



Consiglio Nazionale delle Ricerche
Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni

Progettazione e realizzazione di una rete per il monitoraggio dinamico di una struttura

caso di studio edificio scolastico Scigliano (CS)

Emilio Greco, Antonio Francesco Gentile, Andrea Vinci, Danilo Cistaro

RT- ICAR-CS-21-05

Maggio 2021



Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Calcolo e Reti ad Alte Prestazioni
(ICAR)

– Sede di Cosenza, Via P. Bucci 8-9C, 87036 Rende, Italy, URL: www.icar.cnr.it

– Sezione di Napoli, Via P. Castellino 111, 80131 Napoli, URL: www.icar.cnr.it

– Sezione di Palermo, Via Ugo La Malfa, 153, 90146 Palermo, URL: www.icar.cnr.it

Indice generale

Introduzione	3
Modello dinamico della struttura	5
Architettura del sistema.....	7
Le fasi del monitoraggio	9
Il sistema di rilevamento e trasmissione dati: Caso di studio edificio scolastico SCIGLIANO (CS)	11
ANN-based damage detection using the modal properties	15
Regression analysis con rete neurale	17
Ottimizzazione del modello attraverso il ricampionamento del dataset.....	18
Realizzazione di un Mini Noovle Cloud per scambio dati sismici	20
Topologia di rete per l'interscambio degli advertisement	24
Topologia di rete locale per l'acquisizione dei segnali accelerometrici	25
Progettazione del campionamento dei dati, politiche di aging e dimensionamento dello storage.....	26
Datasheet accelerometri DEWESoft IOLITEdi 3xMEMS-ACC	30
Datasheet inclinometro IOLITEdi 3xMEMS-ACC-INC	32
Datasheet accelerometro per esterno IOLITEdi 3xMEMS-ACC-W.....	32

Introduzione

Il processo di identificazione dei danni e di valutazione delle condizioni delle strutture edilizie negli ultimi anni ha suscitato un interesse crescente nella comunità di ricerca perché molte strutture edilizie hanno raggiunto o stanno per avvicinandosi alla fine della loro vita utile a causa del deterioramento naturale dei materiali su lungo termine ed a causa di eventi estremi come i terremoti o semplicemente perché sottoposti a continui carichi o sollecitazioni, che ne riducono la loro vita utile. Se non viene eseguita una adeguata manutenzione in tempo, gli edifici possono subire crolli parziali o completi senza preavviso con conseguenti perdite di vite umane causando anche un grave impatto economico. Quindi l'identificazione del danno e la valutazione dello stato delle strutture edilizie è fondamentale durante il loro ciclo di vita, soprattutto quando l'edificio è vecchio o si sospetta che sia stato sottoposto a sovraccarichi eccessivi.

A causa del maggior numero di incidenti su edifici e ponti è diventato sempre più importante sviluppare metodi per il rilevamento del degrado o del danno delle strutture in modo da poter intervenire con azioni mirate di manutenzione.

Molte tecniche di rilevamento dei danni, ancora oggi in uso, consistono in approcci sperimentali come onde di stress, onde ultrasoniche, raggi X, onde acustiche, metodi termici o correnti parassite che costituiscono quell'insieme di metodologie di rilevamento strumentale non distruttive.

Tuttavia, l'applicazione di tali metodi richiede una conoscenza a priori dei possibili siti danneggiati ed inoltre possono essere applicati solo a porzioni della struttura, ovvero a quelle parti che sono accessibili. Un altro problema è che i risultati della valutazione strumentale sono spesso inconcludenti o difficilmente valutabili in quanto tale valutazione a volte può comportare la misurazione dello stress locale, le deformazioni e le accelerazioni attraverso sensori installati su alcuni elementi critici.

A causa di questi inconvenienti, i ricercatori hanno sviluppato metodi che possono essere applicati alla struttura a livello globale, in tempi più brevi, eliminando le difficoltà delle precedenti metodologie.

Le tecniche di identificazione del danno basate sulle vibrazioni (VBDD) si presentano come degli ottimi metodi globali e sono in grado di valutare la condizione dell'intera struttura con pochi punti di misura. Questa metodologia, anche se nota da diverso tempo, è diventata fattibile solo nel corso negli ultimi decenni grazie ai progressi ottenuti nel campo dell'elettronica e dell'informatica e nell'aumento della potenza di calcolo di sensori e dell'hardware di acquisizione dati.

Utilizzando i dati di vibrazione è possibile arrivare al rilevamento del danno in quanto il danno altera le proprietà fisiche della struttura come massa, rigidità e smorzamento, che a loro volta influenzano le sue caratteristiche dinamiche, vale a dire, frequenze, forme modali e smorzamento. Quindi analizzando la dinamica di una struttura soggetta a vibrazioni, possono essere dedotte diverse

informazioni strutturali sui danni, compresa la loro posizione e gravità. Ci sono diversi vantaggi nell'uso di questi metodi, tra questi c'è il fatto che, in molti casi, può essere sufficiente un numero limitato di sensori per il rilevamento della gravità del danno e della sua ubicazione. Inoltre, le apparecchiature di misura come accelerometri, estensimetri e l'hardware di acquisizione dati sono diventati relativamente compatti e poco costosi in questi ultimi anni.

Tuttavia, in pratica, le tecniche VBDD hanno una serie di problemi, tra questi vi è la sensibilità agli errori di misura, l'acquisizione di forme modali incomplete, la natura non univoca delle soluzioni e l'influenza dei fattori ambientali. Negli ultimi anni sono state condotte un gran numero di ricerche nel campo di identificazione dei danni basata sulle vibrazioni e sono stati sviluppati molti algoritmi. La maggior parte del lavoro svolto utilizza dati modali come frequenze naturali e forme modali. Fino a poco tempo fa il metodo basato sulle frequenze naturali era particolarmente popolare come strumento per identificare il danno. Questo perché le frequenze naturali sono facili da ottenere attraverso l'analisi strumentale. Tuttavia, i metodi di identificazione del danno basati esclusivamente su di essi generalmente sono utili per capire l'esistenza di un danno ma sono poco attendibili per l'identificazione della posizione, poiché danni prodotti in punti diversi possono produrre la stessa frequenza naturale. Inoltre, in molti casi le frequenze naturali si sono rivelate insensibili al danno strutturale, specialmente per danni di minore gravità e sono fortemente influenzate da fattori ambientali, come le fluttuazioni di temperatura o umidità che ne pregiudica l'applicazione sul campo. I vettori di forma modale associati a ciascun modo di vibrare sono un'altra proprietà dinamica di base di una struttura. Questi sono correlati alla massa, alla rigidità e allo smorzamento di un sistema e diventano quindi un elemento di interesse quando il danno modifica uno di questi parametri.

Le forme modali sono proprietà intrinseche di una struttura, non dipendono dalle forze o dai carichi che agiscono su di essa. I cambiamenti nelle forme modali sono molto più sensibili ai danni locali rispetto ai cambiamenti nelle frequenze naturali e nei rapporti di smorzamento.

Un grande vantaggio dei metodi di rilevamento dei danni basati sulla forma modale, essendo una proprietà spaziale, rispetto a quelli basati sulla frequenza è la capacità di fornire informazioni sull'esistenza e sulla posizione del danno. Tuttavia, le forme modali sono difficili da misurare e può essere necessario un gran numero di posizioni di misura per caratterizzare accuratamente i vettori delle forme modali e fornire una risoluzione sufficiente per la determinazione della posizione del danno. I metodi basati sulla forma modale presentano, dunque, la maggior parte delle stesse limitazioni dei metodi basati sulla frequenza. In altre parole deve essere rilevabile una quantità significativa di danno per rilevare un effetto sulle forme modali e molti tipi di danno potrebbero non essere quantificate.

I metodi VBDD più recenti sono essenzialmente basati sull'utilizzo dell'intelligenza artificiale. Questi metodi risultano adatti per rilevare i danni utilizzando misurazioni ottenute in modalità online in quanto fanno uso di strumenti di alta precisione, affidabili e di basso costo.

Poiché le reti neurali artificiali (ANN) sono note per la loro capacità di modellare relazioni non lineari e complesse, è possibile modellare tramite esse la relazione inversa tra le risposte strutturali e le caratteristiche strutturali.

Grazie alla loro eccellente capacità di riconoscimento dei modelli, la capacità di auto-associazione o correlazione, l'auto-organizzazione, autoapprendimento e per la semplicità di utilizzo nella modellazione non lineare le ANN hanno costituito un valido aiuto per superare alcune criticità dei tradizionali metodi di rilevamento dei danni e migliorare l'accuratezza e l'affidabilità degli stessi.

I metodi basati sulle ANN operano essenzialmente combinando i dati prodotti dal modello ad elementi finiti della struttura da testare e con i dati di misura reali. L'utilizzo delle ANN per il rilevamento dei danni presenta numerosi vantaggi tra cui l'insensibilità al rumore di misura e la possibilità di avere una diagnosi dei guasti attraverso una procedura automatizzata.

Tuttavia, le ANN di solito richiedono un enorme sforzo computazionale, specialmente quando sono coinvolte strutture con molti gradi di libertà. Per questo motivo, la maggior parte delle applicazioni ANN per il rilevamento dei danni sono limitate a piccole strutture con un numero limitato di gradi di libertà.

Modello dinamico della struttura

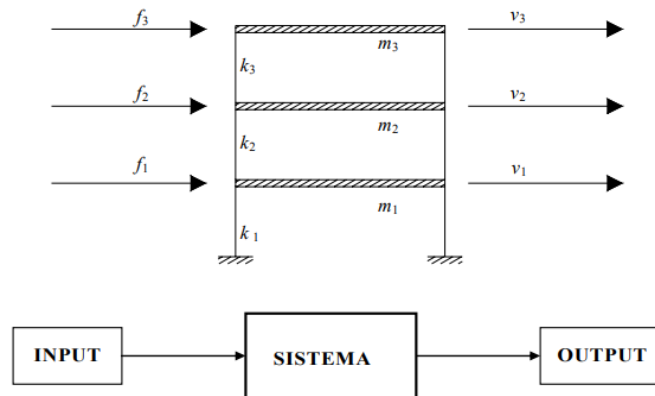
Come anticipato nell'introduzione le forme modali ricavate dall'analisi strumentale di una struttura sono rappresentative delle proprietà intrinseche della struttura stessa. Esse non dipendono dalle forze o dai carichi che vi agiscono. I cambiamenti nelle forme modali sono quindi molto più sensibili ai danni locali rispetto ai cambiamenti nelle frequenze naturali e nei rapporti di smorzamento. Pertanto i vettori di forma modale sono una proprietà spaziale e possono fornire informazioni sull'esistenza e sulla posizione del danno.

L'idea alla base delle applicazioni delle ANN nella rilevazione dei danni è quella di costruire un modello per fornire una relazione tra parametri modali e parametri strutturali attraverso un processo di apprendimento. Una volta stabilita la relazione, il modello addestrato è quindi in grado di rilevare i danni a partire dai dati modali.

In questo paragrafo cercheremo di fare un'analisi preliminare sui dati che ci vengono forniti con l'intento di capire come questi sono correlati. Ovvero analizzeremo la relazione che lega le proprietà fisiche della struttura come massa, rigidità e smorzamento, alle caratteristiche dinamiche, vale a dire,

frequenze, forme modali e smorzamento. Questo studio ci consente di comprendere meglio il modello che si vuole replicare su una ANN e quindi ci viene utile per guidarci nella scelta della tecnologia più adatta.

consideriamo pertanto l'analisi dinamica di una struttura semplice bidimensionale come la seguente:



Possiamo ipotizzare il moto della struttura come il moto di un pendolo inverso del tipo oscillatorio smorzato. Con buona approssimazione possiamo affermare che la legge fisica che caratterizza il sistema è la seguente:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{v}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{v}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{v}(t) = \mathbf{f}(t)$$

Dove \mathbf{K} , \mathbf{C} , \mathbf{M} sono, rispettivamente, le matrici delle rigidezze, degli smorzamenti e delle masse, mentre $\mathbf{v}(t)$ è lo spostamento. La derivata di $\mathbf{v}(t)$ è la velocità e la derivata seconda l'accelerazione. Le frequenze naturali, gli smorzamenti e le deformate modali sono ricavate quindi dall'equazione omogenea associata (moto libero):

$$\ddot{x} + \frac{\beta}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

Da cui, dividendo per m , si ha:

$$\ddot{x} + \frac{\beta}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = 0$$

Introducendo il parametro ζ , fattore di smorzamento ed ω_n pulsazione naturale si ottiene:

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = 0$$

In definitiva abbiamo visto che la relazione che lega le caratteristiche strutturali a quelle dinamiche è un'equazione differenziale del secondo ordine a coefficienti costanti, con soluzione del tipo:

$$x = e^{\lambda t}$$

Tuttavia le matrici delle rigidezze, degli smorzamenti e delle masse \mathbf{K} , \mathbf{C} , \mathbf{M} , diventano incognite del problema, insieme allo spostamento. Questo perché per periodi di tempo molto lunghi le proprietà

fisiche di una struttura variano, soprattutto in presenza di danno. Tuttavia la massa come abbiamo visto nell'equazione precedente può essere trascurata in questo tipo di analisi, pertanto le incognite che dovranno essere misurate o ricavate complessivamente diventano tre: Spostamento, Smorzamento e Rigidezza, o se consideriamo l'ultima equazione: pulsazione naturale, fattore di smorzamento e spostamento.

Pertanto, per modellare correttamente il problema abbiamo necessariamente bisogno di misurare almeno due parametri modali. Nel nostro studio abbiamo deciso di misurare e/o ricavare dal calcolo strutturale tre informazioni modali come riportato nella seguente tabella:

Modi di vibrare	Frequenza Smorzamento Deformate modali				
	Hz	%			
1° modo	2.44	3.00	+0.458	+0.814	+1.000
2° modo	6.50	2.51	+1.000	+0.310	-0.810
3° modo	9.69	3.00	-0.578	+1.000	-0.484

Anche se la struttura che andremo a monitorare è composta da due piani a cui corrispondono complessivamente sei modi di vibrare, precedenti studi hanno dimostrato che i primi tre modi di vibrare dell'intera struttura, sono sufficienti a determinare la collocazione del danno.

Architettura del sistema

L'SHM (STRUCTURAL HEALTH MONITORING) è una complessa pratica ingegneristica generata dall'unione di diversi strumenti tecnologici.

In generale, un tipico sistema di monitoraggio SHM è costituito dai seguenti sistemi:

- una rete cablata o wireless di sensori, montati sulla struttura, per il rilevamento di grandezze fisiche significative della risposta strutturale, delle azioni e delle condizioni ambientali;
- un sistema di acquisizione dei dati provenienti dai sensori;
- sistemi di trasmissione dei dati verso le unità di processo locali o remote;
- componenti software, più o meno complesse, per il pre-processamento, l'analisi e l'interpretazione dei dati (identificazione del danno), la valutazione della vita residua e il supporto alle decisioni;
- un sistema decisionale e di allerta per la gestione di situazioni di emergenza.

I primi due sistemi sono generalmente installati sulla struttura, gli altri invece sono dislocati all'interno degli uffici di controllo del gestore dell'infrastruttura. Tutti questi sistemi permettono all'ingegnere strutturale di inquadrare lo stato di integrità di una struttura.



I sensori sono dei dispositivi che vengono installati sulla struttura e costituiscono di fatto un “sistema nervoso” in grado di misurare i movimenti della struttura, come rotazioni, spostamenti assoluti e relativi, accelerazioni. Questi dispositivi presentano caratteristiche diverse sia per il campo di applicabilità sia per la precisione delle misure da essi fornite, nonché hanno costi differenti a seconda di quanto sono sofisticati. Ai sensori devono essere abbinati gli appositi software, attraverso i quali si riesce a mettere insieme ed interpretare in modo veloce la grossa mole di dati registrati e caratterizzare gli eventuali danni, prevedendone lo sviluppo. Inoltre, ci sono strumenti in grado di misurare parametri ambientali come la temperatura interna o esterna, l’umidità e la forza o velocità del vento, che influenzano i risultati finali.

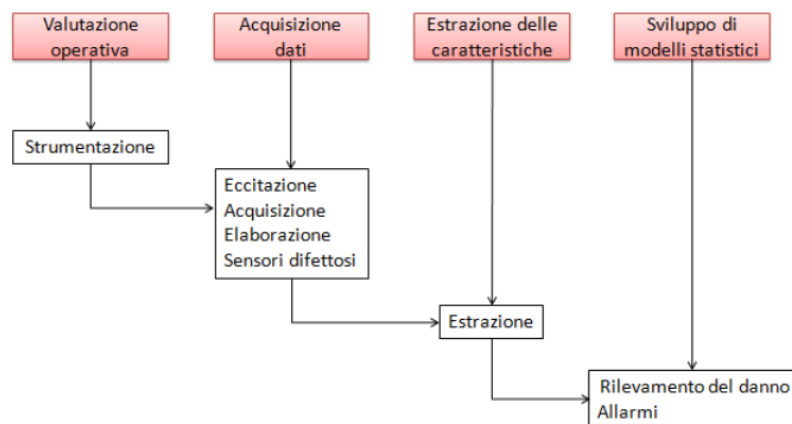
Per cui attraverso questi strumenti è possibile eliminare il cosiddetto rumore, cioè quegli spostamenti dovuti al variare della temperatura o dell’umidità, che non portano danni alla struttura. I sensori sono collegati a un sistema di acquisizione dati attraverso i cavi elettrici o via wireless. Il sistema di acquisizione dati permette di memorizzare la grande mole di dati provenienti dai sensori in modo automatico, secondo un intervallo di tempo preimpostato dall’operatore. Quest’ultimo è collegato ad un modem che permette la trasmissione dei dati ad un dispositivo remoto, ad esempio, un PC in un laboratorio, per essere analizzati e interpretati, cioè riceve i segnali generati dai sensori, li converte e li trasmette ai computer per l’elaborazione.

Più recentemente, sono stati sviluppati sensori che forniscono elaborazione e memorizzazione parziali dei dati. Dato che durante il monitoraggio viene impiegata una grande quantità di sensori,

l'acquisizione, la trasmissione e l'immagazzinamento dei dati rappresentano un'operazione molto delicata. Si registra quindi la necessità di sviluppare sistemi che vadano oltre il puro accumulo di dati. A tal scopo, interviene un software di gestione dei dati, che elabora tutti i dati arrivati dai sensori nel tempo e ne fornisce una risposta facile da analizzare per l'utilizzatore. Questi permettono di mettere insieme ed interpretare in modo veloce la grossa mole di dati registrati e caratterizzare gli eventuali danni, prevedendone lo sviluppo. Alcuni software più sofisticati hanno, in base al tipo di struttura, delle soglie che questa non deve superare e segnalano in automatico quando queste soglie sono state superate. I risultati finali forniti dai software possono essere visualizzati in forma tabellare o in forma grafica.

Le fasi del monitoraggio

Il processo di monitoraggio può essere suddiviso in quattro fasi:



1. Valutazione operativa;
2. Acquisizione, normalizzazione e pulizia dei dati;
3. Estrazione delle caratteristiche;
4. Sviluppo dei modelli.

La valutazione operativa tenta di rispondere a quattro domande relative alla capacità di identificare il danno e il suo sviluppo futuro:

- Quali sono le ragioni economiche e/o di salvaguardia della vita umana per eseguire il monitoraggio?

- Come viene definito il danno per il sistema monitorato e, in presenza di più danni, quali sono i casi più preoccupanti?
- Quali sono le condizioni, sia operative che ambientali, sotto le quali il sistema può funzionare?
- Quali sono le limitazioni nell'acquisizione dei dati nell'ambiente operativo?

La valutazione operativa stabilisce i limiti su ciò che verrà monitorato e su come verrà realizzato il monitoraggio, cioè la tecnica. Questa valutazione cerca di adattare il processo di identificazione del danno alle peculiarità del sistema cercando di acquisire conoscenze sulle caratteristiche del danno che dovrà essere rilevato.

Le motivazioni economiche e quelle di sicurezza, in termini di vita umana e strutturale, sono le linee guida per lo sviluppo di un sistema di monitoraggio completo ed affidabile in grado di garantire la funzionalità della struttura, durante tutto il periodo della sua vita utile.

La seconda questione messa in luce è quella relativa al danno: quando un sistema SHM viene implementato su di una struttura, è importante che si definisca e si quantifichi il danno che si sta cercando, facendo in modo che la probabilità con cui esso sarà rilevato sia sufficiente, impiegando in modo razionale ed intelligente le risorse a disposizione.

L'acquisizione dati, invece, coinvolge la parte operativa del sistema di monitoraggio e prevede la selezione dei metodi di eccitazione, della tipologia, della quantità, e della posizione dei sensori, dell'hardware di acquisizione, memorizzazione, trasmissione dei dati. Ancora una volta, questo processo sarà specifico dell'applicazione. In questa fase, le considerazioni economiche svolgono un ruolo importante sulle decisioni che saranno prese. L'intervallo in cui i dati dovrebbero essere raccolti è un'altra considerazione importante che deve essere fatta, in quanto va ad influenzare la quantità di memoria necessaria per l'acquisizione.

Essendo, inoltre, i dati raccolti sotto diverse condizioni è necessario effettuare una loro normalizzazione al fine di identificare univocamente il processo di danno. Per normalizzazione dei dati si intende il processo di separazione delle modifiche, introdotte nei dati raccolti dal sensore, causate dai danni da quelle causate dalla variazione delle condizioni operative e ambientali. Una delle procedure più comuni è quella di normalizzare la risposta misurata sulla base di input noti.

Quando la variabilità ambientale e operativa rappresenta un problema, può sorgere la necessità di normalizzare i dati in fasce temporali soggette agli stessi cicli operativi e a simili condizioni ambientali così da poter permettere un confronto delle misurazioni effettuate. Le fonti di variabilità nel processo di acquisizione dei dati devono essere identificate e minimizzate il più possibile. Va osservato, però, che non tutte le fonti di variabilità possono essere eliminate perciò non tutti i dati possono essere normalizzati. Anche quando non è possibile una normalizzazione dei dati va

comunque effettuato uno studio statistico su come le condizioni operative ed ambientali possano influire sulle risposte della strumentazione del monitoraggio. Infine, si ha la pulitura dei dati che è un processo di scelta selettiva dei dati da trasmettere al processo di estrazione delle caratteristiche della struttura.

Il processo di pulitura dei dati si basa generalmente sulle conoscenze acquisite da personale specializzato e direttamente coinvolto nella acquisizione dei dati. A tal proposito, se un sensore viene montato liberamente da personale non specializzato, esso può raccogliere dati non particolarmente significativi al fine di una caratterizzazione della struttura, perciò i dati di tale sensore possono essere eliminati dal processo di estrazione delle caratteristiche.

Infine, va notato che l'acquisizione dei dati, la normalizzazione e la pulitura di un sistema di monitoraggio non devono essere statiche. Le informazioni che saranno acquisite dal processo di estrazione delle caratteristiche e dal processo di sviluppo del modello forniranno informazioni sulle modifiche da apportare per migliorare il processo di acquisizione dei dati.

Il sistema di rilevamento e trasmissione dati: Caso di studio edificio scolastico SCIGLIANO (CS)

Il sistema di rilevamento sensoriale è il primo e uno dei più importanti elementi costituenti l'architettura del monitoraggio strutturale.

Tutti i metodi di monitoraggio strutturale richiedono dei dati della struttura di interesse per eseguire analisi e determinare se si sono verificati danni o se è probabile che si verifichino danni. La maggior parte delle ricerche nel campo dello SHM si è concentrata sull'impiego dei sistemi di sensori per raccogliere le informazioni necessarie per l'analisi.

Le rilevazioni hanno il compito di misurare delle quantità che si traducono principalmente in tre tipologie di parametri:

1. Sorgenti di carico: ambientali (vento, azione sismica) o artificiali (traffico);
2. Risposte strutturali: spostamenti, deformazioni, accelerazioni e inclinazioni;
3. Effetti ambientali: temperatura, precipitazioni atmosferiche, umidità, particelle inquinanti presenti nell'aria;

Le variabili ambientali come temperatura e umidità sono comunemente monitorate per isolare la risposta della struttura. Di solito, le quantità di primario interesse sono le risposte strutturali. Pertanto, la nostra analisi si concentrerà sui sensori che misurano solo queste quantità anche se queste dovrebbero essere combinate con i dati ambientali per analizzare correttamente lo stato di una struttura.

L'accuratezza e la precisione delle previsioni formulate attraverso il monitoraggio strutturale sono inevitabilmente correlate all'accuratezza e alla precisione degli strumenti di rilevazione. L'importanza che la qualità del dato fornito dalle misurazioni assume è pari a quella dell'intero modello matematico utilizzato nell'elaborazione dei dati.

I sensori per definizione costituiscono solo una componente dei più complessi trasduttori. Questi sono strumenti che trasformano grandezze fisiche che definiscono la risposta di un sistema come spostamenti, velocità, accelerazioni, tensioni, deformazioni o forme, in segnali elettrici elaborati successivamente dal sistema di acquisizione dati.

I trasduttori possono essere di tipo analogico, ossia il segnale in uscita è una grandezza elettrica che varia in modo continuo, o digitale, dove il segnale in uscita è composto da uno o più segnali digitali che possono assumere solo due livelli di tensione: attivo (non ha bisogno di alimentazione per essere prodotto) o passivo (in tal caso è richiesta una alimentazione).

In generale tutti i sensori devono soddisfare le caratteristiche prestazionali come: sensibilità, risoluzione, portata, linearità, isteresi, accuratezza, precisione, isolamento, basso costo e durabilità.

Negli ultimi anni si sono sviluppati una vastità di nuovi strumenti di misura e sensori, sempre più tecnologici e precisi, nonché più economici. L'aspetto economico non è da trascurare, infatti, nel campo del monitoraggio strutturale abbiamo un grande range di prezzi, che vanno dalle centinaia ad alcune migliaia di euro. Pertanto, si sta cercando di sviluppare strumenti che costino sempre meno, ma allo stesso tempo abbiano sensibilità e precisione elevate.

In particolare, in questo lavoro, saranno presentati dei sensori che allo stato attuale sono quelli più comunemente usati, quindi sono stati ben consolidati e testati.

Oggetto di approfondimento di questo lavoro inoltre sarà il monitoraggio dinamico in continuo di una struttura, sviluppato per ottenere l'individuazione del danno ed incentrato su algoritmi in grado di elaborare i cambiamenti delle forme modali o dei parametri del sistema strutturale (come la frequenza naturale, i modi di vibrare e il rapporto di smorzamento). A tal fine, una tipica architettura dei sistemi di monitoraggio dinamico è basata sull'impiego di sensori periferici, in particolare accelerometri, direttamente connessi tramite cavi ad un sistema di acquisizione centralizzato.

La scelta dei sensori più appropriati parte quindi dalla loro precisione che, però da sola, non è sufficiente a garantire l'efficienza del monitoraggio, si deve garantire la conservazione nel tempo dello strumento in ottime condizioni, in particolare per gli strumenti di tipo elettronico, dove il funzionamento è influenzato in maniera considerevole dalle condizioni ambientali.

Tra i numerosi tipi di sensori che si possono utilizzare per il monitoraggio, per i nostri fini, abbiamo scelto di utilizzare gli accelerometri. Questi dispositivi misurano l'accelerazione indotta da vibrazioni naturali oppure da forzanti in una particolare posizione di una struttura. Nel corso dell'ultimo

decennio questi sono stati i dispositivi di misurazione più utilizzati in quanto i dati da essi prodotti possono fornire preziose informazioni sulle caratteristiche dinamiche di una struttura. Attraverso le procedure di post-elaborazione, le misure di accelerazione possono essere utilizzate per calcolare la frequenza, lo smorzamento e le forme modali di una struttura utili nella valutazione globale della salute strutturale.

Sebbene gli accelerometri siano stati a lungo impiegati per le tecniche di monitoraggio, sussistono ancora problemi con la produzione di errori durante l'integrazione numerica dei dati. Questi dispositivi generano anche una grande quantità di dati che possono richiedere un'elaborazione intensiva. Un altro inconveniente dell'uso di tali strumenti è l'elevato costo dovuto non solo all'accelerometro vero e proprio (qualche migliaio di euro), ma al sistema di acquisizione dei dati (amplificatori, trasformatori analogico-digitali, computer per l'analisi dei dati e software dedicati).

Nonostante queste limitazioni, gli accelerometri rappresentano ad oggi la migliore opzione per misurare le proprietà dinamiche di una struttura.

Sul mercato troviamo una moltitudine di sensori sia di tipo wired che wireless. La caratteristica dominante di questi ultimi sistemi elettronici emergenti, che viene presa come pretesto e come elemento distintivo ed indicativo di migliori prestazioni, è quasi sempre la trasmissione wireless del segnale, che se va bene per misure statiche, con una quantità di dati decisamente trascurabile, non è per niente adatta a quelle dinamiche. Anche con frequenze di campionamento non proibitive i consumi sono talmente elevati da rendere inevitabile l'alimentazione da rete e, a questo punto, lo stesso cavo di alimentazione può essere utilizzato per trasportare il segnale con conseguente maggiore sicurezza nella trasmissione e nella sincronizzazione.

La scelta è quindi ricaduta sui prodotti MonoDAQ-E-gMeter di Dewesoft che al momento hanno dimostrato di essere la soluzione ottimale sul mercato tra tutte quelle vagliate. L'azienda ha sviluppato un modulo di acquisizione accelerometrico triassiale, con un trasduttore MEMS incorporato (MEMS - Micro-ElectroMechanical System), ovvero un condizionatore di segnale integrato con un accelerometro. Quindi realizza un unico dispositivo di acquisizione dati a canale singolo EtherCAT. L'obiettivo del dispositivo integrato è quello di ottimizzare il risultato in termini di rapporto segnale/rumore rispetto alle soluzioni presenti sul mercato.



Questi trasduttori presentano una densità di rumore spettrale di soli $25 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ e $100 \mu\text{g}$ di rumore residuo ad una larghezza di banda 50 Hz . L'accelerometro utilizzato al suo interno risulta ad oggi la soluzione più conveniente per le misure sismiche, in quanto viene utilizzata con una doppia funzione. Anche se utilizzato principalmente per la misura dell'accelerazione, lo stesso può essere utilizzato per misurare con precisione lo spostamento, integrando l'accelerazione due volte e applicando un filtraggio appropriato. Questo compito viene eseguito dall'ambiente software di dotazione gratuito DewesoftX.

Gli accelerometri MEMS IOLITEd-3xMEMS-ACC sono stati utilizzati per misurare accelerazioni e inclinazioni, mentre il software di acquisizione dati Dewesoft X viene utilizzato per:

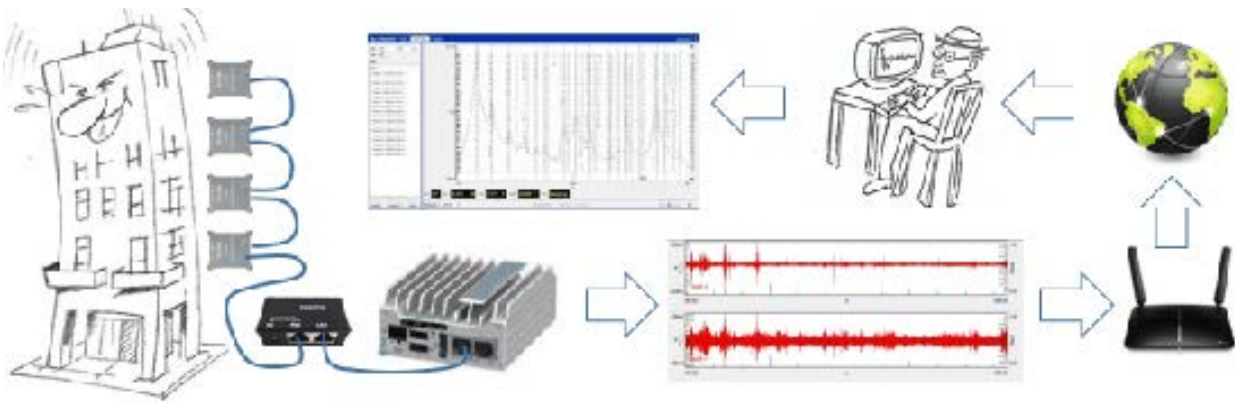
- gestione dell'acquisizione
- impostazione dei parametri per tutti i sensori
- visualizzazione della cronologia temporale dei segnali acquisiti
- FFT istantanea
- salvataggio dei dati.

Per quanto riguarda i rilievi, la grandezza dinamica scelta per le misure è costituita dalla risposta in frequenza della struttura in termini di accelerazioni nei punti definiti.

In particolare, per un edificio residenziale o monumentale, un tipico sistema di monitoraggio dinamico modulare è costituito da una serie di 3 moduli MEMS-ACC DAQ opportunamente distribuiti sui vari piani e alimentati tramite Ethernet (PoE).

Nel caso di edifici regolari in pianta e in altezza sono richieste installazioni minime con 3xMEMS-ACC alle fondazioni (zero sismico), oltre che una coppia disposta, ad esempio, all'ultimo piano. Questa è l'ipotesi di solai a taglio e quando si vogliono analizzare solo le prime forme modali. Con l'aumentare dell'interesse per le forme modali più elevate, si verifica un progressivo coinvolgimento di tutti gli altri piani, fino a quando non sono tutti interessati.

A fronte di edifici più complessi, il numero dei moduli tende inevitabilmente ad aumentare in funzione della volontà di ottenere analisi sempre più veritiere. I dati acquisiti vengono poi memorizzati secondo opportuni algoritmi selettivi sul supporto di massa del PC industriale posto in un apposito pannello insieme ad un router. Il router viene utilizzato per fornire una connessione Internet sul terminale remoto. Normalmente è attivo anche un sistema per l'invio di messaggi al superamento delle soglie precedentemente impostate.



L'architettura di rete realizzata, secondo le specifiche del committente, ha richiesto l'utilizzo della rete TIM 4G e l'archiviazione dei dati su cloud Noovle.

I componenti della rete sono descritti nell'immagine sottostante:



Costituita da:

1. rete di accelerometri MEMS IOLITEd-3xMEMS-ACC
2. rete di alimentazione costituita da passive PoE injector e power supply
3. accentratore dati NUC
4. switch e router 4G per la trasmissione su cloud Noovle

ANN-based damage detection using the modal properties

Il primo studio di applicabilità di questa metodologia risale al 2005 (Lee et al.), anno in cui viene presentato per la prima volta un metodo di rilevamento dei danni basato su reti neurali che fa uso

delle proprietà modali della struttura. L'intuizione di partenza era che, rispetto agli altri metodi, l'analisi modale risulta meno sensibile agli errori di modellazione, pertanto un metodo che utilizzi i parametri modali, ad esempio come input per le reti neurali, può produrre dei vantaggi significativi nell'analisi dinamica delle strutture. L'efficacia dell'approccio è stato testato su due esempi numerici, a trave semplice e ad un ponte a più travi. Lo stesso metodo è stato poi applicato ad un modello di un ponte riprodotto in laboratorio e sul ponte Hannam Grand Bridge a Seoul, in Corea. Il metodo ha identificato le posizioni dei danni con una buona accuratezza per tutti i casi di danno, ma la gravità dei danni stimata era minore rispetto ai valori reali con presenza di errori falsi positivi in diverse posizioni.

Nello stesso anno Yeung & Smith hanno presentato una procedura di rilevamento dei danni, utilizzando il pattern recognition per il riconoscimento dell'impronta digitale o firma della struttura, producendo degli ottimi risultati per la risoluzione del problema di livello 1: riconoscimento del danno.

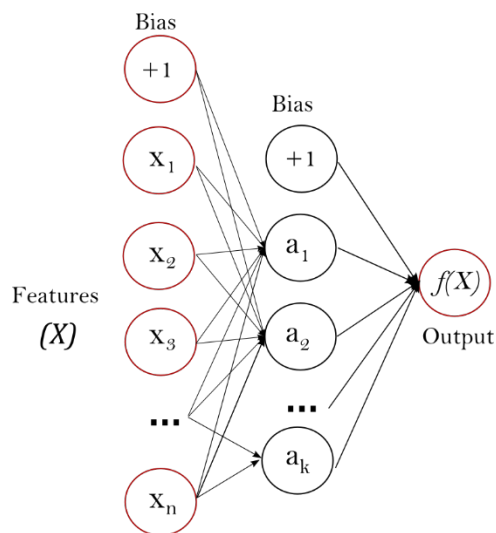
L'anno successivo, nel 2006, Yuen & Lam hanno intuito che era necessario utilizzare per le due fasi di rilevamento dei danni due tipi di reti neurali. Nella prima fase, l'identificazione del danno è stata prodotta utilizzando come input di una rete ANN le firme digitali della struttura con e senza danno. Nella seconda fase, la gravità del danno viene stimata utilizzando un'altra ANN con parametri modali come input. La metodologia di rilevamento dei danni è stata dimostrata utilizzando un edificio di cinque piani. Il danno è stato definito come la riduzione della rigidità di interpiano. L'addestramento delle reti neurali sono state condotte con singolo danno, doppi casi di danno con la stessa estensione del danno e casi di doppio danno con diverse estensioni di danno. L'addestramento ANN ha individuato con successo la posizione del danno in tutti i casi con un singolo danno. Tuttavia, nel caso di doppio danno, solo quando le due estensioni di danno erano significativamente diverse, la rete ha prodotto la posizione con l'entità del danno maggiore.

Gli studi che si sono poi susseguiti nel corso degli anni, hanno evidenziato come le impronte digitali derivate dall'analisi delle frequenze naturali e dalle forme modali della struttura sono i metodi più popolari per identificare il danno in quanto queste due quantità sono facili da individuare, con un livello di fiducia relativamente alto e un costo relativamente basso. Inoltre è stato evidenziato come i metodi basati sulla frequenza naturale ne limitano l'applicabilità a causa di molte ragioni. Un danno che produce una bassa frequenza richiede misurazioni molto precise, questi piccoli cambiamenti potrebbero non essere rilevati a causa di errori di misurazione. Inoltre, questi metodi non sono in grado di distinguere i danni in posizioni simmetriche in una struttura simmetrica, mentre i cambiamenti nelle forme modali sono molto più sensibili ai danni locali.

Regression analysis con rete neurale

Una rete neurale di tipo Multi-layer Perceptron (MLP) è un algoritmo di apprendimento supervisionato che apprende una funzione del tipo $f(\cdot):R^m \rightarrow R^o$. Funzione appresa attraverso l'addestrando su un set di dati, dove "m" è il numero di dimensioni per l'input e "o" è il numero di dimensioni per l'output.

Dato un insieme di funzionalità $X=x_1,x_2,\dots,x_m$ e un obiettivo y , un MLP può apprendere un approssimatore di funzione non lineare sia per la classificazione che per la regressione. MLP è diverso dalla regressione logistica, in quanto tra il livello di input e quello di output possono esserci uno o più livelli non lineari, chiamati livelli nascosti. La Figura 1 mostra un MLP a un livello nascosto con output scalare.



I vantaggi di Multi-layer Perceptron sono:

- Capacità di apprendere modelli non lineari.
- Capacità di apprendere modelli in tempo reale (apprendimento in linea) utilizzando `partial_fit`.

Gli svantaggi di Multi-layer Perceptron (MLP) includono:

- Le MLP con strati nascosti hanno una funzione di perdita non convessa dove esiste più di un minimo locale. Pertanto diverse inizializzazioni di peso casuale possono portare a una diversa accuratezza di convalida.
- MLP richiede la messa a punto di un numero di iperparametri come il numero di neuroni, livelli e iterazioni nascosti.
- MLP è sensibile al ridimensionamento delle funzionalità.

La classe `MLRegressor` implementa un perceptron multistrato (MLP) che si allena utilizzando backpropagation senza funzione di attivazione nel livello di output, che può anche essere visto come l'utilizzo della funzione di identità come funzione di attivazione. Pertanto, utilizza l'errore quadratico come funzione di perdita e l'output è un insieme di valori continui.

La rete neurale viene realizzato attraverso il seguente codice:

```
import pandas as pd
import numpy as np
var = pd.read_csv('Risultati.csv', sep=";")
y_train=var.loc[:, 'P1':'P18']
X_train = var.drop(['P1', 'P2', 'P3', 'P4', 'P5', 'P6', 'P7', 'P8', 'P9', 'P10', 'P11', 'P12', 'P13', 'P14', 'P15', 'P16', 'P17', 'P18'], axis=1)
from sklearn.neural_network import MLPRegressor
model = MLPRegressor(hidden_layer_sizes=(64,64,64), activation="relu", random_state=1, max_iter=2000)
model.fit(X_train, y_train)
row= X_train.iloc[106,:]
yhat = model.predict(np.array([row]))
print(yhat[0])
```

Produce il seguente output :

```
[-1.44132465e+00 -8.80285652e-01 4.17084597e+00 -2.64370097e-01 1.77113361e+00 -2.56354682e+00 -8.95298799e-01 1.14421553e+00
-1.22708377e+00 6.58342579e-01 -1.90245829e+00 1.62880546e+01 2.83826034e+00 -4.23523040e-01 -2.06519682e-01 1.07777802e-02
-9.87980309e-02 1.59330099e+01]
```

Identifica come il pilastro N°11 con danneggiamento insieme al pilastro N°18.

Con il dataset a disposizione si ottiene la seguente metrica:

```
mean_absolute_error: 4.954238651637497
mean_squared_error: 123.34915313257994
r2_score: 0.2623759510286934
```

Per migliorare le prestazioni del modello occorre quindi realizzare un dataset più popolato. Questo sarà possibile nella fase di messa in opera del sistema

Ottimizzazione del modello attraverso il ricampionamento del dataset

I metodi di ricampionamento sono uno strumento indispensabile nelle statistiche moderne. Consistono nel prelevare ripetutamente campioni da un set di addestramento e nel riadattare un modello di interesse su ciascun campione al fine di migliorare le informazioni nel modello adattato. Di solito, l'obiettivo di un progetto di data science è creare un modello utilizzando i dati di addestramento e fare in modo che faccia previsioni su nuovi dati. Spesso questa metodologia viene adoperata per generare un Testset di dati per la convalida di un modello, senza la necessità di raccogliere nuovi dati. Infine un altro uso è per bilanciare un dataset con classi sbilanciate.

Un set di dati di regressione (X, y) può essere quindi ricampionato per mitigare lo squilibrio nella distribuzione utilizzando una delle seguenti strategie:

- sovracampionamento casuale (RO)
- sottocampionamento casuale (RU)
- SMOTER
- rumore gaussiano (GN)
- WERCS
- Rebagg

Il primo metodo va a sovraccampionare i valori rari nella distribuzione, selezionati dall'utente tramite una funzione di rilevanza. Il secondo metodo esegue l'operazione contraria, ovvero va ad sottocampionare i valori che sono invece più abbondanti nella distribuzione.

La funzione SMOTER combina insieme i due metodi precedenti, ovvero sottocampiona i valori abbondanti e sovracampiona i valori rari mediante interpolazione tra punti vicini.

Il quarto metodo aggiunge un rumore gaussiano alla funzione SMOTER nel ricampionamento.

Mentre WERCS utilizza un ricampionamento selettivo, ovvero ricampiona il set di dati selezionando istanze utilizzando i valori di pertinenza specificati dall'utente come pesi.

Infine il metodo REBAGG esegue un ricampionamento su sottoinsiemi del set di dati in modo indipendente.

Attraverso il ricampionamento con metodo SMOTER si ottiene un dataset con cardinalità di 1539 elementi.

```
import numpy as np
import resreg

cl1 = np.percentile(y,10) # Oversample values less than the 10th percent
ile
ch1 = np.percentile(y,90) # Oversample values less than the 10th percent
ile
relevance = resreg.sigmoid_relevance(y, cl=cl1, ch=ch1)
X_res, y_res = resreg.smoter(X_train, y_train, relevance=relevance, relev
ance_threshold=0.5, k=5, over='balance', random_state=0)
```

Producendo un aumento delle prestazioni di previsione:

```
mean_absolute_error: 0.29415294119556157
mean_squared_error: 9.782488203363632
r2_score: -5.6825127463658e-05
```

Il metodo Gaussian_noise produce il seguente errore di previsione:

```
import numpy as np
import resreg
relevance = resreg.sigmoid_relevance(y_train, cl=None, ch=np.percentile(y
_train, 90))
```

```
X_res, y_res = resreg.gaussian_noise(X_train, y_train, relevance, relevance_threshold=0.5,delta=0.1, over=0.5, under=0.5, random_state=0)
```

```
mean_absolute_error: 4.144066080465169  
mean_squared_error: 76.88252716253115  
r2_score: 0.5408364622068045
```

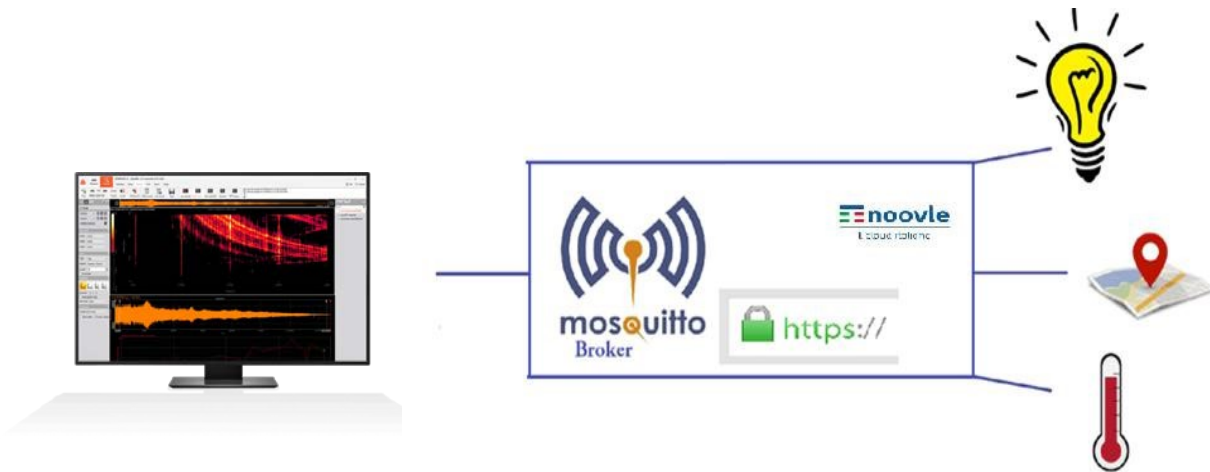
Questo metodo si avvicina quanto più possibile alla casistica delle misure che verranno prodotte sul campo. Come possiamo notare dalla previsione delle prime venti righe del dataset, la rete riesce ad individuare la collocazione del pilastro danneggiato, ma sulla percentuale di danneggiamento ancora richiede un processo di addestramento.

```
[-1. -2. 2. 2. -0. 1. -3. -3. -2. 11. 12. 6. 0. 12. 1. 10. 15. 6.]  
[46. -0. -4. 11. -1. 6. 1. -1. 0. 5. 3. -1. 8. -1. -9. -2. 9. -2.]  
[77. 10. -3. 5. 1. 4. -4. 1. -0. -2. -6. -1. 1. -5. 1. -6. 4. 0.]  
[ 72. 9. -7. 2. -1. 2. -3. 4. -2. -7. -3. -2. -1. 1.  
 10. -12. 2. -1.]  
[57. 5. -5. 1. -1. 1. -2. 3. -1. -5. -3. -1. -1. 2. 7. -8. 2. -1.]  
[43. 4. -1. 0. -0. -0. -0. 1. 0. -3. -3. -1. -0. 1. 3. -3. 1. -0.]  
[31. 3. 1. 0. 0. -1. 1. 0. 1. -1. -2. -1. 0. 1. 0. 1. 0. -0.]  
[24. 3. 3. -0. 0. -1. 2. -0. 2. 0. -2. -1. 1. 1. -2. 3. 0. 0.]  
[19. 3. 5. -0. 0. -1. 3. -1. 2. 1. -1. -0. 1. 0. -3. 5. 0. 0.]  
[16. 3. 5. 0. 0. -2. 3. -1. 2. 1. -1. -0. 1. 0. -4. 6. 0. 0.]  
[-4. 27. 6. 0. 3. -1. 3. -4. 3. 0. 19. -2. 2. 8. -3. -1. -1. -1.]  
[ 1. 51. 5. 2. 2. -2. 1. -5. 5. -6. 5. -2. 5. 0. -2. 2. -5. -0.]  
[ 1. 49. 3. 3. -1. -0. -1. -5. 1. -5. 3. -1. 3. 0. -1. 0. -1. -1.]  
[ 0. 43. -1. 1. 0. 0. -2. -4. -0. -4. 2. -1. 2. -1. -0. 1. 1. -0.]  
[ 0. 38. -3. -0. 1. 0. -3. -3. -1. -3. 2. -0. 1. -2. 0. 1. 3. 0.]  
[ 0. 35. -5. -1. 2. 1. -4. -3. -2. -2. 1. -0. 1. -3. 1. 1. 4. 0.]  
[ 1. 32. -4. -2. 3. -0. -4. -2. -2. -1. 2. -0. 0. -4. 2. -0. 3. -0.]  
[ 1. 30. -4. -2. 4. -1. -4. -1. -2. 0. 2. -0. -0. -6. 2. -1. 3. -1.]  
[ 1. 29. -4. -2. 5. -1. -4. -1. -1. 1. 2. -0. -1. -6. 2. -1. 3. -1.]  
[-1. -1. 55. 6. -1. 9. 0. -2. -4. 1. 5. 19. -8. -6.  
 20. -10. 1. 14.]
```

Realizzazione di un Mini Noovle Cloud per scambio dati sismici

In questo paragrafo viene descritta la progettazione della rete dedicata al monitoraggio dinamico di una struttura installata nell'edificio scolastico di Scigliano.

Uno dei requisiti di progettazione della rete è di avere la disponibilità e la persistenza dei dati su cloud noovle di Tim in modo da rendere condivisibili le informazioni tra più partner del progetto in esame.



Noovle si propone sul mercato come centro di eccellenza italiano per il Cloud e l'edge computing, con l'obiettivo di potenziare l'offerta di servizi innovativi di public, private e hybrid cloud alle imprese - dalle Pmi alla grande industria - e alla Pubblica Amministrazione.

Si focalizza sulla fornitura di servizi e soluzioni Multicloud innovativi e su misura per i clienti TIM, che vanno dalla gestione nei propri Data Center delle infrastrutture di rete, ai servizi di progettazione e assistenza, alla migrazione verso il cloud e al supporto delle attività di gestione collegate, utilizzando le più evolute tecnologie basate sull'intelligenza artificiale e l'Internet of Things.

Grazie alla collaborazione tra Gruppo TIM e Google Cloud ed alle partnership strategiche realizzate con le principali società leader del settore quali Atos, Cisco, Citrix, Microsoft, Salesforce, SAP e VMware, è in grado di offrire infrastrutture, piattaforme e supporto professionale per connettere le imprese all'infrastruttura e alle piattaforme Cloud.

I vantaggi dell'utilizzo di noovle sono elencate di seguito:

1. Cloud Transformation

- a. Realizzazione di soluzioni scalabili ed elastiche, garantendo la miglior sicurezza e flessibilità dei costi
- b. Capacità di modernizzazione delle infrastrutture e delle applicazioni attraverso metodologie cloud-native e Machine Learning

2. Data Center Services

- a. Massima efficienza ed elevati standard di sicurezza
- b. Soluzioni in housing
- c. hosting
- d. colocation
- e. servizi infrastrutturali a valore aggiunto

3. Modern Workplace
 - a. Supporto allo Smart Working come modello organizzativo
 - b. Prodotti certificati creati per gestire documenti, firme digitali e email a norma di legge
4. Customer Experience
 - a. Comunicazioni sempre più personalizzate
5. Security & Compliance
 - a. Aspetti legati alla cybersecurity
 - b. Compliance
 - c. Risk Management
 - d. Componenti legate a Identity & Access Management..
6. Professional & Managed Services
 - a. Governance centralizzata dei servizi IT
 - b. Consulting Services
 - c. Migration Services
 - d. Managed Services

Le caratteristiche richieste per l'implementazione della rete sono le seguenti:

1. Uso di Google cloud Professional fornito da TIM per interscambio dati/desktop remoto (Noovle)
2. Indipendenza da qualsiasi versione di Windows installata sul nodo edge
3. Creazione di 2 account amministrativi del cloud
4. Profilazione di differenti tip di account per policy di sicurezza e gestione dati
5. Creazione di 3 account read only per i tre partner di ricerca
6. Creazione di 1 account base per postazione stand-alone pc client di edge
7. Creazione di 1 account base per ente di gestione
8. Replica garantita dei file esportati dal software Dewesoft

I componenti architetturali che compongono la rete sono quindi i seguenti:

1. Noovle Cloud:
 - a. Noovle Cloud Client (TIM Google Cloud architecture)
 - b. Google Drive Service
2. Dewesoft Data Root condivisa
 - a. 4 utenze read only solo per download
 - b. 2 utenti amministratori (TIM /CNR)

3. Deduplicazione dei dati
4. Sincronia dei client automatica anche in caso di errori di rete

Al software gratuito di base fornito dalla casa produttrice Dewesoft, in dotazione con i dispositivi di rete acquistati, sono stati aggiunti alcuni plugin necessari per implementare il servizio di auto export e conversione in csv/txt/json dei dati acquisiti e per l'acquisizione in real time con la persistenza/replica degli stessi senza ulteriori interventi sull'architettura di trasmissione preesistente. Questa integrazione ci ha consentito di migrare da un paradigma di cloud computing ad una edge.

Dewesoft X3 è il software di acquisizione dati, registrazione e analisi. Il software ha ricevuto numerosi premi internazionali, è innovativo, facile da usare e ricco di funzionalità.

Le caratteristiche del software sono:

- Architettura 64-BIT
- Interfaccia utente user-friendly.
- display configurabili per soddisfare le esigenze di ogni utente.
- display multi-touch intuitivi ed integrati per la presentazione dei risultati.
- modulo matematico facile da usare e allo stesso tempo meno pesante in termini di prestazioni e presenta algoritmi computazionali avanzati.
- funzionalità e miglioramenti delle prestazioni dell'order-tracking, sound power, FFT, analisi d'ottave, rilevamento involuppo, tempo di riverbero, diagramma orbitale, matematica del sensore angolare e pass-by noise.
- EtherCAT SPEED BOOST: con cui è possibile raggiungere una frequenza di campionamento di 200 kHz/channel.
- teds parallelo: Dewesoft X può leggere i TEDS da tutti i sensori in parallelo.
- firmware e driver per le telecamere

Per i sistemi in tempo reale lo standard Ethernet risulta sovente inefficiente perché resta inutilizzabile una notevole parte della larghezza di banda disponibile.

Le ragioni di questa inefficienza sono:

- solo una piccola quantità di dati viene trasmessa volta per volta.
- i messaggi vengono originati solo quando il dispositivo client o master richiede i dati.

Per superare questi limiti è stato sviluppato il protocollo EtherCAT (Ethernet Control Automation Technology), un protocollo di comunicazione industriale ad alte prestazioni, che amplia lo

standard IEEE 802.3 Ethernet, consentendo il trasferimento dei dati con temporizzazione prevedibile e sincronizzazione precisa.

Con EtherCAT i pacchetti Ethernet non vengono più ricevuti, interpretati, elaborati e copiati in ogni dispositivo. Il protocollo trasporta tutti i dati direttamente all'interno del frame standard Ethernet, senza cambiare la sua struttura fondamentale.

Tuttavia, gli slave EtherCAT possono leggere i dati ad essi indirizzati mentre la frame passa attraverso il device node. Nel contempo si possono inserire i dati d'ingresso provocando un ritardo di solo alcuni nanosecondi. Dato che i frame EtherCAT comprendono i dati provenienti da molti dispositivi che operano sia in modalità trasmittente che ricevente, la cadenza dati utilizzabile aumenta di oltre il 90%. Ciò consente di sfruttare completamente le proprietà full-duplex del 100BaseTX, raggiungendo l'effettiva cadenza dati di >100 Mbit/s. Un altro vantaggio di EtherCAT è che esso supporta l'intera famiglia CANopen ed il profilo drive Sercos. Questo aiuta l'utente a configurare facilmente le reti EtherCAT per la specifica applicazione, modificando i profili di base predefiniti.

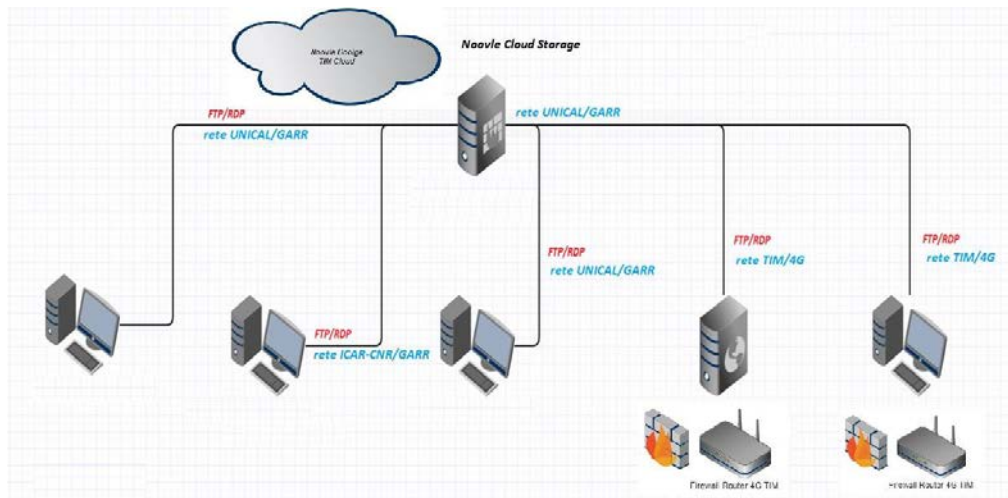
Inoltre, EtherCAT può supportare quasi ogni topologia rendendolo idoneo per una vasta gamma di applicazioni, compresa la topologia a stella standard Ethernet basata sulla commutazione. Ciò lo rende un sistema molto flessibile in termini di cablaggio e si possono facilmente impiegare cavi diversi. Perciò si può prontamente utilizzare la completa larghezza di banda di una rete Ethernet, in combinazione con i commutatori (switch) o convertitori di media. Una considerazione importante allorché siano richieste azioni simultanee in processi largamente distribuiti, è che la temporizzazione di tutti i nodi della rete sia esattamente sincronizzata. Ciò viene ottenuto trasmettendo la temporizzazione dal clock master a tutti i clock slave, ed allineandoli per compensare qualsiasi ritardo utilizzando il metodo di sincronizzazione dei clock distribuiti (IEEE 1588).

Nel raggruppamento EtherCAT, il clock master è situato in un dispositivo slave, dato che il master deve essere deliberatamente mappato dai componenti standard. Tutti i nodi possono essere sincronizzati con un errore inferiore ad 1 ms.

Topologia di rete per l'interscambio degli advertisement

Fermo restando il paradigma utilizzato di tipo edge, ovvero l'elaborazione dei dati strumentali avviene esclusivamente sul nodo di prossimità, il nodo edge, su cui risiede il software di elaborazione

Dewesoft, per garantire la duplicazione dei dati rielaborati e la loro distribuzione tra i vari enti partner di ricerca, è stata progettata la seguente topologia di rete per l'interscambio e la persistenza:

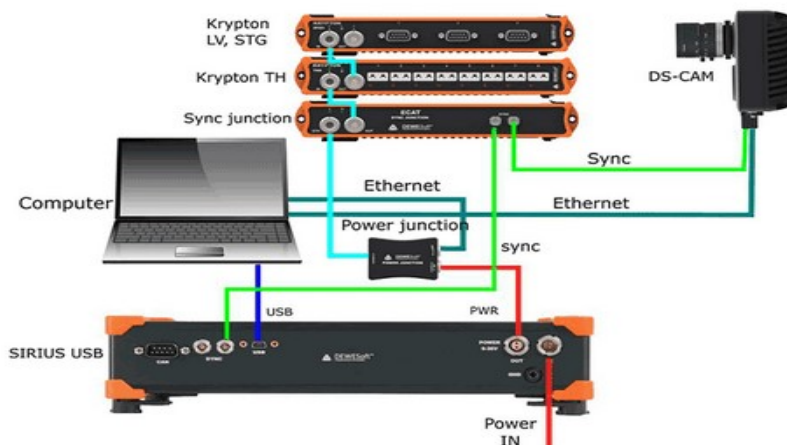


Topologia di rete locale per l'acquisizione dei segnali accelerometrici

La rete di sensori distribuita nell'edificio è stata cablata con architettura ethercat/TCP/IP al fine di garantire un'alta efficienza ed immunità ai disturbi.



Uno schema di cablaggio dei dispositivi utilizzati è il seguente:

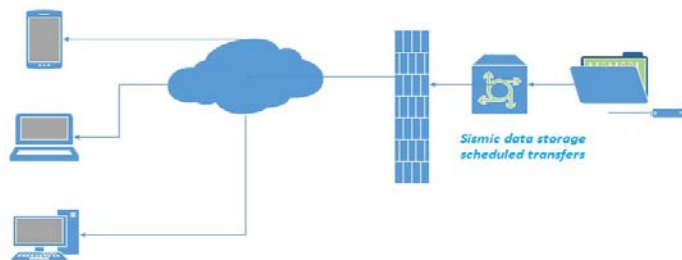


Relativamente alle componenti software, sul nodo edge sono installati i seguenti pacchetti applicativi:

1. DewesoftX Data Acquisition Software Client
2. Plugins:
 - a. Autoexport
 - b. Scripting
 - c. JSON/txt/csv Export tool
 - d. Client Google TIM

Progettazione del campionamento dei dati, politiche di aging e dimensionamento dello storage

Come già anticipato nei paragrafi precedenti, uno dei problemi da risolvere nel monitoraggio continuo di un edificio è la gestione di una grossa mole di dati, che devono essere gestiti, immagazzinati, distribuiti. Il paradigma di edge computing ci aiuta a limitare lo scambio di informazioni sulla rete, ponendo l'elaborazione dei dati grezzi in prossimità dei nodi dove vengono prodotti. Pertanto è stato possibile segmentare la rete di comunicazione in due parti, la rete di condivisione dei dati elaborati dal nodo edge e la rete di acquisizione dei segnali. Le due parti di rete, hanno quindi naturalmente caratteristiche e prestazioni completamente differenti, come abbiamo avuto modo di vedere nelle topologie raffigurate nei paragrafi precedenti.



Oltre al sistema di edge computing, in questo primo prototipo di sistema si è deciso di avere una copia dei dati grezzi anche su cloud al fine di fare ulteriori analisi e verifiche da remoto da parte dei vari centri di calcolo.

Questo scenario applicativo pone delle sfide e richiede una attenta progettazione e dimensionamento delle risorse, sia in termini di banda che di capacità di immagazzinamento dei dati.

Realizzando un campionamento dei segnali a 100Hz e considerando una registrazione per 10 minuti per dispositivo (quindi i tre assi dell'accelerometro) avremo circa 1MB di dati per dispositivo da immagazzinare su nodo edge in formato proprietario. I plugin sviluppati permettono una conversione dei file in formato txt e json che occupano rispettivamente 3,9MB e 5,5MB per ogni dispositivo e per ogni 10 minuti di registrazione.

Per un tempo di registrazione più lungo sarà quindi necessario disporre delle seguenti unità di immagazzinamento:

8 ore a 100 Hz in DXD --> 48 MB (Singolo Sensore)

8 ore a 100 Hz in TXT --> 188 MB (Singolo Sensore)

8 ore a 100 Hz in JSON --> 264 MB (Singolo Sensore)

Singola tornata (8 sensori in formato DXD a 100 Hz) --> 480 MB

Singola tornata (8 sensori in formato TXT a 100 Hz) --> 1504 MB

Singola tornata (8 sensori in formato JSON a 100 Hz) --> 2112 MB

Singola giornata (3 cicli da 8 sensori in formato DXD a 100 Hz [8/16/24]) --> 1440 MB

Singola giornata (3 cicli da 8 sensori in formato TXT a 100 Hz [8/16/24]) --> 4512 MB

Singola giornata (3 cicli da 8 sensori in formato JSON a 100 Hz [8/16/24]) --> 6336 MB

Singola tornata (8 sensori in formato TXT a 100 Hz) -> 1504 MB -> transfer rate 5Mbps -> 41'

Singola tornata (8 sensori in formato JSON a 100 Hz) -> 2112 MB -> transfer rate 5Mbps -> 57'

Singola tornata (8 sensori in formato TXT a 100 Hz) -> 1504 MB -> transfer rate 10Mbps -> 21'

Singola tornata (8 sensori in formato JSON a 100 Hz) -> 2112 MB -> transfer rate 10Mbps -> 30'

Singola tornata (8 sensori in formato TXT a 100 Hz) -> 1504 MB -> transfer rate 15Mbps-> 14'

Singola tornata (8 sensori in formato JSON a 100 Hz) -> 2112 MB -> transfer rate 15Mbps -> 19'

Singola tornata (8 sensori in formato TXT a 100 Hz) -> 1504 MB -> transfer rate 30Mbps -> 7'

Singola tornata (8 sensori in formato JSON a 100 Hz) -> 2112 MB -> transfer rate 30Mbps-> 10'

La politica di aging dei file prodotti andrà stabilita in base al grado di copertura della rete TIM nella stanza scelta per il setup, al momento dell'installazione del sistema, col fine di eliminare o sovrascrivere periodicamente i dati al raggiungimento della soglia di capienza di memoria, prediligendo il principio di obsolescenza.

Gli stessi file verranno trasferiti su cloud TIM/Google pertanto anche in questo caso dovrà essere rispettata una politica di aging per rispettare la capacità di storage messa a disposizione.

L'eliminazione dei file più vecchi di una certa data, onde evitare il riempimento del disco del pc industriale deputato allo stoccaggio dei dati da convertire prima del loro invio su piattaforma cloud è un'operazione fondamentale per il corretto funzionamento dell'architettura.

Windows 10 integra una funzionalità chiamata Sensore memoria che si occupa, tra l'altro, di eliminare i file più vecchi contenuti nel Cestino e nella cartella di sistema Download, disponibile anche nelle precedenti versioni di Windows, un set di strumenti eccellenti per recuperare spazio.

Indipendentemente dalla versione di Windows utilizzata, si può ricorrere all'utilità ForFiles integrata nel sistema operativo per richiedere la cancellazione automatica dei file più vecchi di una certa data.

ForFiles funziona da riga di comando e si rivela particolarmente utile per effettuare modifiche su un ampio numero di file, tutti quelli che rispondono a determinati criteri.

La sintassi prevista per il comando ForFiles è la seguente:

ForFiles /p percorso /m criteri_ricerca [/s] [/c "comando"] [/d [{+-}][{data|giorni}]]

Al posto di percorso si può specificare la cartella sulla quale intervenire mentre criteri ricerca può essere sostituito con una direttiva che specifica la tipologia di file da gestire (ad esempio *.docx).

L'opzione /s permette di intervenire anche sul contenuto delle sottocartelle; /c di eseguire il comando racchiuso tra doppi apici.

Infine, /d consente di specificare una data o un numero di giorni: solo i file più vecchi della data indicata saranno interessati dall'attività richiesta con ForFiles.

Per cancellare i file più vecchi di 60 giorni dalla cartella specificata, basterà impartire il comando seguente:

ForFiles /p "X:\percorso" /s /c "cmd /c del @file /f /q" /d -60

Il comando consentirà l'eliminazione di tutti i file più vecchi di due mesi, compresi quelli con l'attributo di sola lettura, senza richiedere in nessun caso alcuna conferma all'utente.

Un comando come il seguente consente di eliminare soltanto i file prodotti nella giornata odierna:

```
ForFiles /p "X:\percorso" /s /c "cmd /c del @file /f /q" /d 0
```

Per evitare di fare danni, si può sostituire semplicemente il riferimento al comando del con echo. In questo modo si otterrà la lista dei file che saranno eliminati perché più vecchi della data indicata:

```
ForFiles /p "X:\percorso" /s /c "cmd /c echo @path @file" /d -60
```

Come nota finale, è importante osservare che l'utilità ForFiles non supporta i percorsi di rete, a meno che non sia mappata su un'apposita unità logica.

Mediante l'Utilità di pianificazione di Windows, si potrà creare una nuova attività e configurando opportunamente quanto nella scheda Azioni, si potrà richiedere la cancellazione periodica dei file più vecchi nella cartella indicata.

Per richiamare direttamente l'utilità, basterà digitare ForFiles nella casella Programma o script quindi indicare tutto ciò che segue nella casella Argomento.

In alternativa, soprattutto se si dovesse agire su un percorso di rete, basterà creare un file batch (.bat) indicandone quindi il percorso nella casella Programma o script.

Ricorrendo alla scheda Attivazione, si può indicare la periodicità con la quale si desidera fare pulizia della cartella specificata.

The image shows a screenshot of the Windows Task Scheduler 'New Task' dialog box. The dialog is split into two panes: 'Specify the action that will be performed when this task runs' and 'Settings'.
In the left pane, the 'Operation' is set to 'Run a program'. The 'Program or script' field contains 'ForFiles', and the 'Add arguments (optional)' field contains '/p "X:\percorso" /s /c "ci"'.
In the right pane, the 'Start the task' checkbox is checked. The 'Settings' section shows 'Run once' selected. The 'Start' date and time are set to 24/01/2020 at 12:08:57. The 'Advanced Settings' section shows 'Repeat every 1 hour for a duration of 1 day' and 'Stop the task if it runs for more than 3 days'. The 'Start the task' checkbox is checked.

Datasheet accelerometri DEWESoft IOLITEdi 3xMEMS-ACC

A data acquisition device with embedded triaxial MEMS accelerometer, analog-to-digital conversion and EtherCAT interface based on the Dewesoft IOLITEd EtherCAT platform (www.dewesoft.com).

Key features:

- 25 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ noise density
- EtherCAT bus, daisy-chaining with single cable up to 50 m device-device □ DEWESoftX software support



Typical applications:

- Bridge structural monitoring
- Seismic measurements
- Mobile network antenna structural monitoring

IOLITEdi 3xMEMS-ACC is an integrated sensing device. Acceleration is measured by a triaxial MEMS accelerometer inside the device that is tightly attached to the mechanical chassis. Analog to digital conversion is done inside the device, eliminating any noise pick up in analog cabling. Microprocessor inside the device transmits the acceleration samples over EtherCAT protocol into DEWESoft software running on a Windows PC, or alternatively to any controller running EtherCAT master on any platform. Scaling is automatic in DEWESoft software, therefore the data in g or m/s^2 is readily available to the user. MEMS sensor internal temperature is also available as a data channel in DEWESoft software under System monitor channels.

Specifications of the MEMS accelerometer:

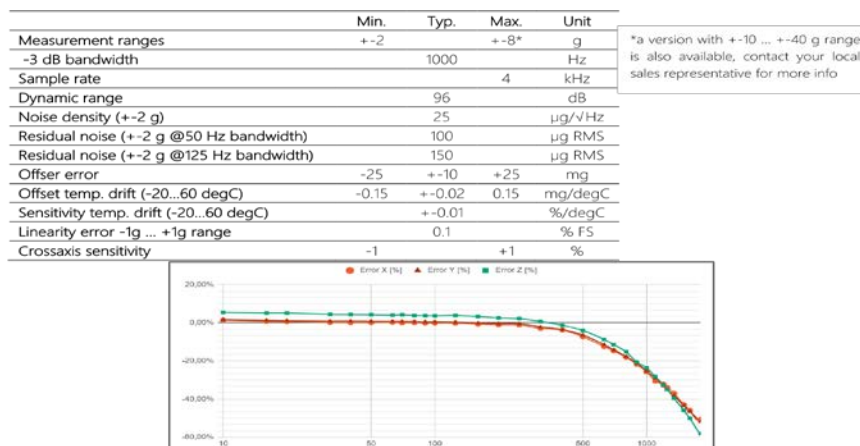


Figure 1 - IOLITEdi 3xMEMS-ACC frequency response (Range: 2g, SR: 4 kS/s)

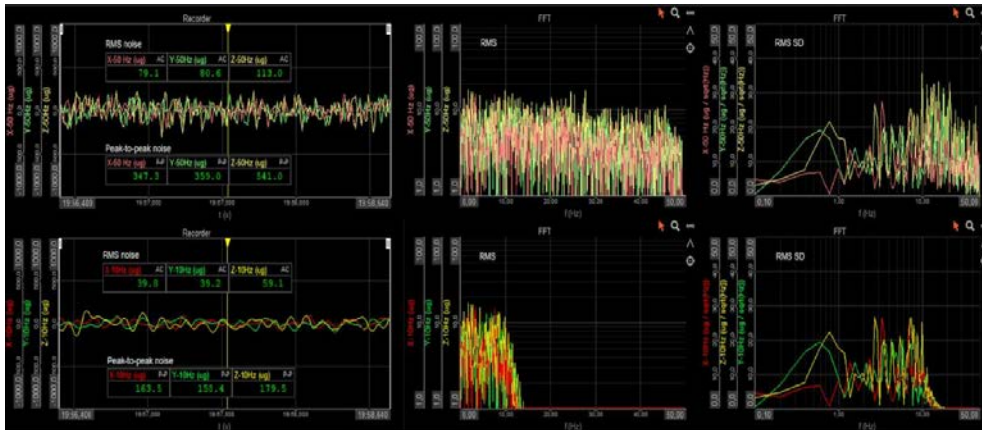


Figure 2 - a typical noise spectrum of all three axes of the DEWESOFT 3xMEMS-ACC. From left to right the plots show: time recorder, FFT (RMS value), FFT (RMS spectral density value). The top section shows noise floor at 50 Hz bandwidth and the bottom section shows the reduced noise when a 12 Hz low pass filter is applied

Synchronization: EtherCAT communication between devices ensures 1 us synchronization between the samples taken from different devices in the chain. The distance between devices does not influence the precision of the synchronization.

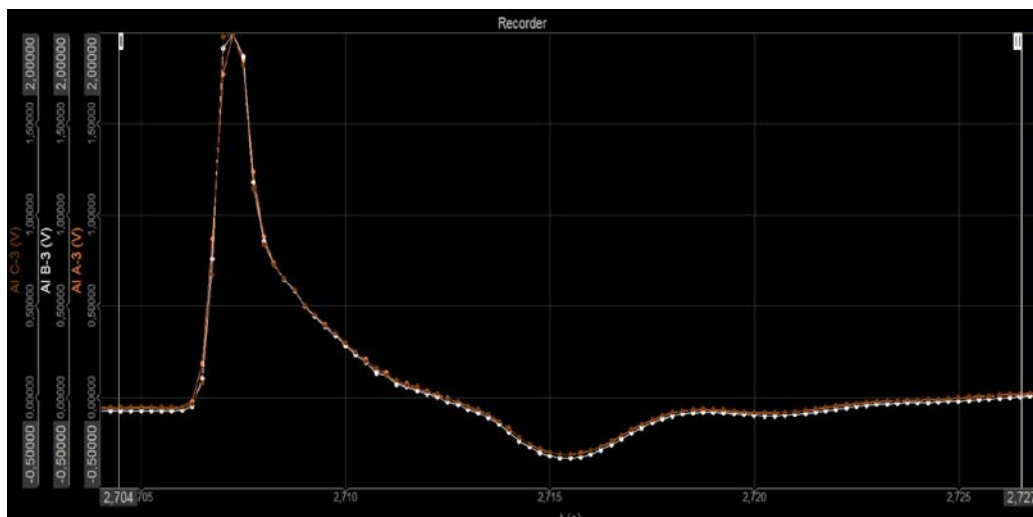


Figure 3 – acceleration data from three 3xMEMS-ACC devices that had 50 m of cable between each of them. Devices were screwed together and excited by a drop test. The data is totally synchronized

Internal temperature sensor: there is an internal temperature sensor mounted inside the device that measures the temperature of the MEMS accelerometer. The readings from the temperature sensor are displayed in Dewesoft software as a System Monitor channel. The values are updated once per second.

General specifications of the IOLITEdi 3xMEMS-ACC device:

Digital interface	EtherCAT
Interface connectors	RJ45
Power consumption	1300 mW
Supply voltage	12-48 V
Operating temperature	-20 ... 65 degC
IP rating	IP20

Weight	105 g
Housing material	Aluminium
Tariff number (HTS)	8471 90 0000
Tested according to	IEC-61010, IEC-61326

Datasheet inclinometro IOLITEdi 3xMEMS-ACC-INC

IOLITEdi 3xMEMS-ACC can be used as a two-axial inclinometer. The requirement needs to be specified at the time of order since additional calibration procedure is required to guarantee the calibrated accuracy of the device. 3xMEMS-ACC can be used to measure the roll and pitch angles (about its X and Y axes) with the Z axis positioned vertically. The angles must be calculated in software, consult DEWESOFT support for providing the software setups.

Inclinometer specifications	
Measurement range	+/-15 deg
Resolution	0.001 deg
Relative accuracy (23 degC)	0.01 deg

Datasheet accelerometro per esterno IOLITEdi 3xMEMS-ACC-W

IOLITEdi 3xMEMS-ACC can be supplied in a waterproof aluminium enclosure with cable glands. The enclosure is designed to be mounted outdoor. Cables are to be inserted through the cable glands at the installation location and crimped to the male RJ45 connectors. Female RJ45 connector of the 3xMEMS-ACC are located inside the waterproof enclosure. The top lid is to be fixed to the enclosure using an O-ring seal and four bolts after the connectors are mated.

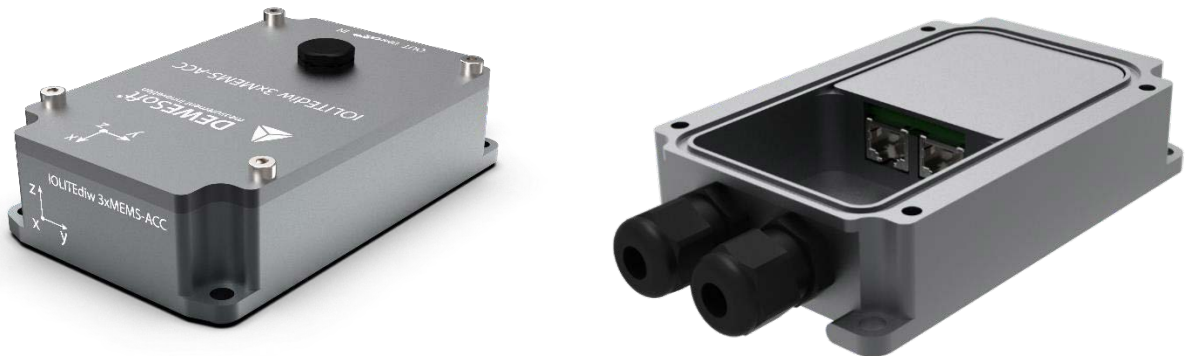


Figure 4 - IOLITEdi 3xMEMS-ACC-w option - outdoor enclosure

The outdoor enclosure automatically vents air to equalize pressure inside the enclosure to the outside air pressure while it does not allow water to pass into the enclosure. This prolongs the life span of the seal and increases durability of the enclosure.

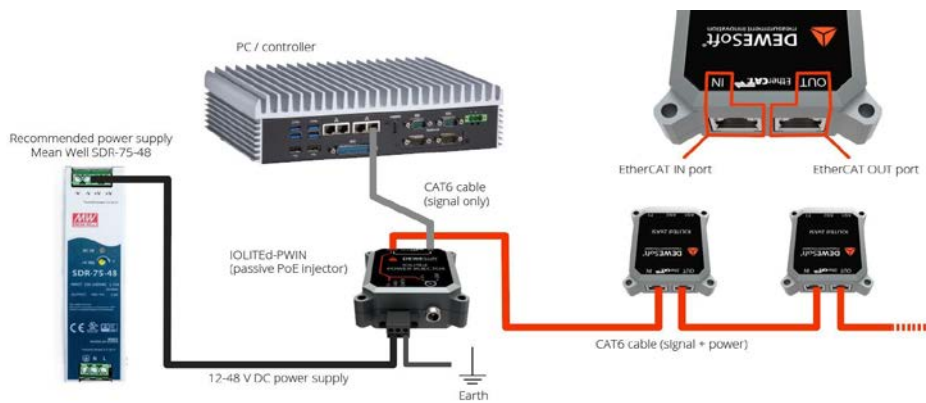
Software support

1. DewesoftX – the IOLITEdi 3xMEMS-ACC is automatically recognized by the DewesoftX software. Device settings such as measurement range and sample rate are easily configured with the user interface. DewesoftX offers limitless possibilities of synchronized data acquisition, display, recording, mathematics, post-analysis and data export.
2. Any standard EtherCAT master – the IOLITEdi 3xMEMS-ACC is a standard EtherCAT slave and can therefore be connected to any EtherCAT master controller (Beckhoff TwinCAT, NI Labview, Simulink RT, Acontis etc.).

Hardware Installation

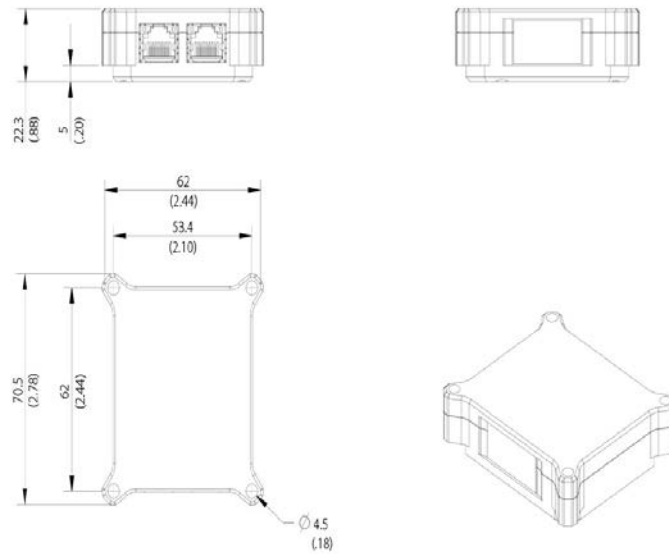
Devices are daisy chained with a standard network cable. It is recommended that the cable is shielded (SFTP, CAT5e) and has a minimum 24 AWG wire thickness. The cable must have 4 wire pairs. The maximum distance node-to-node is 50 m.

Power supply: Passive PoE power injector is necessary for merging the EtherCAT signal and power into a single cable.

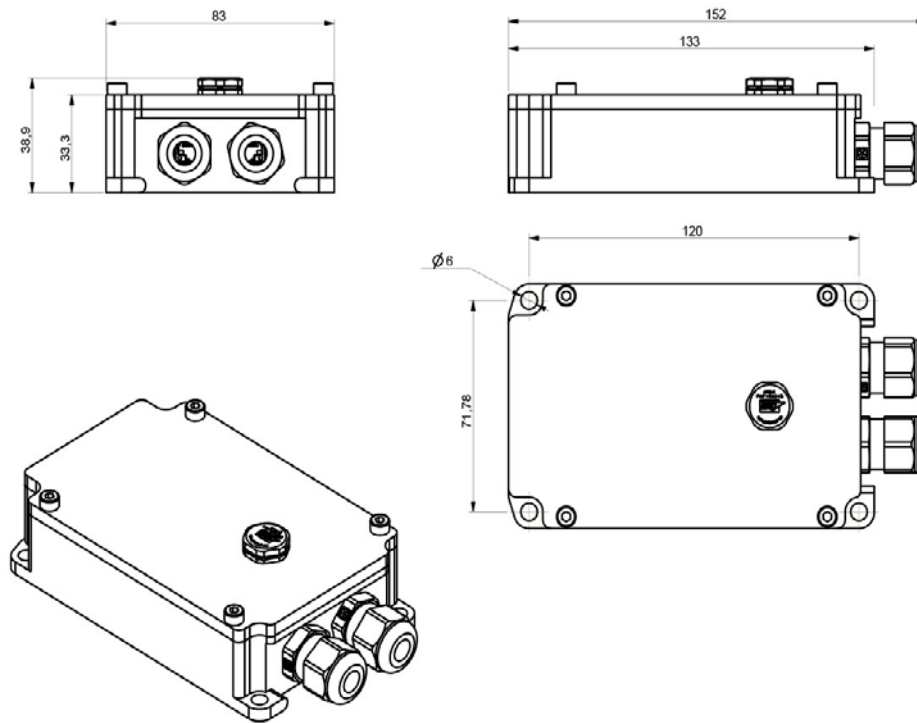


Power supply voltage	Cable length device-to-device	Cable size	Max. number of devices from a single power supply
24 V	1 m	AWG 24	8
24 V	50 m	AWG 24	4
48 V	1 m	AWG 24	12
48 V	50 m	AWG 24	10

Mechanical drawing - IOLITEdi 3xMEMS-ACC



Mechanical drawing - IOLITEdi 3xMEMS-ACC-w



Product Warranty Statement

DEWESOFT d.o.o. (DEWESOFT) warrants its products to be free of defects in materials and workmanship, under normal use and service for a period of 24 months from date of purchase. If the unit should malfunction, it must be returned to the factory for evaluation, freight prepaid. Upon examination by DEWESOFT, if the unit is found to be defective, it will be repaired or replaced at no charge. However, the WARRANTY is VOID if the unit shows evidence of having been tampered

with or shows evidence of being damaged as a result of excessive corrosion or current, heat, moisture or vibration, improper specification, misapplication, misuse or other operating conditions outside of DEWESOFT's control. Components which wear, or which are damaged by misuse, are not warranted.

DEWESOFT manufactures scientific instruments whose misuse is potentially dangerous. The instruments are intended to be installed and used only by qualified personnel. There are no warranties except as stated herein. There are no other warranties, expressed or implied, including but not limited to the implied warranties of merchantability and of fitness for a particular purpose. DEWESOFT is not responsible for any damages or losses caused to other equipment, whether direct, indirect, incidental, special or consequential, which the purchaser may experience as a result of the installation or use of the product. The buyer's sole remedy for any breach of this agreement by DEWESOFT or any breach of any warranty by DEWESOFT shall not exceed the purchase price paid by the purchaser to DEWESOFT for the unit or units, or equipment directly affected by such breach. Under no circumstances will DEWESOFT reimburse the claimant for loss incurred in removing and/or reinstalling equipment.

Every precaution for accuracy has been taken in the preparation of manuals and/or software, however, DEWESOFT neither assumes responsibility for any omissions or errors that may appear nor assumes liability for any damages or losses that result from the use of the products in accordance with the information contained in the manual or software. Interpretation and use of the measurement data obtained by DEWESOFT products is at the user's sole discretion. DEWESOFT is not in any way responsible for the analysis and conclusions drawn upon the measured data.