

SHM at The University of Campania: Flaw Detection by SHM with Static Sensors approach

Alberto D'Amore and Luigi Grassia
University of Campania "Luigi Vanvitelli", Department of Engineering,
Via Roma 19, 81031 Aversa(CE), Italy

ABSTRACT

Lo Structural Health Monitoring (SHM) è una tecnologia che si propone di monitorare lo stato di affidabilità di una struttura. Nel campo aerospaziale le informazioni acquisite durante il monitoraggio sono utilizzate per ottimizzare i costi delle manutenzioni, migliorare la sicurezza in volo e sviluppare strutture più leggere. Diverse sono le tematiche su cui si sviluppano le tecnologie SHM come il monitoraggio dei carichi in servizio e l'individuazione degli impatti che può subire una struttura. Tuttavia, l'individuazione e lo sviluppo di un danno è l'aspetto più largamente affrontato. In tal caso si sono sviluppati sensori statici e dinamici per l'individuazione dei danni progressivi. I sensori dinamici generano onde lungo la struttura la cui deviazione a riflessione ad opera del difetto ne consente l'individuazione. I sensori statici come gli strain gage e le fibre ottiche misurano le deformazioni che, correlate con quelle della struttura integra, consentono la rilevazione del danno.

L'Università della Campania "Luigi Vanvitelli" coopera con Leonardo Aircraft nell'ambito del Distretto Aerospaziale Campano (DAC, <https://www.daccampania.com/>). In particolare nel programma di Ricerca CERVIA (Metodi di CERTificazione e Verifica Innovativi ed Avanzati) ha sviluppato e validato un software rivolto alla diagnostica dei difetti (ad es., debonding, delaminazione ecc.) basato sulla determinazione del campo delle deformazioni. Essenzialmente vengono confrontati il campo di strain "in servizio" nella struttura *heathy* ed in quella danneggiata in modo che i danni subiti dalla struttura siano identificati dalla variazione del campo delle deformazioni. Sono stati affrontati due differenti approcci conseguenti agli algoritmi brevettati da Leonardo Aircraft. Il primo basato su *reverse f.e.m. (reverse finite element model)*, il secondo su *neural network*.

Gli algoritmi sono descritti in quanto segue.

LEONARDO'S SHM ALGORITHMS

L'approccio dell'algoritmo SHM basato su *reverse f.e.m.* è mostrato nella Figura 1. Viene innanzitutto generata una rete di M sensori statici; tra gli M nodi della rete, sono selezionati N nodi (con $N < M$) per confrontare la deformazione misurata e calcolata; i restanti punti $M-N$ sono utilizzati per il calcolo nell'ambito del *reverse f.e.m.* In un dato momento, t , quando la struttura è sotto carico, vengono lette e registrate le deformazioni nei punti M . Successivamente, vengono calcolati i carichi corrispondenti ai valori misurati dei nodi $M-N$ (ad es. mediante analisi lineare), utilizzando il modello agli elementi finiti della struttura. Quindi, le differenze tra i valori misurati e gli stessi valori calcolati con la procedura delineata, indicano un cambiamento del comportamento meccanico della struttura, e consentono la diagnosi di un danno. L'analisi può essere migliorata mappando le differenze; la presenza di differenze in punti nelle stesse zone può confermare la diagnosi.

Fig.1 – Leonardo SHM algorithm based on f.e.m. approach

L'algoritmo descritto lavora su strutture sotto carico e richiede l'utilizzo di un *f.e.m.* della struttura. La qualità dei risultati ottenuti dipende di conseguenza dal livello di precisione del modello utilizzato.

A tal fine, per superare questo problema, è stato sviluppato un ulteriore algoritmo, basato su concetti di rete neurale. In primo luogo, viene stabilita una rete su una struttura sotto carico, quindi la deformazione in un punto è correlata alle deformazioni dei punti circostanti. L'applicazione di un software di rete neurale in ogni punto consente di addestrare il software utilizzando come input le deformazioni dei punti circostanti (slave) e le deformazioni nel punto centrale (master) come output. Dopo un numero sufficiente di iterazioni ottenute in diverse condizioni di carico, la rete neurale può prevedere il valore della deformazione in ogni punto master in base alle deformazioni nei punti slave. In caso di danneggiamento si possono rilevare differenze tra le deformazioni misurate e quelle previste dalla rete neurale.

Un tipico schema concettuale di rete neurale è mostrato in Figura. 2, che mostra una correlazione tra N punti di ingresso (slave) e un punto di uscita (master)..

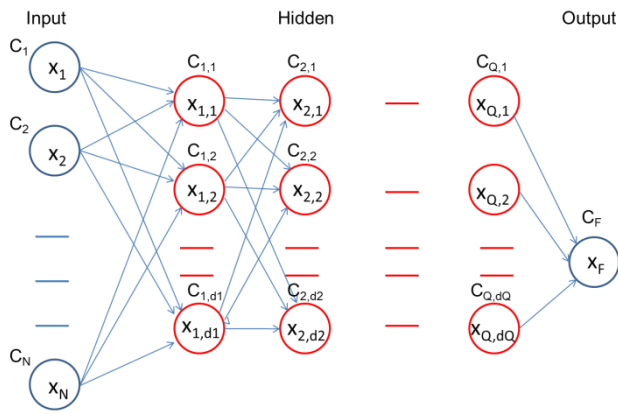


Fig.2 – Tipico schema di correlazione delle reti neurali

Lo schema logico che descrive questo approccio è mostrato in fig. 3 (approccio generale) con la descrizione dei singoli blocchi riportati in fig. 3.a (Registrazione dati), fig. 3.b (training reti neurali) e 3.c (Monitoraggio solidità strutturale).

Diagnostic Approach, Neural Network Method

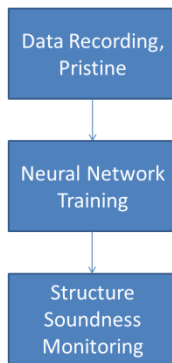


Fig.3 – Algoritmo SHM Leonardo basato sull'approccio delle reti neurali – schema generale

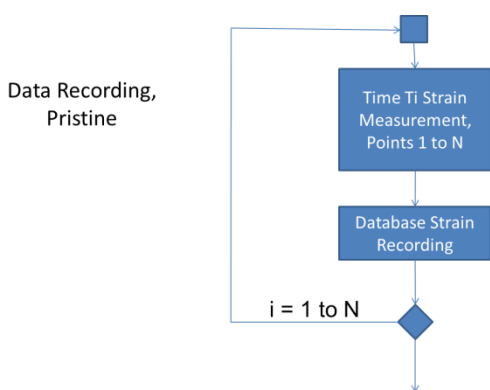


Fig.3.a – Algoritmo SHM Leonardo basato sull'approccio delle reti neurali – Schema di registrazione dei dati

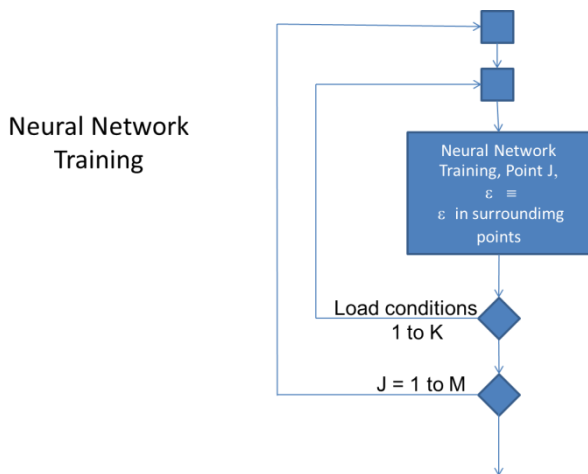


Fig.3.b – Algoritmo Leonardo SHM basato sull'approccio delle reti neurali – Schema di addestramento delle reti neurali per un numero K di condizioni di sollecitazione e M nodi.

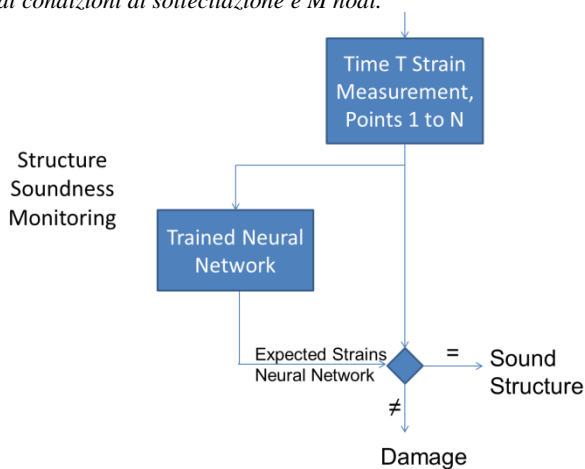


Fig.3.c – Algoritmo Leonardo SHM basato sull'approccio delle reti neurali – Schema di monitoraggio della solidità strutturale per N punti

L'algoritmo descritto è concepito per lavorare su strutture sotto carico ma, a differenza del primo, non richiede l'utilizzo di un f.e.m. della struttura, ma si basa solo sulla registrazione dei dati. Analogamente al primo algoritmo l'analisi può essere migliorata mappando le differenze; la presenza di differenze in punti nelle stesse zone può confermare la diagnosi. Inoltre, il confronto dei risultati in diverse condizioni di carico può essere utilizzato per verificare il risultato, valutando se le differenze tra la deformazione prevista e quella misurata sono occasionali o confermate con carichi diversi.

Gli algoritmi descritti sono stati validati sia virtualmente che sperimentalmente. Una parte dei risultati teorici e sperimentali derivanti dall'approccio modellistico sviluppato dall'Università della Campania (gruppo di ricerca in Scienza e Tecnologia dei Materiali) è riportata nei riferimenti bibliografici che seguono.

REFERENCES

- [1] T.Dong, N.H.Kim, Reviews of Structural Health Monitoring Technologies in Airplane Maintenance Perspective, 2018 AIA/AHS Adaptive Structure Conference
- [2] Grassia Luigi, Iannone Michele, Califano America, D'Amore Alberto "Strain based method for monitoring the health state of composite structures" Composites Part B: Engineering Volume 1761 November 2019 Article number 107253
- [3] M. Iannone - European Patent (granted) 2281224 "Procedure for prognostic of a structure submitted to loads" published on the European Patent Bulletin of 1/2/2012; US Patent (granted) 8,706,447 dated 22/4/2014
- [4] M. Iannone - European Patent (granted) "Procedure for diagnosis of a structure under loads" published on the European Patent Bulletin of 20/12/2017; US Patent (granted) 9,969,507 dated 15/5/2018

- [5] M. Iannone – Italian Patent (filed) n° 10201800006499 "Procedimento per la diagnostica di una struttura sottoposta a carichi basato sulla misura di spostamenti, e sistema per l'attuazione di detto procedimento" dated 20.06.2018.
- [6] Califano America, Chandarana Nehab, Grassia Luigi, D'Amore Alberto, Soutis Constantinos, *Damage Detection in Composites By Artificial Neural Networks Trained By Using in Situ Distributed Strains* Applied Composite Materials Open Access Volume 27, Issue 5, Pages 657 - 6711 October 2020