



POLITECNICO
MILANO 1863

IL NUOVO PROGETTO DI NORMA prEN 10370
Steel for reinforcement of concrete - Stainless Steel

UNSIDER, 29 maggio 2019, Milano

The research for the "Corrosion Test Method"

Prof. Matteo Gastaldi

Politecnico di Milano - Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "G. Natta"

mCD - Concrete durability



Armature in acciaio inossidabile



Resistenza a corrosione (durabilità)
(protezioni aggiuntive)

Guildhall Yard East (London)



1998
1.4307 (AISI 304L)
SL → 750y

Progreso pier (Mexico)



1940
1.4301 (AISI 304)

Schaffhausen bridge (Switzerland)



1995
1.4307 (AISI 304L)
1.4462 (22-05)
SL → 80y

Stonecutters bridge (Hong Kong)



2009
1.4462 (22-05)
SL → 120y

Armature in acciaio inossidabile



Resistenza a corrosione (durabilità)
(protezioni aggiuntive)



Diversi tipi di acciai inossidabili → Diff. resistenza a corrosione
(austenitici, duplex ...)



Scelta



BS 6744:2001+A2:2009 - *Stainless steel bars for the reinforcement of and use in concrete. Requirements and test methods*

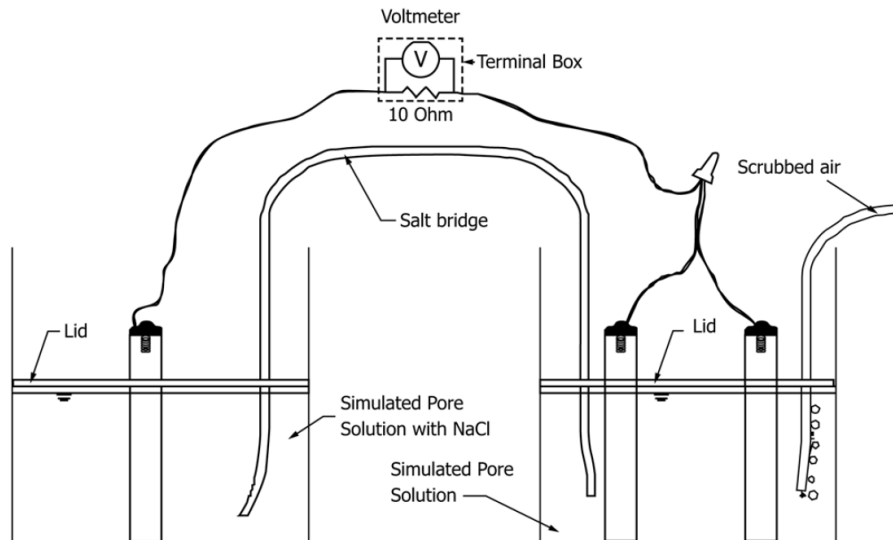
Table B.1 — Guidance on the use of stainless steel reinforcement for different service conditions

Grade in accordance with BS EN 10088-1	Service condition			
	A₁ For structures or components with either a long design life, or which are inaccessible for future maintenance A₁	For structures or components exposed to chloride contamination with no relaxation in durability design (e.g. concrete cover, quality or water proofing treatment requirements)	Reinforcement bridging joints, or penetrating the concrete surface and also subject to chloride contamination (e.g. dowel bars or holding down bolts)	Structures subject to chloride contamination where reductions in normal durability requirements are proposed (e.g. reduced cover, concrete quality or omission of water proofing treatment)
1.4301	1	1	5	3
A₂ 1.4162	1	1	5	3 A₂
1.4436	2	2	1	1
1.4429	2	2	1	1
A₂ 1.4362	2	2	1	1 A₂
1.4462	2	2	1	1
1.4529	4	4	4	4
1.4501	4	4	4	4
Key 1 – Appropriate choice for corrosion resistance and cost. 2 – Over-specification of corrosion resistance for the application. 3 – May be suitable in some instances: specialist advice should be obtained. 4 – Grades suitable for specialist applications which should only be specified after consultation with corrosion specialists. 5 – Unsuitable for the application.				

ASTM A955/A955M - 18b - Standard Specification for Deformed and Plain Stainless Steel Bars for Concrete Reinforcement

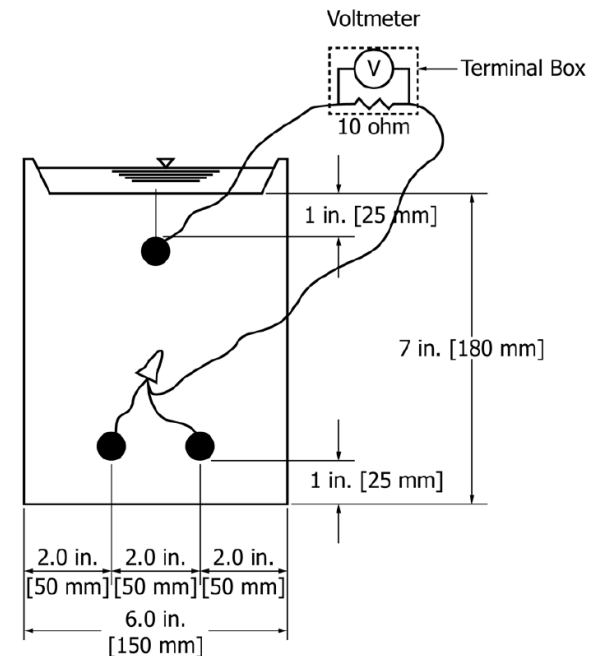
Test in soluzione

Rapid macrocell test (15 settimane)



Test in calcestruzzo

Cracked beam test (> 48 settimane)



Armature in acciaio inossidabile



Resistenza a corrosione (durabilità)
(protezioni aggiuntive)



Diversi tipi di acciai inossidabili → Diff. resistenza a corrosione
(austenitici, duplex ...)



Scelta



Garantire la durabilità richiesta
(*service life design*)

→ Approccio prescrittivo (EN 206, Eurocodice 2) ➡ Indicazioni generiche

→ Approccio prestazionale



Progetto per garantire la vita di servizio richiesta
considerando le specifiche condizioni di esposizione



Consente di valutare e confrontare le prestazioni di diversi
tipi di armature e di scegliere la più adatta

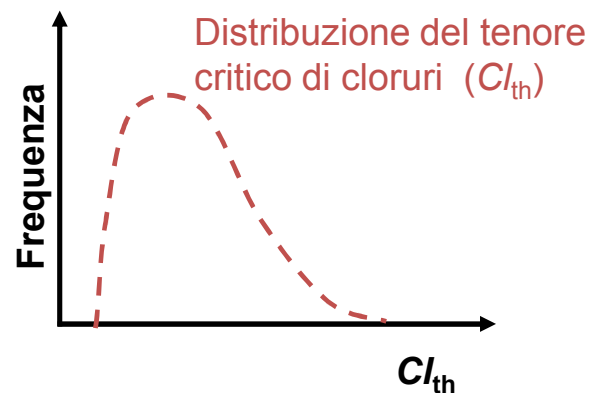
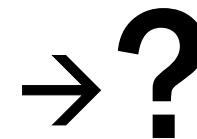


Parametri in input al modello ➡ Prove (in genere accelerate)

- Corrosione da carbonatazione → SS resistenti a corrosione in calcestruzzo carbonatato
- Corrosione da cloruri → Resistenza a corrosione dipende da $C_{l_{th}}$



$C_{l_{th}}$ per i diversi tipi di armature in SS
(parametro input per modelli prestazionali)

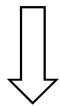


Prove in soluzione

(soluzione dei pori, prove di polarizzazione potenziodinamica, prove di polarizzazione potenziostatica ...)

⇒ NO calcestruzzo

Prove in calcestruzzo ⇒ Più realistiche



SS → elevato Cl_{th} → tempo delle prove estremamente lungo



Prove accelerate

(Cloruri aggiunti al getto + Polarizzazione anodica)



$Cl_{th,test}$

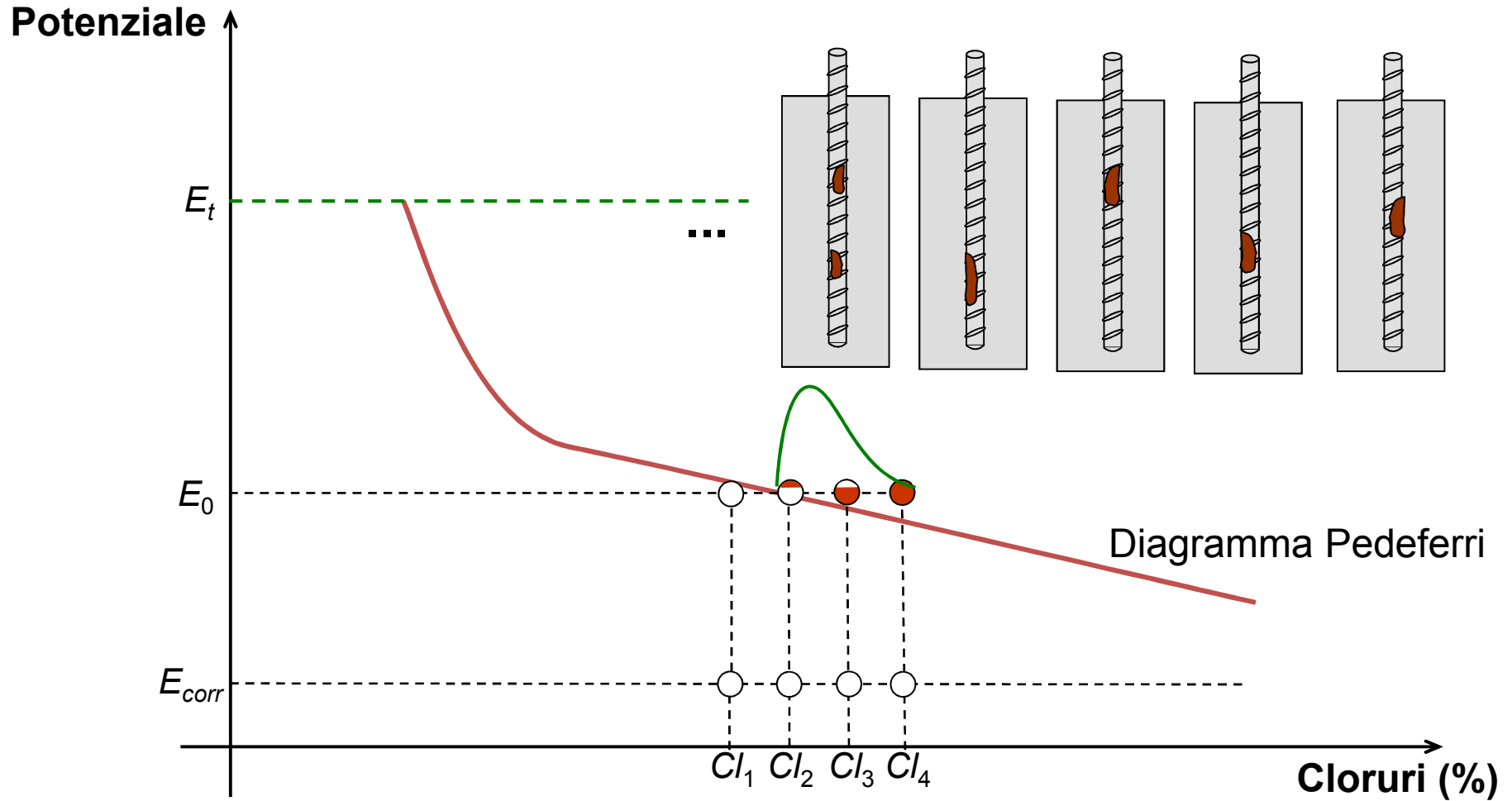


$Cl_{th,field}$

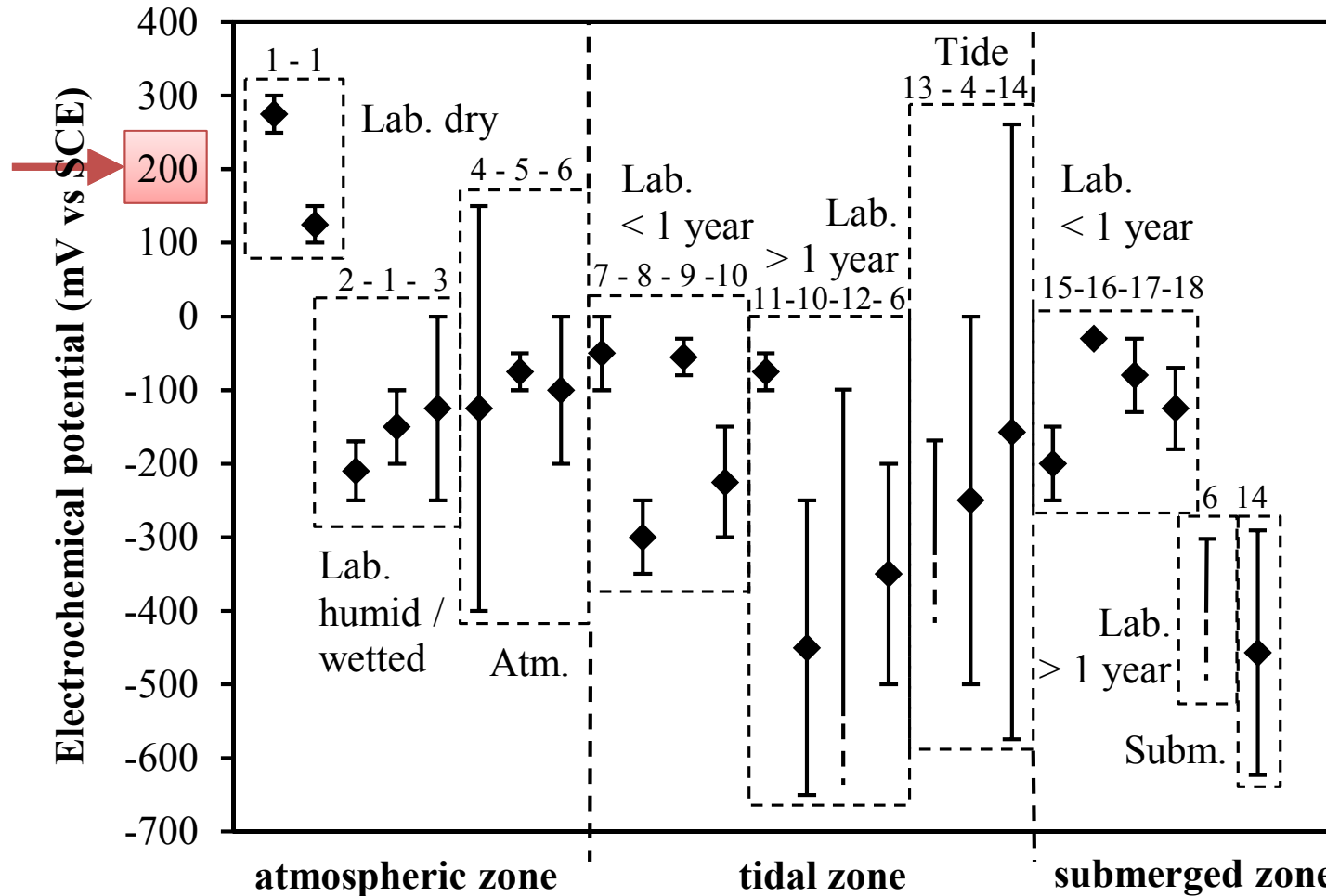
Fattori che influenzano C_{th} :

- Tipo di acciaio inossidabile
- Potenziale
- Temperatura
- Composizione del calcestruzzo
- pH del calcestruzzo
- Condizioni superficiali delle barre
- ...

Prove a potenziale fisso - Cloruri aggiunti al getto



Scelta del valore del potenziale (E_0)



[F.Lollini, M.Gastaldi & L.Bertolini, 2017]

Sviluppo di nuova metodologia di prova “Corrosion test method”
(proposta *prof. Luca Bertolini*, gruppo mCD)

→ **Pass - Fail test** ad un tenore di cloruri stabilito ($C_{l_{test}}$)

- Armature: in condizioni di fornitura (pulitura con acetone)
- 10 barre per ogni prova, lunghezza 100 mm e schermatura parti terminali
- Provini: cilindrici armati (n°10) in malta (malta standard - EN 196-1)
- Cloruri aggiunti al getto (come CaCl_2 o NaCl)
- Stagionatura: 1g. nel cassero + 6gg in soluzione satura di $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Polarizzazione: +200 mV vs SCE per 24 ore (registrazione della corrente di polarizzazione nelle 24 ore)
- Temperatura: $23^\circ\text{C} \pm 2$
- Rottura dei provini e l'osservazione visiva

- 4 serie di prove
- Armature: AISI 304 e AISI 316
- Cloruri: 2% e 4% in massa rispetto al cemento

Scopo: stabilire la procedura di prova finale e i parametri di prova

Prove decise da WG3 e finanziate da:

- *Acciaierie Valbruna*
- *Cogne Acciai Speciali*
- *Outokumpu*
- *Rodacciai-Olarra*
- *Roldan*
- *Swiss Steel*
- *Ugitech*

Effettuate dal laboratorio mCD (*prof. Luca Bertolini*)

Composizione malta

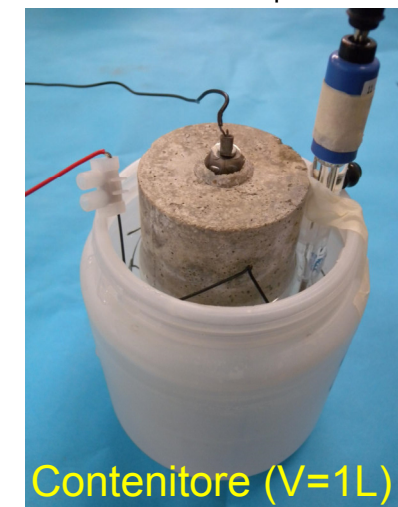
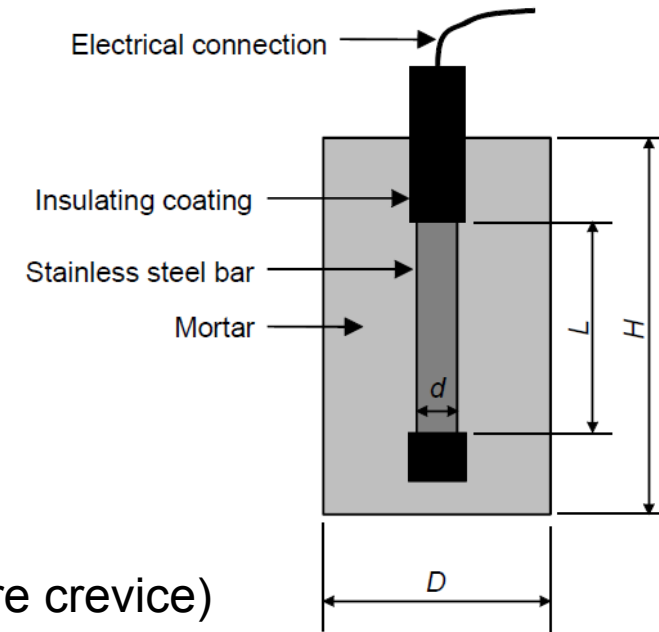
- cemento = 450 g (*CEM I 52.5 R*)
- acqua = 225 g (*distillata*)
- sabbia = 1350 g (*sabbia normalizzata CEN*)
- cloruri = 2 e 4% in massa vs cem. (CaCl_2)

Provini (n°10)

- $D \geq d + 2 \times 25 \text{ mm}$ ($c \geq 25 \text{ mm} \rightarrow$ dilavamento)
- $H = 100 \pm 20 \text{ mm}$
- $L \geq 60 \text{ mm}$ (isolamento parti terminali per prevenire crevice)

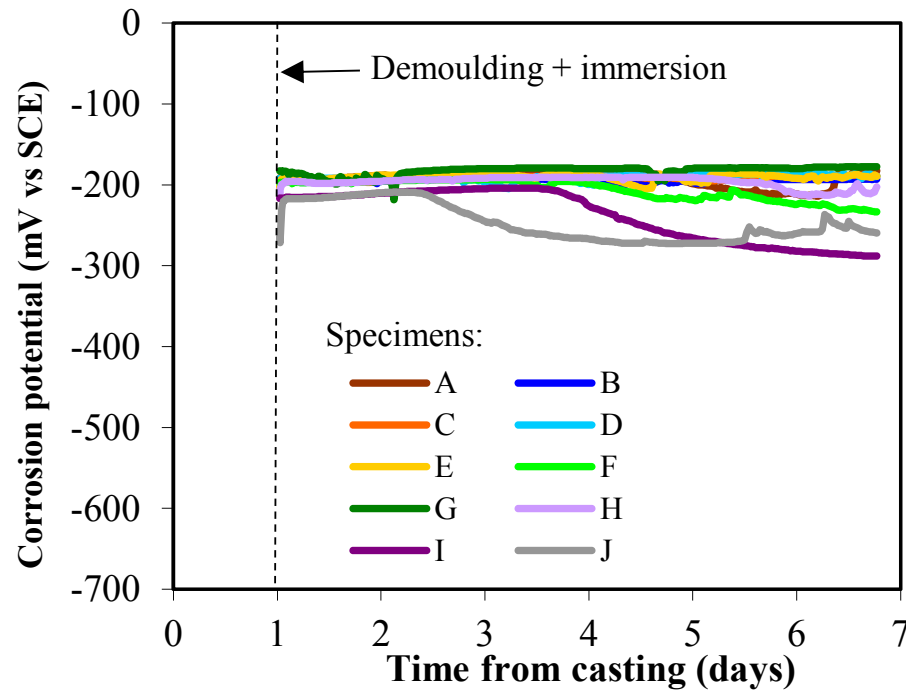
Prova

- Elettrodo di riferimento: SCE (o SSC calibrato con SCE)
- controelettrodo: rete di titanio attivato (corrente $> 1 \text{ mA}$)
- $E_{\text{pol}} = +200 \text{ mV SCE}$ per 24 ore ($T = 23^\circ \text{C}$, camera climatica)
- Monitoraggio corrente circolante

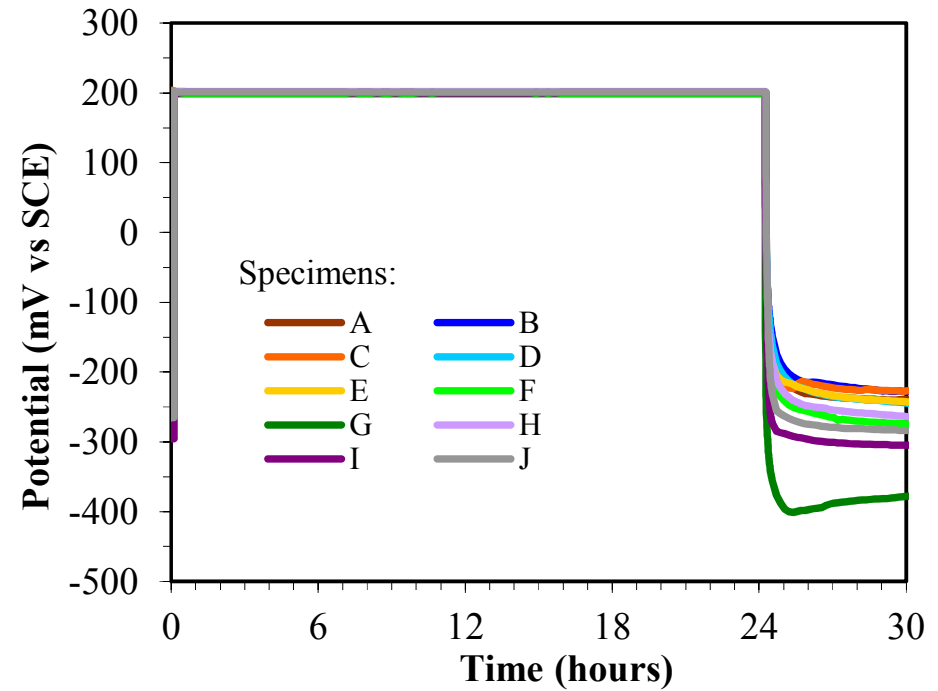


AISI 304 – 4%Cl⁻

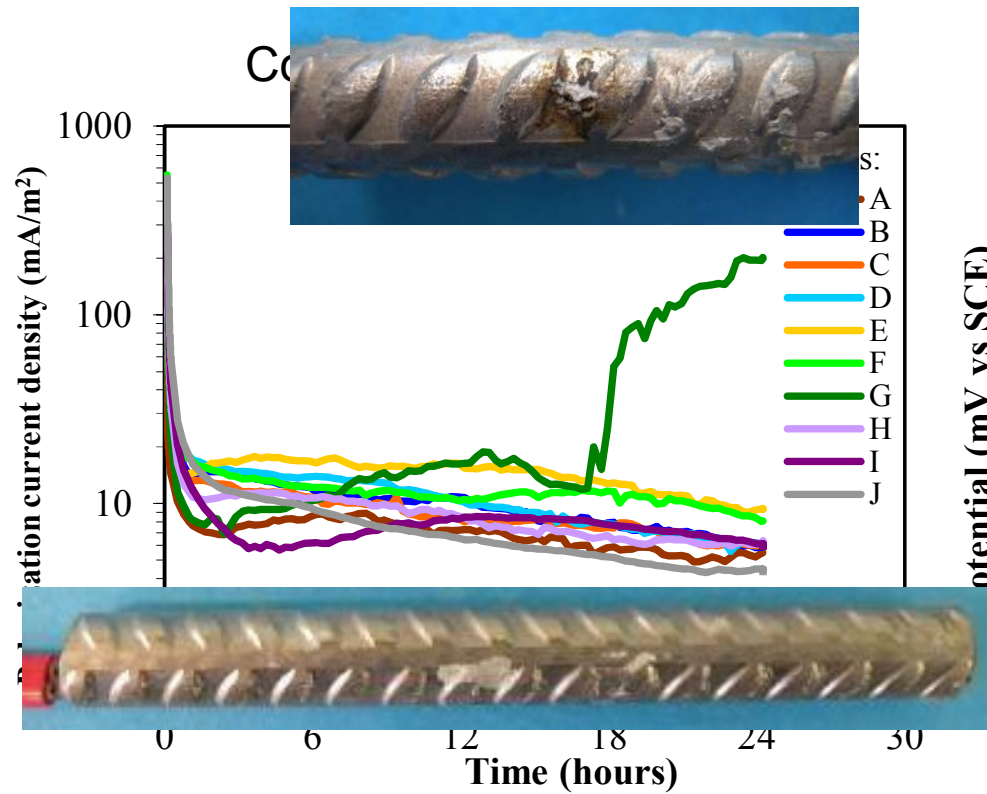
Potenziale di corrosione libera



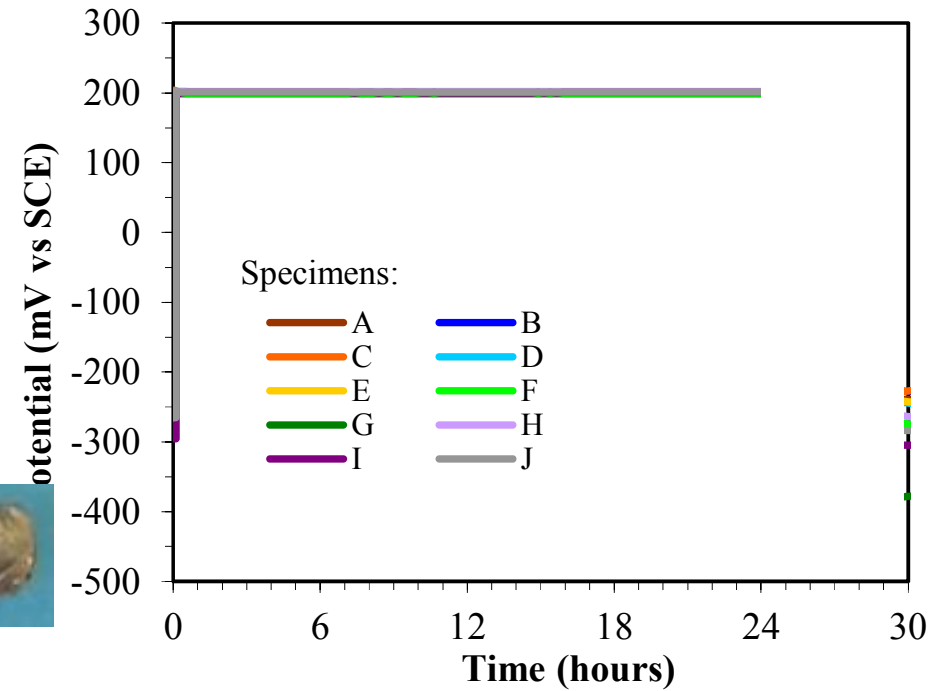
Polarizzazione



AISI 304 – 4%Cl⁻

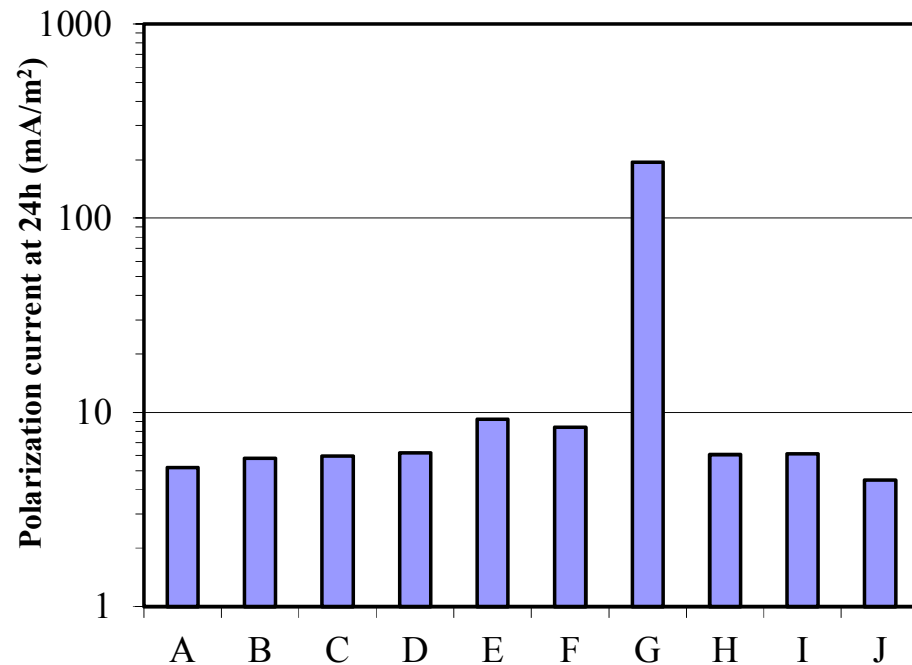


Polarizzazione / depolarizzazione

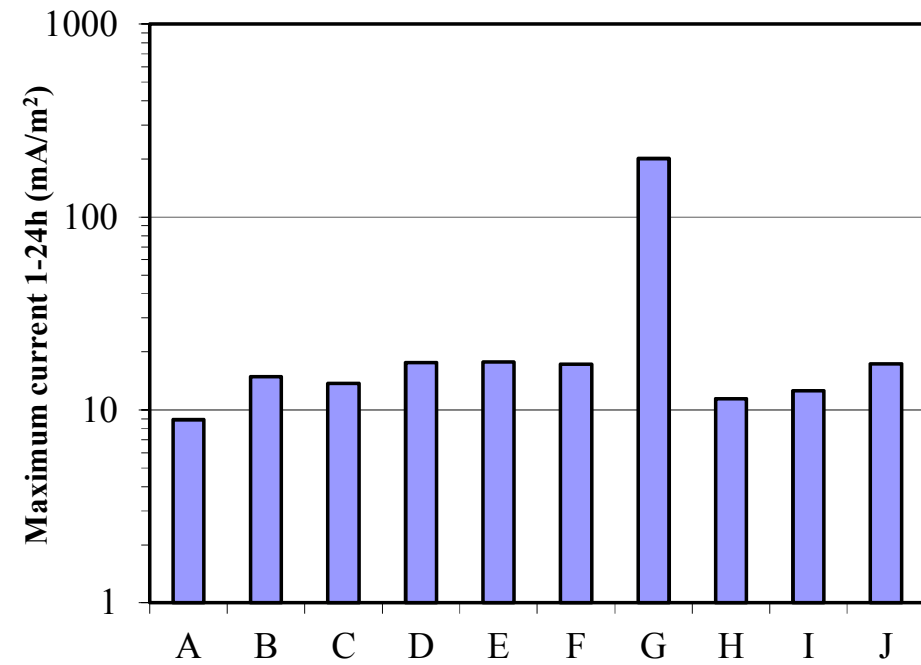


AISI 304 – 4%Cl⁻

Corrente di polarizzazione a 24h



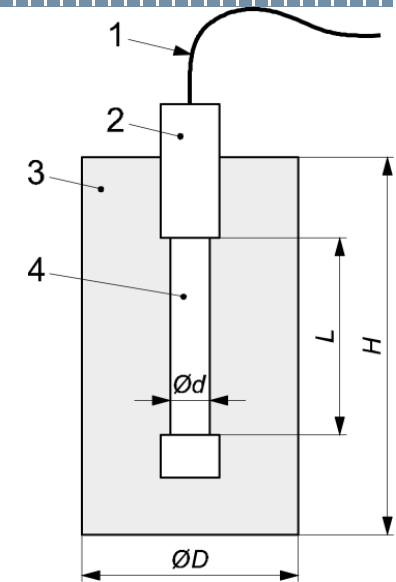
Corrente di polarizzazione max tra 1 e 24h



Procedura di prova

Materiali

- Armature: in condizioni di fornitura (pulitura con acetone)
- Provini: 10 campioni cilindrici armati in malta (compattazione)
- Malta: standard - EN 196-1
- Cloruri aggiunti all'acqua d'impasto (distillata) come NaCl, in modo da raggiungere il C_{test} stabilito (% in massa vs cem.)
- Copriferro ≥ 25 mm
- Lunghezza barre 100 ± 20 mm e schermatura parti terminali (prevenzione crevice)
- Tratto utile (L) ≥ 60 mm
- Stagionatura: 1g. nel cassero + 6gg in soluzione satura di $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a $T = 23^\circ\text{C} \pm 2$ (un contenitore da 1L per ogni provino \rightarrow *cella di prova*)



Procedura di prova

Prova

- Inserimento elettrodo di riferimento (SCE o SSC) e controelettrodo (sup. suff. a fornire una corrente di 10 mA) in ogni cella di prova
- Registrazione del potenziale di corrosione libera
- Polarizzazione potenziostatica a +200 mV vs SCE per 24 ore
- Monitoraggio corrente di polarizzazione (intervallo misure ≤ 10 min.)
- Rottura campioni al termine delle 24 ore
- Osservazione visiva sup. armature (eventuale decapaggio)
- In caso di crevice/altra non conformità (e.g. segregazione) → test non valido
→ ripetere prove su altri 10 provini

Procedura di prova

Criterio di valutazione

Prova superata se almeno **9/10** campioni $\rightarrow i_{\max} < 80 \text{ mA/m}^2$ e NO corrosione

Se pb. (ad es. guasto) o risultato contraddittorio su un provino \Rightarrow ripetere prova su altri 5 provini

Risultato

Corrosion test method \rightarrow fornisce un'indicazione del fatto che l'armatura in acciaio inossidabile analizzata è in grado di non subire innesco di corrosione, nelle condizioni di prova, con il tenore di cloruri impiegato (Cl_{test})



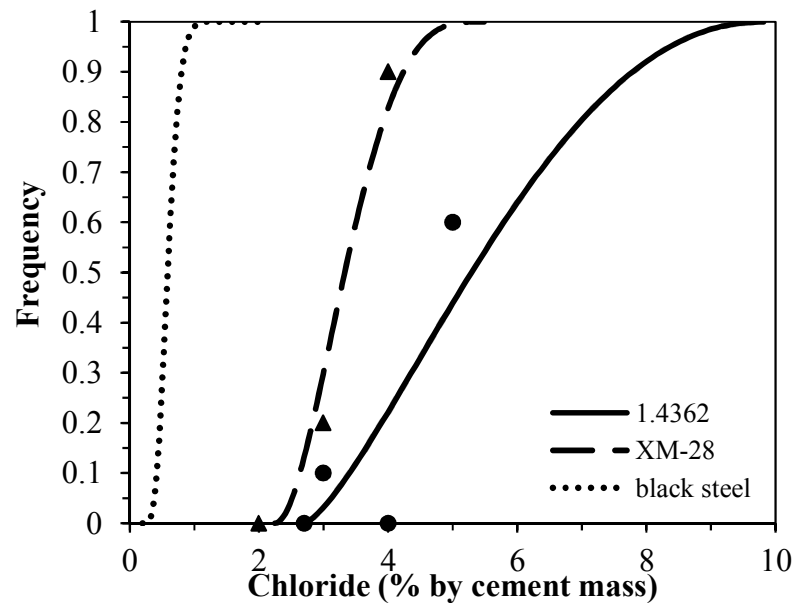
Non restituisce Cl_{th}

Tuttavia se prova superata $\Rightarrow Cl_{th,test} \text{ armatura} > Cl_{test}$



informazione per il progetto della durabilità

Stima $Cl_{th,test}$ armatura \rightarrow realizzazione di diverse prove con diversi Cl_{test}



Funzione di distribuzione cumulativa di probabilità del $Cl_{th,test}$



$$Cl_{th} = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n \cdot Cl_{th,test}$$

(coefficienti correttivi da determinare)