

Milano, 26-27 settembre 2013

L'INGEGNERIA DELLA CORROSIONE E LA SCUOLA DI MILANO

*B. Bazzoni*¹, *L. Lazzari*²

¹ Cescor srl, Milano

² Dipartimento CMIC, Politecnico di Milano, Milano

RIASSUNTO

La memoria riprende il titolo del convegno, e guarda alla scuola di corrosione e dei materiali del Politecnico, ma anche ad altre realtà presenti a Milano, quali l'Università degli Studi, e una serie di realtà industriali e di associazioni, che tutte insieme hanno fatto 'scuola' e sono risultate determinanti per la costituzione e la crescita di attività d'impresa qual è Cescor. La memoria, oltre a fornire una serie di informazioni sull'ingegneria della corrosione in Italia negli ultimi trent'anni, prova a cogliere i legami tra accademia e realtà industriali, individuando una serie di filoni, come la material selection, la protezione catodica, l'integrity, il calcestruzzo, dove il contributo di Pietro è stato particolarmente influente.

I DISCORSI SU PIETRO

Pietro era personalità poliedrica, con interessi diversi che lui era in grado di coltivare e sviluppare in forme tradizionali e originali allo stesso tempo. I *discorsi* possibili su di lui sono più d'uno: scientifico, artistico e poetico, storico e letterario, e altri, tutti documentati, ad opera prima di tutto di Pietro stesso, come testimoniano le sue numerosissime pubblicazioni scientifiche e i suoi tanti libri. Il discorso su Pietro artista e poeta dei colori è forse il più noto e il più originale, e, sebbene ammiratori e fruitori delle sue opere, non pensiamo tuttavia di essere titolati a trattarne. Al Pietro artista e poeta ci piace associare quello di studioso della storia dell'elettrochimica, coltivata in forma appassionata soprattutto negli ultimi anni – uno dei collegamenti essendo per ovvi motivi Leopoldo Nobili e le sue *apparenze elettro-chimiche*, ma anche Alessandro Volta e Luigi Galvani; un'attitudine di cui Pietro, come lui stesso ci suggerisce, è debitore anche al professor Piontelli, che della storia dell'elettrochimica fu cultore¹.

Invece vogliamo provare a parlare qui di Pietro ingegnere. L'argomento va "preso con le molle" perché i distinguo tra scienza e ingegneria sono delicati, e Pietro in particolare era molto suscettibile sull'argomento, rigettando le barriere tra scienza e tecnologia, in linea del resto con la scuola da cui proveniva – quella della *tecnologia razionale* del professor Piontelli, appunto. Pietro era uno studioso della teoria dei processi elettrochimici di corrosione dei metalli, molto rigoroso nel linguaggio e nel rispetto dei principi. Allo stesso tempo era molto attento agli aspetti applicativi, dei materiali e delle tecniche di

¹ P. Pedferri, *Titaniocromia (e altre cose)*, Interlinea Edizioni, Pag. 57 (1999).

prevenzione. In questo senso la protezione catodica ha rappresentato la tecnologia che per lui meglio si prestava alla coniugazione degli antichi principi di elettrochimica, quelli di Sir Humphry Davy o addirittura di Alessandro Volta, alle moderne applicazioni industriali; e tra queste in particolare quelle in acqua di mare dove chimica e elettrochimica prevalgono sugli aspetti elettrotecnici.

Partendo quindi dall'evidenza personale, soggettiva, di considerare Pietro un nostro maestro, ci siamo interrogati su quali siano stati i suoi insegnamenti più importanti e più utili nel settore dell'ingegneria della corrosione; e questo non solo per ricordare Pietro, ma anche per essere noi stessi più consapevoli del lavoro che facciamo, e, in prospettiva, per lasciare ai più giovani una testimonianza fruttuosa. Nell'attuare questa operazione, tuttavia, è stato inevitabile contestualizzare la figura di Pietro in uno scenario più ampio, che ci è sembrato conveniente potesse essere quello della città di Milano, città in cui Pietro e noi stessi ci siamo trovati a operare.



Figura 1 – Alcuni *amici* di Pietro

LA SCUOLA DI CORROSIONE DI MILANO

Milano è stata un centro di eccellenza per l'elettrochimica. È sempre Pietro a raccontarci in modo brillante e senza veli le vicende dell'Università Statale, con i professori Cambi prima e Bianchi poi, e del Politecnico di Milano, con Scarpa e Piontelli: da scuole così importanti di elettrochimica non poteva che derivarne una scuola altrettanto importante per la corrosione.

Il professor Giuseppe Bianchi ha svolto il ruolo di collegamento tra elettrochimica e corrosione, e di apripista per la scuola di corrosione a Milano e in Italia, o, come a lui piaceva definirsi, di "patriarca" dei corrosionisti italiani. Ma Pietro, dal Politecnico, è stato assai tempestivo, a cominciare dalla didattica, nel prendere in mano e sviluppare la scuola milanese.² Gli effetti, a partire dagli anni settanta, sono stati notevoli in termini di soggetti

² I testi di G. Bianchi e F. Mazza, *Corrosione e protezione dei metalli* e di Pietro, *Corrosione e protezione dei materiali metallici*, escono nello stesso anno, il 1978, a marzo il primo e a luglio il secondo.

coinvolti, di memorie scientifiche e libri pubblicati, di scuole di formazione, di iniziative associazionistiche, di implicazioni industriali. Pensiamo che un elemento caratterizzante l'insieme degli effetti benefici di questa scuola sia, tra gli altri, lo sviluppo di un corretto *linguaggio* dei fenomeni di corrosione. La condivisione infatti di termini esatti, depurati di contaminazioni eterodosse e attinenti ai fenomeni sottesi dal termine stesso, ha consentito di parlare un linguaggio appunto comune, e comune non soltanto tra pochi addetti ai lavori in ambito accademico, ma proiettato in tante realtà come quelle industriali o associazionistiche o più in generale del lavoro. Pietro in questo ha dato un contributo importantissimo: da una parte attraverso un lavoro di riflessione e precisione (Pietro, a dispetto di una certa noncuranza esteriore, era un cultore della precisione, come del resto testimoniano inequivocabilmente le sue titaniocromie) e dall'altra attraverso un'opera intensissima di educazione e divulgazione.

Le vicende da ricordare sulla corrosione a Milano sarebbero tantissime, ma, in una prospettiva assolutamente soggettiva, ne ricordiamo solo alcune.

Al Politecnico, Dany Sinigaglia e Bruno Mazza insieme a Pietro, coordinavano vari gruppi di ricerca. Dalla collaborazione di questi gruppi, in cui chi scrive ha operato e si è formato, ha preso origine nel Gruppo ENI quella che diventerà l'Unità di Corrosione e Materiali di AGIP (adesso ENI E&P), che ha svolto e continua a svolgere un ruolo riconosciuto internazionalmente nell'ambito della corrosione e dei materiali per l'upstream petrolifero. Sempre nell'industria, agli inizi degli anni ottanta e propiziato dalle innovazioni del professor Bianchi nel settore degli anodi a corrente impressa, il brevetto LIDA³, il Gruppo De Nora entra con decisione nel mercato mondiale della protezione catodica, proprio mentre Pietro e Luciano avviavano al Politecnico la serie dei corsi di protezione catodica e pubblicavano la prima edizione del testo "Protezione Catodica".

Un altro fattore influente a Milano è stato l'associazionismo. Ricordiamo il Gruppo di Corrosione presso l'AIM, che ha rappresentato un presidio permanente per la divulgazione e per l'aggregazione tra gli addetti ai lavori. Le Giornate Nazionali sulla Corrosione e Protezione, giunte quest'anno alla decima edizione, confermano il ruolo centrale della milanese AIM. Va ricordato anche il ruolo di NACE Italia e di APCE, la prima in rappresentanza di NACE International e la seconda un'associazione dei proprietari delle strutture interrate che è nata per regolamentare la protezione catodica e le condizioni di interferenza da correnti vaganti.

Un altro fronte di attività è stato quello dei Gruppi di lavoro per la normazione, italiana prima ed europea dopo, nell'ambito delle tematiche di corrosione e in particolare della protezione catodica; in questa sede Pietro porterà avanti la sua interpretazione della protezione, e prevenzione, catodica delle strutture in calcestruzzo armato.

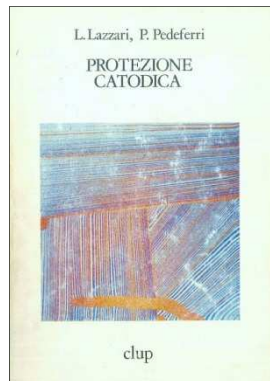
Ritornando a Pietro, ripartiamo dalla sua scuola di corrosione nel calcestruzzo. Anche in questo ambito, molto avviene a Milano: al Politecnico, Pietro, con i suoi collaboratori, interpreta e descrive in forma limpida il sistema armature – calcestruzzo, in tutto lo spettro

³ G. Bianchi, G.L. Mussinelli, *Method for electrically connecting non corrodible anodes to the corrodible core of a power supply cable*. Oronzio de Nora, US Patent 4526666 (1985).

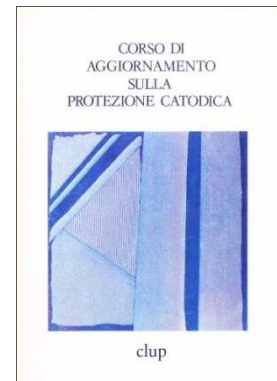
di condizioni di esposizione, alla luce dei principi dei meccanismi di corrosione, divenendo riferimento riconosciuto da molti centri in Europa, e quindi razionalizza le tecniche di prevenzione e di monitoraggio e ispezione. Si concentra in particolare sulla tecnica della protezione catodica, inventando la *prevenzione catodica*. E' interessante ricordare che negli stessi anni, sempre a Milano, il Gruppo de Nora sviluppava gli anodi in titanio attivato a rete stirata, per la protezione catodica nel calcestruzzo, e la società Nuova Polmet realizzava numerosi e importanti progetti di protezione e prevenzione catodica di viadotti autostradali.



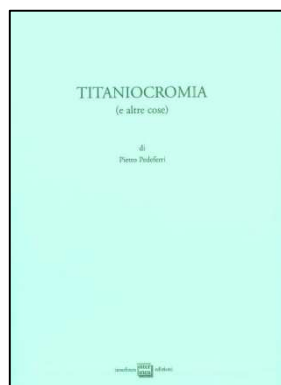
**Corrosione e protezione dei
materiali metallici**
(prima edizione, 1978)



Protezione Catodica
(1981)



**Corso di Aggiornamento di
Protezione Catodica**
(1981)



Titaniocromia (e altre cose)
(1999)



**Corrosione e protezione dei
materiali metallici**
(2007)



**Corrosione e protezione dei
materiali metallici. Vol. 2**
(2007)

Figura 2 – Alcuni libri di Pietro

E infine vogliamo parlare anche di Cescor, che, pensiamo, fa anch'essa parte di questa scuola. Costituita in embrione come Studio Associato di consulenza alla fine degli anni ottanta, si è progressivamente strutturata come società di ingegneria specialistica di corrosione e protezione catodica. Pietro, al di là di essere stato uno dei soci fondatori, ha

senza dubbio contribuito al progressivo sviluppo delle idee e al posizionamento di Cescor sul mercato, e anche alla definizione dei valori della società. Il suo ruolo, anche se sempre esterno, è stato fonte di ispirazione e di visione, a volte secondo percorsi non facilmente decifrabili: di certo, fin dall'inizio, Pietro aveva creduto nella nostra iniziativa, profetizzando anche una serie di sviluppi di cui al tempo noi stessi non eravamo pienamente consapevoli.

I DEBITI VERSO PIETRO

Come qui sopra affermato, l'esperienza di ingegneria di corrosione di Cescor si intreccia necessariamente con le vicende della scuola di corrosione di Milano. Pensiamo tuttavia che sia utile, oltre che doveroso, provare a identificare una serie di contributi riconducibili specificamente a Pietro. Questa operazione esprime un punto di vista soggettivo, sia perché attiene alle valutazioni personali di chi scrive, sia perché si riferisce a esperienze professionali, quelle appunto vissute dagli autori all'interno di una specifica realtà aziendale; in altre parole, lo spirito con cui si è selezionata una serie di temi, i debiti appunto che pensiamo di avere con Pietro, è stato quello di testimoniare il contributo, a volte indiretto, ma non per questo meno importante, che Pietro ha dato alla visione del nostro lavoro.

L'ingegneria e la scelta dei materiali. La scelta del materiale per un dato componente, in alcuni settori è determinata dalla resistenza a corrosione. In realtà la questione è più complessa perché la scelta comporta il bilanciamento di più fattori: oltre alla performance del materiale, anche l'affidabilità della soluzione e il suo costo. Un settore dove la *material selection* è codificata come disciplina in ogni progetto è quello dell'upstream petrolifero; la produzione di petrolio e gas comporta per le infrastrutture l'esposizione ad ambienti e a condizioni operative specifiche per ogni giacimento e variabili nel tempo; inoltre, una serie di specie contaminanti, come ad esempio l'anidride carbonica, l'acido solfidrico, gli acidi organici, rendono unica ciascuna situazione⁴. Anche se esiste ormai una conoscenza pubblica consolidata, i materiali impiegabili sono numerosi e tanti i parametri che ne influenzano la scelta; in questo scenario piuttosto variegato, diventa determinante la conoscenza dei meccanismi di corrosione e delle proprietà dei materiali, cioè una solida scuola alle spalle; e ciò vale per molti altri ambiti industriali. Il contributo di Pietro pensiamo sia stato importante, soprattutto nella razionalizzazione dei meccanismi e nel costante richiamo, anche in presenza di grandi quantità di dati sperimentali – a volte eccessiva e quindi difficile da razionalizzare – ai principi fondamentali dei fenomeni di corrosione, e alla termodinamica e cinetica elettrochimica in particolare.

La protezione catodica. La protezione catodica è la competenza che più di tutte ha avvicinato Pietro alle realtà industriali, delle grandi infrastrutture, come le condotte per il trasporto di gas, la produzione petrolifera offshore e da ultime le grandi opere civili in calcestruzzo. Il contributo di Pietro è stato come ovvio all'insegna del rigore e della comprensione dei fenomeni, spesso in contrapposizione con chi interpretava, o addirittura progettava, i sistemi di protezione catodica senza conoscere i fenomeni sottesi al

⁴ L. Lazzari, *Corrosione*, in Treccani, Enciclopedia della Scienza e della Tecnica (2008).

funzionamento della protezione catodica; un esempio per tutti è il ruolo dell'ossigeno e della corrente limite di diffusione dell'ossigeno, da molti in passato sconosciuti. Anche i diagrammi potenziale – concentrazione di cloruri, legittimamente rinominati *Diagrammi Pedefferri*, sviluppati per interpretare le condizioni di corrosione e protezione delle armature nel calcestruzzo e successivamente estesi ad altri materiali e altre condizioni di esposizione, testimoniano la sua visione dei fenomeni, razionale e oltremodo efficace. L'attività di Pietro è poi stata recepita dalla normativa, in particolare quella Europea, alla quale direttamente o meno ha senza dubbio contribuito in modo sostanziale. Questo retroterra, culturale e normativo, è per noi un valore, che pervade la nostra attività e che cerchiamo di trasferire all'esterno.

Le misure. La misura del potenziale è alla base di tutto il controllo delle condizioni di protezione catodica e di molti dispositivi per il monitoraggio della corrosione. La misura è quanto di più facile da effettuare; tuttavia, chi opera consapevolmente nel settore sa come una corretta interpretazione di ciò che si misura non sia sempre ovvia. Pietro, grazie a una combinazione importante di conoscenza dei principi, cura per il dato sperimentale e tenacia nella ricerca della corretta interpretazione, ci insegnava a cavare il massimo di informazioni dalle misure stesse. Come, ad esempio, è stato il caso di misure di potenziale di anodo e catodo in sistemi di protezione catodica nel calcestruzzo, la cui regolarità ha poi consentito, attraverso una sperimentazione mirata, di verificare l'interferenza tra anodo e catodo in sistemi di quella geometria⁵.

I modelli. La descrizione dei fenomeni di corrosione mediante modelli più o meno semplificati trova numerose applicazioni nell'ingegneria della corrosione: dai modelli di corrosione localizzata – ad esempio quello di cella occlusa di Bianchi e Faita, o quello di Oldfield e Sutton per la corrosione interstiziale su cui uno degli autori ha svolto la tesi di laurea⁶ – a quelli, di sviluppo più recente, della corrosione da CO₂; o ancora le varie procedure di dimensionamento dei sistemi di protezione catodica. Di grandi potenzialità pensiamo siano le applicazioni numeriche, ad esempio con elementi finiti, alla risoluzione del campo elettrico in sistemi di protezione catodica così come di interpretazione di risultati ispettivi.

La durabilità. Durabilità è stato un termine molto usato da Pietro, soprattutto a proposito della corrosione e prevenzione delle armature nel calcestruzzo. Il termine evoca il tempo, che è variabile intrinseca ai fenomeni di corrosione, ma rimanda anche ad affidabilità e a integrità. Il passaggio dalla corrosione e prevenzione al paradigma dell'integrità di una struttura o infrastruttura allarga l'orizzonte dell'ingegneria della corrosione: la prevenzione della corrosione contribuisce cioè alla sicurezza delle persone e al rispetto dell'ambiente, saldandosi al tema ben più ampio dello sviluppo sostenibile. In questa prospettiva si ribaltano anche i termini economici: la corrosione finisce (finalmente!) di essere considerata un costo e inizia a essere percepita come valore in senso lato, anche

⁵ L. Bertolini, P. Pedefferri, T. Pastore, B. Bazzoni, L. Lazzari, *Macrocell Effects on Potential Measurements in Concrete Cathodic Protection Systems*, Corrosion, 52, 7, pp. 552-557, NACE International, Houston, TX (1996).

⁶ B. Bazzoni, B. Mazza, D. Sinigaglia, B. Vicentini, *A Methodological Approach to the Study of Localized Corrosion*, Annali di Chimica, pp. 317 – 335 (1981).

economico. Questa visione, che riteniamo moderna e che come Cescor stiamo perseguendo, è tracciabile, seppure in forma potenziale, in molti lavori di Pietro.

La formazione. Pietro è stato un eccellente didatta, capace di trasferire la sua passione per la disciplina della corrosione e prevenzione; tantissimi sono stati gli studenti di ingegneria che hanno frequentato i suoi corsi, e tutti, anche se poi hanno operato in ambiti professionali diversi, hanno mantenuto un ricordo particolarmente vivo di Pietro. Alla formazione degli addetti, che è uno dei capisaldi della gestione della qualità in azienda, abbiamo cercato di dare valore, spesso scontrandoci con molte inerzie. L'insegnamento di Pietro è tuttavia tanto semplice quanto centrale: il mondo attuale ci chiede una disposizione alla formazione permanente, a tutti i livelli. Ovvero: per stare sul mercato bisogna essere preparati, cioè formarsi senza mai smettere.



Pietro didatta.



Gruppo di lavoro sulla diagnosi della corrosione
delle armature nel calcestruzzo.
Politecnico di Milano (1994).



Con uno degli autori su un viadotto
dell'Autostrada del Frejus (1992).



Pietro, ingegnere sul campo.

Figura 3 – Pietro Pedefferri

CONCLUSIONI

Le vicende seppure assai frammentariamente raccontate possono contribuire a interrogarsi – non certo a dare una risposta definitiva – sul rapporto tra ricerca e attività industriali. Per rimanere nell’ambito dell’ingegneria della corrosione, ci pare fuori da ogni dubbio che esista una relazione tra presenza di centri di eccellenza universitari, nello specifico all’Università Statale e al Politecnico di Milano, e attività industriali indotte – della produzione petrolifera, dell’elettrochimica industriale, dell’ingegneria. Individuare i modi e le relazioni di causa-effetto con cui ciò avviene non è però così facile. Volendo mettere Pietro al centro della questione, si possono fare alcune considerazioni. La bravura, o più propriamente la competenza, è senza dubbio l’ingrediente necessario, ma forse da solo non sufficiente. Un fattore importante è la consapevolezza di appartenere a una tradizione; come dire: se riusciamo a mettere in relazione la nostra attività con quella di chi ci ha preceduti, beneficiamo di una sorta di risonanza con quanto è stato fatto prima di noi; l’attenzione di Pietro verso le storie del passato, a vari livelli – da quello scientifico, come gli approfondimenti su Volta, a quello strettamente umano, ad esempio intorno a Nobili, ma anche aneddótico, come gli scontri Scarpa-Cambi-Piontelli – ha a che fare con questo. Ma gli elementi che nel caso di Pietro pensiamo siano stati più di tutti gli altri caratterizzanti e fecondi sono il suo carisma e la sua empatia, o, più semplicemente, la passione che metteva nelle cose. Passione contagiosa che verosimilmente ha svolto un ruolo importante per i suoi *amici*.