



**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*

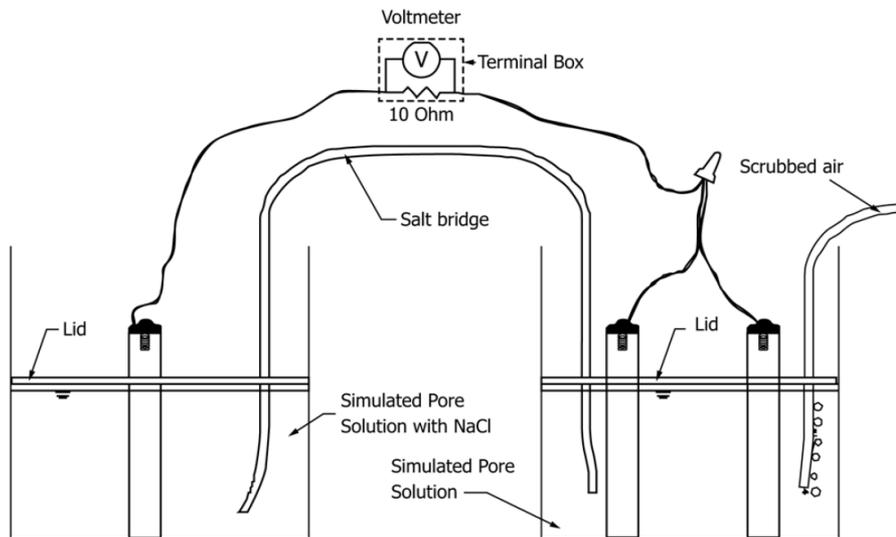
**Table B.1 — Guidance on the use of stainless steel reinforcement for different service conditions**

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

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

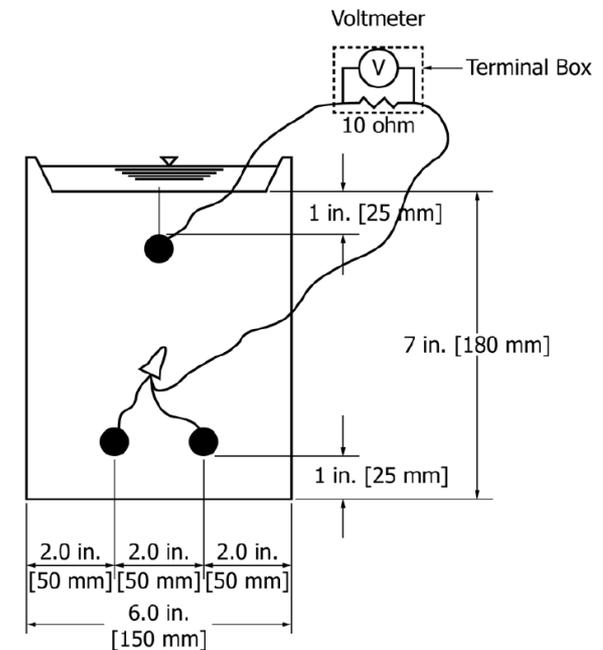
### Test in soluzione

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



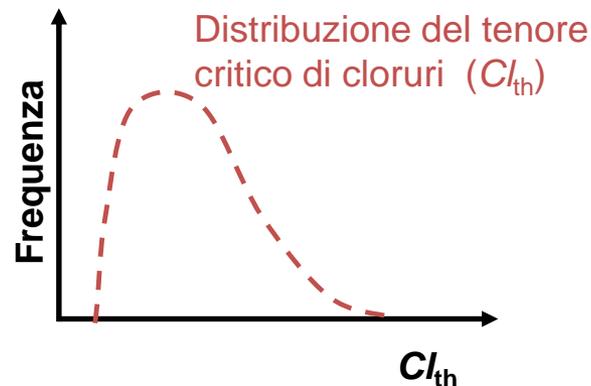
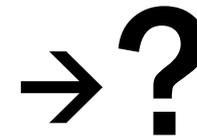
Parametri in input al modello ➡ Prove (in genere accelerate)

- Corrosione da carbonatazione → SS resistenti a corrosione in calcestruzzo carbonatato

- Corrosione da cloruri → Resistenza a corrosione dipende da  $Cl_{th}$



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

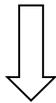


## Prove in soluzione

(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)



$Cl_{th,test}$

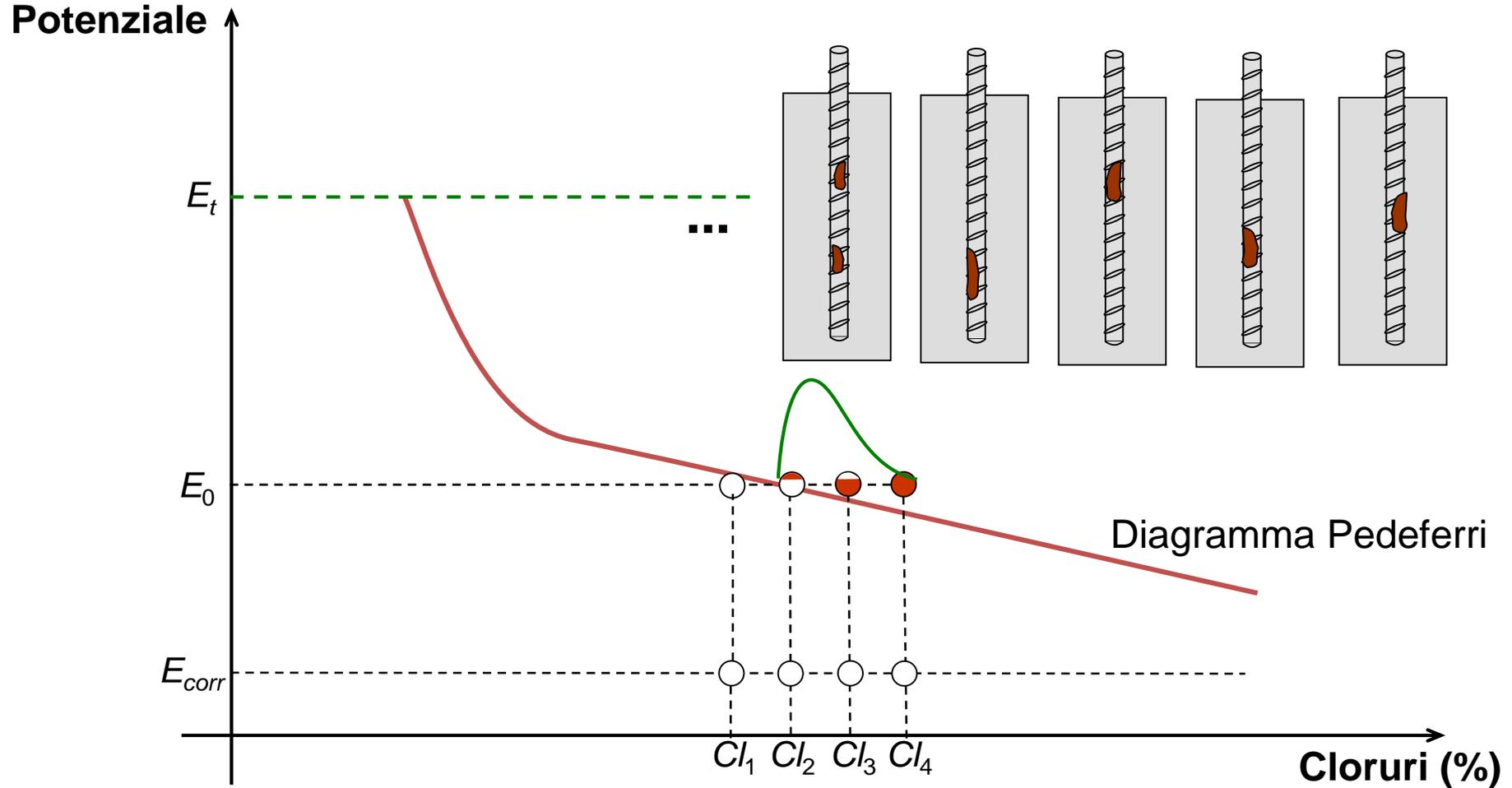


$Cl_{th,field}$

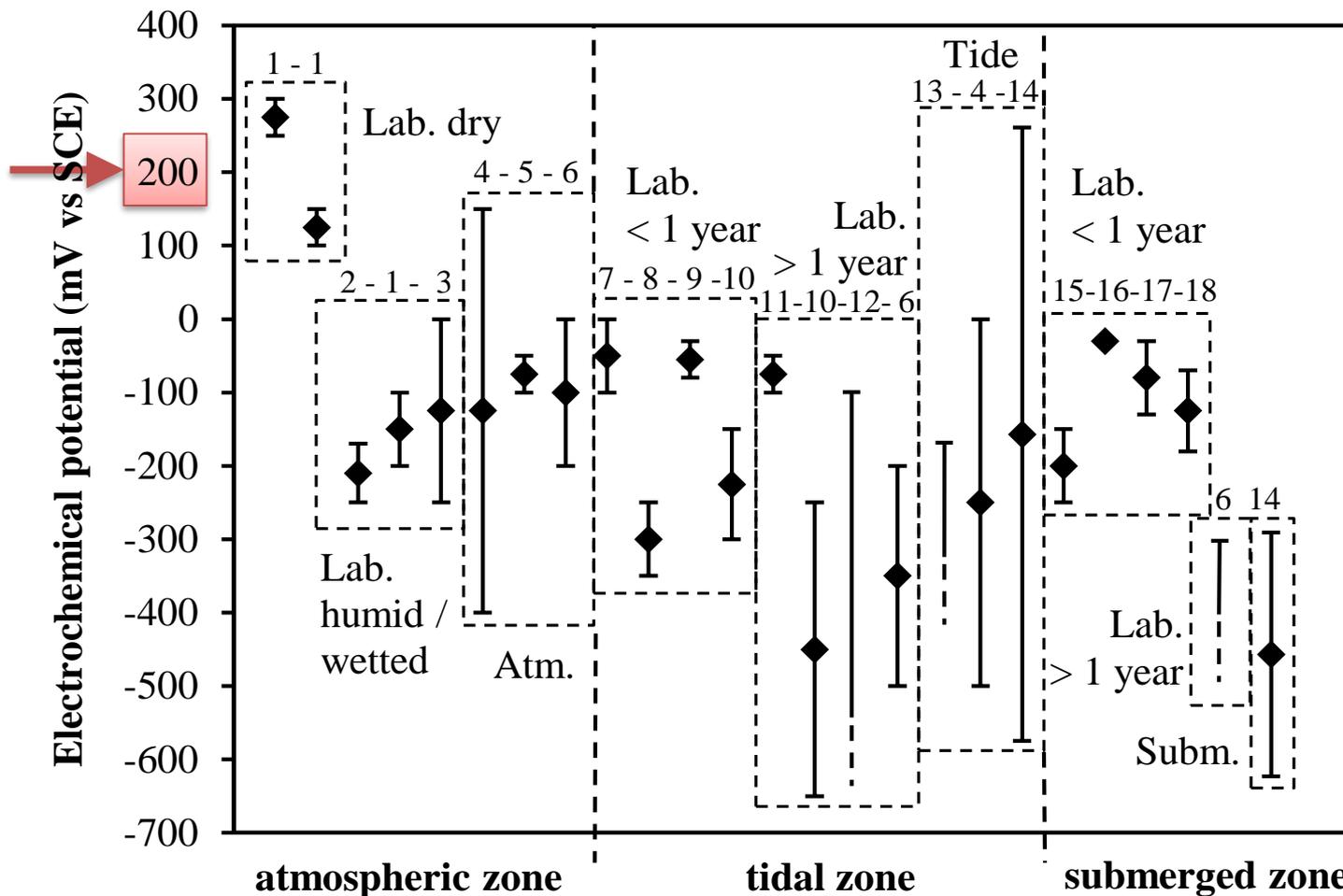
Fattori che influenzano  $C_{l_{th}}$ :

- 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  $\text{CaCl}_2$  o  $\text{NaCl}$ )
- 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

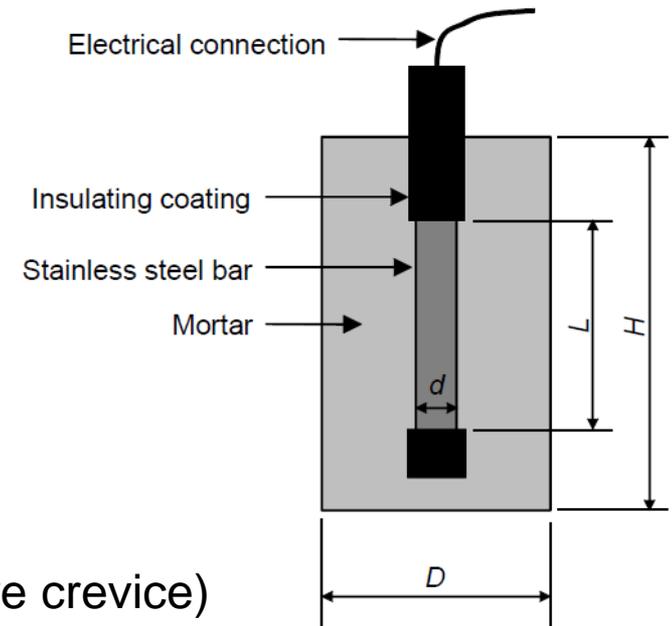
- cemento = 450 g (*CEM I 52.5 R*)
- acqua = 225 g (*distillata*)
- sabbia = 1350 g (*sabbia normalizzata CEN*)
- cloruri = 2 e 4% in massa vs cem. ( $\text{CaCl}_2$ )

## 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)

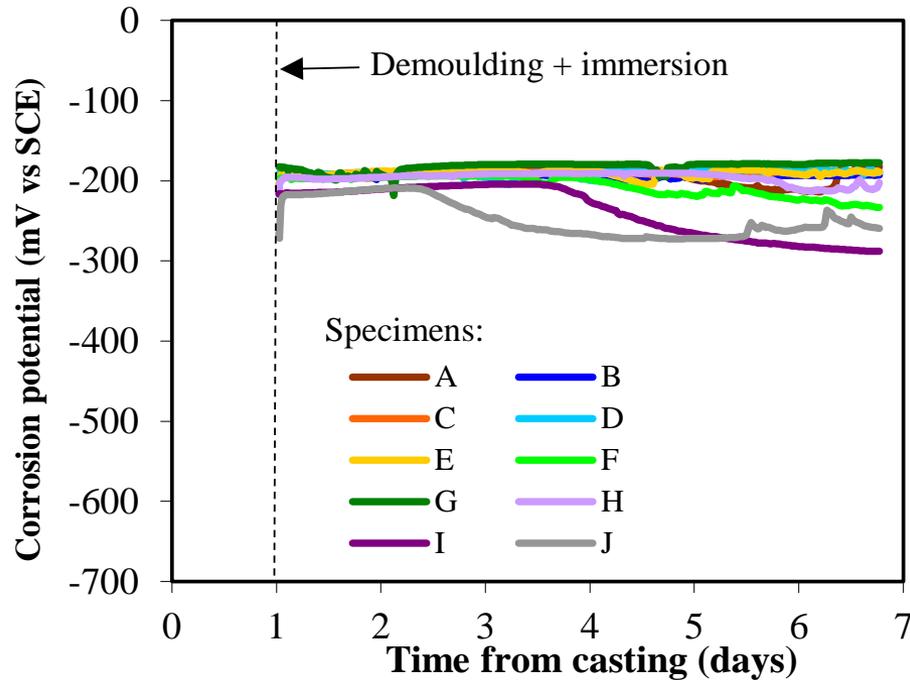
## Prova

- Elettrodo di riferimento: SCE (o SSC calibrato con SCE)
- contro elettrodo: 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

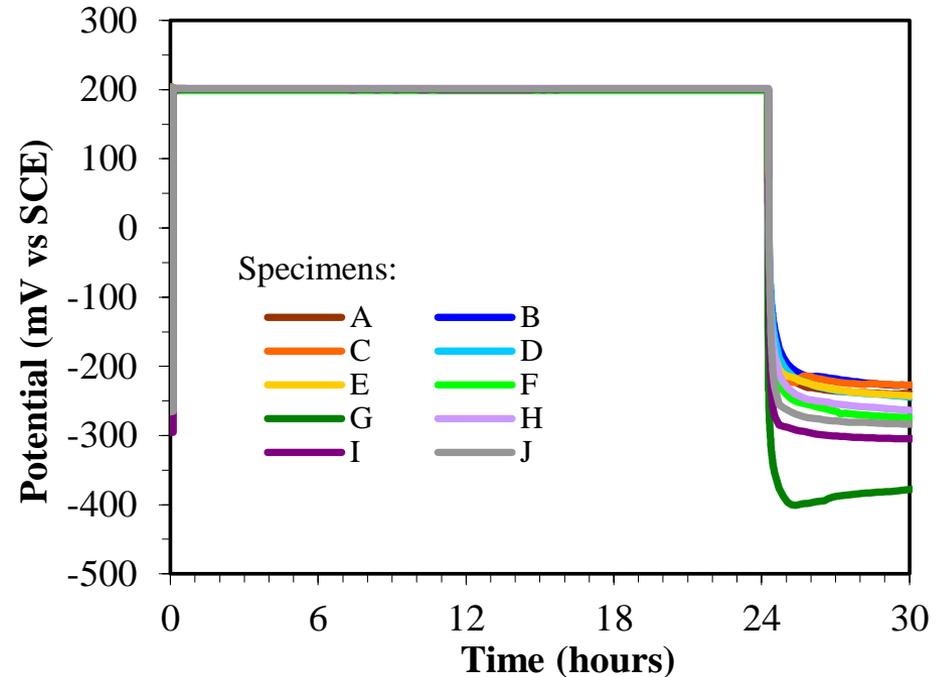


AISI 304 – 4%Cl<sup>-</sup>

### Potenziale di corrosione libera

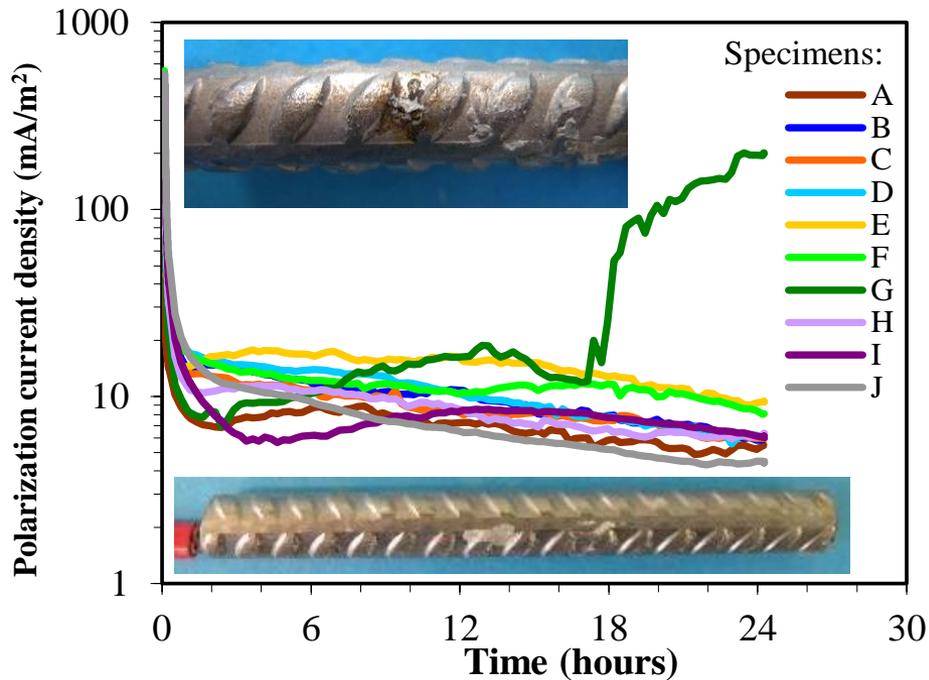


### Polarizzazione

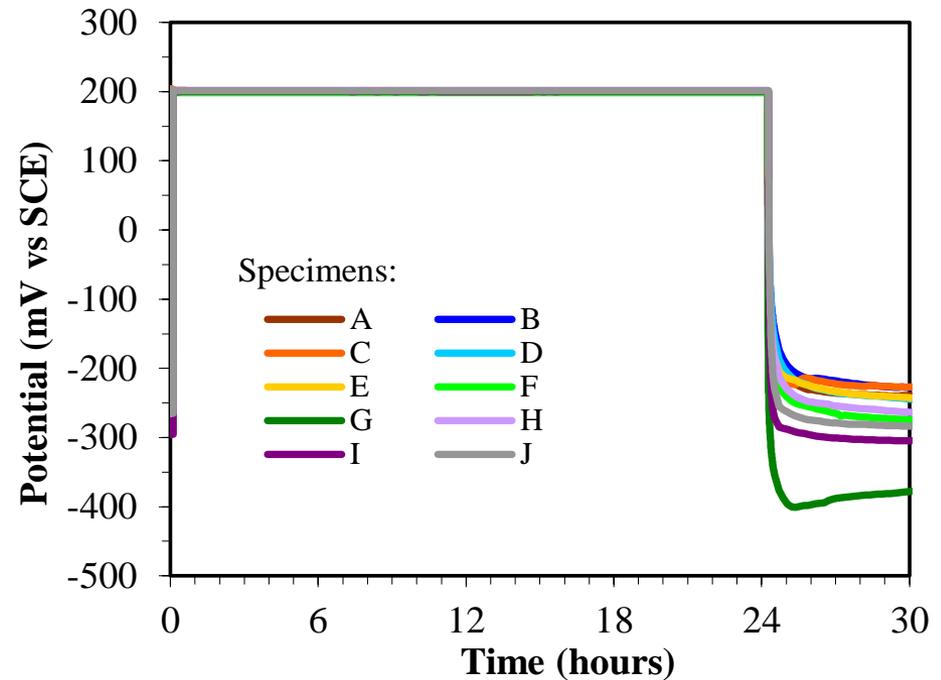


AISI 304 – 4%Cl<sup>-</sup>

Corrente di polarizzazione

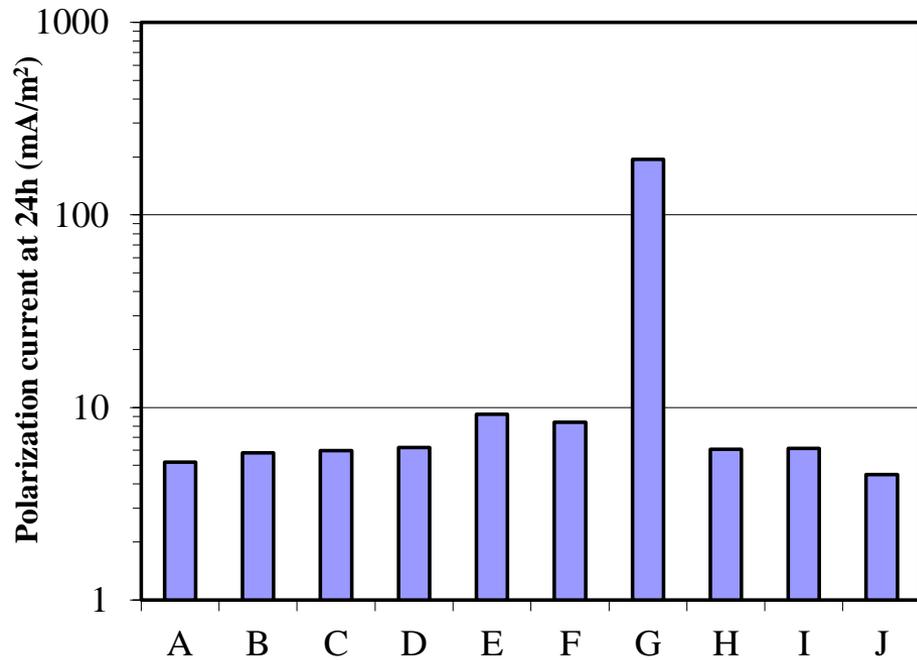


Polarizzazione / depolarizzazione

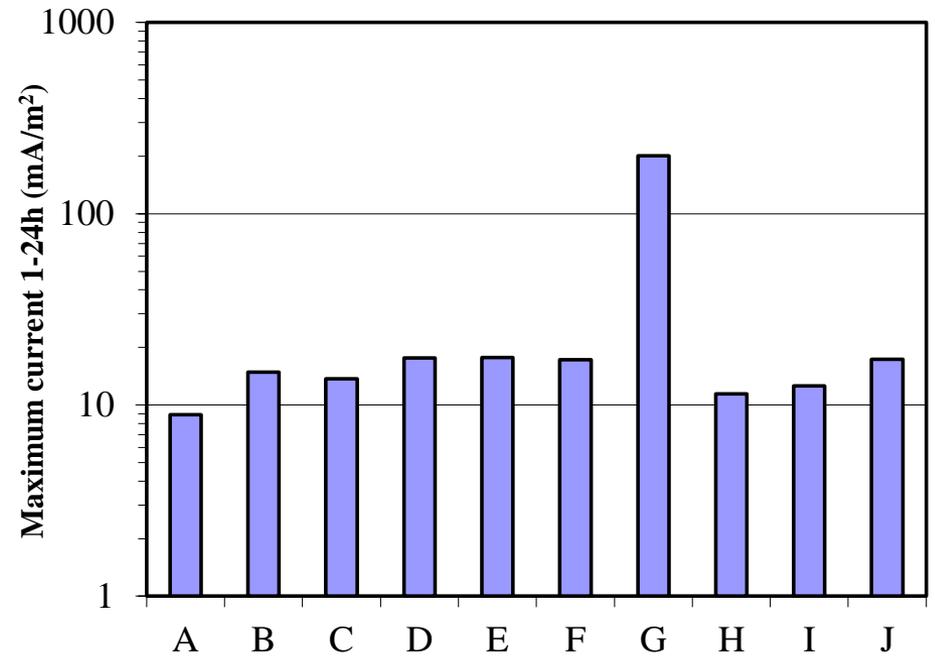


AISI 304 – 4%Cl<sup>-</sup>

### Corrente di polarizzazione a 24h



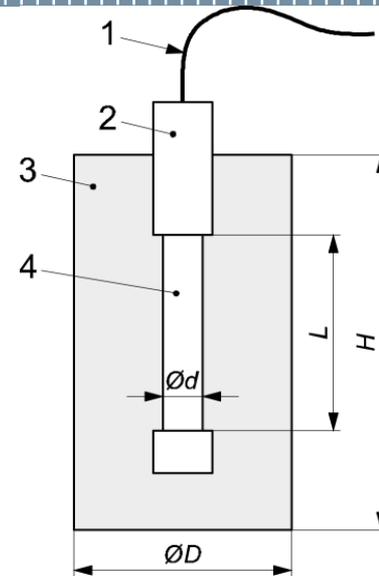
### Corrente di polarizzazione max tra 1 e 24h



## 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  $C_{\text{test}}$  stabilito (% in massa vs cem.)
- Copriferro  $\geq 25$  mm
- Lunghezza barre  $100 \pm 20$  mm e schermatura parti terminali (prevenzione crevice)
- Tratto utile (L)  $\geq 60$  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 contro elettrodo (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  $\leq 10$  min.)
- Rottura campioni al termine delle 24 ore
- Osservazione visiva sup. armature (eventuale deca-paggio)
- In caso di crevice/altra non conformità (e.g. segregazione) → test non valido  
→ ripetere prove su altri 10 provini

## Procedura di prova

### *Critero 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 ( $Cl_{\text{test}}$ )



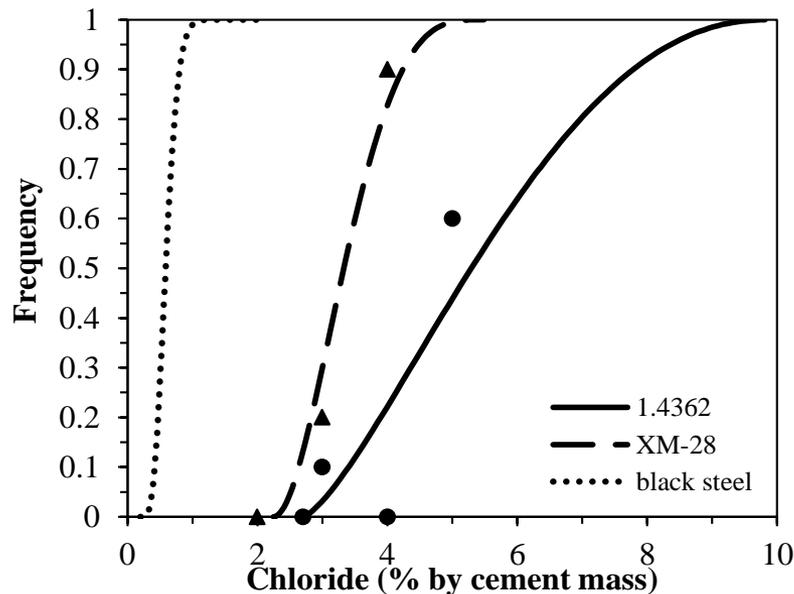
Non restituisce  $Cl_{\text{th}}$

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)

[M.Gastaldi, F.Lollini & L.Bertolini, 2013]