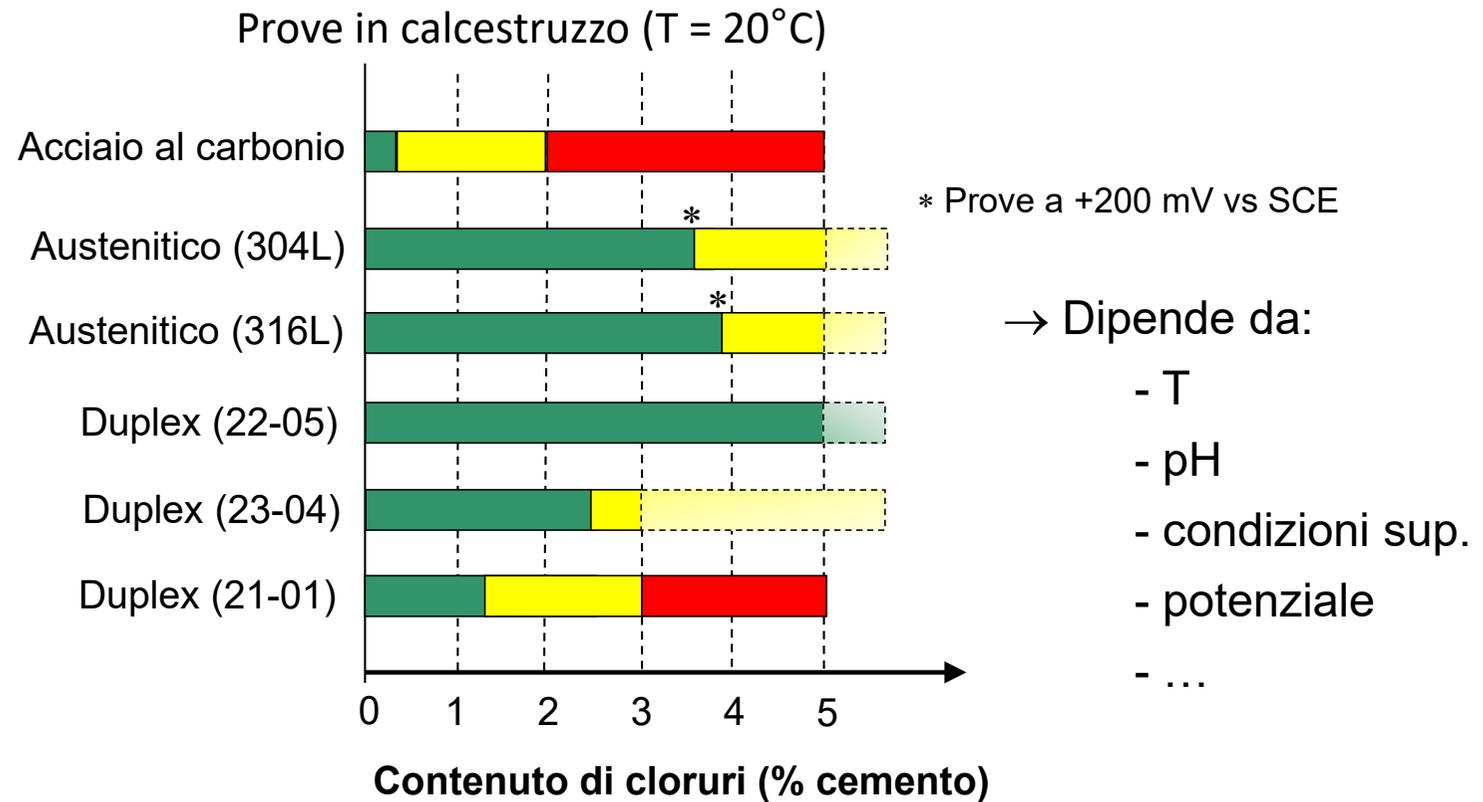
Armature in acciaio inossidabile

Carbonatazione



Armature in acciaio inossidabile

Cloruri



Armature in acciaio inossidabile

Costi

Gli elevati costi spesso ne limitano l'uso (5-10 volte superiori vs CS)

- Risparmio nei costi di manutenzione (LCC)
- Uso selettivo (solo nelle parti critiche)
- Uso di acciai inossidabili meno costosi (Low-Nickel; poca esperienza)



FRP (Fiber-Reinforced Polymers)

Materiali compositi rinforzati con fibre (continue e unidirezionali)

Materiali anisotropi e con comportamento fragile

Fibre: - di vetro (GFRP)
- di carbonio (CFRP)
- ...

Matrice: - Poliesteri
- Vinilesteri
- Epossidici
- ...



FRP (Fiber-Reinforced Polymers)

Caratteristiche

Dipendono da:

- tipo di fibra
- tipo di matrice
- interfaccia fibra/matrice
- frazione in volume di fibre
- produzione (T, difetti ...)
- interazione con l'ambiente (pH, T ...)
- ...



GFRP (Glass Fiber-Reinforced Polymers)

Caratteristiche

- carico di rottura: 480-1600 MPa
- modulo elastico: 35-51 GPa
- densità: $\sim 2 \text{ g/cm}^3$ (circa $\frac{1}{4}$ CS)

Superficie

- Nervata
- Rivestita con sabbia
- Fasciate ad elica
- ...



GFRP (Glass Fiber-Reinforced Polymers)

Durabilità

Mancanza di informazioni sul comportamento a lungo termine (primi impieghi negli anni '90)

- Degradamento della fibra
- Degradamento della matrice
- Degradamento all'interfaccia GFRP/calcestruzzo

Fattori importanti: - Temperatura

- Umidità
- Carico
- pH



FRP (Fiber-Reinforced Polymers)

Normative:

ACI 440.1R-15 “Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars” dell’American Concrete Institute

AASHTO LRFD Bridge Design Guide Specifications for GFRP-Reinforced Concrete” dell’ American Association of State Highway and Transportation Officials



FRP (Fiber-Reinforced Polymers)

Normative:

Eurocodice 2: Annex R “Embedded FRP reinforcement”

- Scope and field of application
 - general
- Partial factors for FRP reinforcement
- Materials
- Durability – concrete cover
- Structural analysis
- Ultimate Limit State (ULS) - Bending with or without axial forces, Shear, Torsion
- Serviceability Limit State (SLS) – Stresses, crack and deflection controls
- Detailing
- Particular members and structures

Applied to profiles or roughened GFRP and CFRP reinforcement bars and mesh. Prestressed FRP is not covered



Bibliografia

M. Gastaldi, Protezioni aggiuntive – Armature resistenti a corrosione, *Structural*, 190, settembre 2014, paper 22.

