



acciaio zincato BH210 (zincatura a caldo di spessore circa $7\ \mu\text{m}$ e dimensione dei lamierini $100\ \text{mm} \times 200\ \text{mm}$) mediante uno studio con il software COMSOL Multiphysics [3]. Lo studio è finalizzato ad ottenere dei risultati confrontabili con misure sperimentali tecnologiche di laboratorio di interesse industriale (prove di corrosione in nebbia salina) che si effettuano per valutare la resistenza alla corrosione di provini. Il software COMSOL Multiphysics utilizza l'analisi degli elementi finiti (FEA) per comprendere, prevedere, ottimizzare e controllare la progettazione o il funzionamento di un dispositivo o di un processo. La base del software FEA è costituita dalle leggi della fisica espresse in modelli matematici, e questi sono discretizzati dal metodo degli elementi finiti (FEM) con i modelli numerici corrispondenti. Le equazioni discretizzate vengono risolte e i risultati vengono analizzati, da qui deriva il termine di analisi agli elementi finiti [3].

L'applicazione del modello numerico nel modulo di corrosione di COMSOL Multiphysics deve contenere alcuni elementi essenziali per la modellazione e la simulazione dei processi, tra i quali:

gli elettrodi, come anodo (o regione anodica) e catodo (o regione catodica), che conducono la corrente tramite il trasporto di elettroni;

l'elettrolita, che trasporta corrente tramite il trasporto di specie chimiche cariche (ioni);

un circuito chiuso, determinato dalle condizioni di esercizio.

In generale l'elettrodo è rappresentato da un conduttore elettrico convenzionale, costituito dalla lega di cui è composto il materiale, mentre l'elettrolita può essere acqua oppure una soluzione acquosa. Il trasporto di corrente che avviene all'interfaccia elettrodo-elettrolita implica una corrente elettrica all'elettrodo che si converte in corrente ionica nell'elettrolita: questa conversione tra i due tipi di corrente può sorgere da reazioni elettrochimiche (di riduzione o di ossidazione) oppure da una carica capacitiva (capacità a doppio strato). Nel software COMSOL Multiphysics, il modulo di corrosione è costituito da diversi blocchi di interfacce fisiche che descrivono il trasporto e le reazioni di ioni e specie neutre in elettroliti acquosi, reazioni superficiali (elettrochimiche o chimiche) e la formazione di specie o rivestimenti adsorbiti su superficie metalliche. Il software descrive il trasporto di corrente in elettroliti e metalli, il trasporto di corrente in strutture metalliche sottili (trattate come gusci), il flusso di fluido e il trasferimento di calore [3].

Le fasi da seguire nella programmazione con il software, al fine di ottenere una simulazione di processo, sono brevemente descritte in Figura 1.

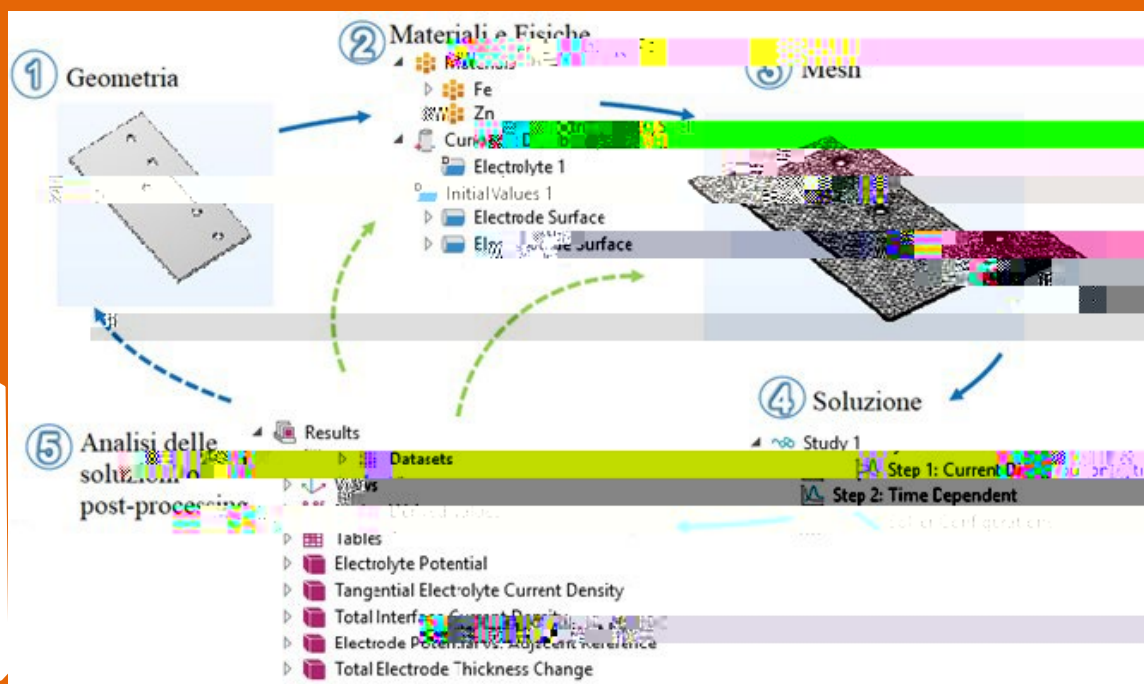


Fig.1 - Fasi

Inizialmente su COMSOL Multiphysics si deve stabilire la geometria che si vuole studiare (fase 1), successivamente si può scegliere un materiale dalla banca dati del software oppure crearne uno nuovo includendo dei dati sperimentali e si devono impostare le leggi fisiche che descrivono il modello (fase 2), ad esempio per il modulo di elettrochimica si può avere la fisica di distribuzione di corrente primaria o secondaria, la fisica di distribuzione di corrente terziaria, l'elettroanalisi, ecc. Il passo successivo è costruire la mesh (fase 3), che ha un ruolo molto importante, poiché influenza direttamente il calcolo di un problema, incluso il tempo necessario per risolvere un modello, la quantità di memoria richiesta per calcolare un problema, il modo in cui la soluzione viene interpolata tra i nodi e l'accuratezza della soluzione [3]. Infine, dopo aver selezionato uno studio e aver ottenuto delle soluzioni (fase

4), si può attuare il post-processing (fase 5) modificando i parametri inseriti inizialmente per elaborare le soluzioni e per ottenere dei risultati sempre più precisi e accurati. Una scelta corretta dei parametri è un passaggio indispensabile e rilevante per un'ottimale pianificazione della simulazione e consente di ottenere un miglior risultato finale. In questo lavoro alcuni parametri che sono stati fissati per la simulazione sono: la conducibilità della soluzione elettrolitica, la temperatura, l'umidità relativa, il pH della soluzione e la curva di polarizzazione del materiale in esame.

Nella seguente Tabella 1 sono elencati i parametri, misurati sperimentalmente oppure ricavati dalla letteratura, utilizzati nel modello dei lamierini zincati con il software COMSOL Multiphysics.

Tab.1 - Parametri della simulazione con il software / Software simulation parameters.

Parameters			
Name	Value	Description	
sigma	7 S/m	Electrolyte conductivity	Sperimentale
s_change	-7E-6 m	Zinc film thickness	Letteratura
rho_Zn	7130 kg/m ³	Zinc density	
RH	0.95	Relative humidity	
M_Zn	0.06538 kg/mol	Zinc molecular weight	
LD	0.001245 kg/m ³	Salt load density	
Eeq_Zn	-0.763 V	Equilibrium potential, Zn	
Eeq_O2	1 V	Equilibrium potential, O2	
Eeq_Fe	-0.44 V	Equilibrium potential, Fe	
d_film	1.4877E-5 m	Electrolyte film thickness	

Un parametro fondamentale è la curva di polarizzazione, che permette di descrivere il comportamento del materiale da studiare in funzione del potenziale a cui è sottoposto, quando si trova a contatto con l'elettrolita in esame; infatti lo scopo della prova di polarizzazione è quello di determinare la densità di corrente di corrosione osservata a ciascun potenziale. Le prove di polarizzazione potenziodinamica sono state eseguite a temperatura ambiente e ponendo il materiale oggetto dello studio (working electrode)

in un sistema elettrochimico, costituito da un contro-elettrodo inerte (In questo caso di platino) e da una soluzione elettrolitica corrispondente all'ambiente di lavoro e proveniente dalla nebbia salina. La prova è stata eseguita imponendo al sistema un potenziale, espresso in Volt, variabile in modo controllato mediante il potenziostato; contemporaneamente è stata misurata la densità di corrente, espressa in A/cm², che fluiva tra il campione e il contro-elettrodo (maggiore è il valore misurato di corren-



considera che tale approssimazione non vada ad influire nei modelli eseguiti con il software COMSOL Multiphysics. Questa supposizione è stata confermata eseguendo diversi test di calcolo variando i dati delle prove di polarizzazione della densità di corrente del 10%, del 20% e del 30% e tenendo fissi i valori di potenziale registrati. In ogni

caso non si ottengono, dalle simulazioni con il software di calcolo, dei risultati finali particolarmente differenti.

- [1] J. THILMANY, Multiphysics: all at once. Physical phenomena - and engineers - rarely work in isolation, so simulation software is addressing those facts, *Mechanical Engineering* (February 2010), 132 (2): p. 39-41.
- [2] M. ATTARCHI, A. BRENNA, F. BOLZONI, M. ORMELLESE, Utilizzo di simulazione agli elementi finiti (FEM) per determinare il potere penetrante di un fenomeno di corrosione localizzata, *La Metallurgia Italiana* n. 11/12 (2019), p.11.
- [3] MultiphysianM2.tiphreditab vne detadnee[(s)5.1 (114 T5), effita, La Mem20.5822