



**POLITECNICO  
DI MILANO**



## **RICERCA MULTI-SPONSORS**

**Studio dell'influenza della CA sui fenomeni di corrosione e di protezione catodica**

**Prof. Luciano Lazzari**

Dipartimento Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta"



- ✓ **Laboratorio Corrosione e Protezione dei Materiali Metallici**
- ✓ **Responsabile**
  - ✓ prof. L. Lazzari
- ✓ **Gruppo di lavoro**
  - ✓ Prof. F. Bolzoni
  - ✓ Prof.ssa MP. Pedeferri
  - ✓ Ing. M. Ormellese
  - ✓ Ing. M.V. Diamanti
  - ✓ Dott.ssa S. Goidanich
  - ✓ Ing. A. Brenna
  - ✓ Ing. S. Beretta



# Lista degli invitati



- ✓ APCE
- ✓ SNAMRETEGAS
- ✓ ITALGAS
- ✓ RFI
- ✓ SIRTI
- ✓ AEM Milano
- ✓ ENI – Exploration & Production
- ✓ ENI – Gas & Power
- ✓ ENEL RETE GAS
- ✓ EDISON
- ✓ MM SpA
- ✓ TELECOM ITALIA
- ✓ TERNA
- ✓ UNI
- ✓ SAIPEM – ESAFA
- ✓ SOCIETÀ GASDOTTI ITALIA SPA
- ✓ SARPOM
- ✓ PRAOIL OLEODOTTI ITALIANI SpA
- ✓ AMIACQUE
- ✓ ITALCOGIM RETI



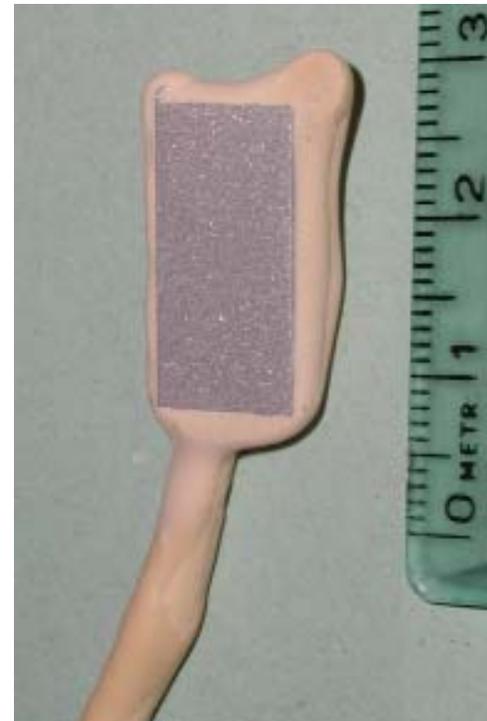
- ✓ **Messa a punto della strumentazione**
- ✓ **Determinazione delle soglie critiche per la corrosione indotta da CA**
  - ✓ Prove di corrosione libera (stazionaria e non stazionaria)
  - ✓ Prove di PC ( $0,5 \text{ A/m}^2$ ,  $1 \text{ A/m}^2$ ,  $10 \text{ A/m}^2$ )
  - ✓ Prove di polarizzazione anodica
- ✓ **Influenza della CA su materiali passivi**
  - ✓ Acciaio al carbonio nel calcestruzzo
  - ✓ Acciaio inossidabile
- ✓ **Prove di campo**



- ✓ Messa a punto della strumentazione
- ✓ **Determinazione delle soglie critiche per la corrosione indotta da CA**
  - ✓ Prove di corrosione libera (stazionaria e non stazionaria)
  - ✓ **Prove di PC (0,5 A/m<sup>2</sup>, 1 A/m<sup>2</sup>, 10 A/m<sup>2</sup>)**
  - ✓ Prove di polarizzazione anodica
- ✓ **Influenza della CA su materiali passivi**
  - ✓ Acciaio al carbonio nel calcestruzzo
  - ✓ Acciaio inossidabile
- ✓ **Prove di campo**

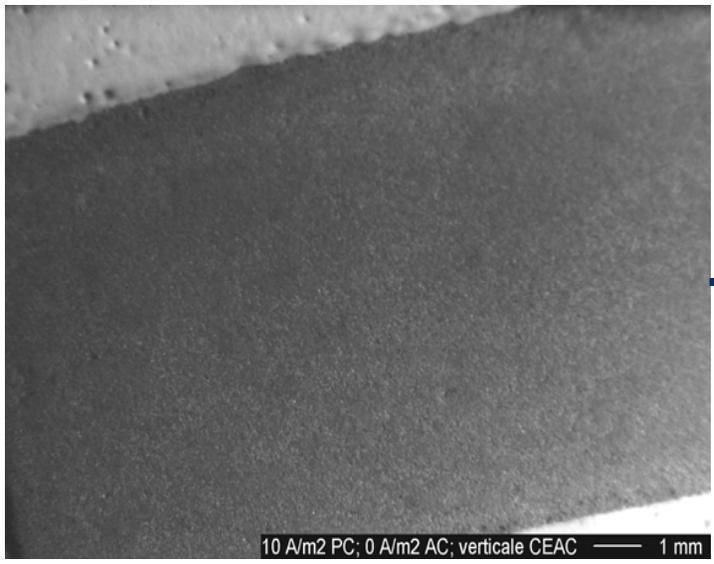


- ✓ **ambiente:** sabbia umida (resistività 5-10  $\Omega$  m)
- ✓ **provini:** acciaio al carbonio (X52)
  - ✓ C 0.07%; Si 0.02%; Mn 0.33%; S 0.008%; P 0.017%
- ✓ **temperatura:** 20°C
- ✓ **durata della prova:** 200 giorni
- ✓  **$i_{AC}$  (A/m<sup>2</sup>):** 10 - 100 - 300 - 500
- ✓  **$i_{prot}$  (A/m<sup>2</sup>):** 0.2 - 0.5 - 1 - 2 - 1



# Protezione catodica 10 A/m<sup>2</sup>

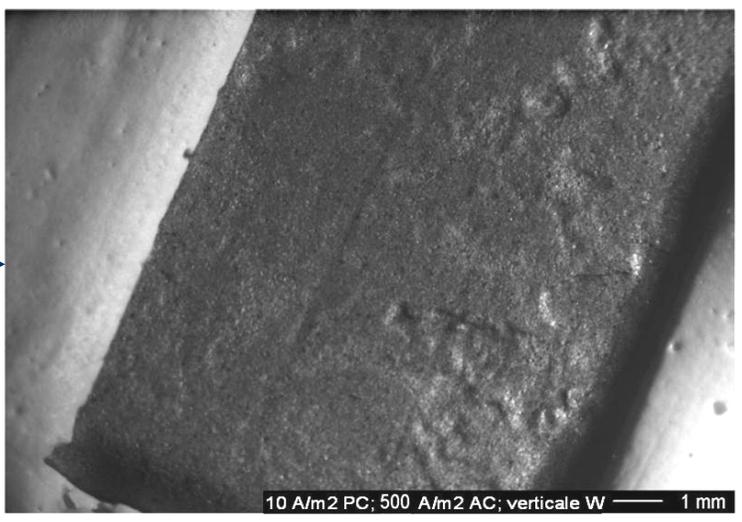
$i_{AC} = 0 \text{ A/m}^2$



$i_{AC} = 100 \text{ A/m}^2$

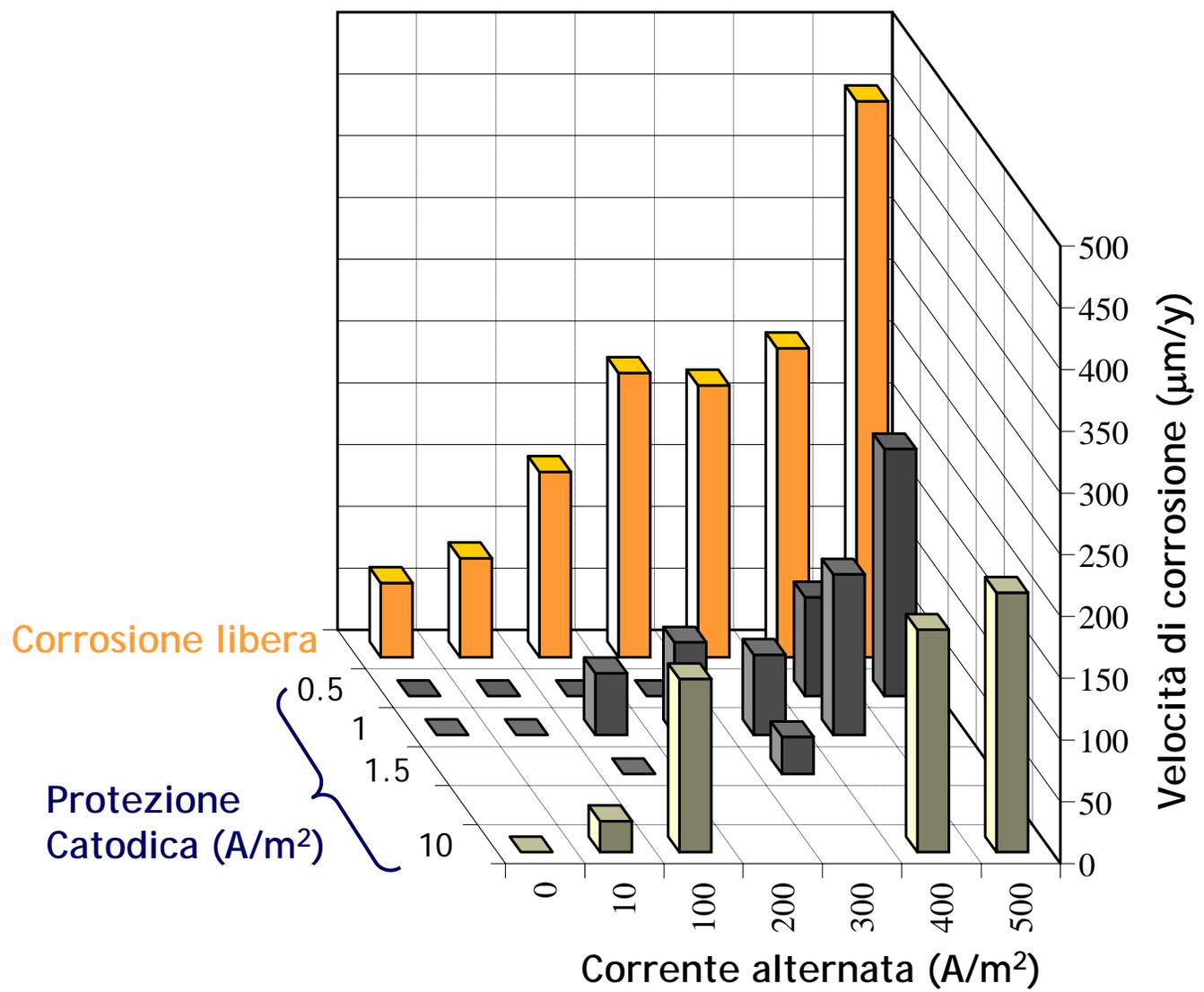


$i_{AC} = 300 \text{ A/m}^2$



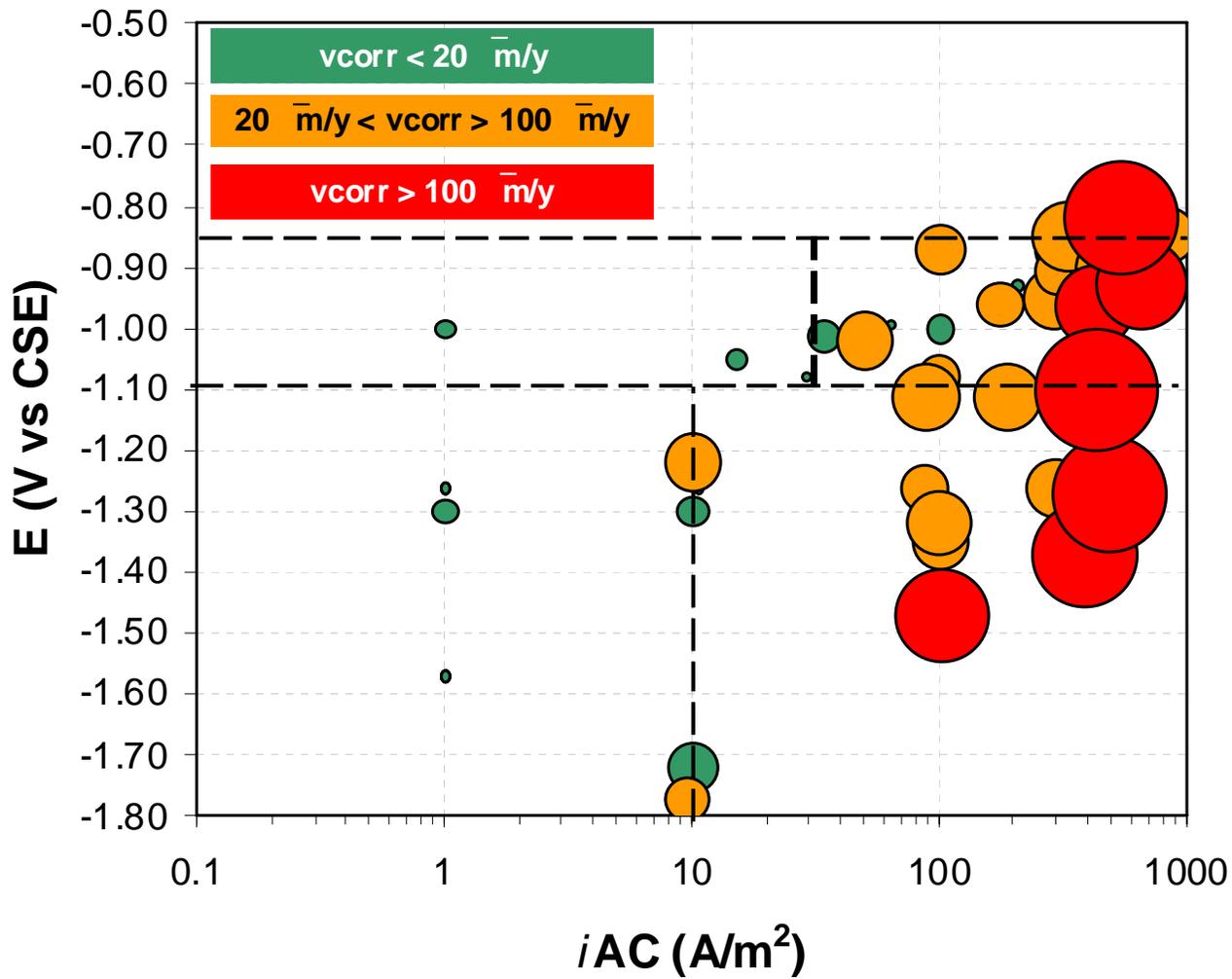


# Protezione catodica + CA



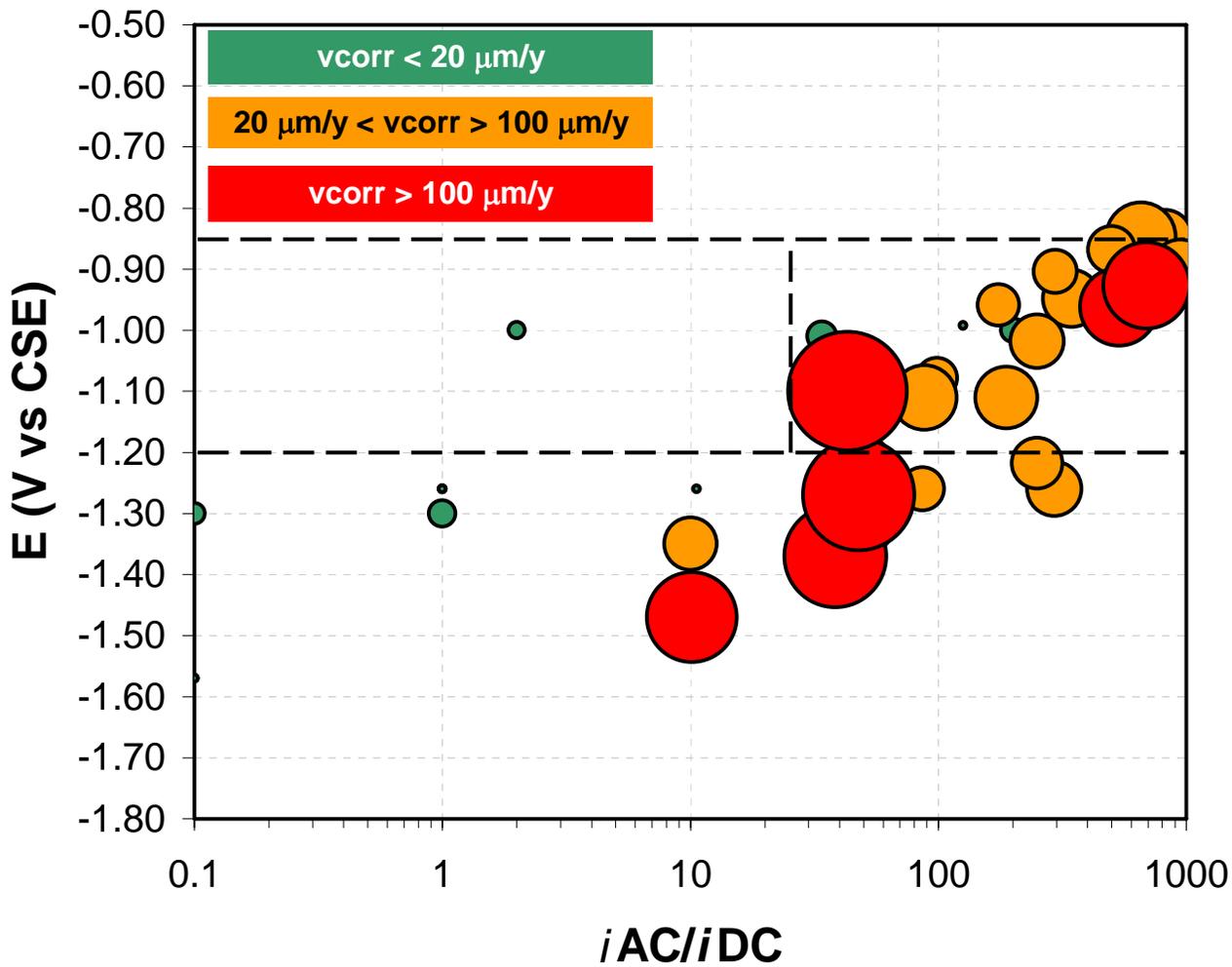


# $E_{\text{off}}$ vs $i_{\text{AC}}$





# $E_{\text{off}}$ VS $i_{\text{AC}} / i_{\text{PC}}$





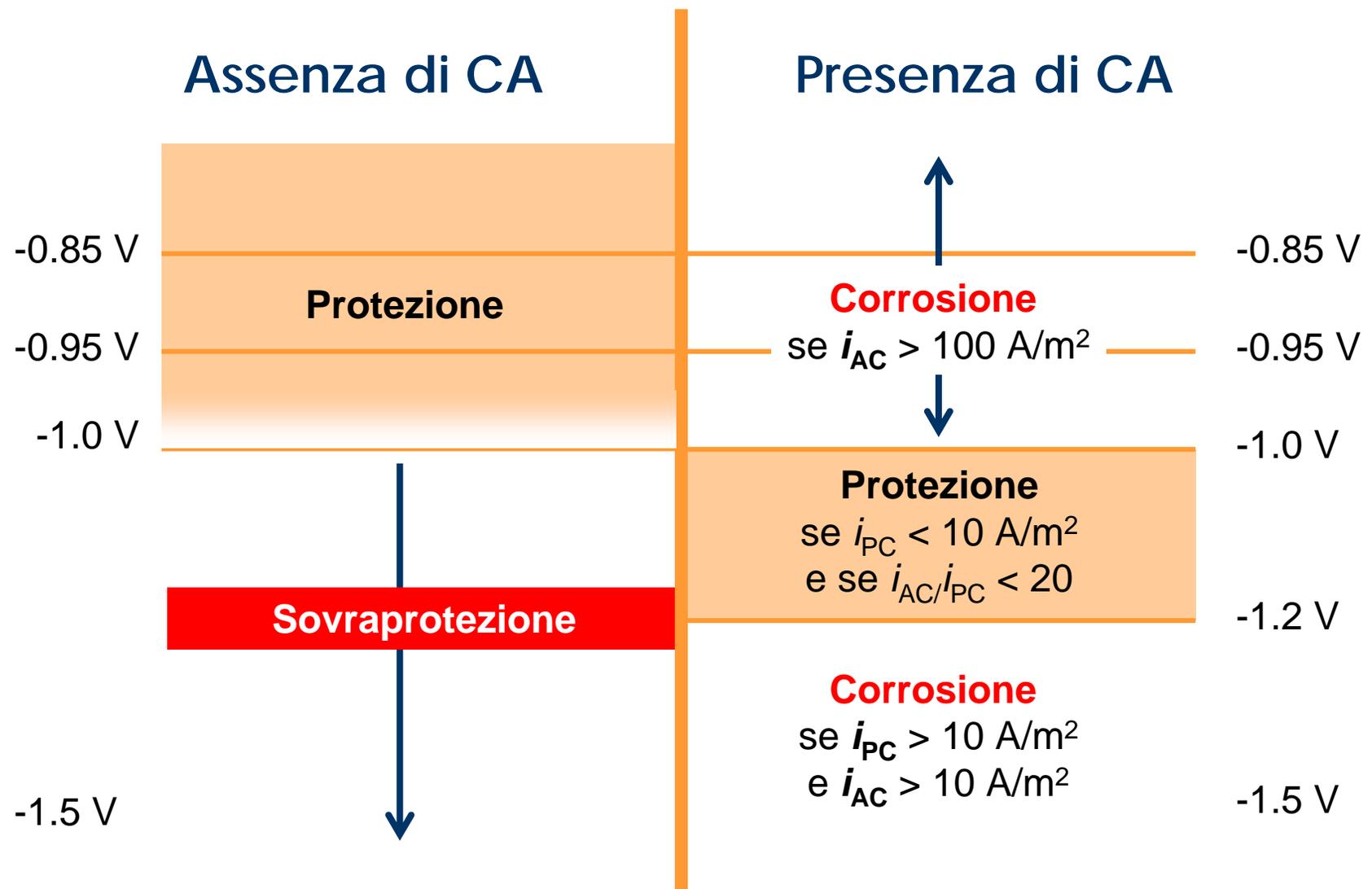
- ✓  $i_{CA}$  non è un sufficiente parametro di rischio
- ✓ si devono considerare anche il  $E_{prot}$  e la  $i_{PC}$
- ✓ **il criterio dei -0.85 V CSE** non sempre è valido in presenza di CA

## ✓ condizioni di protezione

- ✓ no sovraprotezione:  $i_{PC} < 10 \text{ A/m}^2$
- ✓  $-1.0 < E_{prot} < -1.2 \text{ V vs CSE}$
- ✓  $i_{CA}/i_{DC} < 20$



# Protezione catodica + CA



- ✓ Criteria as defined in **EN 12954** shall be respected.  
Accordingly, **IR-free potential** (also called true potential or off-potential) shall be used to establish cathodic protection level

## Acceptance criteria

- ✓ **Overprotection CP conditions** ( $E_{\text{off}} < -1.1 \text{ V CSE}$ )
  - ✓  $U_{\text{AC}} < 4 \text{ V}$
  - ✓ AC current density  $< 10 \text{ A/m}^2$
- ✓ **Correct CP conditions** ( $-1.1 \text{ V CSE} < E_{\text{off}} < -0.85 \text{ V CSE}$ )
  - ✓  $U_{\text{AC}} < 15 \text{ V}$
  - ✓ average AC current density  $< 30 \text{ A/m}^2$
- ✓ **Parameters are measured through corrosion coupons**



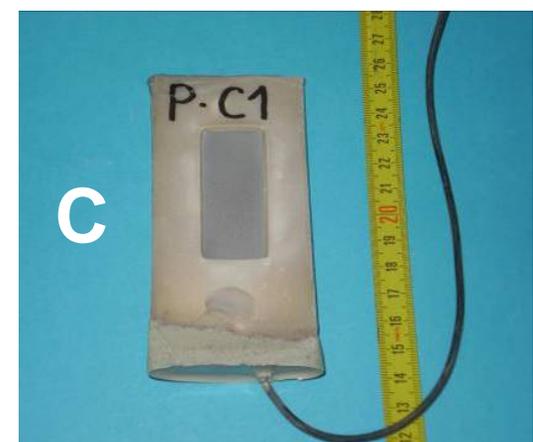
- ✓ Confermare i risultati ottenuti in prove di laboratorio
- ✓ Verificare i criteri da adottare per la PC di strutture metalliche interferite da CA
- ✓ Investigare i diversi aspetti della corrosione per interferenza da CA
- ✓ **Novembre 2008**: installazione provini presso il campo prove RFI situato al km 91 del tratto Roma-Napoli della linea AV/AC Milano-Napoli



<b>CL/CA</b>	corrosione libera + interferenza da CA
<b>PC/CA</b>	protezione catodica + interferenza da CA
<b>CL</b>	corrosione libera
<b>PC</b>	protezione catodica



## Provini metallici in acciaio al carbonio con differente geometria

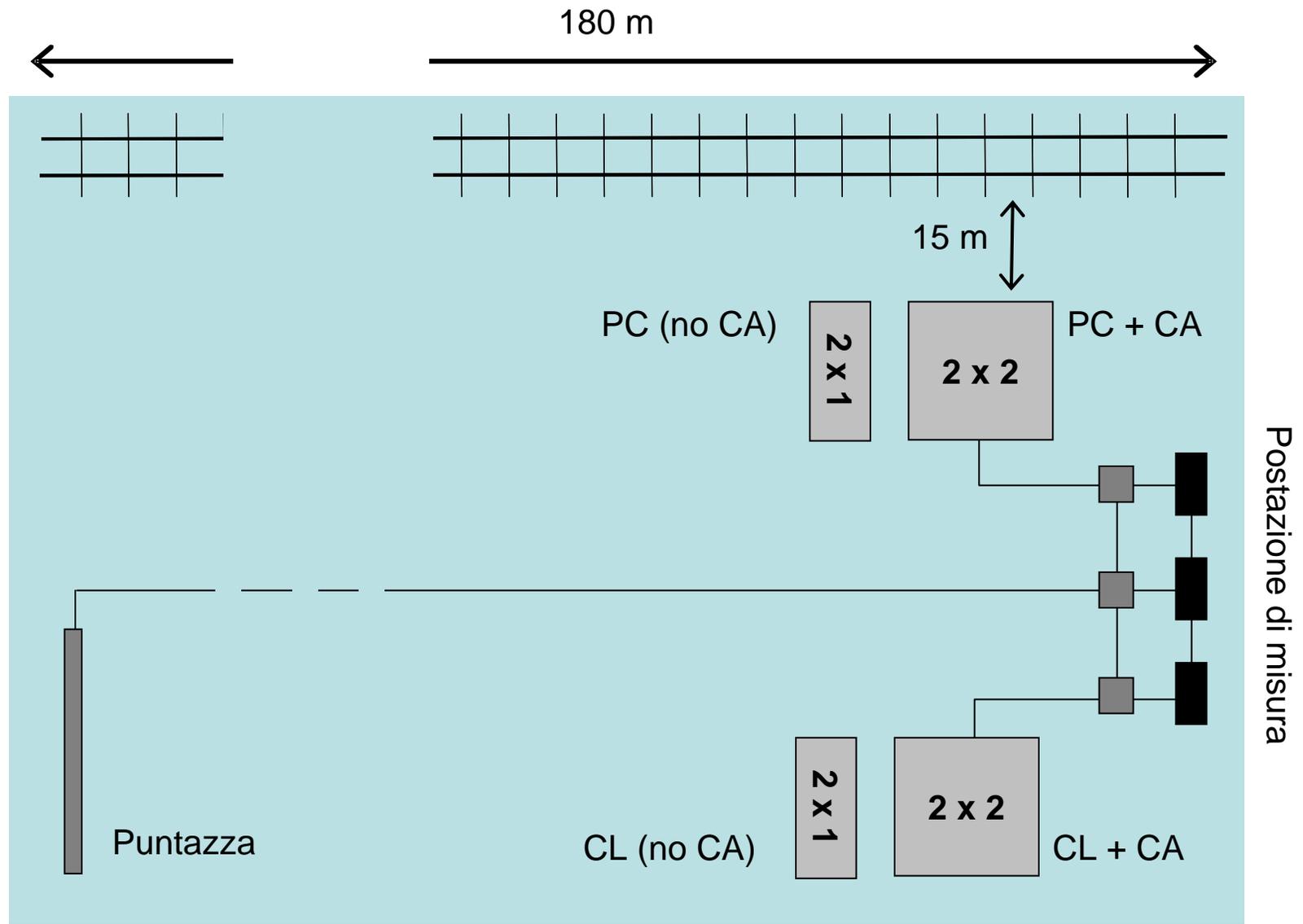


## Anodi cilindrici in magnesio



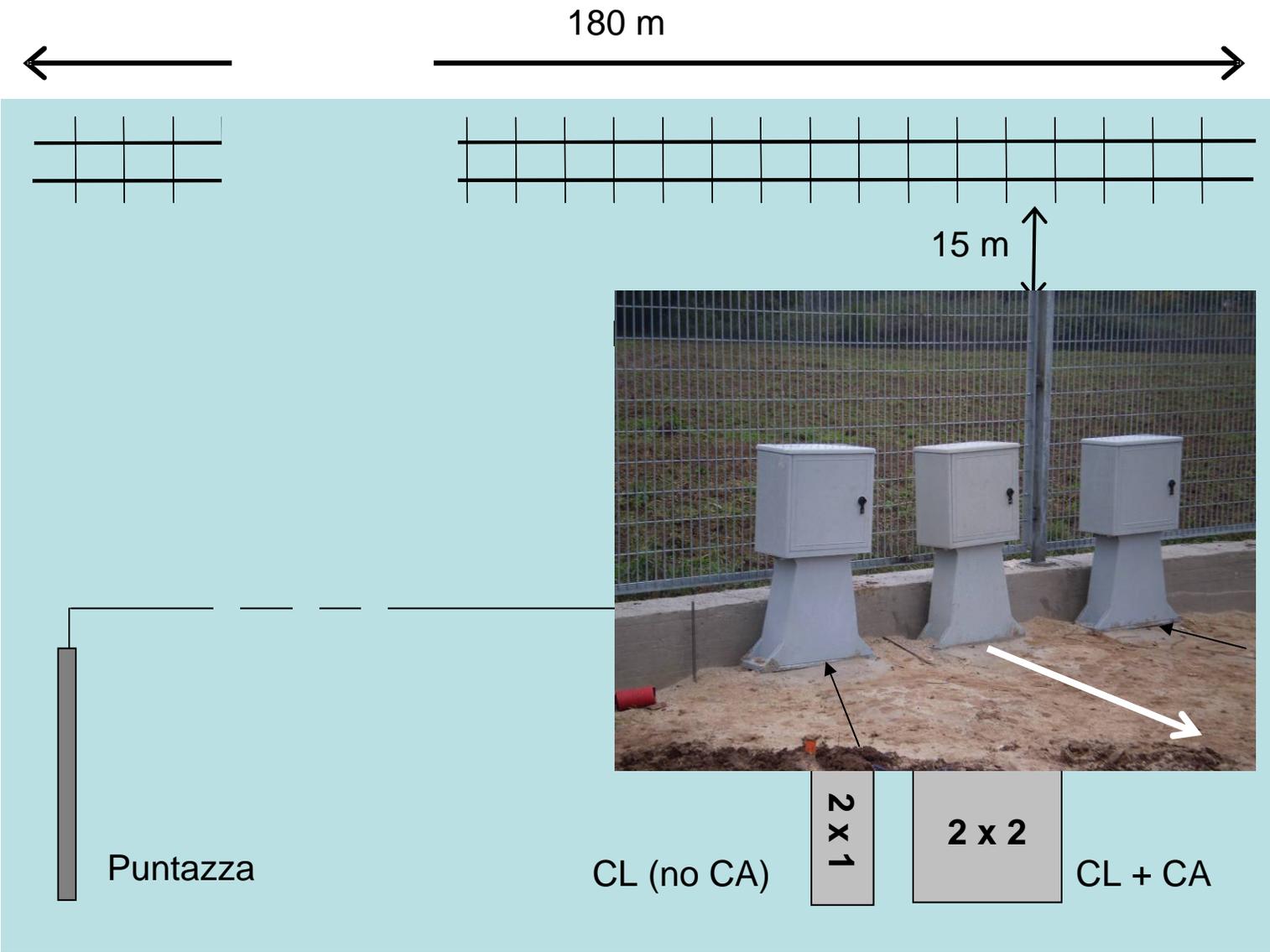


# Disposizione provini nel campo prove



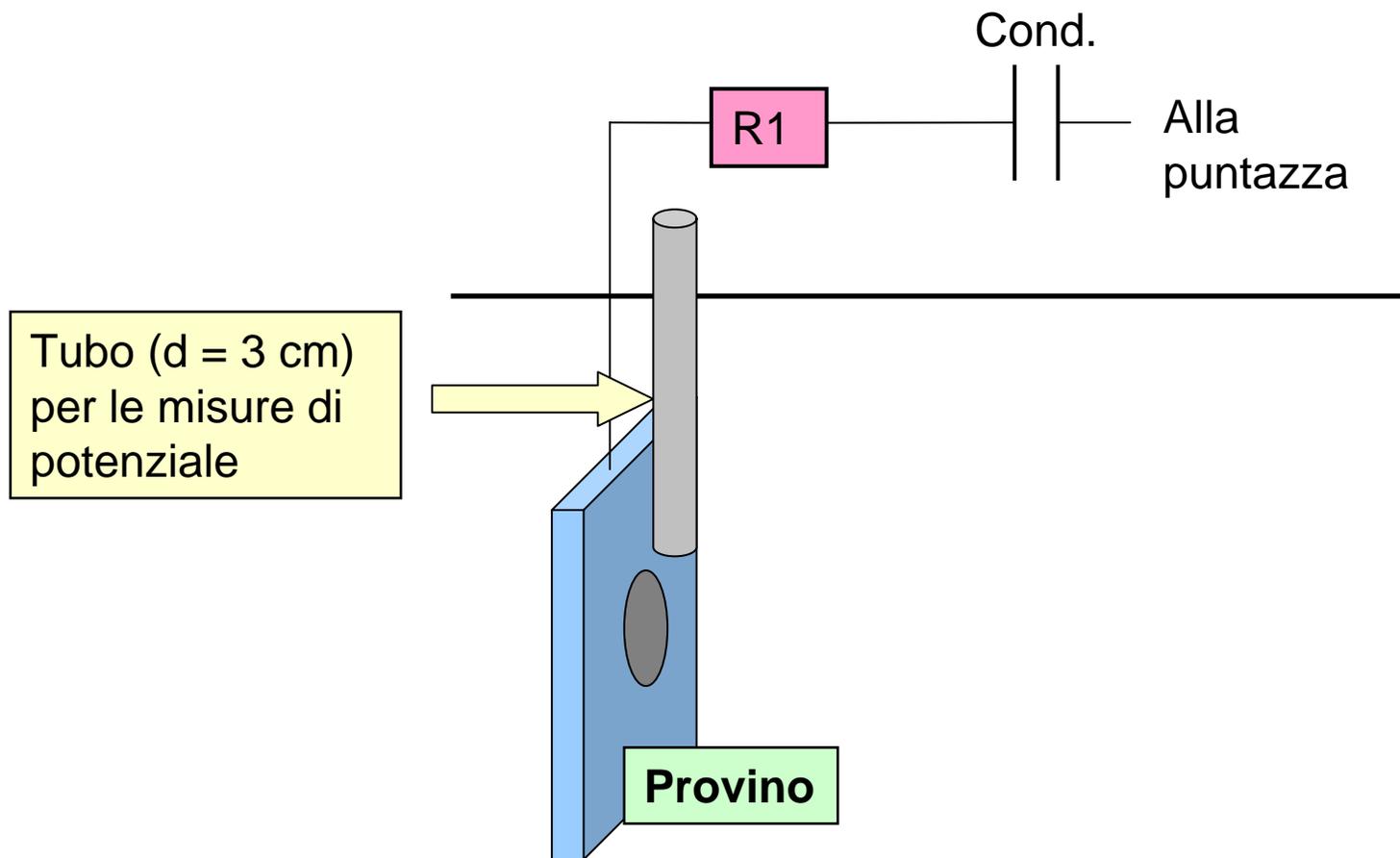


# Disposizione provini nel campo prove



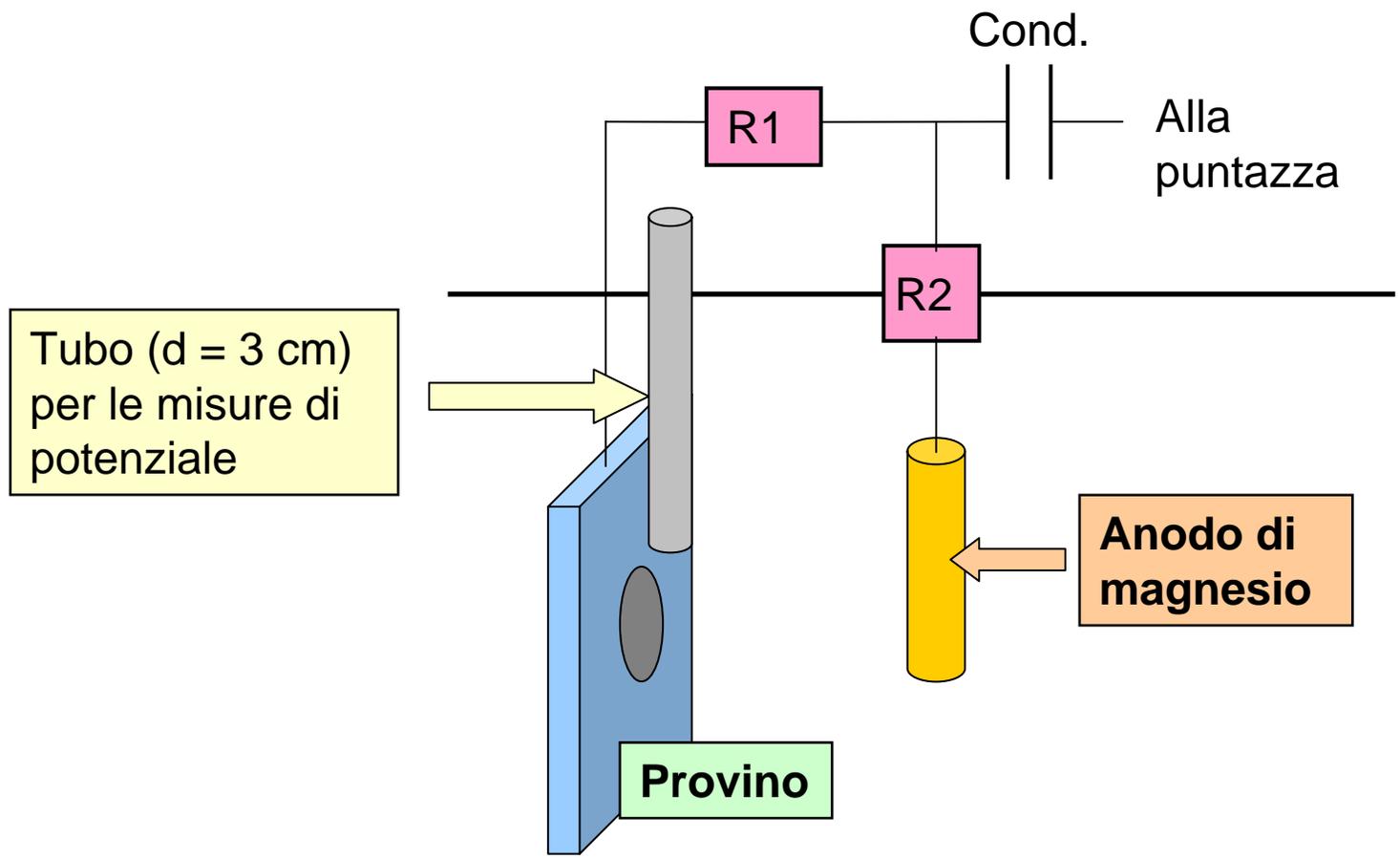


# Installazione provini Corrosione Libera





# Installazione provini Protezione Catodica





## Esecuzione dei fori nel terreno



## Collegamento del provino al tubo di Luggin



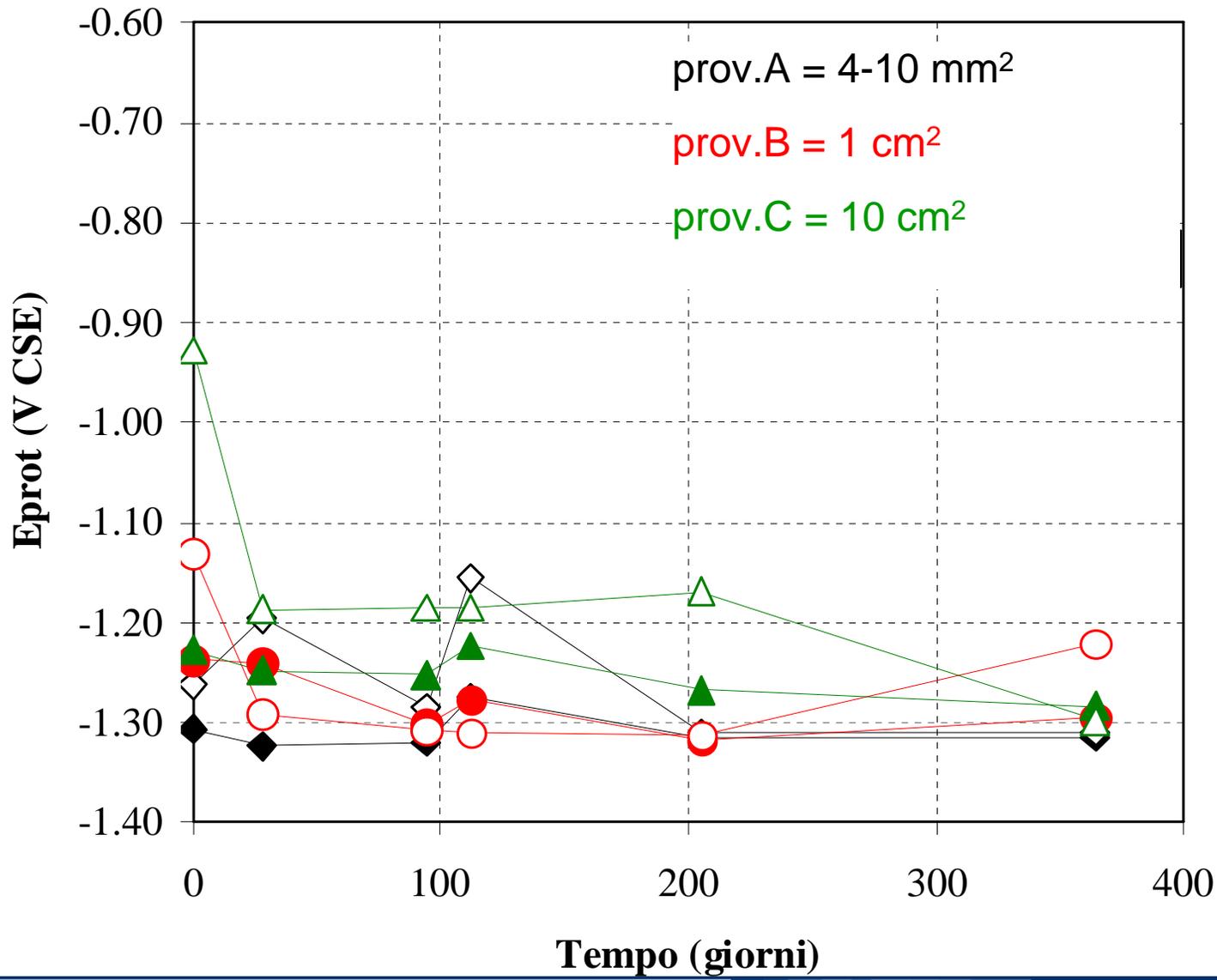
## Provini interrati



- ✓ Potenziale di corrosione libera ( $E_{\text{corr}}$ )
- ✓ Potenziale di protezione ( $E_{\text{prot}}$ )
- ✓ Densità di corrente di protezione ( $i_{\text{PC}}$ )
- ✓ Densità di corrente alternata interferente ( $i_{\text{CA}}$ )
- ✓ Al termine della sperimentazione (2 anni) i campioni saranno ...
  - ✓ prelevati
  - ✓ sottoposti a ispezione visiva
  - ✓ sottoposti a ciclo di decapaggioSarà determinata la perdita di peso (ASTM G1)

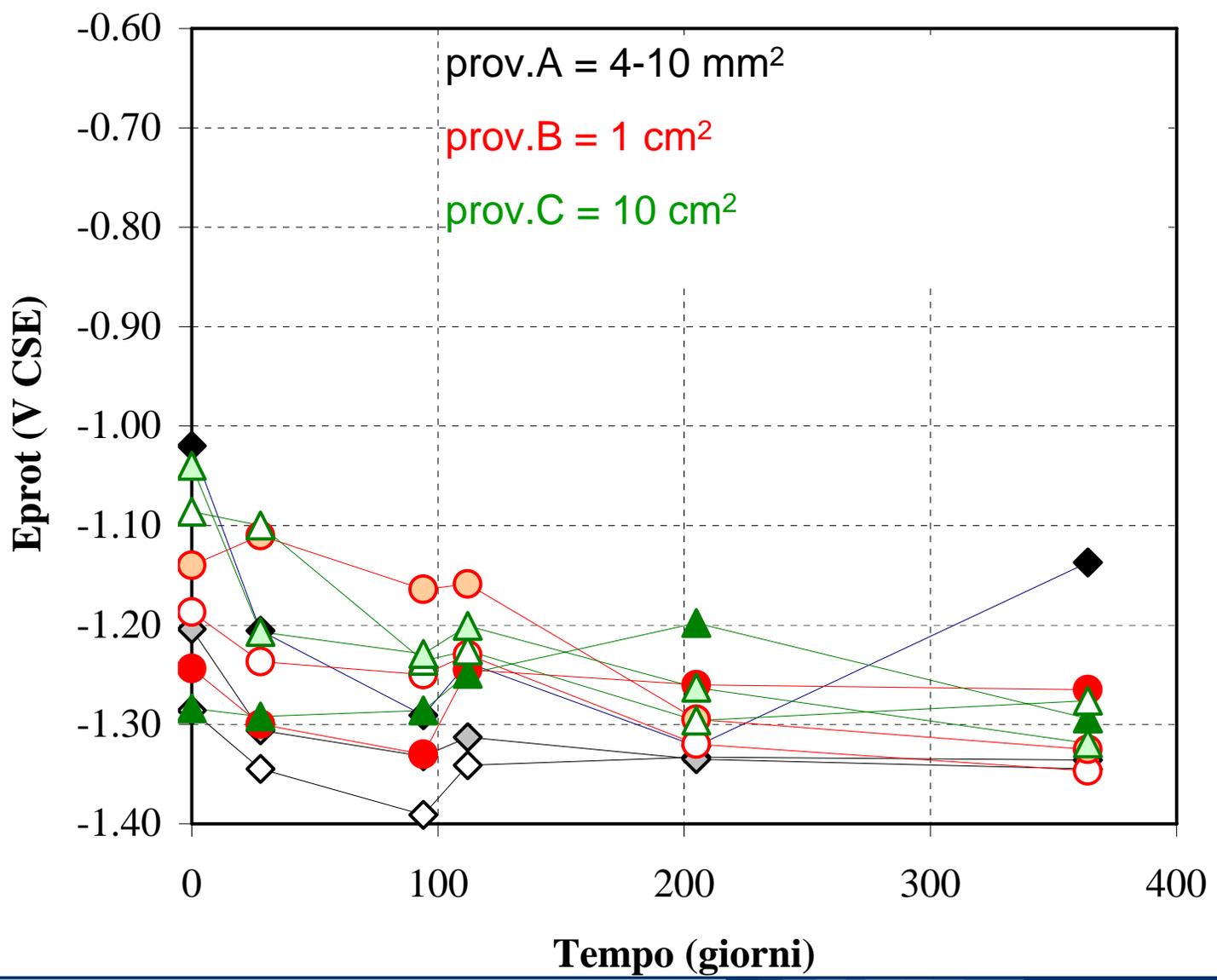


# Protezione catodica (PC)



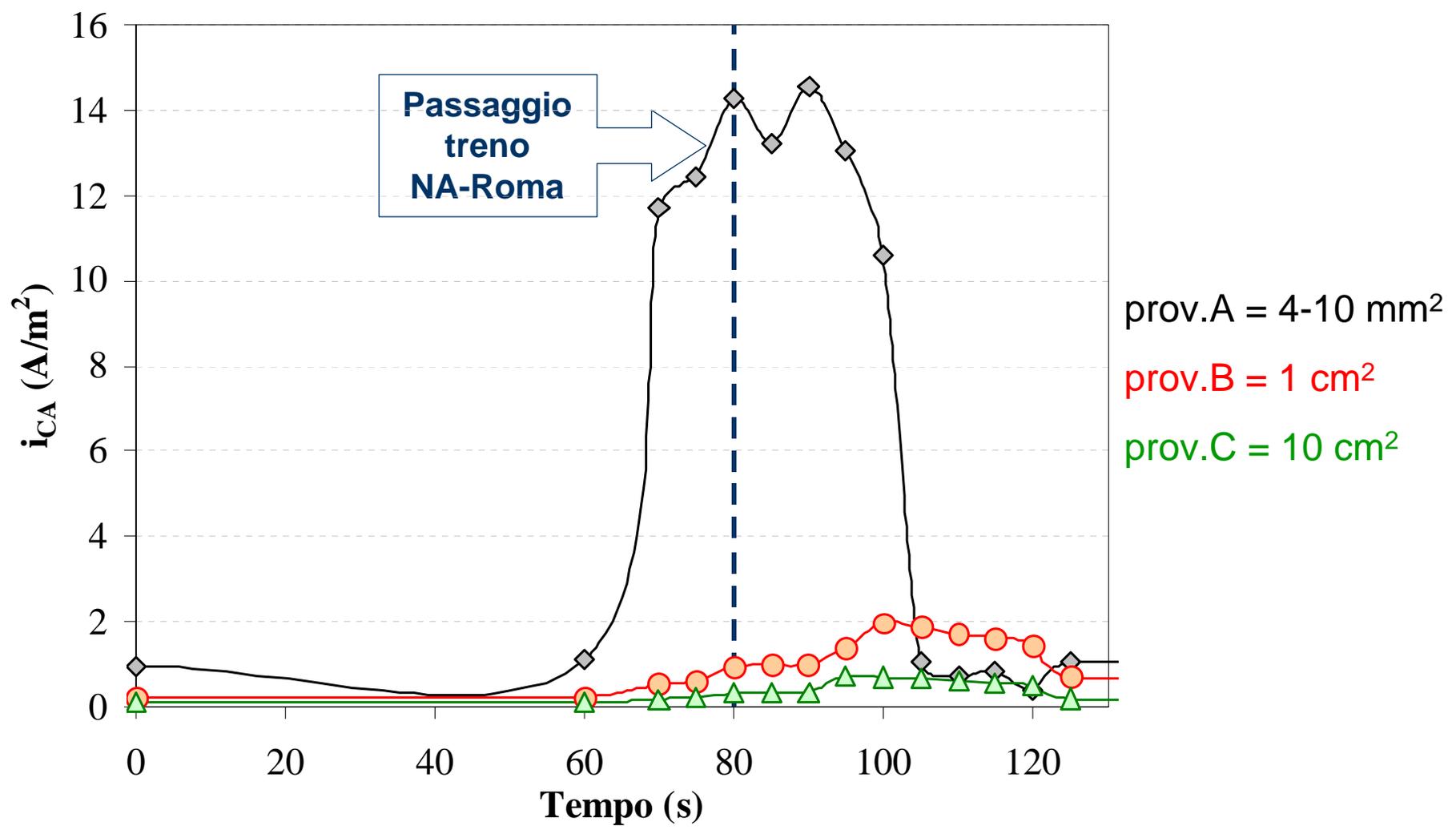


# Protezione catodica + CA





# Corrente alternata interferente (PC)





# Proposta di prosecuzione

## FASE 2



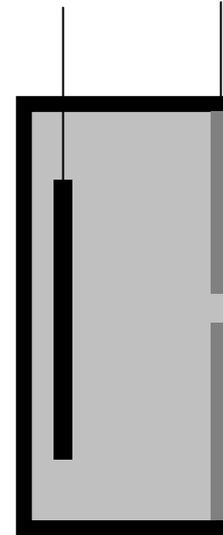
- ✓ fornire le raccomandazioni e gli strumenti per poter **monitorare** correttamente **le condizioni di protezione catodica in presenza di interferenza da corrente alternata**
- ✓ studiare **il meccanismo di corrosione da CA**
- ✓ studiare **l'effetto della CA sulle condizioni di passività**
- ✓ **validare i criteri** individuati dalle prove di laboratorio mediante **prove di campo**



- ✓ **preparazione del programma dettagliato di ricerca**
- ✓ **aggiornamento dello stato dell'arte**
- ✓ **prove sperimentali**
  - ✓ mettere a punto delle sonde per il monitoraggio in campo
  - ✓ studiare il meccanismo di corrosione da CA
  - ✓ analizzare gli effetti della CA sulla passività
- ✓ **prove di campo**



- ✓ **Messa a punto di sonde in grado di stimare i parametri critici**
  - ✓ densità di corrente alternata
  - ✓ densità di corrente di protezione
  - ✓ il potenziale di protezione
- ✓ **Sonde on-off**
- ✓ **Sonde di potenziale**
- ✓ **Sonde elettriche**
- ✓ **Localizzazione delle postazioni di misura**





## ✓ Effetto della forma d'onda

- ✓ Sinusoidale, quadrata, triangolare, asimmetrica
- ✓ Frequenza
- ✓ Interferenza permanente o pulsata
- ✓ Semiperiodo anodico

## ✓ Composizione del terreno

- ✓ Effetto nel doppio strato
- ✓ Ioni calcio, solfati e cloruri

## ✓ Comportamento alla superficie

- ✓ Composizione del film di ossido
- ✓ Resistenza a corrosione del film di ossido
- ✓ Aumento della temperatura



- ✓ Simulare le condizioni di protezione catodica
- ✓ Valutare la resistenza a corrosione localizzata dei film passivi
  - ✓ Acciai inossidabili a pH neutro
  - ✓ Acciaio al carbonio nel calcestruzzo
  - ✓ Effetto dei cloruri
  - ✓ Effetto del PREN



- ✓ Monitoraggio
- ✓ Utilizzo di sonde messe a punto durante la Fase 1
- ✓ Aumento della CA interferente con sorgente esterna



- ✓ Prove in laboratorio di interferenza da CA su strutture in PC, per confermare i parametri e i criteri indicati
- ✓ Prove per interpretare l'effetto della CA sul pH del calcestruzzo



# Fasi e tempi della ricerca (24 mesi)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Programmazione	■											
Stato dell'arte	■	■										
Materiali attivo/passivi			■	■	■	■						
Meccanismo			■	■	■	■	■	■	■			
Messa a punto di sonde (LAB)						■	■					
Messa a punto di sonde (CAMPO)							■	■	■	■	■	■
Prove di laboratorio			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Prove di campo	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Riunioni	■		■			■			■			■
Relazioni			■			■			■			■

- ✓ Impegno finanziario 120 k€
- ✓ Quota partecipanti 15 k€ (nel caso di 8 sponsor)