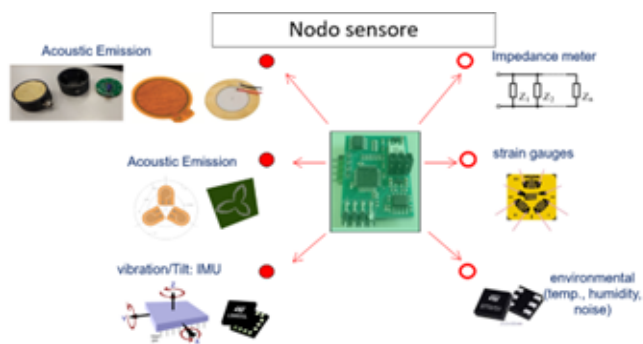


MANUTENZIONE INTELLIGENTE DI IMPIANTI INDUSTRIALI E INFRASTRUTTURE CIVILI

Finalità del progetto

L'obiettivo generale del progetto è quello di sviluppare reti di monitoraggio 4.0 integrate a modelli probabilistici avanzati al fine di realizzare uno schema prognostico per la gestione in sicurezza di componenti e sistemi, strutture ed infrastrutture. In particolare, il progetto mira a potenziare ed integrare in modo sinergico diverse metodologie e tecnologie, dall'analisi dinamica basata sulla meccanica della frattura allo sviluppo di nodi-sensore per reti di monitoraggio strutturale leggere, minimamente invasive e a basso costo; dallo sviluppo di protocolli *software e hardware* dedicato per il trasferimento wireless dei dati alla realizzazione di una piattaforma *software* per il collezionamento, visualizzazione, analisi, e gestione dei dati direttamente sul web. A tal fine sono state sviluppate tecnologie innovative di monitoraggio basate su nodi sensore multifunzione e strumenti prognostici in logica "Industria e Manutenzione 4.0", finalizzati al miglioramento dell'utilizzo in sicurezza di attrezzature, impianti e infrastrutture civili ed alla programmazione delle azioni di manutenzione in base alle effettive condizioni. E' stato inoltre realizzato un sistema *software e hardware* (sensore virtuale) per la realtà aumentata in ambito di previsione del degrado. Infine è stata realizzata una piattaforma *software* dedicata per il collezionamento, visualizzazione, analisi, e gestione dei dati. Tutti i sistemi e le soluzioni innovative sviluppate nell'ambito del progetto sono state validate su casi studio rappresentativi di un'applicazione in ambito industriale (impianto a pressione) e in ambito civile (telaio in c.a.).



Descrizione della soluzione tecnologica

Le attività di modellistica strutturale del progetto hanno riguardato la messa a punto dei modelli FEM dei dimostratori previsti dal progetto, la definizione di un modello locale per la descrizione del meccanismo di crescita di difetti di forma complessa soggetti a fatica e corrosione e della generazione dell'onda acustica, modellazione globale con modelli *high fidelity* della generazione e propagazione di onde meccaniche dovute al danneggiamento. La modellistica è stata sviluppata in modo da poter rappresentare danneggiamenti diffusi e localizzati, prevedere il cambiamento della corrispondente risposta dinamica del sistema, in base a entità e localizzazione dei danneggiamenti.

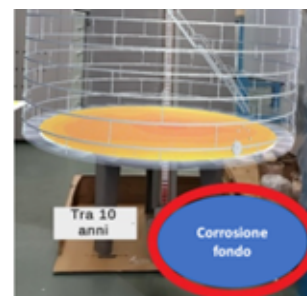
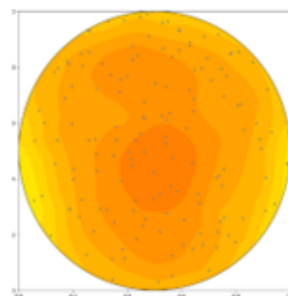
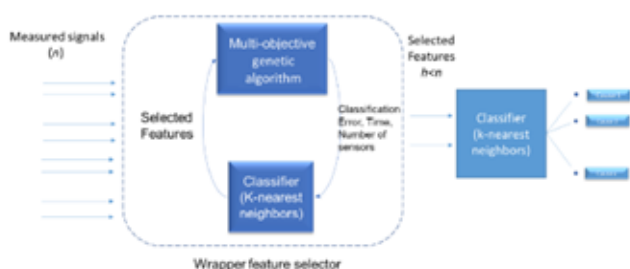
Per lo sviluppo della rete di monitoraggio sono stati realizzati nodi sensori multifunzione per il monitoraggio delle vibrazioni (sensori inerziali) e delle onde elastiche associate alla propagazione del danneggiamento (sensori piezo per emissione acustica). Il nodo sensore può interfacciarsi con altre tipologie di sensori quali ad esempio: sensori per il monitoraggio della deformazione (estensimetri), sensori per il monitoraggio dei parametri ambientali e/o di processo (temperatura, pressione, umidità, ecc.). La rete è basata su un'architettura HW modulare costituita da nodi accelerometrici compatti ed economici perché basati su sensori microelettromeccanici collegati a sensori piezo di emissione acustica. I nodi, raggruppati in cluster, si collegano in "daisy chain" ad un gateway che fa da interfaccia verso un single-board computer (Raspberry PI) che funge da "cluster head" ovvero da nodo accentratore dove possono essere processati i dati acquisiti per estrarre i parametri significativi da inviare alla piattaforma cloud o ad un'unità centrale di elaborazione dove possono essere eseguiti algoritmi di *data fusion* per la caratterizzazione dell'integrità strutturale.



La piattaforma per il collezionamento, visualizzazione e gestione dati è stata sviluppata in un'ottica di supporto all'eterogeneità, ovvero: la capacità di integrare sorgenti dati (es. sensori) di tipologie/modelli differenti; estensibilità, ossia la possibilità di aggiungere dinamicamente nuovi sensori o nuovi moduli di processamento/visualizzazione dati; scalabilità, intesa come supporto a estese installazioni di sensori ed al conseguente volume ingente dei dati raccolti; riconfigurabilità, ossia la possibilità di controllare da remoto la configurazione dei sensori e/o di ridefinirne il loro comportamento in tempo reale.

Infine, il protocollo operativo per l'acquisizione dei dati necessari all'addestramento dei modelli prognostici si basa a sua volta su un modello per l'identificazione di anomalie che riceve in ingresso i segnali, $x(t)$, misurati da sensori al tempo attuale, t , e ha come obiettivo quello di rilevare la presenza di condizioni anomale di funzionamento, e su un modello per la gestione delle anomalie che le classifica, mediante approcci di intelligenza artificiale, e ne individua le cause al fine di mettere in atto gli opportuni interventi correttivi.

In particolare sono stati sviluppati una serie di modelli con ridotto costo computazionale e quindi compatibili con una implementazione in sistemi embedded. Le tecniche



una implementazione in sistemi *embedded*. Le tecniche considerate, sono tutte basate su architetture di *Deep Learning* con il comune scopo di classificare, in maniera binaria, se le attuali condizioni di funzionamento strutturale siano riconducibili ad uno stato integro o danneggiato: *One Class Classifier Neural Network (OCCNN)*, *Auto-associative Neural Network (ANN)* e *Kernel Principal Component Analysis (KPCA)*. Le tre strategie si differenziano significativamente in termini di numero di parametri del modello neurale corrispondente, numero di strati nascosti e funzione di attivazione dei neuroni. In questo modo, è stato possibile valutare come tecniche differenti rispondano alla stessa esigenza di diagnosi. La novità dell'approccio seguito consta in tre aspetti principali: inserimento della compressione dati e sua integrazione nel flusso di elaborazione complessivo, riduzione dei parametri del modello, aggiunta delle variabili ambientali quali input addizionali delle reti neurali in modo da compensare intrinsecamente l'impatto che tali parametri possono avere sulla distribuzione dei dati in ingresso. L'efficacia delle soluzioni tecnologiche innovative sviluppate nell'ambito del progetto è stata validata in due contesti sperimentali ovvero un telaio in cemento armato sottoposto a stress sismico nei laboratori di ENEA Casaccia (per applicazioni infrastrutturali) ed un circuito idraulico appositamente realizzato presso i laboratori dell'Università di Bologna (per applicazioni industriali su attrezzature a pressione).

Scenari applicativi

Le reti di monitoraggio leggere basate su sensoristica pervasiva integrate con piattaforme web per il collezionamento, visualizzazione e gestione dati, unitamente agli strumenti prognostici in logica "Industria e Manutenzione 4.0" possono contribuire in maniera significativa al miglioramento dell'utilizzo in sicurezza di attrezzature, impianti industriali e infrastrutture civili.

Il sensore virtuale per la previsione del degrado di apparecchiature industriali (es. serbatoi atmosferici per lo stoccaggio di idrocarburi) è uno strumento di supporto per gli ispettori che, durante l'ispezione in stabilimenti industriali, devono comprendere l'effettivo livello di degrado delle apparecchiature attraverso la visualizzazione di informazioni che non possono essere acquisite con una semplice ispezione visiva o sono archiviate in documenti interni. Il sensore virtuale può acquisire i dati delle ispezioni passate (mediante una *app desktop*) e, mediante opportuni modelli di revisione produce stime dei parametri relativi all'invecchiamento fruibili anche mediante una app mobile che si interfaccia con un dispositivo per la realtà aumentata (visore indossabile).

PER ULTERIORI INFORMAZIONI

Contatti: dit@inail.it

PAROLE CHIAVE

Integrità strutturale; Modellazione; Monitoraggio; Sensoristica, Prognostica