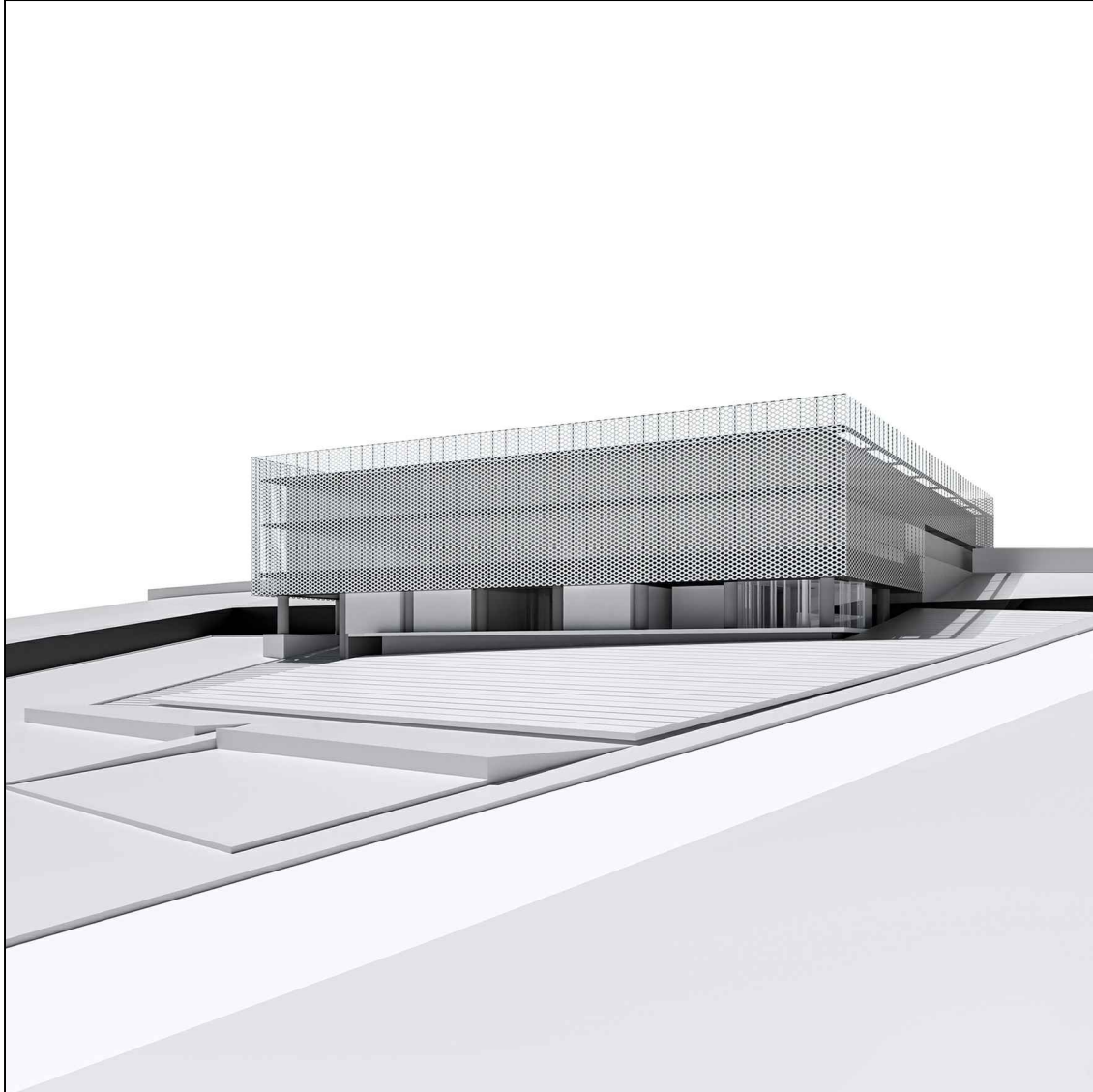


Comune di Camerino
CRU_CENTRO RICERCA UNIVERSITARIA
Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n.489 / 2017 art.6

PROGETTO ESECUTIVO



UNIVERSITA' DI CAMERINO
SAAD

Scuola di Ateneo
Architettura e Design "E. Vittoria"

Responsabile Unico del Procedimento:
Ing. Gian Luca Marucci

Coordinamento Progetto:
prof. Luigi Coccia
prof. Graziano Leoni

Progettazione Architettonica:
prof. Luigi Coccia
prof. Marco D'Annunziis

Progettazione Strutturale:
prof. Andrea Dall'Asta
ing. Stefano Pasquini

Progettazione Impiantistica:
ing. Matteo Massaccesi

Monitoraggio e sensoristica
Prof. Alessandro Zona

Consulenza Geologica:
dott. Giuseppe Capponi

Consulenza Geotecnica:
ing. Michele Morici

Progettazione del verde:
arch. Sara Cipolletti
arch. Alessandro Gabbianelli

Collaboratori:
arch. Alessandro Caioni
dott. Jacopo Di Antonio
ing. Laura Gioiella
ing. Fabio Micozzi
arch. Fabio Scarpecci

ELABORATO:
D R 0 5 (0)

relazione sul sistema di
monitoraggio

15.12.2018

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 1 di 19

SOMMARIO	1
1 INTRODUZIONE	2
2 QUADRO COMPLESSIVO DEL MONITORAGGIO STRUTTURALE PREVISTO	3
3 PROVE DI MONITORAGGIO IN FASE DI COSTRUZIONE E PRE-OPERAZIONALE	5
4 PROVE DI MONITORAGGIO IN FASE OPERAZIONALE	6
5 IL SISTEMA DI MONITORAGGIO TEMPORANEO	7
6 IL SISTEMA DI MONITORAGGIO PERMANENTE	10
7 CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO PERMANENTE	15
8 STIMA DEI COSTI	18
RIFERIMENTI	19

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 2 di 19

1 INTRODUZIONE

La registrazione sperimentale del comportamento strutturale di una costruzione ha un ruolo molto importante sotto diversi punti di vista legati alla progettazione, al collaudo, alla garanzia della sicurezza e al suo mantenimento nel tempo. Questi aspetti sono tanto più importanti quanto più la costruzione usi soluzioni strutturali e dispositivi non convenzionali, oppure quanto più la costruzione si trovi in ambienti che possono impegnarla in modo rilevante o produrre condizioni nelle quali la risposta strutturale possa essere non facilmente prevedibile con adeguata accuratezza.

Il monitoraggio strutturale in fase di costruzione permette, infatti, di calibrare in modo molto più accurato di quanto sia possibile fare impiegando metodi di modellazione avanzata basati sulle sole informazioni deducibili delle prove sui materiali adottati. In aggiunta, il monitoraggio, se mantenuto attivo in modo permanente, permette di avere sotto stretto controllo la costruzione nelle sue condizioni che vanno dalle normali fasi operazionali a situazioni di rilevante impegno strutturale. Ciò consente, in tempo pressoché reale, di conoscere la condizione della costruzione. Tale informazione è utile per attivare interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, e soprattutto, è indispensabile per valutare il livello di sicurezza in modo da poter prendere decisioni informate e oggettive sull'utilizzo della costruzione in condizioni critiche, ad esempio immediatamente dopo un terremoto, come luogo strategico per la gestione dell'emergenza.

La scelta di dotare una struttura con un ruolo funzionale e strategico, oltre che di rilevante valenza nel processo di ricostruzione e ritorno alla piena funzionalità di una comunità colpita dal terremoto, rappresenta quindi una forma di investimento conveniente, anche in relazione ai costi relativamente bassi di installazione e operatività che un sistema di monitoraggio ha in rapporto ai costi di realizzazione della costruzione stessa. Il sistema di monitoraggio diventa quindi un'efficiente forma di protezione e garanzia dell'investimento fatto dalla comunità per la realizzazione di una costruzione.

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 3 di 19

2 QUADRO COMPLESSIVO DEL MONITORAGGIO STRUTTURALE PREVISTO

La costruzione in esame sarà oggetto di monitoraggio strutturale sia nella fase di realizzazione, sia nella successiva vita operativa. Il primo monitoraggio avverrà a opere strutturali ultimate (fondazioni, isolatori e strutture in elevazione) e si adotterà una strumentazione temporanea basata sull'utilizzo di accelerometri di tipo piezometrico ad alta sensibilità. Parallelamente ai successivi lavori di completamento della costruzione, si procederà con l'installazione un sistema di monitoraggio permanente basato su accelerometri a bilanciamento di forza e trasduttori di spostamento, questi ultimi collocati per registrare gli spostamenti orizzontali in corrispondenza del piano di isolamento. Il sistema di monitoraggio strutturale permanente includerà anche una postazione accelerometrica fuori dall'edificio per la registrazione di eventi sismici in condizioni di campo libero. La Tabella 1 elenca le fasi costruttive che saranno monitorate, il relativo sistema di monitoraggio impiegato, la descrizione sintetica delle modalità di prova e dei relativi obiettivi.

Tabella 1. Schema delle fasi di monitoraggio strutturale previste e relativi obiettivi

Fase costruttiva	Strumentazione	Modalità di prova	Obiettivo
Completamento strutture	Temporanea	Misure accelerometriche per input ambientale di bassa energia	<ul style="list-style-type: none"> - Valutazione sperimentale della rigidità effettiva del sistema struttura-isolamento; - Validazione e calibrazione accurata del modello struttura-isolamento utilizzato in fase di progetto; - Valutazione sperimentale dell'efficacia delle posizioni di misura previste per il sistema di monitoraggio permanente e loro possibile revisione.
Completamento costruzione	Permanente	Misure accelerometriche per input ambientale di bassa energia	<ul style="list-style-type: none"> - Valutazione sperimentale della rigidità effettiva del sistema struttura-isolamento completo degli elementi non strutturali; - Calibrazione accurata del modello struttura-isolamento completo di elementi non strutturali.
Completamento costruzione	Permanente	Misure accelerometriche e di spostamento nella prova di spinta	<ul style="list-style-type: none"> - Valutazione sperimentale dello smorzamento effettivo e della rigidità del sistema struttura-isolamento completo degli elementi non strutturali nelle condizioni di progetto; - Calibrazione accurata del modello struttura-isolamento completo di elementi non strutturali in condizioni di progetto.
Costruzione	Permanente	Misure accelerometriche e	<ul style="list-style-type: none"> - Controllo periodico programmato delle

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria <i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	RELAZIONE TECNICA
		Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 4 di 19

operativa		di spostamento in condizioni operazionali attivate in base ad un programma periodico	condizioni della costruzione (struttura, isolatori e giunti).
Costruzione operativa	Permanente	Misure accelerometriche e di spostamento attivate per superamento di una soglia di risposta (a causa di terremoti o vento forte)	<ul style="list-style-type: none"> - Controllo della struttura in condizioni di impegno strutturale sismico e non sismico con valutazione dell'efficienza del sistema di isolamento; - Registrazione dell'input sismico triassiale alla base delle fondazioni; - Registrazione dell'input sismico triassiale in condizioni di campo libero.

Il sistema di monitoraggio e il sistema di prova per spinta devono essere previste già in fase di progetto della costruzione perché richiedono la predisposizione di dettagli strutturali ed impiantistici nonché di sistemi di contrasto che non possono essere introdotti nella fase realizzativa o a costruzione ultimata, se non affrontando costi elevati e rallentamento dei lavori.

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 5 di 19

3 PROVE DI MONITORAGGIO IN FASE DI COSTRUZIONE E PRE-OPERAZIONALE

Il programma delle prove comprende due prove di identificazione dinamica a basso livello di energia e una prova di spinta e rilascio della parte al di sopra del piano di isolamento con livelli di spostamento simili a quelli di progetto.

Per quanto riguarda le prove di identificazione dinamica, una prima prova verrà effettuata durante la costruzione, una volta ultimata la parte strutturale. Lo scopo della prova è di identificare le effettive caratteristiche complessive di rigidità e massa del sistema struttura-isolamento, valutare a posteriori l'affidabilità dei modelli previsionali adottati in fase progettuale e valutare l'efficacia della disposizione dei sensori previsti per il sistema di monitoraggio descritto in seguito. Se necessario, si provvederà ad una revisione dei modelli e del posizionamento dei sensori. La seconda prova dinamica sarà realizzata una volta completata la costruzione e servirà a caratterizzare l'effettiva risposta sismica e il contributo di rigidità e massa fornito dall'insieme degli elementi non strutturali. Le misurazioni della seconda prova saranno effettuate utilizzando il sistema di monitoraggio permanente. Le prove si basano sulla risposta alle vibrazioni ambientali e forniranno informazioni sul comportamento in esercizio.

Il quadro conoscitivo restituito dalle prove dinamiche è completo, nel senso che fornisce informazioni sulla risposta a qualunque input, ma è limitato alla caratterizzazione a bassi livelli di energia. La conoscenza della risposta in situazioni simili a quelli che si possono manifestare nel caso di evento sismico disastroso è affidata alla prova di spinta, descritto nella relativa relazione. Il sistema di spinta sarà alloggiato in una nicchia all'interno della parete lato monte e permetterà la realizzazione della prova in sicurezza, utilizzando l'opera di sostegno come struttura di contrasto. Sopra la nicchia sarà disposto un pannello. La parte superiore della nicchia sarà rimovibile e carrabile e ne consentirà l'uso e la manutenzione, il sistema potrà essere utilizzato per verifiche successive della funzionalità dell'insieme, utile per un controllo delle prestazioni nel caso di sostituzioni di dispositivi o modifiche di massa o rigidità legate a variazioni della destinazione d'uso.

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 6 di 19

4 PROVE DI MONITORAGGIO IN FASE OPERAZIONALE

La costruzione sarà equipaggiata con un sistema di monitoraggio strutturale permanente in grado di fornire informazioni in continuo, accessibili da remoto. Gli obiettivi del sistema sono molteplici. Le misurazioni in continuo, o comunque ad intervalli regolari, permettono un controllo periodico della costruzione e rendono possibile una diagnosi tempestiva di eventuali fenomeni di degrado di varia natura (variazioni di rigidità, cedimenti di fondazione). Il sistema sarà dotato di un dispositivo di soglia che provvederà alla registrazione del segnale nel caso di eventi improvvisi di intensità significativa, quali eventi sismici, venti estremi, rotture locali o altre cause di picchi di risposta. Questo renderà possibile la ricostruzione, immediata e a distanza, delle condizioni della costruzione a seguito di un evento e permetterà di decidere tempestivamente se la costruzione può essere considerata operativa o se sono necessarie azioni di controllo e ripristino. Le informazioni saranno anche a disposizione della Protezione Civile e contribuiranno alla pianificazione di eventuali azioni in fase di emergenza. Il sistema di monitoraggio sarà costituito da sensori accelerometrici e da sistema di misura degli spostamenti localizzati in modo da permettere una ricostruzione completa della cinematica della costruzione. Fanno parte del sistema le centraline di raccolta ed elaborazione dei dati e le canalizzazioni integrate nel sistema impiantistico.

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 7 di 19

5 IL SISTEMA DI MONITORAGGIO TEMPORANEO

Il sistema di monitoraggio che sarà utilizzato nella prima fase (opere strutturali completate) è quello in dotazione all'Università di Camerino, Laboratorio di Rilievo, Restauro ed Ingegneria Strutturale, Scuola di Architettura e Design. Il sistema è basato su accelerometri uniassiali di tipo piezoelettrico ad elevata sensibilità e centralina di acquisizione dati ad alta risoluzione da connettere a computer portatile. Dettagli sui componenti e relative specifiche tecniche essenziali sono elencate qui di seguito.

Tabella 2. Scheda tecnica componenti monitoraggio temporaneo

Componente: accelerometro	
Produttore: PCB Piezotronics (USA)	
Modello: 393B31	
<p>Principali caratteristiche</p> <p>Seismic, high sensitivity, ceramic flexural ICP® accel., 10 V/g, 0.1 to 200 Hz, 2-pin top conn.</p> <p>Sensitivity: ($\pm 5\%$) 10.0 V/g (1.02 V/(m/s²))</p> <p>Broadband Resolution: 0.000001 g rms (0.000009 m/s² rms)</p> <p>Measurement Range: 0.5 g pk (4.9 m/s² pk)</p> <p>Frequency Range: ($\pm 5\%$) 0.1 to 200 Hz</p> <p>Electrical Connector: 2-Pin MIL-C-5015</p> <p>Sensing Element: Ceramic</p> <p>Sensing Geometry: Flexural</p> <p>Housing Material: Stainless Steel</p> <p>Sealing: Hermetic</p> <p>Size – Diameter: 57.2 mm</p> <p>Size – Height: 71.1 mm</p> <p>Weight: 635 g</p>	

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 8 di 19

Tabella 3. Scheda tecnica componenti monitoraggio temporaneo



Componente: convertitore analogico/digitale	
Produttore: National Instruments (USA)	
Modello: NI 9234	
<p>Principali caratteristiche</p> <p>51.2 kS/s per channel maximum sampling rate; ± 5 V input 24-bit resolution; 102 dB dynamic range; anti-aliasing filters Software-selectable AC/DC coupling; AC-coupled (0.5 Hz) Software-selectable IEPE signal conditioning (0 mA or 2 mA) Transducer Electronic Data Sheet smart sensor compatibility -40 °C to 70 °C operating, 5 g vibration, 50 g shock</p> <p>Number of channels 4 analog input channels ADC resolution 24 bits Type of ADC Delta-Sigma (with analog prefiltering) Sampling mode Simultaneous Type of TEDS supported IEEE 1451.4 TEDS Class I Weight 173 g</p>	

Tabella 4. Scheda tecnica componenti monitoraggio temporaneo

Componente: sincronizzazione e interfaccia	
Produttore: National Instruments (USA)	
Modello: cDAQ-9178	
<p>Principali caratteristiche</p> <p>Input FIFO size 127 samples per slot Timing accuracy 50 ppm of sample rate Timing resolution 12.5 ns Maximum update rate, onboard regeneration 1.6 MS/s (multi-channel, aggregate) Dimensions (unloaded) 254.0 mm × 88.1 mm × 58.9 mm Weight (unloaded) Approx. 878 g</p>	

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria <i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	RELAZIONE TECNICA
		Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 9 di 19


La dotazione attuale dell'Università di Camerino consiste in dieci accelerometri, quattro convertitori A/D per un totale di dodici canali di acquisizione simultanea, una unità di sincronizzazione ed interfaccia. Il sistema è controllato via computer portatile per mezzo del software Signalexpress prodotto dalla National Instruments (USA). Il software permette la configurazione dei canali e la memorizzazione delle registrazioni accelerometriche su hard disk. Il post-processing delle registrazioni accelerometriche è invece affidato ad applicativi sviluppati in ambiente Matlab (Mathworks). Si valuterà al momento del progetto di dettaglio delle prove, l'eventuale necessità di espansione o aggiornamento del sistema in dotazione.

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 10 di 19

6 IL SISTEMA DI MONITORAGGIO PERMANENTE

Il sistema di monitoraggio che verrà installato sulla costruzione per le successive prove previste in fase di costruzione e che rimarrà permanentemente attivo è basato su accelerometri e centraline di acquisizione specificatamente concepiti per lo scopo e prodotti dalla GeoSIG (Svizzera). La scelta è stata condizionata sia dagli aspetti tecnici che ben si adattano all'applicazione in oggetto, sia al fatto che gli stessi componenti siano stati utilizzati in altri sistemi di monitoraggio permanente facenti parte della rete della Protezione Civile. Dettagli sui componenti e relative specifiche tecniche essenziali sono elencate qui di seguito.

Tabella 5. Scheda tecnica componenti monitoraggio permanente

Componente: accelerometro biassiale digitale	
Produttore: GeoSIG (Svizzera)	
Modello: AC-72D	
<p>Principali caratteristiche</p> <p>Type: True Electro-mechanical Force Balance Accelerometer</p> <p>Dynamic Range: 165 dB (bin rel. full range) 156 dB (bin rel. full scale rms) 134 dB (0.02 – 50 Hz, integrated PSD)</p> <p>Bandwidth: DC to 200 Hz</p> <p>Damping: 0.7 ±0.1 critical</p> <p>Hysteresis: < 0.001 % of full scale</p> <p>Sensitivity: 2.5 to 20 V/g</p> <p>Housing Type: Cast aluminium</p> <p>Housing Size: 195 x 112 x 96 mm</p> <p>Weight: 3.0 kg</p> <p>Index of Protection: IP 65</p>	

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 11 di 19

Tabella 6. Scheda tecnica componenti monitoraggio permanente


Componente: accelerometro triassiale digitale	
Produttore: GeoSIG (Svizzera)	
Modello: AC-73D	
<p>Principali caratteristiche</p> <p>Type: True Electro-mechanical Force Balance Accelerometer</p> <p>Dynamic Range: 165 dB (bin rel. full range) 156 dB (bin rel. full scale rms) 134 dB (0.02 – 50 Hz, integrated PSD)</p> <p>Nonlinearity: < 0.1 %</p> <p>Cross Axis Sensitivity: < 0.5 %</p> <p>Bandwidth: DC to 200 Hz</p> <p>Damping: 0.7 ±0.1 critical</p> <p>Offset Drift: 0.0005 g / °C</p> <p>Span Drift: 200 ppm / °C</p> <p>Full Scale OutputNAD: 0 ±10 V differential (20 Vpp)</p> <p>Hysteresis: < 0.001 % of full scale</p> <p>Sensitivity: 2.5 to 20 V/g</p> <p>Housing Type: Cast aluminium</p> <p>Sealed access cover</p> <p>Housing Size: 195 x 112 x 96 mm</p> <p>Weight: 3.0 kg</p> <p>Index of Protection: IP 65</p>	

Tabella 7. Scheda tecnica componenti monitoraggio permanente

Componente: acquisizione e registrazione	
Produttore: GeoSIG (Svizzera)	
Modello: GMSplus	
<p>Principali caratteristiche</p> <p>Digitizer</p>	

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 12 di 19

Channels: 3 or 6 optionally up to 15 using AC-7xd digital sensors

A/D conversion: 24 bit D-S converters individual for each channel

DSP: 32 bit output word length

Dynamic range: 146 dB (per bin @ 1 Hz rel. full scale rms) 137 dB @ 50 sps

Sampling rate: 1000**, 500, 250, 200, 100, 50 sps per channel

Max. bandwidth: DC to 250 Hz, optionally DC to 500 Hz

Anti Aliasing Filter: Analog and digital FIR (finite impulse response)

CPU

Processor: ARM 400 MHz

RAM: 128 MByte

Operating System: GNU/Linux

Triggering

Several Trigger Sets can be defined in the instrument. Each set can be flexibly configured regarding the source of trigger, main and advanced trigger parameters, trigger processing and selected channels for storage. A voting logic based on the monitored channels can be defined.

Trigger Filter

Fully independent high-, low- or bandpass trigger filters can be configured.

Level Triggering

User adjustable threshold.

STA/LTA Triggering

User adjustable STA / LTA values and STA/LTA trigger and dettrigger ratio.

Event Recording

Pre-event memory: 1 to 720 seconds, typical

Post-event duration: 1 to 7200 seconds, typical

Event Summary and Parameters

Content: PGA, PGV, PGD, SA (at 0.3, 1, 3 Hz)

Transmission delay: User defined from trigger time

Ring Buffer

Usage: User can request an event from any period of the ring buffer by specifying the start time/date and the

duration from the console or remotely from a server.

Method: Ringbuffer files with configurable duration which can be uploaded automatically to data server.

Data Stream

Protocol/Compatibility: GSBU, SeedLink, compatible to Earthworm

Storage Memory

Size and Type: 8 GByte Removable SD Card,

Management: Intelligent management of memory card capacity using policies as per file type and ring buffer

capacity specification.

Recording format: miniSEED with extended information encapsulated into blockette 2000

Estimated Capacity: Sampling rate [sps] x 0.4 [MB / day / 3 channel] (example: 40 MByte / day / 3

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 13 di 19

<p>channel @ 100 sps) typical, since the data is compressed, capacity depends on the context of the data.</p> <p>Environment / Reliability</p> <p>Operational temperature: -20 to +70 °C*</p> <p>Storage temperature: -40 to +85 °C*</p> <p>Humidity: 0 to 100 % RH (non condensing)</p> <p>MTBF: > 500'000 hours</p> <p>Housing</p> <p>Type: Cast aluminium housing</p> <p>Size: 296 x 175 x 140 mm (W x D x H)</p> <p>Size with base plate: 296 x 225 x 156 mm (W x D x H)</p> <p>Weight: 4.7 kg (optional < 4 kg)</p> <p>0.3 kg internal sensor, 2.6 kg battery,</p> <p>1.3 kg base plate, ask for other options</p> <p>Protection: IP65 (NEMA 4), optionally IP67 (NEMA 6)</p>

Tabella 8. Scheda tecnica componenti monitoraggio permanente

Componente: ricevitore	
Produttore: GeoSIG (Svizzera)	
Modello: GMS-GPS	
<p>Principali caratteristiche</p> <p>Receiver Differential-ready 12 parallel channel receiver tracks and uses up to twelve satellites to compute and update.</p> <p>Cable 20 m standard, up to 70 m possible</p> <p>Antenna Built in</p> <p>Size 80 mm x 160 mm x 60 mm</p> <p>Weight 200 g, not including cable</p> <p>Operating Temperature -30°C to +80°C (internal temperature)</p> <p>Storage Temperature -40°C to +80°C</p> <p>Index of Protection IP 65</p>	

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 14 di 19

Tabella 9. Scheda tecnica componenti monitoraggio permanente


Componente: espansione canali analogici	
Produttore: GeoSIG (Svizzera)	
Modello: SEN-JB-GMS	
Principali caratteristiche Junction box to allow for up to 1000 m sensor cable length Full overvoltage protection Incl. stabilized and insulated 15 DVC supply to sensor Suitable for up to 3 channels IP65 watertight	



Figura 1. Esempio di collegamento tra gli accelerometri digitali e la centralina di acquisizione.

Si evidenzia che il collegamento tra gli accelerometri e la centralina avviene nel dominio digitale secondo una sequenza in serie come illustrato nella figura sottostante. Il collegamento tra i trasduttori di spostamento e la centralina di acquisizione avviene invece nel dominio analogico. Ogni centralina accetta fino a quattro accelerometri (collegamento in serie come mostrato in Figura 1) e un canale analogico.

In aggiunta ai componenti mostrati, saranno inclusi nel sistema quattro trasduttori di spostamento analogici, possibilmente di tipo Linear Variable Displacement Transducer (LVDT) oppure a trascinamento magnetico, in ogni caso aventi una corsa compatibile con la corsa di progetto degli isolatori.

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 15 di 19

7 CONFIGURAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO PERMANENTE

Il sistema di monitoraggio permanente è stato configurato in modo da permettere la ricostruzione della cinematica dei piani (assunti come diaframmi rigidi nel proprio piano coerentemente con la loro geometria e configurazione strutturale). Allo scopo occorrerebbero tre misure accelerometriche per ogni piano (due in una stessa direzione in punti diversi e una terza nella direzione ortogonale. Integrando le accelerazioni si otterrebbero in seguito velocità e spostamenti di piano. Tuttavia, si è preferito avere una ridondanza delle misure al fine di garantire una maggior precisione nelle successive elaborazioni numeriche, scegliendo due misure per ciascuna delle due direzioni ortogonali in due punti distinti per ogni piano, opzione tra l'altro facilmente realizzabile con il sistema scelto tramite l'utilizzo di accelerometri digitali biassiali piani (AC-72D).

Inoltre, benché teoricamente non strettamente necessario ai fini della ricostruzione cinematica dell'edificio, sono stati previsti quattro trasduttori di spostamento per misurare, in corrispondenza di due distinti isolatori, gli spostamenti sviluppati in due direzioni orizzontali ortogonali. Gli spostamenti sono infatti ottenibili tramite doppia integrazione degli spostamenti di piano. Va però considerato che gli spostamenti degli isolatori possono essere attivati anche in condizioni di bassa accelerazione, come ad esempio in caso di pressione del vento con deboli variazioni nel tempo. Pertanto, allo scopo di avere una maggior affidabilità nella valutazione dell'importante parametro di risposta strutturale qual è il moto rigido al livello dell'isolamento e un raffronto tra spostamenti determinati direttamente e tramite integrazione diretta, valutato inoltre il modesto incremento di costo relativo nell'introduzione dei trasduttori di spostamento richiesti, si è deciso di includere tale possibilità nel sistema di monitoraggio permanente. Inoltre, in questo modo diventa possibile attivare il sistema di registrazione e una eventuale allerta, non solo in base ad una soglia dell'accelerazione misurata, ma anche in funzione di una soglia di spostamento prefissata.

In aggiunta al monitoraggio della costruzione sugli isolatori, è stato previsto anche il monitoraggio delle accelerazioni alla base (piano delle fondazioni), quindi al di sotto del piano di isolamento, tramite un accelerometro triassiale (componente verticale e due componenti orizzontali ortogonali) che permetta di caratterizzare l'input sismico, come avviene in altre strutture monitorate in modo permanente nella rete della Protezione Civile.

Come ulteriore utile risorsa per la comprensione di quanto possa accadere in caso di terremoti, si è inoltre deciso di integrare nel sistema di monitoraggio permanente anche una stazione di misura delle accelerazioni in condizioni di campo libero, da realizzare ad adeguata distanza

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 16 di 19

dall'edificio in esame. Questo obiettivo viene raggiunto con un ulteriore accelerometro triassiale, da collegare in serie a quello presente in fondazione.

Riassumendo, la richiesta in termini di punti di misura prevede due accelerometri biassiali per piano (quindi in totale sei accelerometri biassiali) e due accelerometri triassiali (per un totale complessivo di otto accelerometri). A ciò si aggiungono quattro trasduttori di spostamento. Pertanto sono necessarie due centraline GMSplus collegate tra di loro per la sincronizzazione delle registrazioni. A ciascuna centralina competeranno quattro accelerometri, ad una competeranno tre trasduttori di spostamento (tramite espansione del singolo canale analogico) e all'altra centralina il quarto trasduttore di spostamento. Lo schema complessivo del sistema di monitoraggio permanente è riportato nella Figura 2 nella quale sono evidenziati i moduli adottati e la topologia dei collegamenti.

A proposito dell'attivazione del sistema di monitoraggio in funzione di soglie della risposta, è opportuno metterne in evidenza il funzionamento. Le centraline sono sempre attive ed alimentano gli accelerometri che forniscono loro con continuità le accelerazioni misurate. Al momento del superamento della soglia di attivazione, le centraline iniziano a registrare l'evento recuperando da una memoria buffer i 20 s (o altra durata configurabile) precedenti all'istante di raggiungimento della soglia che ha determinato l'attivazione. La registrazione continua anche in assenza di alimentazione elettrica tramite una batteria con autonomia di 7 ore (realizzata da GeoSIG su specifiche della Protezione Civile) in grado di alimentare centraline e accelerometri, interrompendosi dal momento che una assegnata soglia non è più superata per una durata prestabilita. Per maggiori informazioni e dettagli si rimanda alla scheda tecnica completa e al manuale di istruzioni, entrambi disponibili sul sito web GeoSIG.

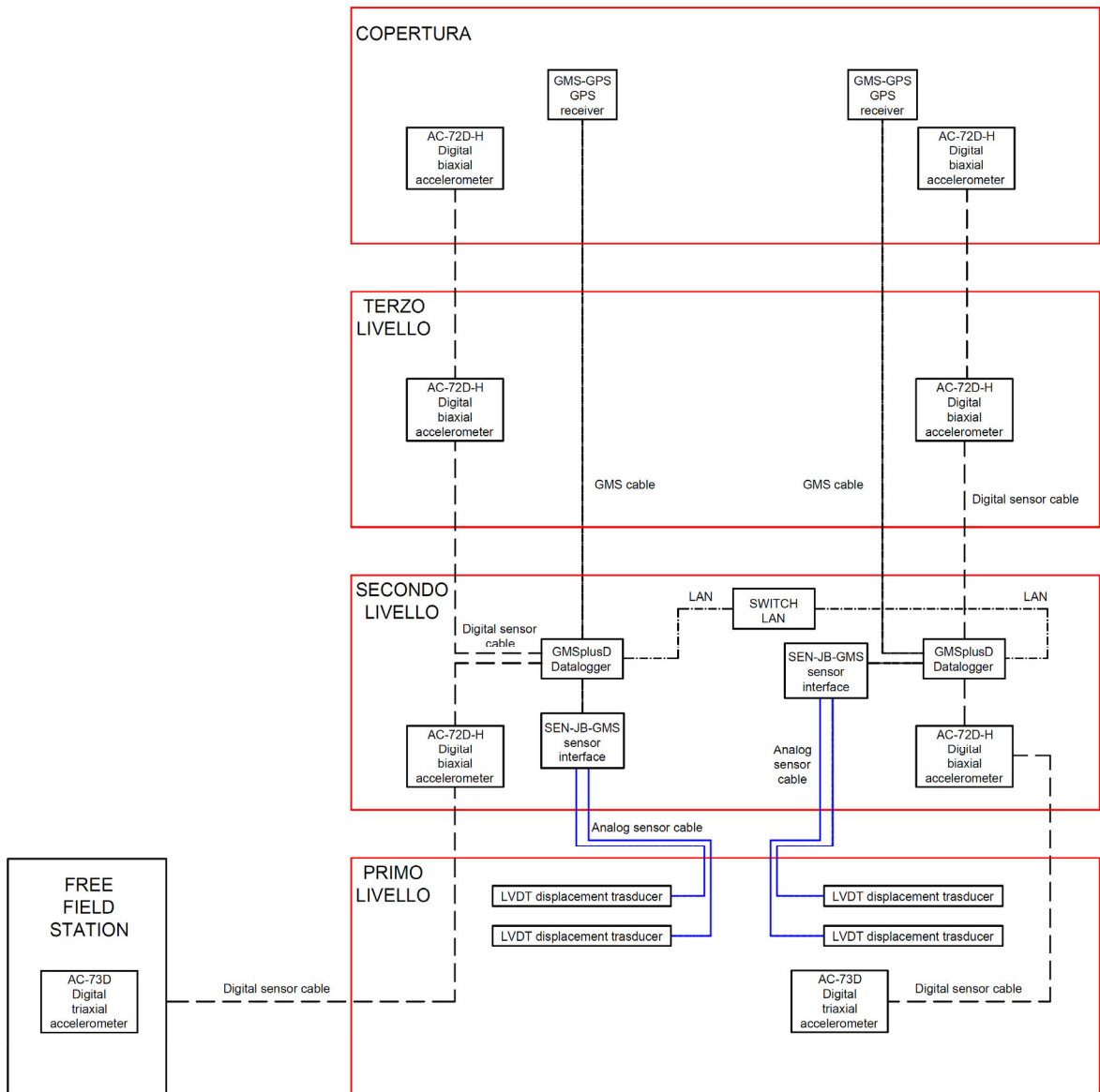


Figura 2. Schema del sistema di monitoraggio permanente.

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 18 di 19

8 STIMA DEI COSTI

La stima dei costi è basata sul preventivo di spesa fornito dall'importatore italiano dei prodotti GeoSIG e sui prezzi di mercato dei trasduttori di spostamento analogici a trascinamento magnetico per applicazioni strutturali con corsa compatibile con lo spostamento di progetto previsto per il sistema di isolamento.

<i>Prodotto</i>	<i>unità misura</i>	<i>quantità</i>	<i>prezzo unitario</i>	<i>prezzo totale</i>
Unità di acquisizione dati GEOSIG GMSplusD	n	2	€ 6,050.00	€ 12,100.00
Interfaccia 3 canali analogici GEOSIG SEN-JB-GMS	n	1	€ 550.00	€ 550.00
Ricevitore GEOSIG GMS-GPS con cavo 20 m	n	2	€ 770.00	€ 1,540.00
Accelerometro biassiale digitale GEOSIG AC-72D-H	n	6	€ 3,720.00	€ 22,320.00
Accelerometro triassiale digitale GEOSIG AC-73	n	1	€ 4,620.00	€ 4,620.00
Trasduttore di spostamento	n	4	€ 400.00	€ 1,600.00
Cablaggio sensori analogici	m	100	€ 4.00	€ 400.00
Cablaggio sensori digitali	m	450	€ 3.50	€ 1,575.00
Software GEOSIG GEODAS-ECD	n	1	€ 850.00	€ 850.00
Packing and handling	n	1	€ 500.00	€ 500.00
Installazione sistema accelerometrico (4 gg lavorativi in loco di 2 tecnici)	n	1	€ 8,000.00	€ 8,000.00
Supporto e installazione trasduttore di spostamento	n	4	€ 400.00	€ 1,600.00
TOTALE				€ 55,655.00

D. R05	CRU_Centro Ricerca Universitaria	RELAZIONE TECNICA
	<i>Relazione sistema di monitoraggio</i>	Rev. 01 - Dicembre 2018
		Pag. 19 di 19

RIFERIMENTI

- Brincker R, Ventura CE. Introduction to Operational Modal Analysis, John Wiley & Sons, 2015.
- Dipartimento delle Protezione Civile, Monitoraggio Sismico (Rete Accelerometrica Nazionale, Osservatorio Sismico delle Strutture), sito web <http://www.mot1.it>
- GeoSIG, sito web www.geosig.com
- National Instruments, sito web www.ni.com/it-it.html
- PCB Piezotronics, sito web www.pcb.com
- Rainieri C, Fabbrocino G. Operational Modal Analysis of Civil Engineering Structures: An Introduction and Guide for Applications, Springer, 2014.