Giornata di studio "Pietro Pedeferri"

Dalla ricerca all'industria: le nuove frontiere dell'ingegneria della corrosione

30 novembre 2018
Aula De Donato - Politecnico di Milano

POLITECNICO
MILANO 1863

Il progetto della durabilità delle strutture in calcestruzzo armato

Federica Lollini
Politecnico di Milano
Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "G. Natta"
mCD – Concrete Durability

Introduzione

Introduzione

Milano, luglio 2005

Il problema della corrosione deve quindi essere preso seriamente in considerazione. Purtroppo molti operatori nel campo della progettazione, costruzione e manutenzione delle opere in calcestruzzo armato non hanno le conoscenze e la cultura della prevenzione necessarie per effettuare, nei loro interventi, le scelte corrette. Buon senso e normative non bastano per realizzare e gestire opere durevoli. L'istruzione degli addetti ai lavori a tutti i livelli è la strada obbligata per migliorare la situazione.

I progettisti, i costruttori, gli ingegneri, gli architetti o le imprese che nei decenni passati hanno realizzato opere in calcestruzzo armato che dopo 20, 30 o 40 anni mostrano i segni della loro scarsa durabilità, sono, per così dire, almeno in parte scusati perché allora non erano disponibili conoscenze adeguate. Al contrario i tecnici e le imprese di oggi saranno totalmente responsabili se questo succederà in futuro, perché oggi si conoscono le leggi che regolano il fenomeno corrosivo e i mezzi per contrastarlo e quindi per assicurare alle nuove costruzioni la vita di servizio richiesta.

Durabilità delle strutture in calcestruzzo armato

D.M.LL.PP. 1996 – Norme tecniche delle costruzioni

Durabilità: Al fine di garantire la durabilità del conglomerato particolarmente in ambiente aggressivo, così come in presenza di cicli di gelo e disgelo, è necessario studiarne adeguatamente la composizione.

D.M.LL.PP. 2018 – Norme tecniche delle costruzioni

Principi fondamentali

Durabilità: capacità della costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, V_N, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione

I requisiti richiesti di resistenza, funzionalità, durabilità e robustezza si garantiscono verificando il rispetto degli stati limite ultimi e degli stati limite di esercizio della struttura, dei componenti strutturali e dei collegamenti descritti nella presente norma

Corrosione delle armature nel calcestruzzo

Condizioni di passività

Soluzione nei pori:

$Ca(OH)_2$
NaOH
KOH

→ pH ≈ 13-14 → **Passività**

Condizioni di stabilità film passivo:

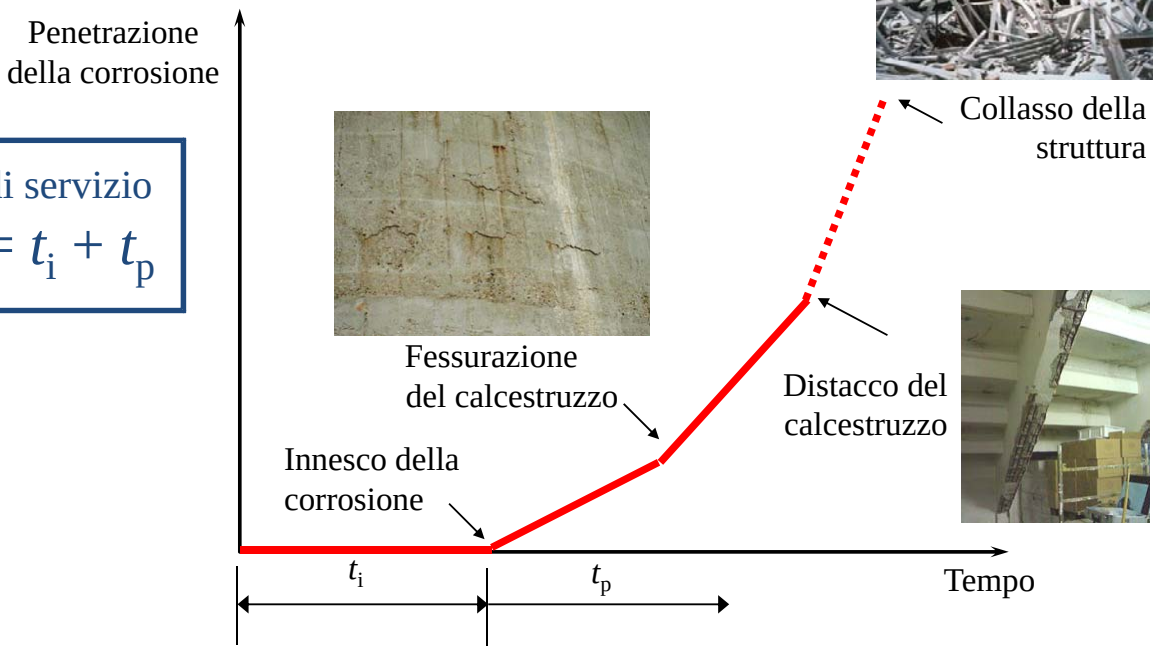
1) pH > 11.5 → Carbonatazione

2) assenza di cloruri → Acqua di mare, Sali antigelo

Corrosione delle armature e vita utile

Vita di servizio

$$V_N = t_i + t_p$$



Fattori di progetto della durabilità

Vita di servizio

$$V_N = t_i + t_p$$

carichi
ambiente
→ Azioni
↓
STRUTTURA
↓
Progetto →

- Strutturale
- Dettagli
- Calcestruzzo
- Copriferro
- Protezioni aggiuntive
- Controlli e monitoraggio
- Manutenzione

Progetto della durabilità – approccio prescrittivo standard

UNI EN 206:2014 + UNI EN 1992 - 1 + UNI EN 13670 esecuzione strutture

Classe di esposizione			Max. *a/c*	Min. resist.	Min. cem. (kg/m³)	C_{min} (mm)
Nessun rischio	*X0*		-	C12/15	-	10
Corrosione da carbonatazione	*XC1*	(secco/saturo)	0,65	C20/25	260	15
	XC2	(sempre umido)	0,60	C25/30	280	25
	XC3	(mod. umido)	0,55	C30/37	280	25
	XC4	(cicli bagn.)	0,50	C30/37	300	30
Corrosione da cloruri da acqua di mare	*XS1*	(sulla costa)	0,50	C30/37	300	35
	XS2	(sommerso)	0,45	C35/45	320	40
	XS3	(spruzzi)	0,45	C35/45	340	45
Corrosione da cloruri da altre fonti	*XD1*	(mod. umido)	0,55	C30/37	300	35
	XD2	(umido)	0,55	C30/37	300	40
	XD3	(cicli bagn.)	0,45	C35/45	320	45

vita di 50 anni

qualunque tipo di cemento

Progetto della durabilità

- richiesta di vita nominale >50 anni,
- elevata aggressività ambientale (e.g. zona degli spruzzi, giunti, ...)
- inaccessibilità della struttura per i controlli,
- alti costi diretti o indiretti di manutenzione,
- uso di materiali diversi (cementi di miscela, calcestruzzi speciali, inibitori di corrosione, armature resistenti alla corrosione, ...)

⇒ Parametri sui materiali

⇓

Prove

Progetto della durabilità

UNI EN 206:XX

Approccio prescrittivo (Deem-to-Satisfy rules) → Approccio prestazionale

Exposure resistance classes (ERC)

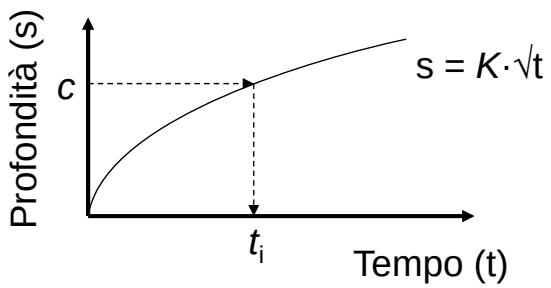
	Carbonation resistance class RXC			Chloride resistance class RXSD			Frost resistance class RXF	
	RXC20	RXC30	RXC40	RXSD45	RXSD60	RXSD75	RXF0,5	RXF1,0
Definition of class, depth of front after 50 years (mm)	20	30	40	45	60	75	m<0,5 kg/m^3	m<1 kg/m^3
Classification standard	EN 12390-10			EN 12390-11			EN zzz	EN zzz

Progetto della durabilità – approcci prestazionali

1) Approccio deterministico

Corrosione da carbonatazione → $V_N = t_i + t_p$

Tempo di innesco (t_i)



$t_i = (c/K)^2$

K, i_{corr}

Tempo di propagazione (t_p)

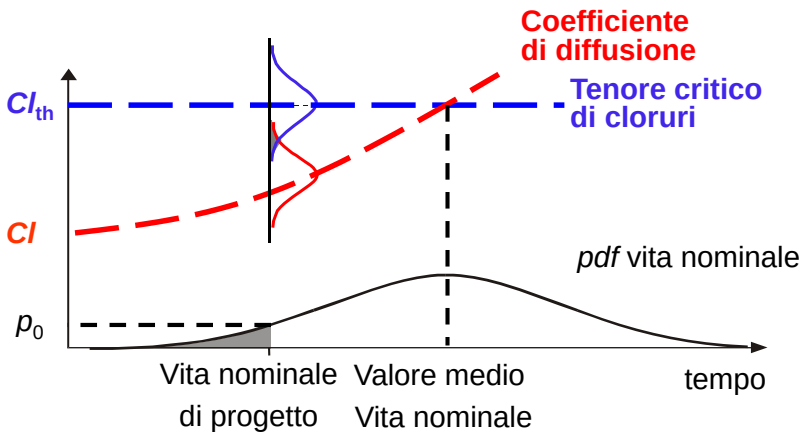
Stato limite: fessurazione del calcestruzzo → $t_p = P_{lim}/i_{corr}$

Progetto della durabilità – approcci prestazionali

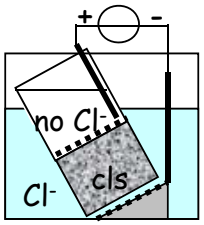
2) Approccio probabilistico

Corrosione da cloruri $\rightarrow V_N = t_i + \cancel{t_p}$

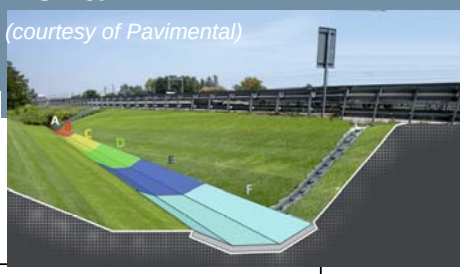
$$p_f = p_{dep} = p\{Cl_{th} - Cl(x,t_i) < 0\} < p_0$$



Rapid Chloride Migration test (NT Build 492)

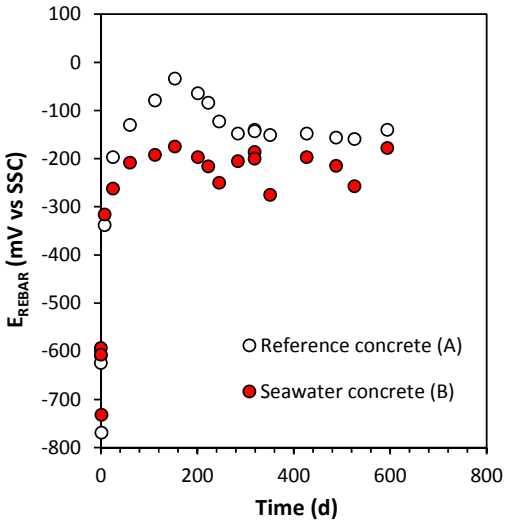


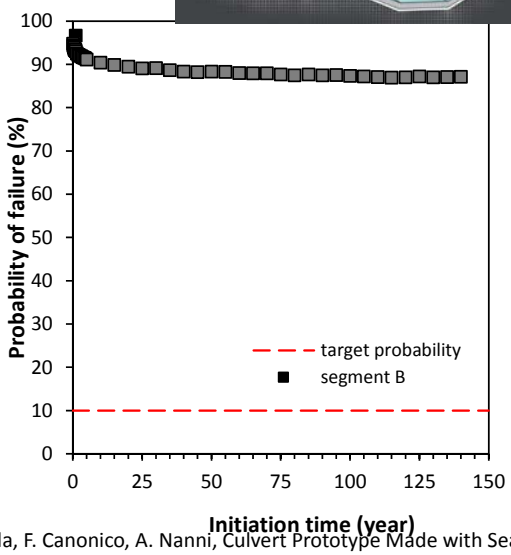
Progetto della durabilità – approcci prestazionali



2) Approccio probabilistico

Corrosione da cloruri





E. Redaelli, A. Arrigoni, M. Carsana, G. Dotelli, F. Lollini, M. Gastaldi, F. Bertola, F. Canonico, A. Nanni, Culvert Prototype Made with Seawater Concrete: Materials Characterization, Monitoring and Environmental Impact, submitted *to ASTM Advances in Civil Engineering Materials*

Fattori di progetto della durabilità

Vita di servizio

$$V_N = t_i + t_p$$

carichi
ambiente → Azioni

↓

STRUTTURA

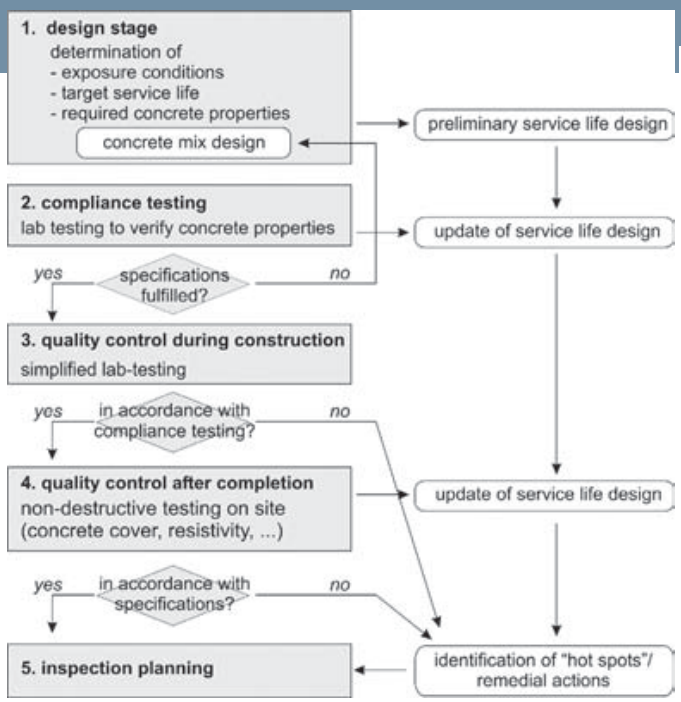
↓

Progetto

↓

Esecuzione → - Controlli e monitoraggio

Birth certificate



T.F. Mayer, P. Schießl, Life cycle management of concrete structures Part I: Birth certificate, in: M.G. Alexander, H.-D. Beushausen, F. Dehn, P. Moyo (Eds.), Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II, Taylor & Francis, London (2008)