



PON GOVERNANCE 2014-2020 Rischio Sismico e Vulcanico

Attività PUG_F4.3 | Affiancamento per la valutazione dell'operatività strutturale degli edifici strategici in condizioni dinamiche nei Contesti Territoriali individuati come prioritari a media ed alta sismicità

Valutazioni operatività strutturale edifici strategici Regione Puglia

Versione 1.2

Pubblicato in data 13/12/2021





PON GOVERNANCE 2014-2020 Rischio Sismico e Vulcanico

Attività PUG_F4.3 | Affiancamento per la valutazione dell'operatività strutturale degli edifici strategici in condizioni dinamiche nei Contesti Territoriali individuati come prioritari a media ed alta sismicità

Valutazioni operatività strutturale edifici strategici Regione Puglia

Versione 1.2

Publicato in data 13/12/2021



PON GOVERNANCE E CAPACITÀ ISTITUZIONALE 2014-2020

PROGRAMMA PER IL SUPPORTO AL RAFFORZAMENTO DELLA GOVERNANCE IN MATERIA DI RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO E VULCANICO AI FINI DI PROTEZIONE CIVILE

DIPARTIMENTO DELLA PROTEZIONE CIVILE

Struttura responsabile dell'attuazione del Programma

Fabrizio Curcio (responsabile), Eliana Mazzaro (supporto)

Immacolata Postiglione (delega funzioni specifiche)

Unità di coordinamento

Fabrizio Brammerini, Angelo Corazza, Luigi D'Angelo, Fausto Guzzetti, Francesca Romana Paneforte, Paola Stefanelli

Unità operativa rischi

Paola Bertuccioli, Sergio Castenetto, Stefano Ciolli, Andrea Duro, Emilio De Francesco, Marco Falzacappa, Domenico Fiorito, Pietro Giordano, Antonella Gorini, Giuseppe Naso, Stefania Renzulli, Daniele Spina

Unità di raccordo DPC

Silvia Alessandrini, Sara Babusci, Pierluigi Cara, Patrizia Castigliero, Valter Germani, Maria Penna

Unità amministrativa e finanziaria

Valentina Carabellese, Francesca De Sandro, Susanna Gregori, Maria Cristina Nardella

Hanno fatto parte della struttura

Angelo Borrelli, Gabriella Carunchio, Luciano Cavarra, Pietro Colicchio, Biagio Costa, Lavinia Di Meo, Gianluca Garro, Antonio Gioia, Francesca Giuliani, Italo Giulivo, Fabio Maurano, Natale Mazzei, Agostino Miozzo, Paolo Molinari, Anna Natili, Roberto Oreficini Rosi, Lucia Palermo, Simona Palmiero, Ada Paolucci, Sara Petrinelli, Biagio Prezioso, Umberto Rosini, Marco Rossitto, Sisto Russo, Chiara Salustri Galli, Maria Siclari, Maurizio Silvestri, Gianfranco Sorchetti, Vincenzo Vigorita

REGIONI

Referenti

Basilicata: Claudio Berardi, Antonella Belgiovine, Maria Carmela Bruno, Cinzia Fabozzi, Donatella Ferrara, Cosimo Grieco, Guido Loperte (coordinatore), Alfredo Maffei, Pietro Perrone; *Calabria:* Fortunato Varone (coordinatore); *Campania:* Mauro Biafore (coordinatore), Claudia Campobasso, Luigi Cristiano, Emilio Ferrara, Luigi Gentilella, Maurizio Giannattasio, Francesca Maggio, Celestino Rampino; *Puglia:* Tiziana Bisantino (coordinatore), Carlo Caricasole, Domenico Donvito, Franco Intini, Teresa Mungari, Fabrizio Panariello, Francesco Ronco, Zoida Tafila; *Sicilia:* Giuseppe Basile, Antonio Bruccheri, Aldo Guadagnino, Maria Nella Panebianco, Antonio Torrisi

Sono stati referenti

Basilicata: Alberto Caivano; *Calabria:* Giuseppe Iritano, Domenico Pallaria, Francesco Russo (coordinatore), Carlo Tansi, Luigi Giuseppe Zinno; *Puglia:* Giuseppe Tedeschi; *Campania:* Crescenzo Minotta; *Sicilia:* Nicola Alleruzzo

Affidamento di servizi del DPC al CNR-IGAG

Responsabile Unico del Procedimento: Mario Nicoletti

Direttore di Esecuzione Contrattuale: Fabrizio Brammerini

Referenti rischio sismico: Fabrizio Brammerini, Sergio Castenetto, Daniele Spina, Antonella Gorini, Giuseppe Naso

Referente rischio vulcanico: Stefano Ciolli

Referenti pianificazione di emergenza: Domenico Fiorito, Stefania Renzulli

CNR-IGAG (operatore economico rischio sismico e vulcanico)

Massimiliano Moscatelli (referente)

Struttura di coordinamento

Gianluca Carbone, Claudio Chiappetta, Francesco Fazio, Massimo Mari, Silvia Massaro, Federico Mori, Edoardo Peronace, Attilio Porchia, Francesco Stigliano (coordinatore operativo)

Struttura tecnica

Angelo Anelli, Massimo Cesarano, Eleonora Cianci, Stefania Fabozzi, Gaetano Falcone, Cora Fontana, Angelo Gigliotti, Michele Livani, Amerigo Mendicelli, Giuseppe Occhipinti, Federica Polpetta, Alessandro Settimi, Rose Line Spacagna, Daniel Tentori, Valentina Tomassoni

Struttura gestionale

Lucia Paciucci (coordinatrice gestionale), Francesca Argiolas (supporto gestionale), Federica Polpetta (supporto gestionale), Francesco Petracchini

Revisori

Emilio Bilotta, Paolo Boncio, Paolo Clemente, Maria Ioannilli, Massimo Mazzanti, Roberto Santacroce, Carlo Viggiani

Supporto tecnico-amministrativo

Francesca Argiolas, Patrizia Capparella, Martina De Angelis, Marco Gozzi, Alessandro Leli, Patrizia Mirelli, Simona Rosselli

Hanno fatto parte della struttura

Raffaella Ciuffreda, Giuseppe Cosentino, Melissa Di Salvo, Giovanni Di Trapani, Rosa Marina Donolo, Carolina Fortunato, Biagio Giaccio, Marco Modica, Marco Nocentini, Andrea Rampa, Laura Ragazzi, Gino Romagnoli, Paolo Tommasi, Vitantonio Vacca

PUG_F4.3 | Affiancamento per la valutazione dell'operatività strutturale degli edifici strategici in condizioni dinamiche nei Contesti Territoriali individuati come prioritari a media ed alta sismicità

Responsabile DPC: Daniele Spina

Responsabile CNR-IGAG: Federico Mori

A cura di

Vitantonio Vacca, Giuseppe Occhipinti, Gianluca Acunzo

versione colophon 06/12/2021

Sommario

1	Introduzione	6
1.1	<i>Modello SMAV</i>	6
1.2	<i>Curve di fragilità tramite modello "SMAV"</i>	8
1.3	<i>Modellazione a macro-elementi discreti</i>	10
1.4	<i>Modello semplificato a trave equivalente</i>	13
2	I modelli di fragilità per la valutazione di operatività degli edifici strategici	15
2.1	<i>ES1 Municipio del Comune di Ginosa</i>	15
2.1.1	Ricerca documentale	16
2.1.2	Campagna di misure di vibrazione	18
2.1.3	Grandezze dinamiche sperimentali	24
2.1.4	Modello SMAV	27
2.1.5	Curve di fragilità	28
2.2	<i>ES2 – Poliambulatorio</i>	30
2.2.1	Ricerca documentale	30
2.2.2	Curve di fragilità	33
2.3	<i>ES3 – Caserma dei VVF distaccamento di Castellaneta</i>	33
2.3.1	Ricerca documentale	34
2.3.2	Campagna di misure di vibrazione	40
2.3.3	Grandezze dinamiche sperimentali	43
2.3.4	Modellazione a macro-elementi discreti	47
2.3.1	Modello SMAV	57
2.3.2	Curve di fragilità	59
2.4	<i>Municipio di Castellaneta</i>	60
2.4.1	Ricerca documentale	61
2.4.2	Campagna di misure di vibrazione	64
2.4.3	Grandezze dinamiche sperimentali	66
2.4.4	Modello SMAV	68
2.4.5	Curve di Fragilità	69
2.5	<i>COC Laterza</i>	70
2.5.1	Modello SMAV	70
2.5.2	Curve di Fragilità	72

2.6	<i>COC Mottola</i>	72
2.6.1	Ricerca documentale	72
2.6.2	Campagna di misure di vibrazioni	74
2.6.3	Grandezze dinamiche sperimentali	77
2.6.4	Curve di Fragilità	79
2.7	<i>COC Palagiano</i>	80
2.7.1	Ricerca documentale	81
2.7.2	Campagna di misure di vibrazione	82
2.7.3	Grandezze dinamiche sperimentali	84
2.7.4	Curve di Fragilità	86
2.8	<i>COC Palagianello</i>	87
2.8.1	Ricerca documentale	88
2.8.2	Campagna di misure di vibrazione	91
2.8.3	Grandezze dinamica sperimentali	92
2.8.4	Modello SMAV	94
2.8.5	Curve di Fragilità	96

1 Introduzione

Il presente report costituisce l'applicazione della metodologia sperimentale per la valutazione di operatività strutturale degli edifici strategici. I risultati, in termini di curve di fragilità, contribuiscono al calcolo dell'indice di operatività IOCT come esposto nel report PUGF4.2.

Nel seguito si descrivono i modelli semplificati ed avanzati utilizzati ed i relativi risultati in termini di curve di fragilità con riferimento alla probabilità di superare il danno strutturale.

Per ogni edificio in esame sono stati valutati i seguenti passi di analisi:

- Ricerca documentale presso gli uffici tecnici;
- Attuazione della campagna di misure di vibrazione;
- Restituzione delle grandezze dinamiche fondamentali sperimentali (frequenze, forme modali e smorzamenti)
- Generazione di un modello semplificato denominato SMAV (Mori & Spina, 2015) sulla base dei dati sperimentali
- Creazione delle curve di fragilità specifiche per ogni edificio con l'ausilio del modello SMAV
- Modellazione a Macro-elementi discreti (Caliò & Pantò, A macro-element modelling approach of Infilled Frame Structures, 2014) a supporto per alcuni casi su cui la documentazione si è ritenuta congrua al tipo di modellazione.

Nel seguito per ogni edificio oggetto della presente relazione verranno descritti i risultati dei precedenti passi di analisi.

In questa sezione si introducono brevemente gli aspetti teorici che verranno richiamati nei successivi capitoli.

A tal proposito si introducono di seguito:

- La modellazione SMAV,
- L'uso del modello SMAV per la generazione delle curve di fragilità
- La strategia di modellazione a macro-elementi discreti.

Ulteriori approfondimenti agli argomenti possono essere trovati nella letteratura scientifica richiamata in bibliografia.

Per ultimo, si riporta brevemente un approccio semplificato definito di tipo a trave equivalente (Greco A., et al., 2020) adottato nella rappresentazione semplificata degli edifici multipiano e calibrato sui dati sperimentali di identificazione dinamica.

1.1 Modello SMAV

Il modello SMAV (Mori & Spina, 2015) è basato sui parametri modali sperimentali dell'edificio, cioè frequenze e forme modali, utilizzati per calcolare la risposta sismica della struttura attraverso un'analisi dinamica lineare che opera per sovrapposizione modale.

Per completare il modello modale ed eseguire l'analisi dinamica lineare è necessario conoscere il coefficiente di partecipazione sismica o, in alternativa, la massa sismica di ciascun modo di vibrare. Poiché tali parametri non possono essere ricavati sperimentalmente attraverso tecniche di analisi modale operativa (OMA), essi sono ricavati numericamente definendo un particolare modello cinematico-inerziale dell'edificio denominato Multi Rigid Polygons (MRP).

Nel modello MRP l'edificio è suddiviso in p impalcati fuori terra, ciascuno dei quali è a sua volta suddiviso in n poligoni, che si assume abbiano un comportamento rigido nel proprio piano e siano quindi dotati di 3 gradi di libertà, due traslazioni e una rotazione rigida intorno all'asse verticale passante per il baricentro. Tutte le masse dell'edificio, anche quelle che non giacciono nel piano dell'impalcato, come le masse delle strutture portanti verticali o delle tamponature, sono concentrata nel baricentro dei poligoni, dove si assegna una massa $M_x=M_y$ e un momento di inerzia polare I (massa rotazionale). Si osserva che la congruenza degli spostamenti nei punti che appartengono a più poligoni è assicurata attribuendo a essi la media degli spostamenti che risulterebbero dalle traslazioni e rotazioni rigide dei singoli poligoni.

È importante aggiungere che per come è costruito, il modello SMAV consente di calcolare la risposta sismica in tutti i punti di un certo impalcato, cioè anche in punti non oggetto di misure sperimentali.

Il modello matematico sviluppato consente inoltre di stimare l'errore commesso nella ricostruzione degli spostamenti a causa dell'ipotesi cinematica di poligono rigido, confrontando le forme modali originariamente importate con le forme modali ricostruite, negli stessi gradi di libertà con il modello MRP.

La matrice di massa è costruita valutando le masse traslazionali e rotazionali a partire da un'analisi dei carichi agenti sugli impalcati rigidi, eseguita sulla base delle informazioni disponibili o da ipotesi ragionevoli sulla conformazione e i pesi di volume degli elementi strutturali. Viene calcolata la massa per unità di superficie per ciascun poligono che costituisce un orizzontamento, facendo riferimento ad un valore medio equivalente, lì dove si presentassero differenti tipologie di solaio all'interno dello stesso poligono.

Si osserva che la determinazione del tipo e della disposizione degli elementi strutturali è importante esclusivamente per il loro contributo alle caratteristiche inerziali della struttura, mentre non è necessario valutare il loro contributo alla rigidità, perché quest'ultimo è già implicitamente contenuto nei parametri modali sperimentali.

Una volta espresse le forme modali sperimentali nei gradi di libertà rigidi che caratterizzano il modello cinematico a poligoni rigidi, la matrice \mathbf{M} permette di calcolare i coefficienti di partecipazione modale e le corrispondenti masse partecipanti (Clough & Penzien, 2003).

L'analisi svolta è un'analisi dinamica lineare equivalente, in cui gli effetti dei singoli modi identificati vengono combinati attraverso la combinazione quadratica completa (Complete Quadratic Combination CQC).

Si può parlare di un'analisi lineare equivalente in quanto il modello SMAV tiene conto del decremento delle frequenze naturali al crescere della deformazione mediante una procedura iterativa basata su tre curve limite, ricavate da un'analisi probabilistica, che esprimono il decremento delle frequenze naturali in funzione del massimo *drift* medio, cioè del massimo spostamento dell'ultimo impalcato rispetto al terreno, diviso per la sua quota H rispetto al suolo.

Per valutare il decadimento delle frequenze al variare del *drift* tenendo conto della variabilità presente nel patrimonio edilizio esistente si è ricorso, sia per le strutture in muratura che per quelle in c.a., ad un'analisi di tipo Monte Carlo, ottenendo curve di abbattimento rappresentative delle incertezze sui parametri. In particolare in mancanza di dati sperimentali disponibili si genera un campione di dati dove vengono assegnati degli intervalli di valori ai parametri necessari a definire il modello, trattandoli come variabili aleatorie aventi distribuzione probabilistica. A partire dal campione generato si ricavano tre curve al di sotto delle quali ricadono rispettivamente il 16, il 50 e l'84 % dei campioni, che definiscono la curva limite inferiore, quella media e quella limite superiore.

Viene eseguita una prima analisi utilizzando le frequenze naturali dell'edificio risultanti dall'identificazione modale e vengono calcolati, per ciascuna curva, i valori di accelerazioni, spostamenti e *drift* di interpiano in ogni punto o coppia di punti. Noto il

drift medio, viene calcolato il relativo decadimento delle frequenze e viene condotta una seconda analisi utilizzando le frequenze abbattute, ottenendo nuovi valori di *drift*. L'analisi prosegue in questo modo fino a convergenza, generalmente raggiunta in meno di 10 iterazioni, nell'ipotesi di forme modali invarianti rispetto al massimo *drift* medio. Per lo smorzamento, anch'esso assunto invariante, si assume il valore convenzionale del 5 %.

La probabilità cumulata del massimo *drift* dell'edificio è ottenuta eseguendo tre diverse analisi lineari equivalenti, ciascuna con riferimento a una delle tre curve sopra descritte, che correlano il decremento della frequenza al *drift* medio. La prima analisi fa riferimento alla curva media, mentre le altre due rappresentano la curva limite inferiore e superiore.

A partire dai 3 valori di *drift* massimo così ottenuti, per un dato input sismico, viene costruita la funzione di probabilità cumulata del massimo *drift* dell'edificio, assumendo per essa una distribuzione di tipo log normale, che è risultata la più adatta a rappresentare la variabile aleatoria *drift* di interpiano, a seguito di un'analisi mirata a comparare le diverse distribuzioni probabilistiche.

1.2 Curve di fragilità tramite modello “SMAV”

La metodologia proposta si basa sull'identificazione delle specifiche proprietà dinamiche dell'edificio e del terreno di fondazione tramite misure di vibrazioni prodotte da sorgenti ambientali.

I parametri modali sono estratti dalle misure utilizzando tecniche afferenti alla Operational Modal Analysis (OMA).

Il modello matematico spaziale dell'edificio (SMAV, Seismic Model from Ambient Vibrations (Mori & Spina, 2015)), che prevede la riproduzione della cinematica di piano secondo una suddivisione ideale della planimetria in poligoni a comportamento rigido e massa concentrata, permette di eseguire un'analisi dinamica lineare equivalente al fine di prevedere la risposta sismica dell'edificio e determinare i valori di *drift* massimo in sommità e di interpiano. Questi, secondo un approccio probabilistico, vengono usati per generare i dati necessari al calcolo della funzione di fragilità.

Il parametro di intensità di misura lungo l'asse delle ascisse per le curve di fragilità è il parametro ASI. Acceleration Spectrum Intensity:

$$ASI_{T_1-T_2} = \int_{T_1}^{T_2} S_a(\xi, T) dT$$

Sa è lo spettro di risposta delle pseudo-accelerazioni, ξ è lo smorzamento (assunto convenzionalmente pari a 0.05), T il periodo di oscillazione, T1 e T2 rappresentano gli estremi dell'intervallo di periodi considerati. Questo parametro include gli effetti dell'ampiezza e del contenuto in frequenza del segnale.

Ai fini dell'utilizzazione dei risultati all'interno di IOCT si adottano gli stessi periodi di interesse adottati nel calcolo del parametro HMS (Mori, et al., 2019) espressi in funzione del numero di piani in elevazione degli edifici:

* 0.1 - 0.5 sec per edifici con 1-3 piani.

* 0.4 - 0.8 sec per edifici con 4-6 piani.

* 0.7 – 1.1 sec per edifici con un numero di piani maggiore di 6 o isolati alla base.

La metodologia proposta si articola in tre fasi principali :

Fase 1 – Definizione dell'input sismico;

Fase 2 – Analisi SMAV (con l'impiego del software VaSCO-smav);

Fase 3 – Costruzione della Curva di Fragilità.

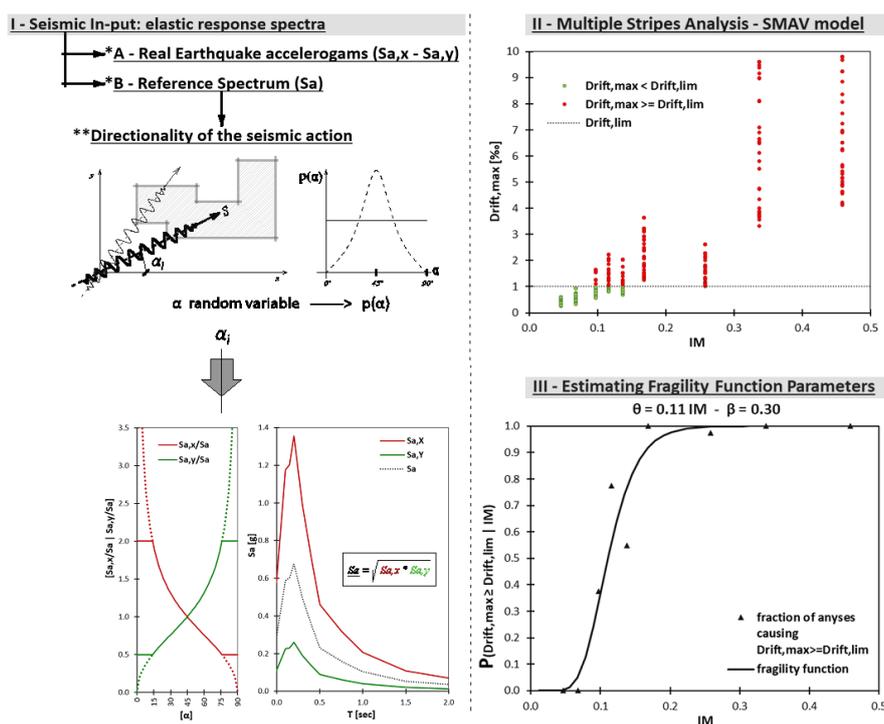


Figura 1-1 Rappresentazione delle fasi metodologiche per la costruzione delle curve di fragilità

Fase 1 – Definizione dell'input sismico

Nella logica dell'approccio di tipo Multiple Stripes Analyses (J.M., 2015), al fine di ottenere una curva affidabile per tutte le intensità sismiche (IM), è necessario selezionare un input sismico che abbia la stessa numerosità di spettri per ogni sotto-intervallo di intensità sismica in cui è stato suddiviso l'intero intervallo di intensità sismica.

Fase 2 – Analisi lineari equivalenti con modello SMAV ed elaborazione statistica dei risultati

A partire dalle proprietà modali (frequenze, forme modali e smorzamenti) valutate con opportune campagne di identificazione dinamica, l'edificio in esame viene interpretato matematicamente tramite un modello semplificato denominato SMAV (Spina, Acunzo, Fiorini, Mori, & Dolce, 2019) ed elaborato tramite il software VascoSMAV (Acunzo, Fiorini, Mori, & Spina, 2015). Il software, in grado di determinare un parametro di operatività, IOPS (Dolce, et al., 2016), per ogni analisi, viene eseguito iterativamente per ogni input generato.

Fase 3 – Costruzione della Curva di Fragilità

Le curve di fragilità forniscono la probabilità di un sistema strutturale, soggetto ad un input sismico assegnato, di superare determinati livelli di danno. Nell'approccio di tipo Multiple Stripes Analyses (J.M., 2015) alla curva di fragilità si perviene attraverso il calcolo di media μ e deviazione standard δ dei risultati delle analisi SMAV (Spina, Acunzo, Fiorini, Mori, & Dolce, 2019) in base ai risultati delle singole bande a pari IM.

Le curve così ottenute esprimono la probabilità che il valore di drift sia superabile. È possibile, in via semplificata, correlare suddetto valore di spostamento con un livello di danneggiamento della struttura ed uno Stato Limite raggiunto.

1.3 Modellazione a macro-elementi discreti

La modellazione numerica di dettaglio è eseguita tramite approccio a macroelementi discreti implementato nel software commerciale 3DMacro (Caliò, Cannizzaro, Marletta, & Pantò, 2009) che è uno strumento per l'analisi e la stima della vulnerabilità sismica degli edifici in muratura e struttura mista.

La modellazione su cui è basato il software è riferita alla schematizzazione delle pareti sia in muratura che in cls mediante un macro-elemento piano sviluppato in ambito accademico da un team di ricerca dell'Università di Catania ed ampiamente validato dalla letteratura scientifica (Caddemi, et al., A 'parsimonious' 3d discrete macro-element method for masonry arch bridges, 2018; Caddemi, et al., AN ORIGINAL DISCRETE MACRO-ELEMENT METHOD FOR THE ANALYSIS OF HISTORICAL STRUCTURES, 2018; Caliò & Pantò, A macro-element modelling approach of Infilled Frame Structures, 2014; Caliò, et al., 2006; Caliò, Marletta, & Pantò, Un semplice macro-elemento per la valutazione della vulnerabilità sismica di edificio in muratura, 2004; Caliò, Marletta, & Pantò, 2012). Tale elemento simula i principali meccanismi di rottura nel piano dei pannelli murari e consente di modellare l'interazione tra muratura e telai in calcestruzzo armato. Tale interazione è modellata mediante un approccio in cui gli elementi del telaio sono modellati mediante elementi beam-column a plasticità concentrata mentre le tamponature sono modellate tramite il macro-elemento. Una modellazione di questo tipo, consente di trovare il giusto compromesso tra la complessità dei metodi agli elementi finiti non-lineari, accurati ma computazionalmente onerosi e difficili da interpretare, e l'eccessiva approssimazione degli approcci semplificati (modelli a telaio equivalente, ecc.).

A ciascun pannello murario è associato uno o più macro-elementi (con una mesh fitta quanto basta) in grado di cogliere i meccanismi di rottura e di stimarne, attraverso analisi non lineari (come le analisi pushover) la capacità portante.

Il vantaggio principale del tipo di modellazione a macroelementi è la riduzione dell'onere computazionale. Il macro-elemento con cui vengono modellate le porzioni di muratura o di cls, nella sua definizione piana, è costituito da un quadrilatero i cui vertici sono collegati da due molle diagonali non lineari e i cui lati rigidi interagiscono con i lati degli altri macro-elementi mediante delle interfacce discrete con limitata resistenza a trazione. Pertanto il macro-elemento può essere pensato come formato da due elementi principali: un elemento "pannello" costituito dal quadrilatero articolato e un elemento "interfaccia" costituito di un insieme discreto di molle che determinano l'interazione non lineare con gli elementi adiacenti.

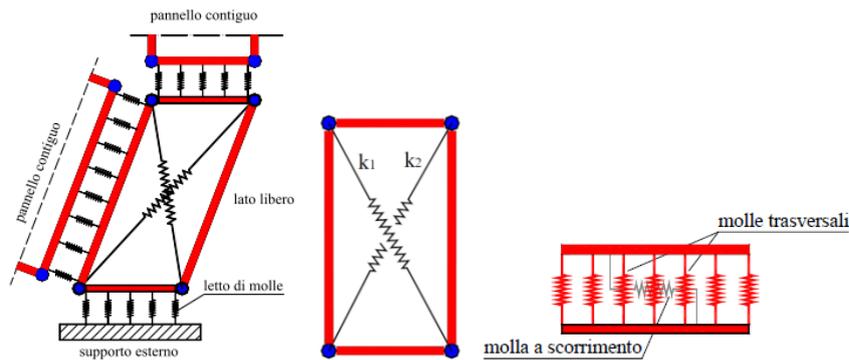


Figura 1-2 Rappresentazione del macro-modello piano (a sx) e di un interfaccia (a dx)

Le molle diagonali dell'elemento pannello simulano la deformabilità a taglio della muratura rappresentata. Nelle molle poste in corrispondenza delle interfacce è concentrata la deformabilità assiale e flessionale di una porzione di muratura corrispondente a due pannelli contigui. Le molle non lineari (NLink), nel loro insieme, consentono di simulare i principali meccanismi di collasso della muratura nel proprio piano. L'interazione con altri elementi avviene su ciascuno dei lati del pannello. Il modello prevede la presenza di un'interfaccia ogni qualvolta un pannello abbia un lato, o una porzione di esso, in comune con un altro pannello. Il numero di molle dell'interfaccia non aumenta i gradi di libertà, tuttavia, l'onere computazione dovuto a un maggior numero di molle è maggiore a causa della non-linearità del loro comportamento.

Tale approccio permette di modellare una parete di muratura sia con una mesh di macro-elementi minima che mediante una discretizzazione più fitta, modellando agevolmente anche schemi strutturali che presentano geometrie complesse e irregolari. Considerato che il collasso di un elemento murario caricato verticalmente e sollecitato da azioni orizzontali nel proprio piano può avvenire secondo tre modalità, il modello consente di cogliere tutte e tre le tipologie di collasso nel piano.

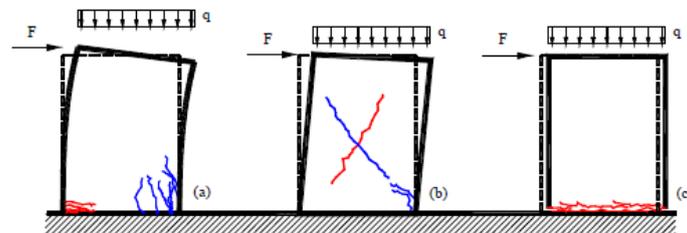


Figura 1-3 Meccanismi di rottura nel piano di un pannello murario: per flessione (a), per taglio diagonale (b), per scorrimento (c)

Il meccanismo di collasso flessionale viene simulato mediante le molle di interfaccia disposte ortogonalmente all'interfaccia stessa, le quali sono caratterizzate da una limitata resistenza a trazione e un comportamento elasto-fragile a trazione: lo schiacciamento della muratura sarà quindi associato alla progressiva plasticizzazione a compressione delle molle, mentre la fessurazione verrà associata alla rottura per trazione delle stesse. Il meccanismo di collasso a taglio per fessurazione diagonale, che rappresenta il più diffuso meccanismo di collasso nel piano, si manifesta con un quadro fessurativo costituito da fessure diagonali nella porzione centrale del pannello, lungo le isostatiche di compressione, dovute alla limitata resistenza a trazione. Tale meccanismo è simulato dal modello mediante l'attribuzione di un legame costitutivo non lineare ad hoc alle molle diagonali. Il meccanismo di collasso per scorrimento, infine, che in genere è trascurabile nelle applicazioni pratiche,

diviene possibile solo in presenza di bassi valori del carico verticale (e quindi dello sforzo normale) o a seguito di consistenti parzializzazioni delle sezioni. Esso si manifesta con mutui scorrimenti tra due pannelli; viene simulato mediante un'unica molla longitudinale di interfaccia.

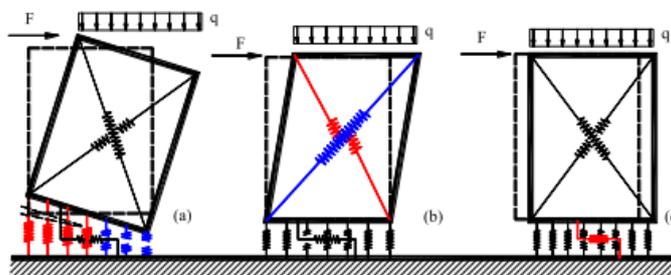


Figura 1-4 Simulazione dei meccanismi di rottura nel piano di un pannello murario: per flessione (a), per taglio diagonale (b), per scorrimento (c)

Cordoli e architravi vengono modellati attraverso elementi finiti non lineari di tipo beam a plasticità concentrata; la presenza di eventuali tiranti invece viene modellata mediante elementi reagenti solo a trazione di tipo truss. Un'asta può avere solo comportamento assiale (tiranti o catene), comportamento assiale e flessionale in un'unica direzione (cordolo, travi), comportamento assiale e flessionale in due direzioni (pilastri). Il comportamento meccanico delle aste viene caratterizzata a partire dalle caratteristiche dei materiali componenti le sezioni. 3DMacro genera automaticamente i domini di ammissibilità delle sollecitazioni per una certa sezione. Dal punto di vista flessionale, per cogliere le progressive plasticizzazioni (comportamento non lineare) e per consentire l'interazione con la muratura, viene prevista la possibilità di suddividere l'asta in un numero arbitrario di sotto-elementi, in modo tale che anche le proprietà non lineari dell'asta (cerniere plastiche a comportamento elastico-perfettamente plastico), saranno determinate coerentemente con la suddivisione in segmenti dell'asta (senza il bisogno di dover ipotizzare a priori una sezione in cui possa formarsi la cerniera). Dal punto di vista assiale l'asta si comporta come un elemento non suddiviso in segmenti, caratterizzato quindi dai soli gradi di libertà assiali esterni.

Nel caso di aste interagenti con pannelli murari si possono apprezzare l'interazione a flessione tra asta e muratura e l'interazione tra il comportamento a scorrimento della muratura e quello assiale dell'asta.

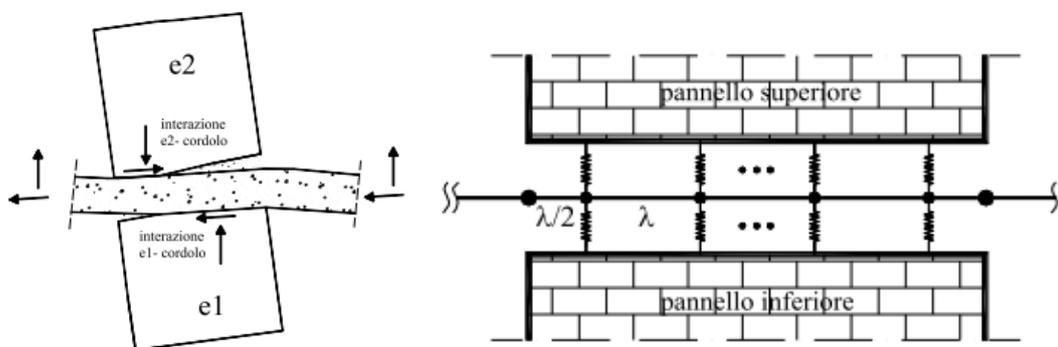


Figura 1-5 Interazione tra asta e pannelli

A ciascun segmento dell'asta viene associata una sezione critica posta in mezzera del segmento stesso, in cui vi è la possibilità di formazione di una cerniera plastica, la cui attivazione viene valutata sullo stato sollecitante medio del segmento. Lo snervamento di una cerniera avviene per il raggiungimento del momento plastico nel piano corrispondente. Ad ogni cerniera è associato un legame elastico – perfettamente plastico.

Sono supportate analisi non lineari come le analisi pushover. Le analisi non lineari sono condotte aumentando in maniera monotona le distribuzioni di carico, statiche e sismiche, e proseguendo le analisi a controllo di spostamento fino al collasso convenzionale della struttura (determinato a partire dalle curve di capacità), consentendo così di cogliere il degrado della resistenza dei singoli elementi a seguito di grandi spostamenti e quindi dell'escursione in campo plastico. Le analisi forniscono in output una serie di informazioni che vanno opportunamente analizzate.

Le informazioni ad oggi reperite e le analisi della documentazione tecnica disponibile fanno protendere per la possibilità di attuare le modellazioni come riportato nella seguente tabella. In essa ogni edificio viene considerato modellabile o meno in base ai dati raccolti. Singolarmente una nota a commento è riportata per chiarire sinteticamente lo stato dei modelli.

1.4 Modello semplificato a trave equivalente

In questa sezione viene brevemente descritto un modello a trave equivalente non uniforme in grado di tenere conto di due diverse irregolarità. Il modello, proposto recentemente (Greco A. , et al., 2020), è adatto per la schematizzazione di edifici reali che non hanno una distribuzione uniforme della massa e della rigidità lungo l'altezza. L'equazione del moto del modello proposto è derivata dall'applicazione del principio di Hamilton. Il comportamento dinamico lineare dell'elemento viene valutato discretizzando il modello continuo secondo un approccio di Rayleigh-Ritz basato su un numero appropriato di forme modali di una trave continua uniforme avente solo deformabilità a taglio e torsione (Chopra, 2001). L'approccio consente una descrizione accurata del comportamento dinamico di edifici bassi e medi con uno sforzo computazionale limitato. Inoltre, eventuali incertezze nei parametri della struttura possono essere prese in considerazione mediante un'opportuna strategia di calibrazione, basata sull'introduzione di appropriati coefficienti di rigidità di correzione.

Il modello proposto a trave equivalente (BLM) è in grado di rappresentare strutture (Figura 1-6a) mediante un elemento trave 1D (Figura 1-6d). Con riferimento al k-esimo piano dell'edificio nel piano X, Y mostrato Figura 1-6b si assume che i centri di massa (CM) e rigidità (CS) non coincidano tra loro inducendo così un comportamento torsionale della struttura. Ad ogni piano il punto CM è posizionato sull'asse verticale globale (Z) e, di conseguenza, le coordinate CS coincidono con l'eccentricità CS-CM (e_x, e_y). Ogni piano è modellato da un elemento trave con proprietà di rigidità uniformi, masse distribuite $m_{x,k}, m_{y,k}$ e momento del secondo ordine $I_{o,k}$. I valori concentrati per le masse $M_{x,k}$ e $M_{y,k}$ e il momento del secondo ordine $\bar{I}_{o,k}$ vengono applicati alla fine di ogni segmento di trave al fine di simulare la presenza di masse di travi e di pavimento e carichi applicati.

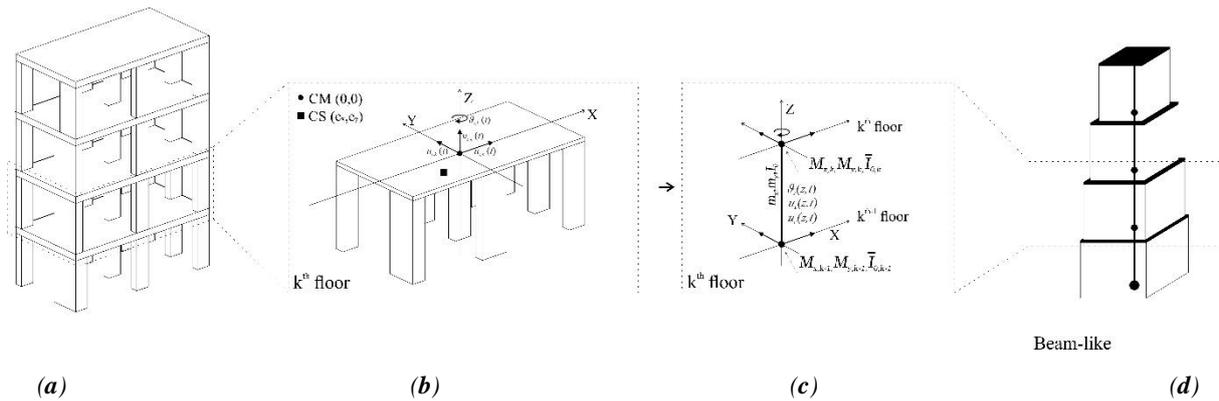


Figura 1-6 Rappresentazione del modello BLM a partire dalla (a) struttura 3D e (b) il generico piano fino all'elemento (c) computazionale di interpiano e al modello (d) globale assemblato. (Greco A. , et al., 2020)

Una volta generato il modello di trave equivalente esso può essere calibrato in base a approcci mono o multi-obiettivo in base alle peculiarità del caso specifico e assumendo come parametri target quelli derivanti dall'identificazione dinamica se disponibili o da modellazioni più accurate. L'algoritmo di ottimizzazione e la strategia di correzione dei parametri elastici di rigidezza tramite coefficienti che possano considerare la deformabilità trave-colonna, del solaio fuori piano, di danni locali o irregolarità evidenti o occulte è ampiamente descritto in (Greco A. , et al., 2020).

2 I modelli di fragilità per la valutazione di operatività degli edifici strategici

In questa sezione ogni edificio viene analizzato secondo i passi di analisi richiamati in introduzione. Verranno quindi mostrati gli aspetti legati a:

- Documentale progettuale;
- Campagna di misure di vibrazione;
- Grandezze dinamiche fondamentali sperimentali
- Modello SMAV
- Curve di fragilità
- Modellazione a Macro-elementi discreti.
- Modellazione semplificata a trave equivalente

Le modellazioni sono sviluppate in base ai dati a disposizione, alle caratteristiche dell'edificio ed alle incertezze delle prove di identificazione dinamica.

2.1 ES1 Municipio del Comune di Ginosa

Il municipio di Ginosa è ubicato tra via Salento e piazza L. Sarno in posizione pressoché baricentrica rispetto al centro urbano.



Figura 2-1 Immagini del centro COM di Ginosa– ES1

Il fabbricato si sviluppa per cinque livelli fuori terra, di cui gli ultimi tre sono costituiti da livelli di copertura posti a quote differenti, così disposti: Quota primo impalcato: 5,93 m Quota secondo impalcato: 9,27 m Quota terzo impalcato: 12,61 m Quota quarto impalcato: 14,41 m Quota quinto impalcato: 15,09 m In particolare, il terzo livello è costituito da un archivio e un lastrico solare, mentre il quarto e quinto da due coperture non praticabili. La struttura, realizzata negli anni, è costituita da un telaio in calcestruzzo armato, e possiede un ingombro in pianta di circa 45x19 m.

2.1.1 Ricerca documentale

Dalla ricerca documentale presso gli uffici ed archivi comunali si è potuto risalire alle planimetrie di cui di seguito si riportano le immagini. Non si conoscono le carpenterie degli impalcati.

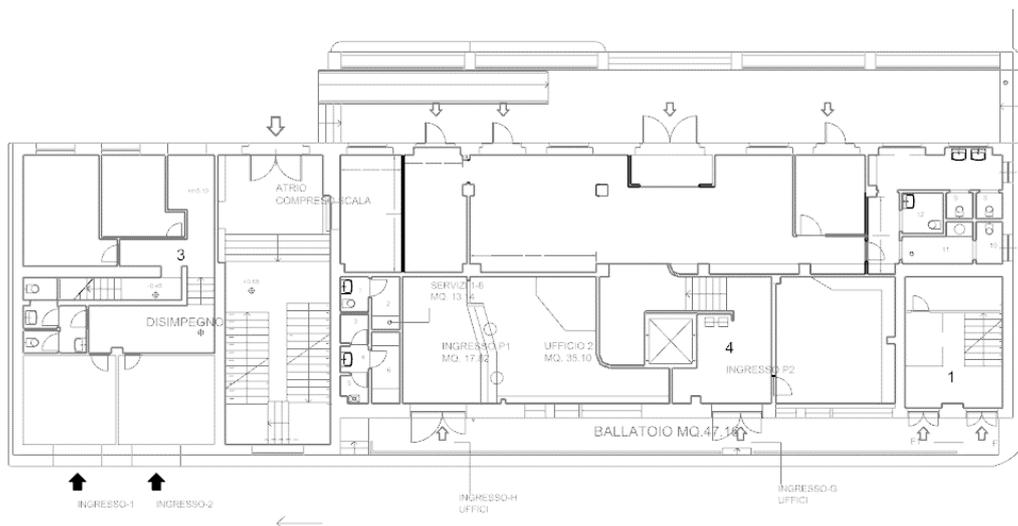


Figura 2-2 Planimetria PT

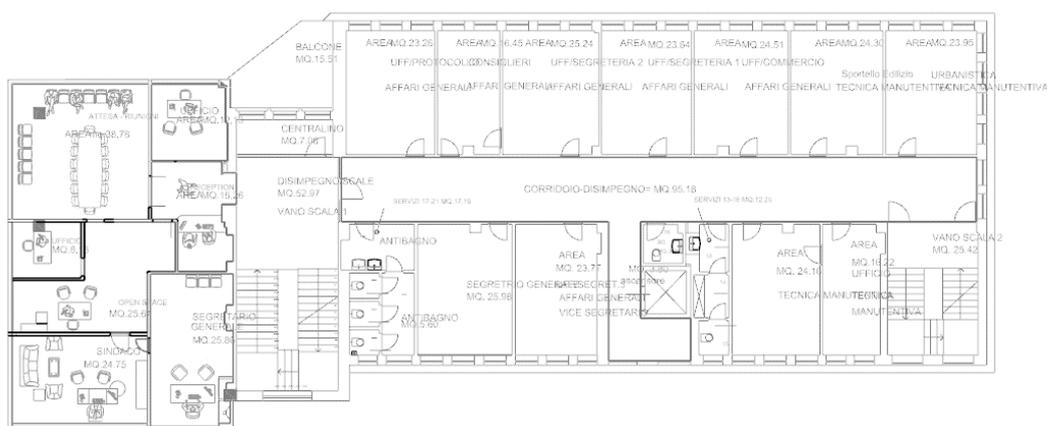


Figura 2-3 Planimetria P1

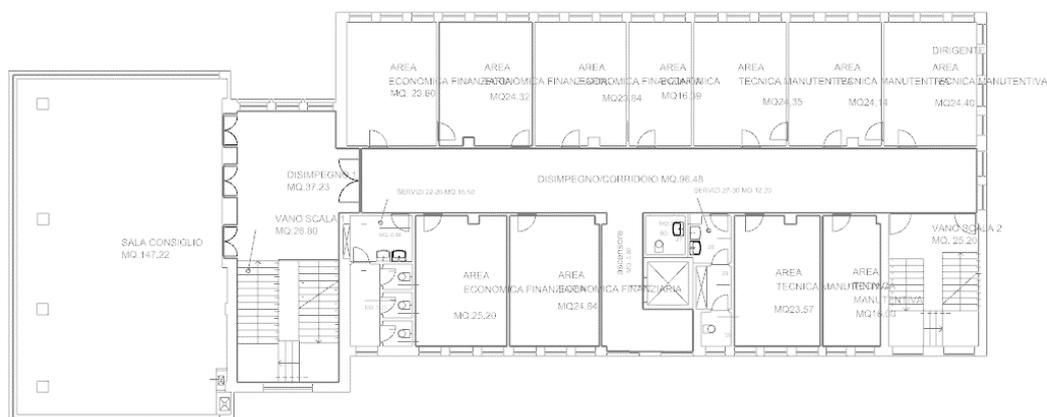


Figura 2-4 Planimetria P2

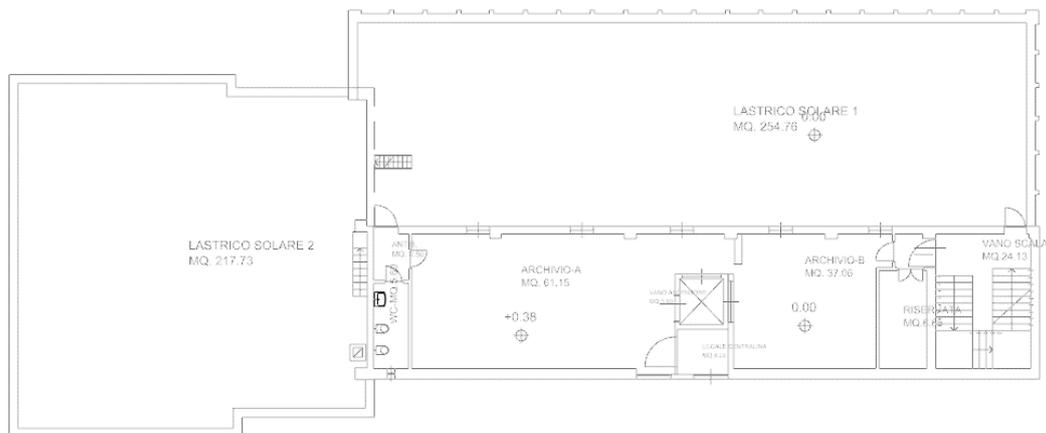


Figura 2-5 Planimetria P3

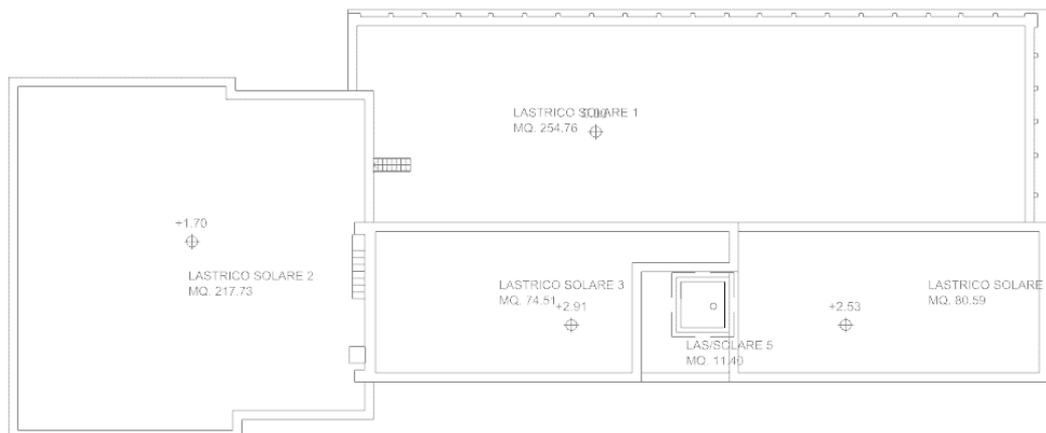


Figura 2-6 Planimetria Copertura

Nelle successive tabelle si è scelto di indicare con il dato mancante e con il dato presente.

Tabella 2-1 Edifici Strategici – Informazioni generali

REGIONE	CODICE	ANNO DI COSTRUZ	N. PIANI	PRESENZA DI SETTI
		Normativa di riferimento	(n. di elevazioni)	
PUGLIA	ES1	-	4	<input type="checkbox"/>

Tabella 2-2 Edifici Strategici – Informazioni Architettoniche

REGIONE	CODICE	N. PIANI (n. di livellazioni)	PLANIMETRIE										COPETURA	PROSPETTI	NOTE		
			-2	-1	PT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7				P8	P9
PUGLIA	ES1	4			■	■	■	■								■	□

Tabella 2-3 Edifici Strategici – Informazioni Strutturali

REGIONE	CODICE	N. PIANI (n. di evazioni)	CARPENTERIE										COPERTURA	Note			
			F	-2	-1	PT	P1	P2	P3	P4	P5	P6			P7	P8	P9
PUGLIA	ES1	4	□			□	□	□	□	□							□

Tabella 2-4 Edifici Strategici – Informazioni dettagli architettonici e dati materiali e terreno

REGIONE	CODICE	DETTAGLI	DATI	TERRENI	Note
PUGLIA	ES1	□	MATERIALI □	□	

2.1.2 Campagna di misure di vibrazione

Le indagini vibrazionali sono state eseguite con l'ausilio di stazioni accelerometriche di tipo Piezoelettrico della PCB Piezotronics. I segnali sono stati acquisiti installando le stazioni accelerometriche nei punti indicati direttamente dalla committenza, come di seguito mostrato. I dati accelerometrici sono stati utilizzati per ricavare i principali parametri dinamici degli edifici indagati.

Il protocollo seguito è stato il seguente:

- Installazione delle stazioni accelerometriche nei punti indicati;
- Esportazioni delle tracce registrate da tutte le stazioni, in ambiente Labview;
- Esportazione di diagrammi accelerazione-tempo per ogni stazione accelerometrica determinanti la risposta della struttura all'eccitazione ambientale;
- Esportazione dei dati estrapolati sul software di estrazione dei dati modali Artemis Extractor Pro;
- Determinazione delle frequenze di risonanza per i modi preponderanti, individuati mediante due algoritmi:
- Nel dominio delle frequenze mediante algoritmo EFDD-PP (Enhanced Frequency Domain Decomposition) con determinazione delle frequenze utilizzando il metodo del Peak Picking;

- Nel dominio del tempo mediante algoritmo SSI (Stochastic Subspace Identification) con determinazione delle frequenze utilizzando il metodo senza ponderazione delle componenti principali UPC (Unweighted Principal Component).
- Estrazione dei dati modali, quali, forme modali, frequenze proprie e smorzamenti in corrispondenza dei modi di vibrare preponderanti individuati.
- Determinazione delle deformate modali per le verticali di misurazione individuate;

Gli accelerometri utilizzati sono della PCB Piezotronics di tipo piezometrico monoassiale ad alta sensibilità (10 V/g) con range di frequenza da 0,1 a 200 Hertz. Questi sono specificamente progettati per consentire il rilevamento di vibrazioni a bassissimo livello e a bassa frequenza associate a strutture molto grandi, fondamenta e scosse di terremoto. Tali sensori hanno in genere un'eccezionale risoluzione di misurazione grazie alle loro dimensioni relativamente più grandi, che forniscono un segnale di uscita più forte e un rumore di fondo più basso. Nello specifico il modello utilizzato è il 393B31 avente le seguenti specifiche tecniche:

PERFORMANCE:

- Accelerometro Monoassiale;
- Sensibilità: 10 V/g;
- Range di misura ± 0.5 g pk;
- Range di frequenze 0.1 a 200 Hz;
- Frequenza di risonanza ≥ 700 Hz;
- Range di Temperatura da -15 a 150 °F;

CARATTERISTICHE MECCANICHE:

- Sensore in Ceramica;
- Case in acciaio inossidabile;
- Diametro 5,71 cm; - Altezza 7,11 cm; - Peso 0,64 Kg.



Figura 2-7 - Stazione accelerometrica usata per i test

Le centraline di acquisizione integrano uno o più moduli I/O che forniscono connettività diretta ai sensori. Le centraline controllano la temporizzazione, la sincronizzazione e il trasferimento dati tra moduli I/O e un host esterno; le centraline utilizzate sono della National Instrument modello NI-9230 a 3 canali montate su chassis Compact DAQ – 9178 a otto slot. La

centralina CompactDAQ è una piattaforma di acquisizione dati che integra connettività, acquisizione dati e segnale condizionamento in I/O modulare per l'interfacciamento diretto con qualsiasi sensore o segnale. Usando la centralina con il software LabView è possibile personalizzare il modo di acquisizione, visualizzazione e gestione dei dati di misurazione. La centralina, inoltre, utilizza una combinazione di filtri analogici e digitali per fornire una precisa rappresentazione di segnali in banda rifiutando segnali fuori banda. I filtri discriminano i segnali in base alla gamma di frequenza o larghezza di banda del segnale. Nello specifico si hanno le seguenti specifiche tecniche:

- Numero di canali 3;
- Risoluzione 24 bit;
- Range di segnale ± 30 V;
- Frequenza di campionamento 12,8 kS/s/ch;
- Sensore di tipo IEPE;
- Rumore alla massima frequenza di campionamento 106 μ Vrms; - Isolamento continuo 60 VDC.



Figura 2-8 Centralina di acquisizione e chassis di alloggiamento a 8 slot

Sono stati individuati 11 punti nei quali posizionare n°22 accelerometri (2 per ogni punto nella direzione x,y). I punti individuati sono riportati nelle seguenti piante dell'edificio (Figure 11-15):

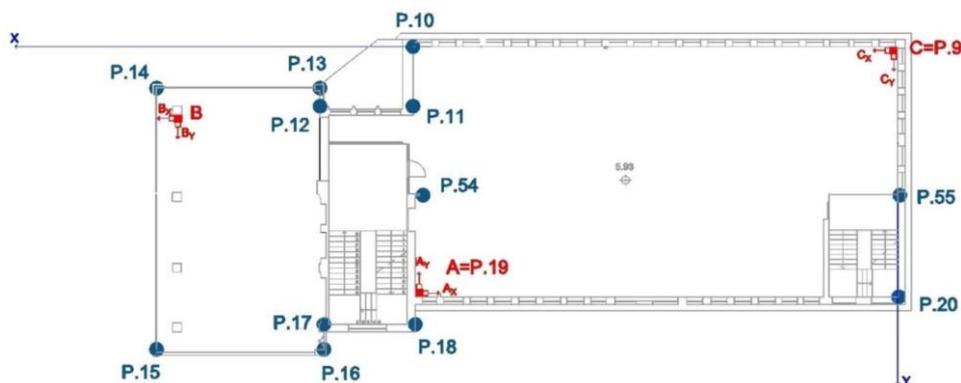


Figura 2-9- Livello primo (5,93 m)

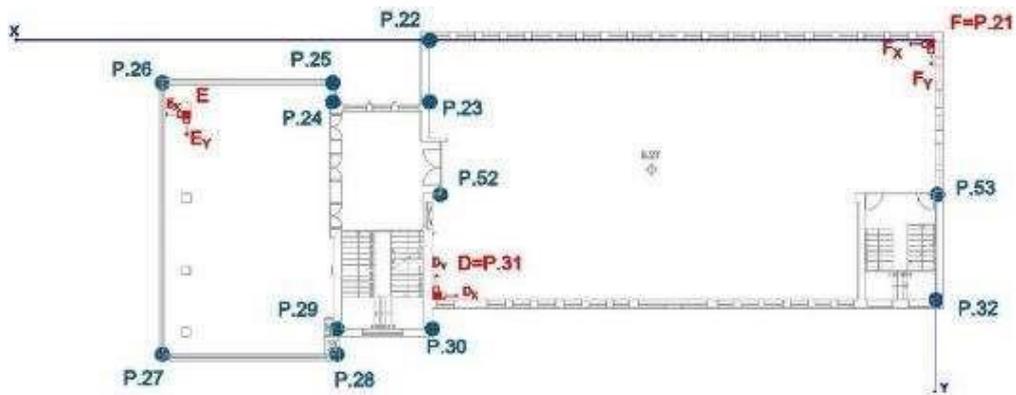


Figura 2-10 - Livello secondo (9,27 m)

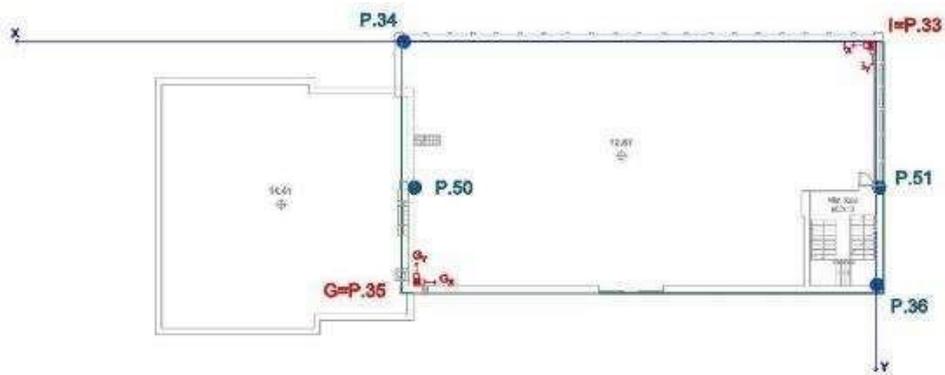


Figura 2-11- Livello terzo (12,61 m)

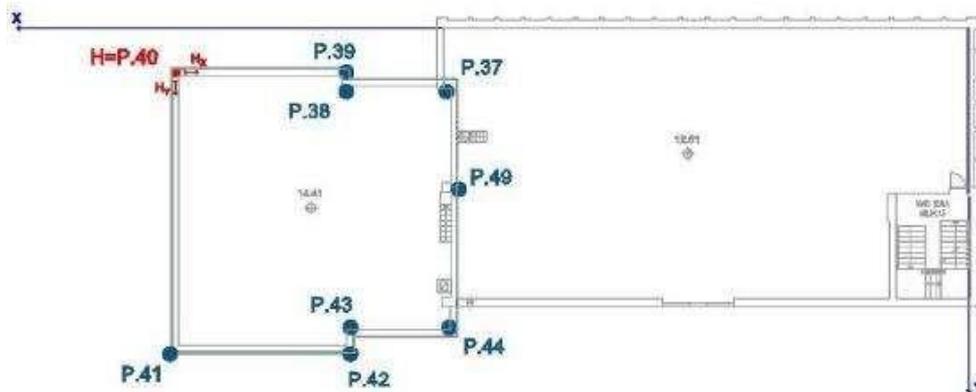


Figura 2-12 - Livello quarto: 14,41 m)

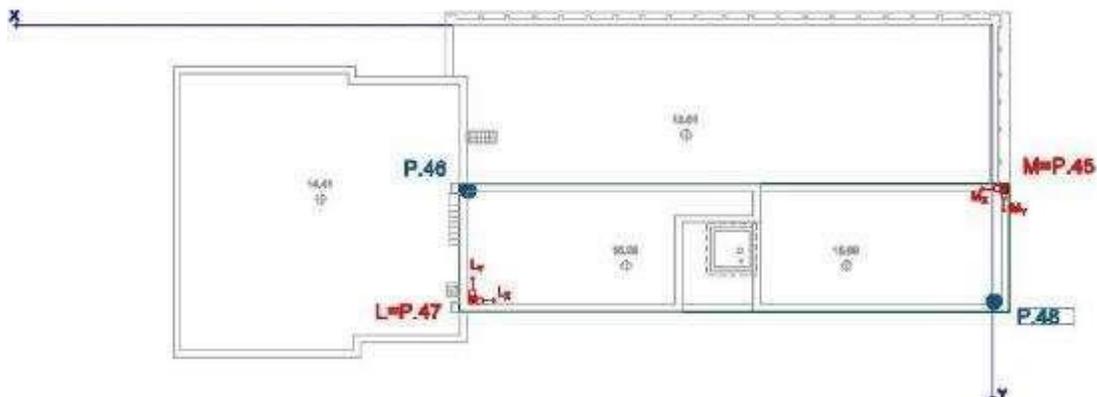


Figura 2-13 - Livello quinto (15,09 m)

Gli accelerometri sono stati posizionati lungo le verticali I, II, III e IV, individuate nella Figura 2-14, le quali sono state oggetto di monitoraggio.

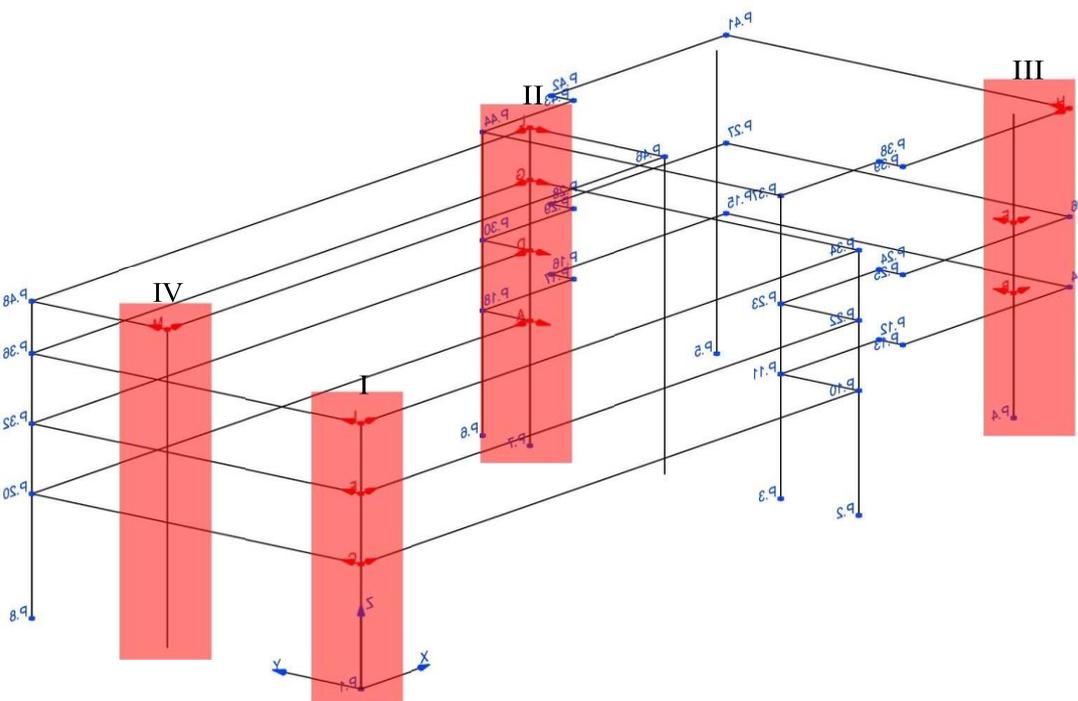


Figura 2-14- Panoramica tridimensionale della posizione degli accelerometri con individuazione delle verticali monitorate

I punti sono stati disposti secondo le posizioni riassunte in Tabella 2-5.

Tabella 2-5 Collocazione punti di misura

Piano	Posizione	Accelerometro	Direzione	X (m)	Y (m)	Z (m)
1°	A	AX	-X	29,00	15,00	5,93
		AY	-Y	29,00	15,00	5,93
	B	BX	+X	42,91	4,07	5,93
		BY	+Y	42,91	4,07	5,93
	C	CX	+X	0,00	0,00	5,93
		CY	+Y	0,00	0,00	5,93
2°	D	DX	-X	29,00	15,00	9,27
		DY	-Y	29,00	15,00	9,27
	E	EX	+X	42,91	4,07	9,27
		EY	+Y	42,91	4,07	9,27
	F	FX	+X	0,00	0,00	9,27
		FY	+Y	0,00	0,00	9,27
3°	G	GX	-X	29,00	15,00	12,61
		GY	-Y	29,00	15,00	12,61
	I	IX	+X	0,00	0,00	12,61
		IY	+Y	0,00	0,00	12,61
4°	H	HX	-X	44,45	2,47	14,41
		HY	+Y	44,45	2,47	14,41
5°	L	LX	-X	29,00	15,00	15,09
		LY	-Y	29,00	15,00	15,09
	M	MX	+X	0,00	8,85	15,09
		MY	+Y	0,00	8,85	15,09

Per il campionamento dei dati sono state effettuate 6 registrazioni da 5 minuti (300 secondi) ciascuna con un intervallo di campionamento $\Delta T=0,001953$ sec per una frequenza di campionamento di circa 512 Hertz.

Per l'acquisizione dei dati sono stati utilizzati 8 moduli e 3 centraline (cDAQ1, cDAQ2 e cDAQ3) collegate tra loro con cavo di sincronizzazione.

Tabella 2-6 Tabella descrittiva del cablaggio della strumentazione

POSIZIONE ACCELEROMETRI										
PIANO	POSIZIONE	Accelerometro	Direzione	Chassis	Centralina	Canale	Cavo	X [m]	Y [m]	Z [m]
1°	A	AX_NEG	-X	cDAQ1	MOD1	CH0	5	29	15	5,93
		AY_NEG	-Y	cDAQ1	MOD1	CH1	6	29	15	5,93
	B	BY_POS	+Y	cDAQ1	MOD2	CH0	2	42,91	4,07	5,93
		BX_POS	+X	cDAQ1	MOD1	CH2	1	42,91	4,07	5,93
	C	CX_POS	+X	cDAQ1	MOD2	CH1	3	0	0	5,93
		CY_POS	+Y	cDAQ1	MOD2	CH2	4	0	0	5,93
2°	D	DX_NEG	-X	cDAQ2	MOD1	CH0	12	29	15	9,27
		DY_NEG	-Y	cDAQ2	MOD1	CH1	11	29	15	9,27
	E	EX_POS	+X	cDAQ2	MOD1	CH2	7	42,91	4,07	9,27
		EY_POS	+Y	cDAQ2	MOD2	CH0	8	42,91	4,07	9,27
	F	FX_POS	+X	cDAQ2	MOD2	CH1	9	0	0	9,27
		FY_POS	+Y	cDAQ2	MOD2	CH2	10	0	0	9,27
3°	G	GX_NEG	-X	cDAQ3	MOD1	CH0	13	29	15	12,61
		GY_NEG	-Y	cDAQ3	MOD1	CH1	14	29	15	12,61
	I	IX_POS	+X	cDAQ3	MOD2	CH1	16	0	0	12,61
		IY_POS	+Y	cDAQ3	MOD2	CH2	15	0	0	12,61
4°	H	HX_NEG	-X	cDAQ3	MOD1	CH2	17	44,45	2,47	14,41
		HY_POS	+Y	cDAQ3	MOD2	CH0	18	44,45	2,47	14,41
5°	L	LX_NEG	-X	cDAQ3	MOD3	CH0	19	29	15	15,09
		LY_NEG	-Y	cDAQ3	MOD3	CH1	20	29	15	15,09
	M	MX_POS	+X	cDAQ3	MOD3	CH2	21	0	8,85	15,09
		MY_POS	+Y	cDAQ3	MOD4	CH0	22	0	8,85	15,09

Le 6 registrazioni campionate, da 300 secondi ciascuna, sono state riportate in sequenza, in grafici accelerazione-tempo, per un totale di 1800 secondi per ogni accelerometro, in maniera tale da determinare la time history dell'intero campionamento. Di seguito vengono riportati i grafici di per ogni punto di misura e per ogni accelerometro.

2.1.3 Grandezze dinamiche sperimentali

L'identificazione dinamica della struttura in esame, sottoposta ad eccitazione ambientale, ha permesso di ricavare i principali parametri modali dell'edificio, quali modi propri di vibrare, frequenze e coefficienti di smorzamento. I dati raccolti sono stati quindi implementati sul software "Artemis Modal Pro". Il software Artemis permette l'analisi modale operativa e sperimentale in modo da produrre stime di parametri modali basate sull'analisi parallela di diverse tecniche di analisi. Esso permette, infatti, di effettuare tre tipi di analisi nel dominio della frequenza, quali:

- Analisi di decomposizione del dominio di Frequenza (FDD);
- Analisi di decomposizione del dominio di Frequenza avanzata (EFDD);
- Analisi di decomposizione del dominio della Frequenza adatta per curva (CFDD).

Tutte e tre le tecniche si basano sul peak-picking, ovvero la stima dei parametri modali basata sulla selezione, automatica o manuale, dei picchi nel dominio della frequenza.

Artemis permette anche analisi dinamiche nel dominio del tempo, mediante 5 tipi di tecniche, quali:

- Stochastic Subspace Identification - Componente principale non ponderato esteso SSI-UPCX;
- Stochastic Subspace Identification - Componente principale non ponderato SSI-UPC;
- Stochastic Subspace Identification - Componente principale SSI-PC;
- Stochastic Subspace Identification - Analisi delle variabili canoniche SSI-CVA;
- Stochastic Subspace Identification - Configurazioni dei test unite del componente principale non ponderato SSI-UPC-Fuse.

Si tratta di sole tecniche del tipo SSI e stimano i parametri modali direttamente dalle serie storiche misurate non elaborate. Le tecniche SSI possono lavorare con spazio ravvicinato e modalità ripetute con smorzamento leggero o pesante. Lavorando nel dominio del tempo, non vi sono errori di distorsione o mancanza di risoluzione della frequenza, di conseguenza, le stime dei parametri modali sono asintoticamente imparziali. Inoltre, poiché le tecniche SSI sono stimatori dell'ordine dei modelli bassi, gli errori statistici delle stime dei parametri modali sono estremamente piccoli.

In Artemis è stata, prima di tutto, definita la geometria della struttura oggetto di studio, costituita da un insieme di punti, opportunamente riferiti al sistema di coordinate definito nel modello, da linee orizzontali e verticali che uniscono i vari punti e quindi da superfici racchiuse dalle linee. La geometria così elaborata ha il solo scopo di definire, in particolare, la posizione degli accelerometri sulla struttura e di valutarne il comportamento d'insieme, mediante iterazione negli altri punti, mentre non è richiesta alcuna definizione degli spessori delle pareti o delle caratteristiche dei materiali.

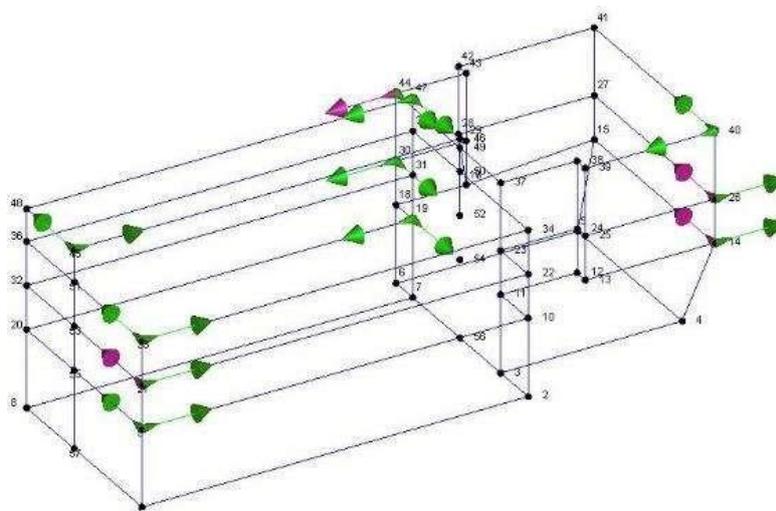


Figura 2-15 - Geometria modello sperimentale Artemis

Impostata la geometria e definiti i punti, sono state caricate le registrazioni dei dati provenienti dagli accelerometri opportunamente corretti ed organizzati nei diversi setups. Per ognuno dei punti misurati, il programma riconosce automaticamente i channels, nelle direzioni x e y, che riportano le misurazioni dei rispettivi accelerometri. Il software, ottenuti i dati misurati dagli accelerometri per i rispettivi punti di misurazione, ricava per ogni altro punto, inserito per definire la geometria della struttura, i valori modali ottenuti per iterazione, ovvero ottenendo dati approssimativi per ogni punto non misurato partendo dai dati iniziali dei punti misurati.

Per l'estrazione delle forme modali sono stati effettuati tre Test mediante l'analisi nel dominio del tempo con metodo SSI-UPC (Stochastic Subspace Identification – Unweighted Principal Component). Nelle tecniche di identificazione SSI un modello parametrico viene adattato direttamente ai dati grezzi delle serie storiche. Un modello parametrico è un modello matematico con alcuni parametri che possono essere regolati per modificare il modo in cui il modello si adatta ai dati. In generale, stiamo cercando un set di parametri che minimizzerà la deviazione tra la risposta del sistema prevista del modello e la risposta del sistema misurata (misurazioni).

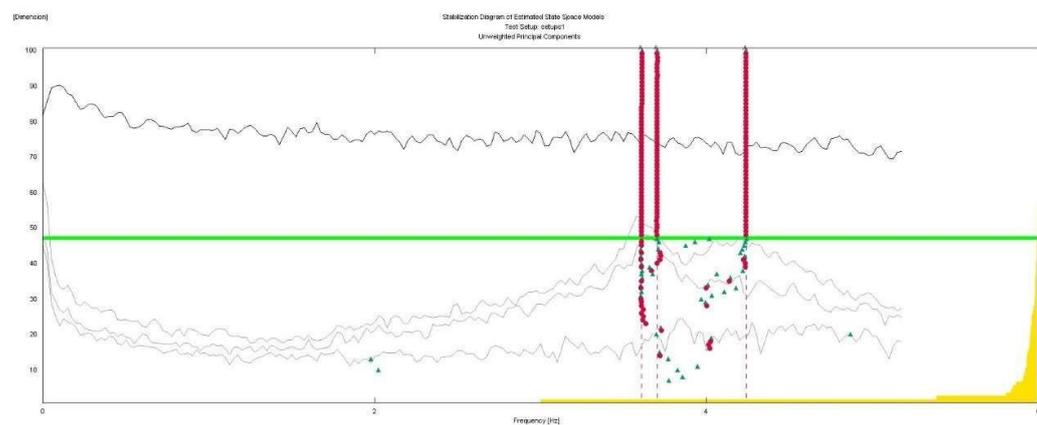


Figura 2-16 - Grafico di funzione di densità spettrale con identificazione dei picchi di frequenza

Il software ha identificato tre frequenze di risonanza corrispondenti a tre modi di vibrare preponderanti.

Tabella 2-7 - Risultati ottenuti sperimentalmente per tre modi preponderanti per i tre test.

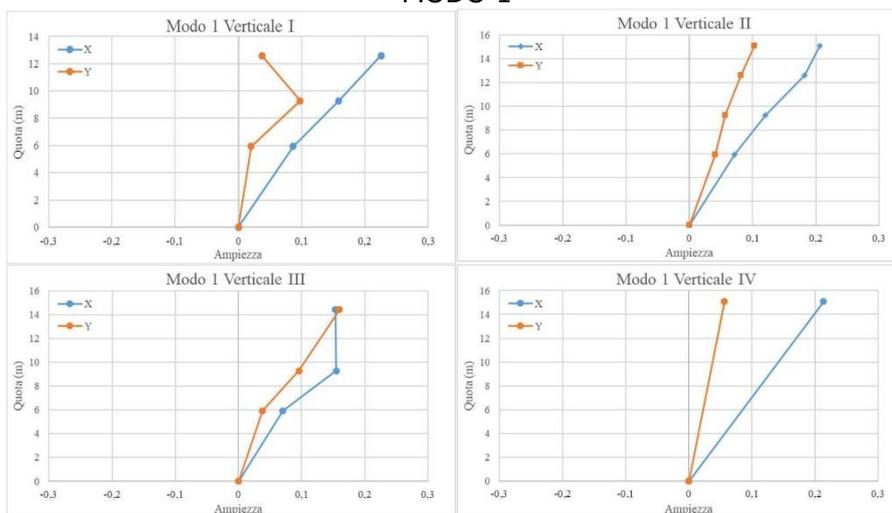
Modo 1 (Flessionale X)		Modo 2 (Flessionale Y)		Modo 3 (Torsionale)	
Frequenza (Hz)		Frequenza (Hz)		Frequenza (Hz)	
Test 2	3,6364	Test 2	3,6368	Test 2	4,2186
Test 3	3,6323	Test 3	3,6538	Test 3	4,2479
Test 4	3,6105	Test 4	3,7038	Test 4	4,2403
Media	3,6264	Media	3,6648	Media	4,2356

I dati modali estratti hanno permesso, inoltre, di determinare le deformate modali delle quattro verticali. Si riportano le deformate relative al Test3.

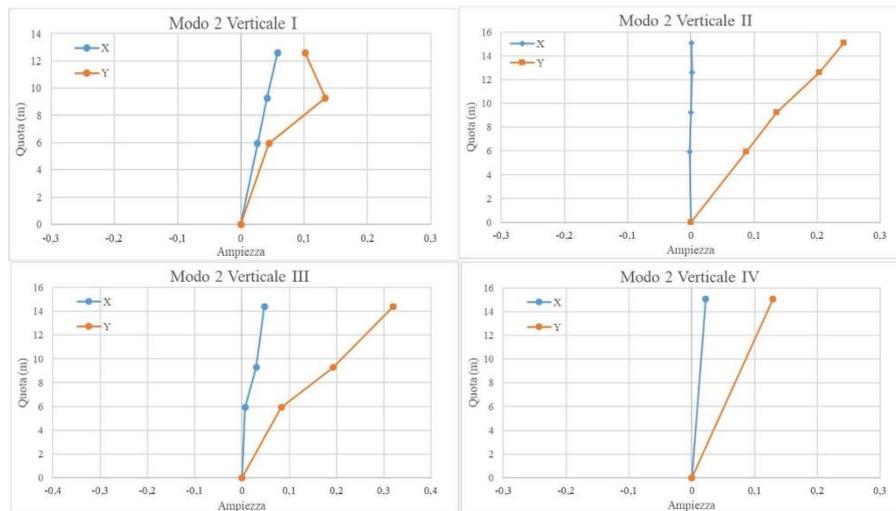
Tabella 2-8: dati modali estratti per il Test 3

Response DOF	3,632 Hz	3,654 Hz	4,248 Hz
I:1:+X	8,65E-02	2,63E-02	-2,49E-02
I:1:+Y	2,02E-02	4,43E-02	1,23E-01
I:2:+X	1,58E-01	4,13E-02	-5,32E-02
I:2:+Y	9,77E-02	1,33E-01	7,97E-02
I:3:+X	2,26E-01	5,81E-02	-7,21E-02
I:3:+Y	3,69E-02	1,02E-01	3,21E-01
II:1:+X	7,17E-02	-1,49E-03	4,19E-02
II:1:+Y	4,09E-02	8,78E-02	2,09E-03
II:2:+X	1,21E-01	-6,46E-05	6,15E-02
II:2:+Y	5,68E-02	1,36E-01	-9,07E-04
II:3:+X	1,82E-01	1,57E-03	9,12E-02
II:3:+Y	8,21E-02	2,03E-01	-4,17E-03
II:4:+X	2,07E-01	1,30E-03	1,06E-01
II:4:+Y	1,03E-01	2,42E-01	-4,04E-03
III:1:+X	7,06E-02	6,91E-03	-2,19E-02
III:1:+Y	3,83E-02	8,32E-02	-8,01E-02
III:2:+X	1,55E-01	3,00E-02	-5,93E-02
III:2:+Y	9,60E-02	1,93E-01	-2,01E-01
III:3:+X	1,53E-01	4,75E-02	-8,16E-02
III:3:+Y	1,60E-01	3,20E-01	-3,42E-01
IV:1:+X	2,13E-01	2,19E-02	2,72E-02
IV:1:+Y	5,63E-02	1,29E-01	3,90E-01

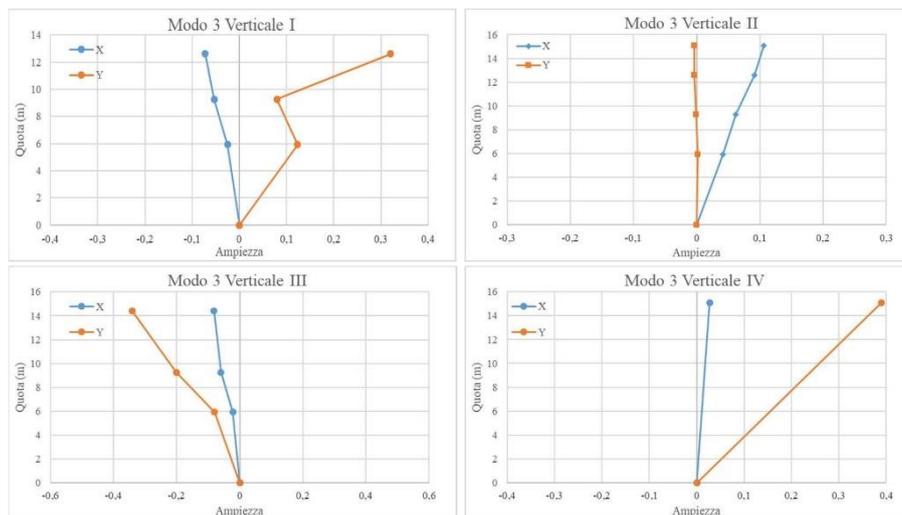
DEFOMATE MODALI - TEST 3:
MODO 1



MODO 2



MODO 3



2.1.4 Modello SMAV

Tramite l'applicativo vascoSMAV è stato generato il modello numerico SMAV per la definizione delle curve di fragilità secondo il procedimento brevemente descritto al capitolo 1.2. In questa sezione alcuni aspetti della modellazione vengono riassunti tramite immagini e tabelle. In questo caso, a causa delle incertezze determinatesi sulle misure in situ, sono state processate le frequenze ottenute da campagna di identificazione dinamica e forme modali ottenute da modellazione tramite macroelementi. Il modello a macroelementi è stato calibrato in base alle frequenze sperimentalmente identificate.

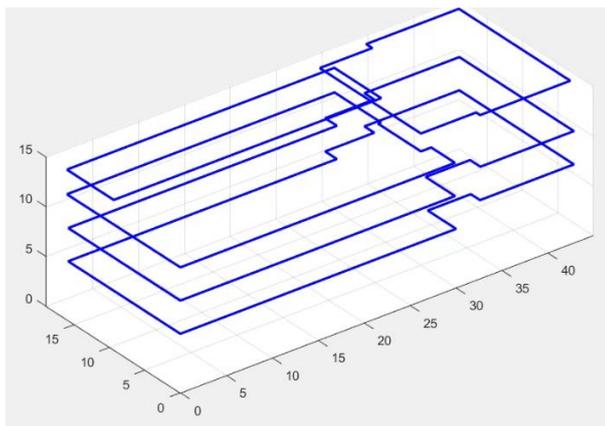


Figura 2-17 Rappresentazione semplificata della geometria della struttura.

Parametri modello SMAV

Coefficienti di ortogonalità				Masse partecipanti		Ipotesi di poligono rigido	
	1	2	3	Mx	My	MAC	
1	1	0.5339	0.0704	0.72	0.15	1	0.9839
2	0.5339	1	0.0038	0.01	0.82	2	0.9927
3	0.0704	0.0038	1	0.01	0.04	3	0.9735
				0.74	1.01		

Figura 2-18 Parametri modello SMAV

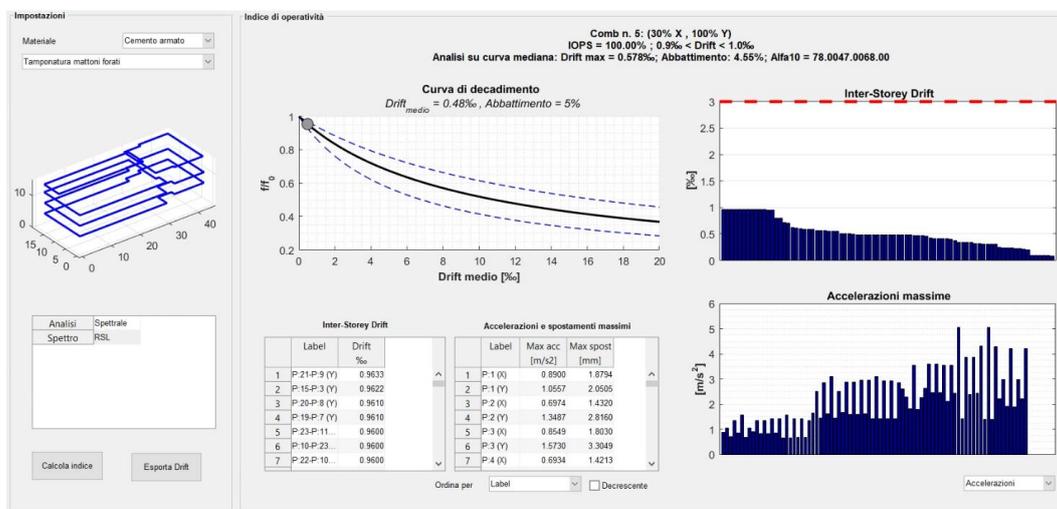
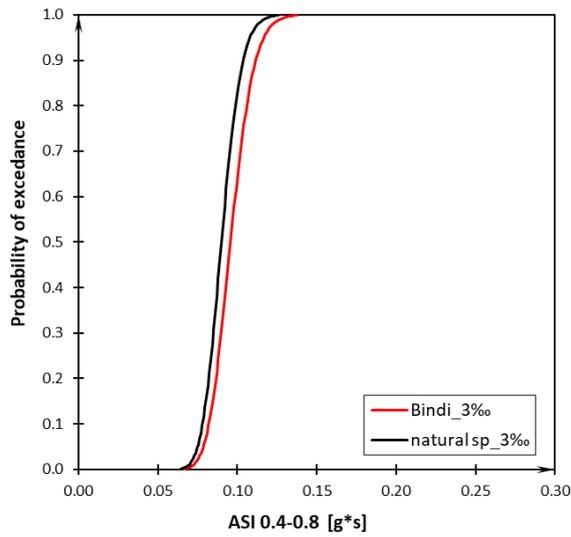


Figura 2-19 Scheda riassuntiva dei risultati SMAV

2.1.5 Curve di fragilità

Tramite la procedura descritta al capitolo 1.2, sono state determinate le curve di fragilità riportate in questa sezione. In questa sede sono stati analizzati due set di spettri di progetto. I due set, costruiti rispettivamente da accelerogrammi sintetici e naturali mostrano, in termini di curva di fragilità, una stabilità del risultato. Quest'ultimo è debolmente influenzato dalla scelta del set di spettri sebbene gli spettri artificiali appaiano determinare una maggiore richiesta di spostamento per la struttura. Questo può

determinare una lieve sovrastima della probabilità di danneggiamento come mostra la curva rossa nella Figura 2-20. La curva adotta come parametro di intensità di misura il valore ASI nell'intervallo 0.4-0.8 secondi.



Seismic load	ASI _{0.4-0.8} [g*s]	
	drift,max= 3‰	θ
Bindi 2011 (1180 spettri - gaussiana)	0.0957	0.1200
900 segnali reali_F	0.0900	0.1107

Figura 2-20 Risultati finali

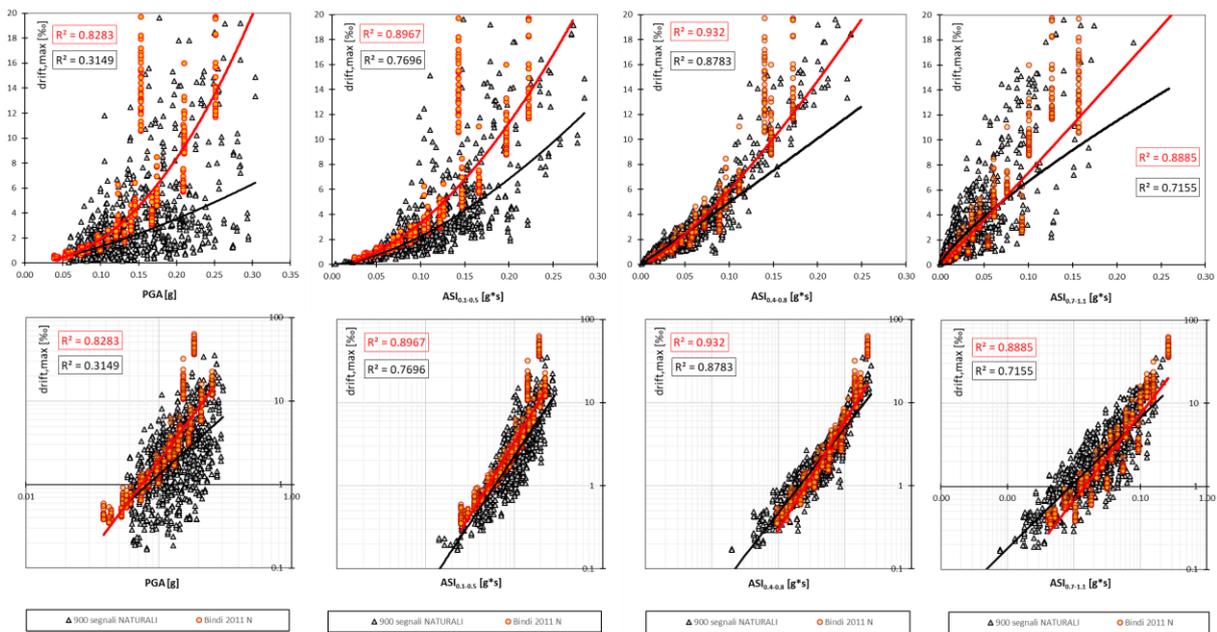


Figura 2-21 Elaborazioni per diversi intervalli di periodo.

2.2 ES2 – Poliambulatorio

La struttura è di tipo a telai in ca, fortemente irregolare in pianta e in altezza e sviluppata su 4 livelli fuori terra di cui uno semi-interrato, più un piano interrato.

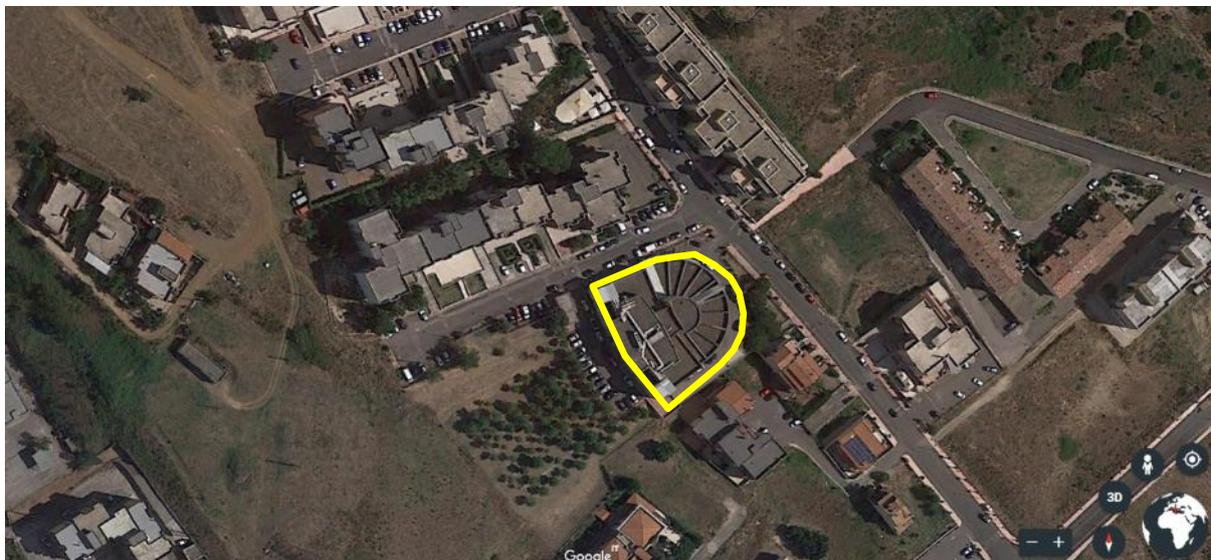


Figura 2-22 Stralcio inquadramento planimetrico

2.2.1 Ricerca documentale

Nelle successive tabelle si è scelto di indicare con □ il dato mancante e con ■ il dato presente.

Tabella 2-9 Edifici Strategici – Informazioni generali

REGIONE	CODICE	ANNO DI COSTRUZ	N. PIANI	PRESENZA DI SETTI
PUGLIA	ES2	Normativa di riferimento	(n. di elevazioni) 5	□

Tabella 2-10 Edifici Strategici – Informazioni Architettoniche

REGIONE	CODICE	N. PIANI (n. di elevazioni)	PLANIMETRIE										COPETURA	PROSPETTI	NOTE			
			-2	-1	PT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7				P8	P9	P10
PUGLIA	ES2	5	■	■	■	■	■									■	□	

Tabella 2-11 Edifici Strategici – Informazioni Strutturali

REGIONE	CODICE	N. PIANI (n. di evazioni)	CARPENTERIE													COPERTURA	Note	
			F	-2	-1	PT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9			P10
PUGLIA	ES2	5	<input type="checkbox"/>															

Tabella 2-12 Edifici Strategici – Informazioni dettagli architettonici e dati materiali e terreno

REGIONE	CODICE	DETTAGLI	MATERIALI	DATI	TERRENI	Note
PUGLIA	ES2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Sono state trasmesse le planimetrie architettoniche di cui di seguito si riportano le immagini. Non si hanno dati in possesso riguardanti le carpenterie dei solai.

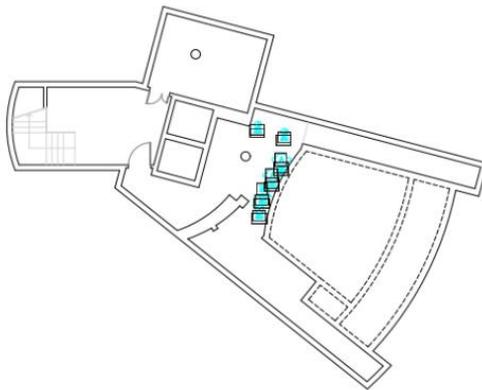


Figura 2-23 Pianta piano interrato

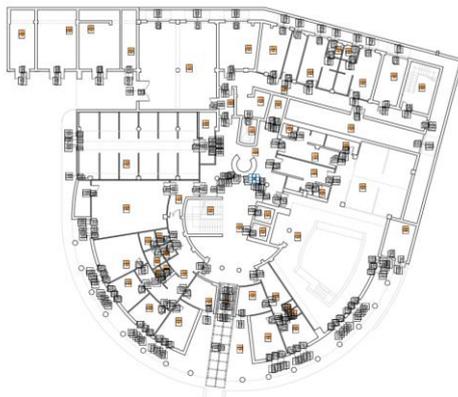


Figura 2-24 Pianta Seminterrato

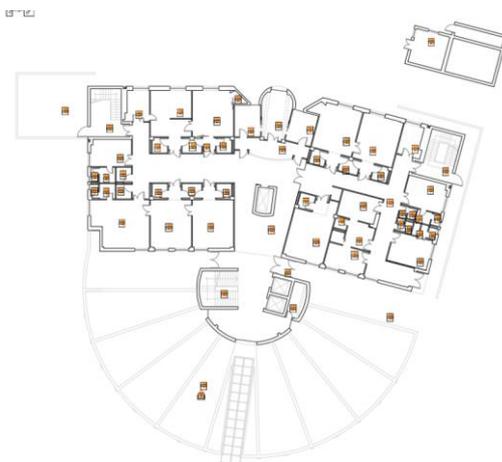


Figura 2-25 Pianta piano terra

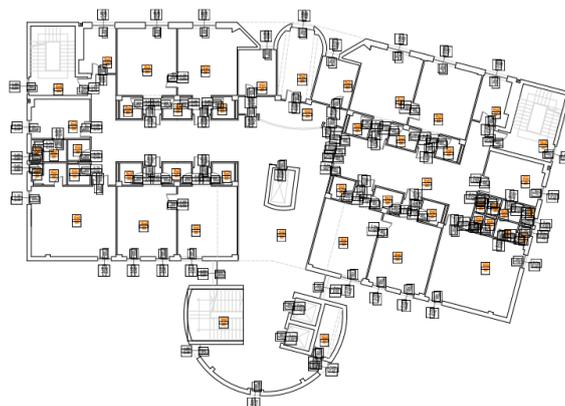


Figura 2-26 Pianta piano primo



Figura 2-27 - Pianta piano secondo

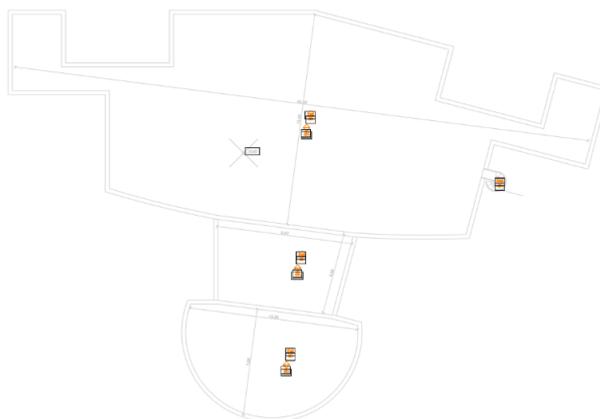


Figura 2-28 - Pianta coperture

2.2.2 Curve di fragilità

Non è stato possibile accedere alla struttura per l'esecuzione delle indagini sperimentali e non è stata reperita documentazione congrua con una modellazione anche semplificata. Verranno adottate per questo edificio curve di fragilità tipologiche coerenti con la tipologia strutturale e le caratteristiche geometriche. È opportuno però osservare preliminarmente che la struttura è caratterizzata da una forte irregolarità strutturale costituita da piani porticati e corpi aggettanti. Questo rende la struttura estremamente singolare e di difficile assimilazione alle tipologie strutturali spesso adottate per la definizione delle curve di fragilità. In base alle difficoltà riscontrate e alla ridotta documentazione reperibile si adatteranno cautelativamente le curve di fragilità proposte da Borzi B., Pinho R., Crowley H., SP-BELA: un metodo meccanico per la definizione della vulnerabilità basato su analisi pushover semplificate, ANIDIS, Pisa, 2007.

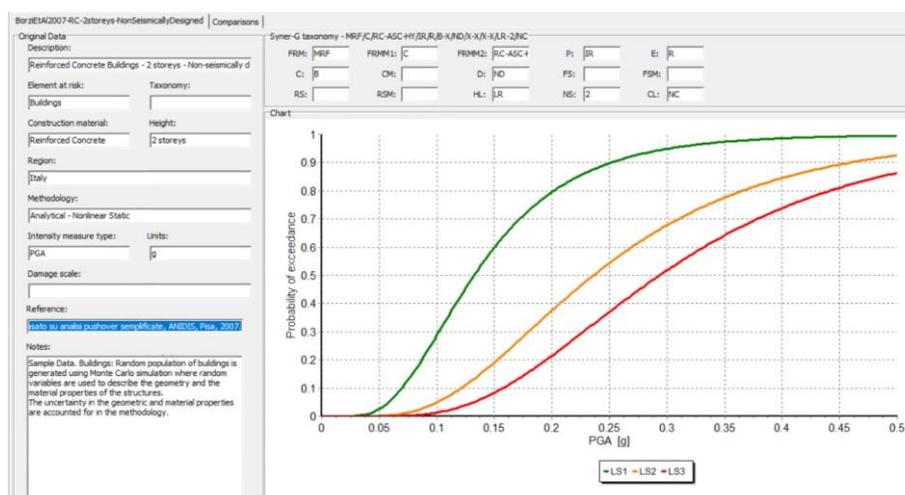


Figura 2-29 Curve di Fragilità

2.3 ES3 – Caserma dei VVF distaccamento di Castellaneta

La caserma dei vigili del fuoco di Castellaneta è situata sulla strada statale 7 "Appia" al Km 617. L'edificio è identificato in catasto del Comune di Castellaneta (TA) al foglio 73 particella 61. È localizzabile in area Sud-Ovest rispetto al centro urbano, raggiungibile mediante la strada statale 7 (SS7) che collega Castellaneta a Palagiano. L'area è sgombra da altri edifici circostanti avendo tutt'intorno aree verdi, la strada principale (SS7) e la ferrovia.



Figura 2-30 Immagini della caserma VVF- ES3

2.3.1 Ricerca documentale

Nelle successive tabelle si è scelto di indicare con □ il dato mancante e con ■ il dato presente.

Tabella 2-13 Edifici Strategici – Informazioni generali

REGIONE	CODICE	ANNO DI COSTRUZ Normativa di riferimento	N. PIANI (n. di elevazioni)	PRESENZA DI SETTI
PUGLIA	ES3	1971	2	■

Tabella 2-14 Edifici Strategici – Informazioni Architettoniche

REGIONE	CODICE	N. PIANI (n. di elevazioni)	PLANIMETRIE										COPERTURA	PROSPETTI	NOTE		
			-2	-1	PT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7				P8	P9
PUGLIA	ES3	2			■	■											□

Tabella 2-15 Edifici Strategici – Informazioni Strutturali

REGIONE	CODICE	N. PIANI (n. di evazioni)	CARPENTERIE										COPERTURA	Note			
			F	-2	-1	PT	P1	P2	P3	P4	P5	P6			P7	P8	P9
PUGLIA	ES3	2	■				■	■									□

Tabella 2-16 Edifici Strategici – Informazioni dettagli architettonici e dati materiali e terreno

REGIONE	CODICE	DETTAGLI	DATI	Note
PUGLIA	ES3	■	MATERIALI ■	TERRENI ■

Le informazioni relative alla struttura, alla caratterizzazione del suolo e alle caratteristiche dei materiali sono state estrapolate dai documenti¹, redatti nell'ambito del progetto di "Adeguamento sismico della sede distaccata dei VVF. Di Castellaneta" del 2018

Il fabbricato si sviluppa per due piani fuori terra ed è costituito da una struttura intelaiata in calcestruzzo armato e da muratura portante in conci di tufo.

I due livelli fuori terra hanno due altezze differenti: il piano terra, di circa 4,50 m, ospita l'autorimessa dei mezzi di proprietà dei vigili del fuoco; mentre il piano superiore sono presenti gli uffici.

Non si ha contezza dell'altezza del primo piano, si è quindi ipotizzata un'altezza di 3,50 m.

È presente un piano interrato in cui è collocata la riserva idrica, posta a una quota di -2,70 m.

Dalla relazione geotecnica² sono stati ricavati i parametri relativi a:

- Classificazione sismica del sito di costruzione: $a_g = 0.1433$
- Categoria di suolo: B

Le strutture in cemento armato hanno le seguenti caratteristiche meccaniche: calcestruzzo C25/30 e armature ad aderenza migliorata B450C.

Dalla consultazione della documentazione³ sono state identificate le sezioni e le relative armature dei pilastri. I pilastri identificati con *a* e *b* sono pilastri strutturali di rinforzo realizzati nel 1995, posizionati ai lati dei pilastri originari di sezione 40x40. Nella fase di modellazione sono state individuate delle sezioni equivalenti per tenere conto della presenza di questi pilastri di rinforzo, modellando sezioni 70x50, nel caso di un pilastro di rinforzo *a*, e 90x50, nel caso di due pilastri di rinforzo *a* e *b*.

Sono presenti pareti in c.a. nel piano interrato⁴, il cui spessore e le relative armature sono state dalla documentazione progettuale⁵. Tali strutture hanno un ulteriore supporto dalle murature portanti in conci di tufo giuntati con malta di caratteristiche scarse.

¹ ES3 Castellaneta - "Relazione Generale", Elaborato 01 nell'ambito del progetto di Adeguamento sismico della sede distaccata dei VVF. Di Castellaneta

ES3 Castellaneta - "Carpenteria stato di fatto", Elaborato 07

ES3 Castellaneta - "Strutture principali e secondarie stato di fatto", Elaborato 08

ES3 Castellaneta - "Relazione Geologica", Elaborato 14

ES3 Castellaneta - "Relazione Geotecnica", Elaborato 15

ES3 Castellaneta - "Tabulati di calcolo stato di fatto 1 di 2", Elaborato 16

² ES3 Castellaneta - "Relazione Geotecnica", Elaborato 15

³ ES3 Castellaneta - "Carpenteria stato di fatto", Elaborato 07

⁴ ES3 Castellaneta - "Relazione Generale", Elaborato 01 nell'ambito del progetto di Adeguamento sismico della sede distaccata dei VVF. Di Castellaneta

⁵ ES3 Castellaneta - "Strutture principali e secondarie stato di fatto", Elaborato 08

Si individuano tre tipologie di solaio: due in latero-cemento di altezza 25 cm e 30 cm, la terza tipologia è una soletta piena in c.a. La copertura risulta costituita da archi ribassati in cemento armato, il cui spessore non risulta indicato negli elaborati messi a disposizione ed è quindi stato ipotizzato di 15 cm.

Ad ogni solaio sono stati assegnati i carichi permanenti derivanti dagli elementi strutturali, i carichi permanenti non strutturali e i sovraccarichi accidentali dipendenti dalla destinazione d'uso. Al piano terra ritroviamo Rimesse e aree per traffico di veicoli leggeri (peso a pieno carico < 30 kN) (Categoria G), Ambienti suscettibili di affollamento (Categoria C2) e Uffici (Categoria B1), ritrovabili anche al livello successivo; all'ultimo livello i sovraccarichi accidentali sono relativi alle Coperture accessibili per sola manutenzione (Categoria H).

Le fondazioni sono costituite da plinti collegati e da travi rovesce in cemento armato. Inoltre, vengono indicate le quote delle fondazioni a livello interrato, pari a -3,50 m nel locale interrato e -2,80 m in corrispondenza della cisterna.

Il fabbricato si sviluppa per due piani fuori terra ed è costituito da una struttura intelaiata in calcestruzzo armato e da muratura portante in conci di tufo aventi uno spessore pari a 40 cm. I due livelli fuori terra hanno due altezze differenti: il piano terra, di circa 4.50 m, ospita l'autorimessa dei mezzi di proprietà dei vigili del fuoco; mentre il piano superiore sono presenti gli uffici. La copertura è costituita da un arco ribassato in cemento armato. L'edificio è stato realizzato nel 1971 e solo nel 1994 adibito a caserma VVF. Il fabbricato originario comprendeva un'ampia copertura a botte in cemento. Nel 1994 è stato realizzato un solaio intermedio con la realizzazione di nuovi pilastri. Le strutture in calcestruzzo hanno le seguenti caratteristiche meccaniche: calcestruzzo C25/30 e armature ad aderenza migliorata B450C, mentre, da esami visivi, si è percepito che non sono ottimali le caratteristiche meccaniche delle murature in conci di tufo.

Fatta eccezione per la riserva idrica, la quale è stata chiusa con solettone in c.a., gli orizzontamenti di interpiano sono costituiti da solaio in latero-cemento aventi spessore 25+5 cm e 20+5 cm. La copertura dell'intero edificio è costituita da un arco ribassato in cemento armato; l'effetto spingente di tale arco ha reso necessario l'inserimento di catene in acciaio. I livelli sono collegati verticalmente da scale in cemento armato del tipo a soletta rampante. I muri di collegamento hanno una distribuzione irregolare in pianta ed in altezza. Le fondazioni sono costituite da plinti collegati e da travi rovesce in cemento armato. Le caratteristiche meccaniche dei materiali sono quelle riportate di seguito.

MATERIALI CALCESTRUZZO ARMATO

N _{id}	γ _k [N/m ³]	α _{tr, i} [1/°C]	E [N/mm ²]	G [N/mm ²]	C _{Erid} [%]	Stz	R _{ck} [N/mm ²]	R _{cm} [N/mm ²]	%R _{ck}	γ _c	Caratteristiche calcestruzzo armato				N	n Ac
											f _{cd} [N/mm ²]	f _{ctd} [N/mm ²]	f _{ctm} [N/mm ²]			
Cls C25/30_B450C - (C25/30)																
001	25.000	0,000010	31.447	13.103	60	F	30,00	-	0,85	1,50	10,45	0,88	2,27	15	002	

LEGENDA:

N_{id}	Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
γ_k	Peso specifico.
α_{tr, i}	Coefficiente di dilatazione termica.
E	Modulo elastico normale.
G	Modulo elastico tangenziale.
C_{Erid}	Coefficiente di riduzione del Modulo elastico normale per Analisi Sismica [E _{sisma} = E·C _{Erid}].
Stz	Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
R_{ck}	Resistenza caratteristica cubica.
R_{cm}	Resistenza media cubica.
%R_{ck}	Percentuale di riduzione della R _{ck} .
γ_c	Coefficiente parziale di sicurezza del materiale.
f_{cd}	Resistenza di calcolo a compressione.
f_{ctd}	Resistenza di calcolo a trazione.
f_{ctm}	Resistenza media a trazione per flessione.
n Ac	Identificativo, nella relativa tabella materiali, dell'acciaio utilizzato: [-] = parametro NON significativo per il materiale.

MATERIALI ACCIAIO

Caratteristiche acciaio																
N _{id}	γ _k	α _{T,1}	E	G	Stz	f _{yk,1} / f _{yk,2}	f _{tk,1} / f _{tk,2}	f _{yk,1} / f _{yk,2}	f _{td}	γ _s	γ _{M1}	γ _{M2}	γ _{M3,SLV}	γ _{M3,SLE}	NCnt	γ _{M7} Cnt
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]		[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]							
Acciaio B450C - (B450C)																
002	78.500	0,000010	210.000	80.769	F	450,00	-	289,86	-	1,15	-	-	-	-	-	-

LEGENDA:

- N_{id}** Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
- γ_k** Peso specifico.
- α_{T,1}** Coefficiente di dilatazione termica.
- E** Modulo elastico normale.
- G** Modulo elastico tangenziale.
- Stz** Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
- f_{yk,1}** Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con t ≤ 40 mm).
- f_{yk,2}** Resistenza caratteristica a Rottura (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
- f_{td}** Resistenza di calcolo a Rottura (Bulloni).
- γ_s** Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV del materiale.
- γ_{M1}** Coefficiente parziale di sicurezza per instabilità.
- γ_{M2}** Coefficiente parziale di sicurezza per sezioni tese indebolite.
- γ_{M3,SLV}** Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLV (Bulloni).
- γ_{M3,SLE}** Coefficiente parziale di sicurezza per scorrimento allo SLE (Bulloni).
- γ_{M7}** Coefficiente parziale di sicurezza precario di bulloni ad alta resistenza (Bulloni - NCnt = con serraggio NON controllato; Cnt = con serraggio controllato). [-] = parametro NON significativo per il materiale.
- f_{yk,1}** Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con t ≤ 40 mm).
- f_{yk,2}** Resistenza caratteristica allo snervamento (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
- f_{td,1}** Resistenza di calcolo (per profili con t ≤ 40 mm).
- f_{td,2}** Resistenza di calcolo (per profili con 40 mm < t ≤ 80 mm).
- NOTE** [-] = Parametro non significativo per il materiale.

MATERIALI MURATURA

Caratteristiche Muratura															
N _{id}	γ _k	α _{T,1}	E	G	C _{erid}	Stz	γ _{m,v} / γ _{m,s}	f _{cm(k)} / f _{cd,v} / f _{cd,s}	f _{tk} / f _{td,v} / f _{td,s}	f _{ck,0} / f _{cd,0,v} / f _{cd,0,s}	f _{vko} / f _{vd0,v} / f _{vd0,s}	μ	λ	TRT	
	[N/m ³]	[1/°C]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	(%)			[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]			M	F
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) - con malta di caratteristiche scarse - (M.C.T.E.)															
003	16.000	0,000010	1.080	362	100	F	2,50	1,40	0,028	1,40	0,028	0,40	20	1	2
							2,00	0,41	0,008	0,41	0,008				
								0,52	0,010	0,52	0,010				

LEGENDA:

- N_{id}** Numero identificativo del materiale, nella relativa tabella dei materiali.
- γ_k** Peso specifico.
- α_{T,1}** Coefficiente di dilatazione termica.
- E** Modulo elastico normale.
- G** Modulo elastico tangenziale.
- C_{erid}** Coefficiente di riduzione del Modulo elastico normale per Analisi Sismica [E_{sismo} = E·C_{erid}].
- Stz** Tipo di situazione: [F] = di Fatto (Esistente); [P] = di Progetto (Nuovo).
- γ_{m,s}** Coefficiente parziale di sicurezza allo SLV della muratura nel caso di combinazioni SISMICHE.
- γ_{m,v}** Coefficiente parziale di sicurezza allo SLU della muratura nel caso di combinazioni a carichi VERTICALI (NON sismiche).
- f_{cm(k)}** f_{cm(k)}= Resistenza a compressione: media nel caso di muri "di Fatto" (Esistenti); caratteristica nel caso di muri "di Progetto" (Nuovi). f_{td,v}= Resistenza di calcolo a compressione per combinazioni a carichi VERTICALI (funzione di γ_{m,v} e LC/FC).
- f_{cd,v}** f_{cd,v}= Resistenza di calcolo a compressione per combinazioni SISMICHE (funzione di γ_{m,s} e LC/FC).
- f_{cd,s}** f_{cd,s}= Resistenza caratteristica a trazione. f_{td,v}= Resistenza di calcolo a trazione per combinazioni a carichi VERTICALI (funzione di γ_{m,v} e LC/FC). f_{td,s}= Resistenza di calcolo a trazione per combinazioni SISMICHE (funzione di γ_{m,s} e LC/FC).
- f_{tk}** f_{tk}= Resistenza caratteristica a compressione orizzontale. f_{cd,0,v}= Resistenza a compressione orizzontale di calcolo per combinazioni a carichi VERTICALI (funzione di γ_{m,v} e LC/FC). f_{cd,0,s}= Resistenza a compressione orizzontale di calcolo per combinazioni SISMICHE (funzione di γ_{m,s} e LC/FC).
- f_{ck,0}** f_{ck,0}= Resistenza caratteristica a compressione orizzontale. f_{vd0,v}= Resistenza di calcolo a taglio senza compressione per combinazioni a carichi VERTICALI (funzione di γ_{m,v} e LC/FC). f_{vd0,s}= Resistenza di calcolo a taglio senza compressione per combinazioni SISMICHE (funzione di γ_{m,s} e LC/FC).
- f_{vko}** f_{vko}= Resistenza caratteristica a taglio senza compressione. f_{vd0,v}= Resistenza di calcolo a taglio senza compressione per combinazioni a carichi VERTICALI (funzione di γ_{m,v} e LC/FC). f_{vd0,s}= Resistenza di calcolo a taglio senza compressione per combinazioni SISMICHE (funzione di γ_{m,s} e LC/FC).
- f_{vd0,v}** f_{vd0,v}= Resistenza di calcolo a taglio senza compressione per combinazioni SISMICHE (funzione di γ_{m,s} e LC/FC).
- f_{vd0,s}** f_{vd0,s}= Resistenza di calcolo a taglio senza compressione per combinazioni SISMICHE (funzione di γ_{m,s} e LC/FC).
- μ** Coefficiente di attrito.
- λ** Snellezza.

LIVELLO DI CONOSCENZA E FATTORE DI CONFIDENZA

Livello di Conoscenza e Fattore di Confidenza	
LC	FC
LC1	1,35

LEGENDA:

- LC** [LC1] = Conoscenza Limitata - [LC2] = Conoscenza Adeguata - [LC3] = Conoscenza Accurata.
- FC** Fattore di confidenza applicato alle proprietà dei materiali.

Figura 2-31 - Caratteristiche meccaniche dei materiali

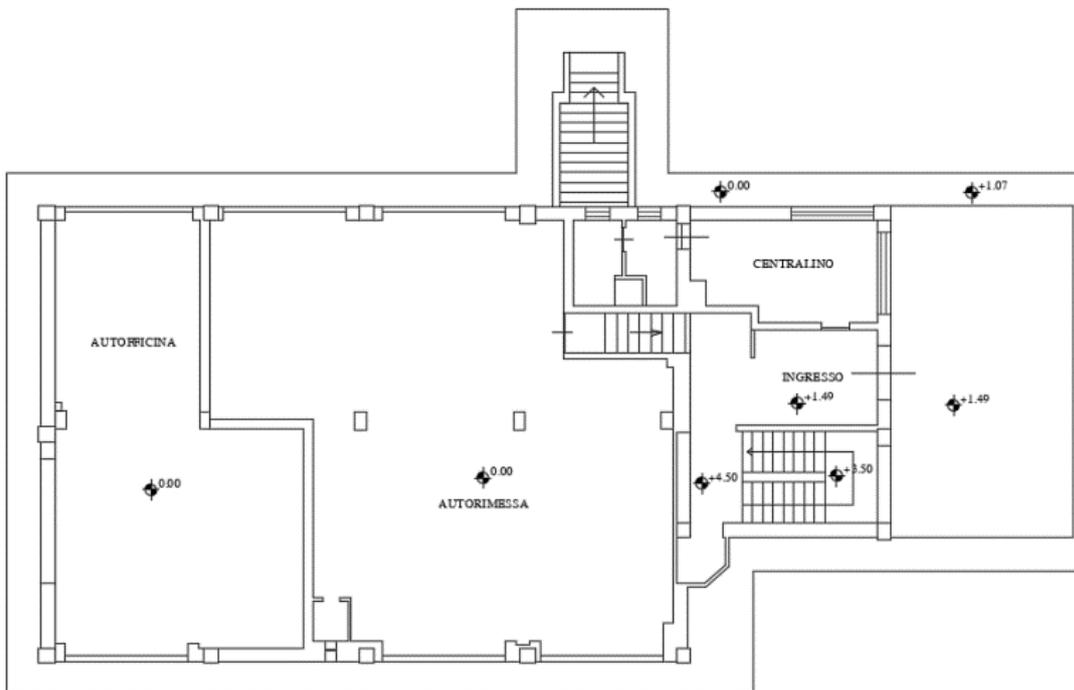


Figura 2-32 - Planimetria piano terra

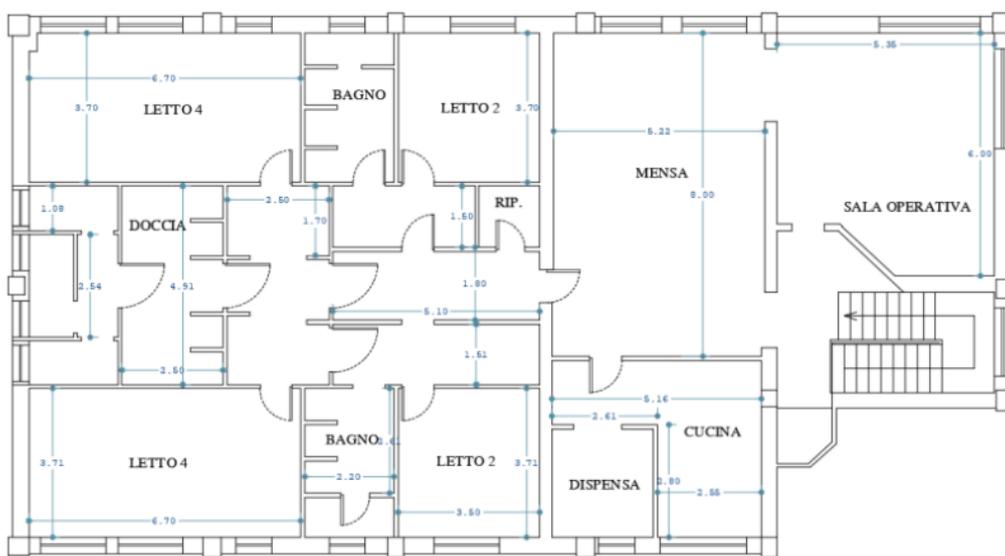


Figura 2-33 - Planimetria piano primo

Al piano terra, vi è anche la presenza di setti in c.a. Si riportano di seguito le carpenterie dei diversi impalcati.

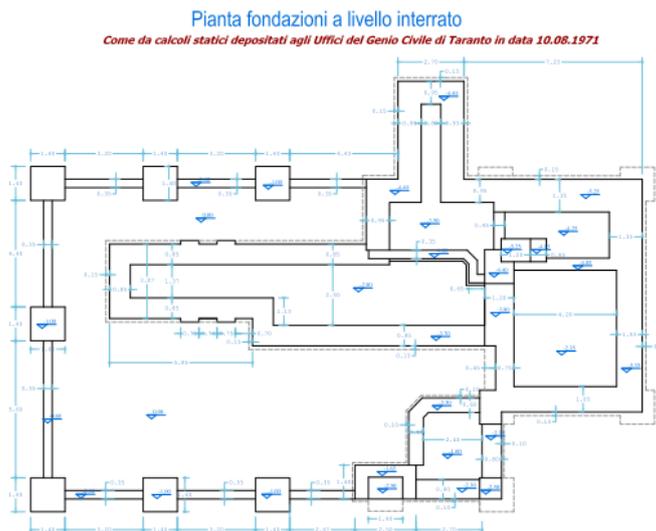


Figura 2-34 - Pianta fondazioni a livello interrato (Uffici del Genio Civile di Taranto 10/08/1971)

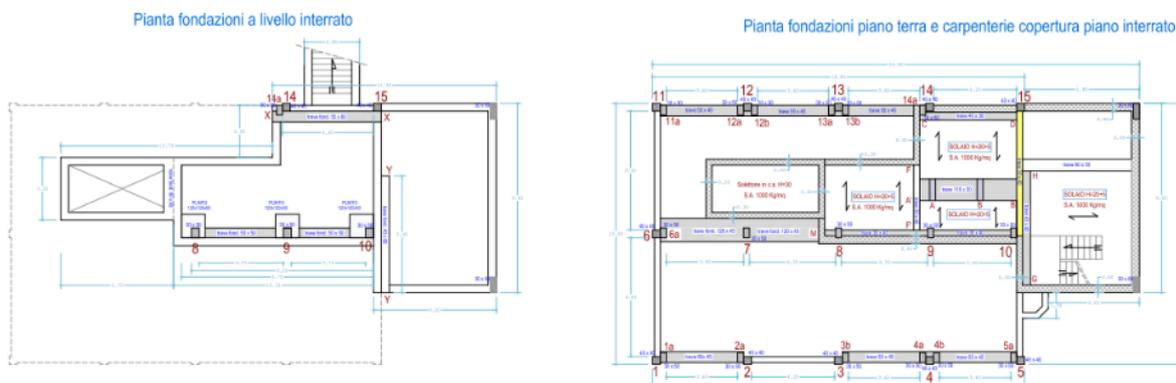


Figura 2-35 - Pianta fondazioni

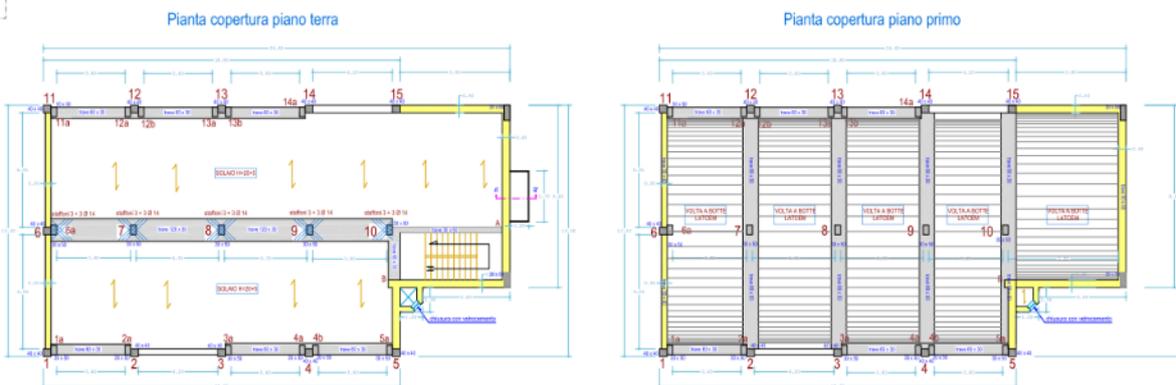


Figura 2-36 - Carpenteria impalcati

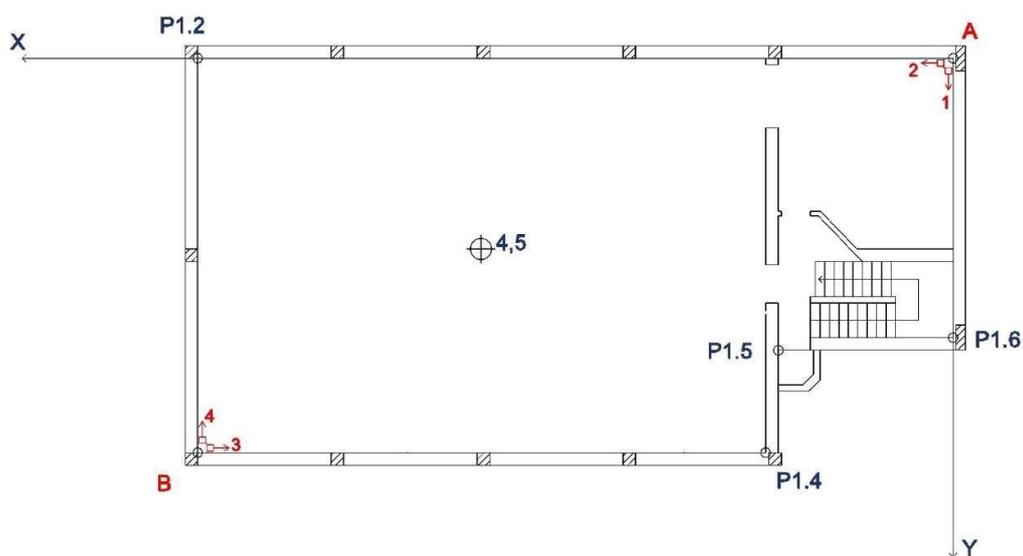
Sono note le armature dei solai. Per quanto riguarda la classificazione del terreno, dalle indagini effettuate, mirate alla valutazione della velocità delle onde di taglio (VS30), è stato possibile classificare il profilo stratigrafico, ai fini della determinazione dell'azione sismica; il suolo è stato classificato di categoria B (VS30=395 m/s). Le caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione sono le seguenti.

STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO (spessore interessato dall'intervento in fondazione)	
• Angolo di resistenza al taglio	33,5°
• Coesione efficace	0,25 kg/cm ²
• Peso in volume	15,00 g/cm ³
• Moduli edometrici	
○ Modulo di Young (E)	23932 kg/cm ²
○ Modulo di Taglio (G)	9664 kg/cm ²
○ Modulo di Incompressibilità (k)	15239 kg/cm ²
○ Coefficiente di sottofondo (k1)	15 kgf/cmc
○ Assenza di falda acquifera freatica	

Figura 2-37 - Caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione

2.3.2 Campagna di misure di vibrazione

Sono stati individuati 4 punti in cui posizionare n°8 accelerometri (2 per ogni punto nella direzione x,y). I punti sono individuabili 2 a quota 4,5m, ovvero a livello del solaio di interpiano e 2 a quota di imposta della volta, ovvero 6,97m (4,5+2,47). Per il primo piano si avranno i punti A e B con i rispettivi accelerometri 1-4 lungo Y e 2-3 lungo X:



Per la copertura si avranno i punti C e D con i rispettivi accelerometri 5-7 lungo Y e 6-8 lungo X:

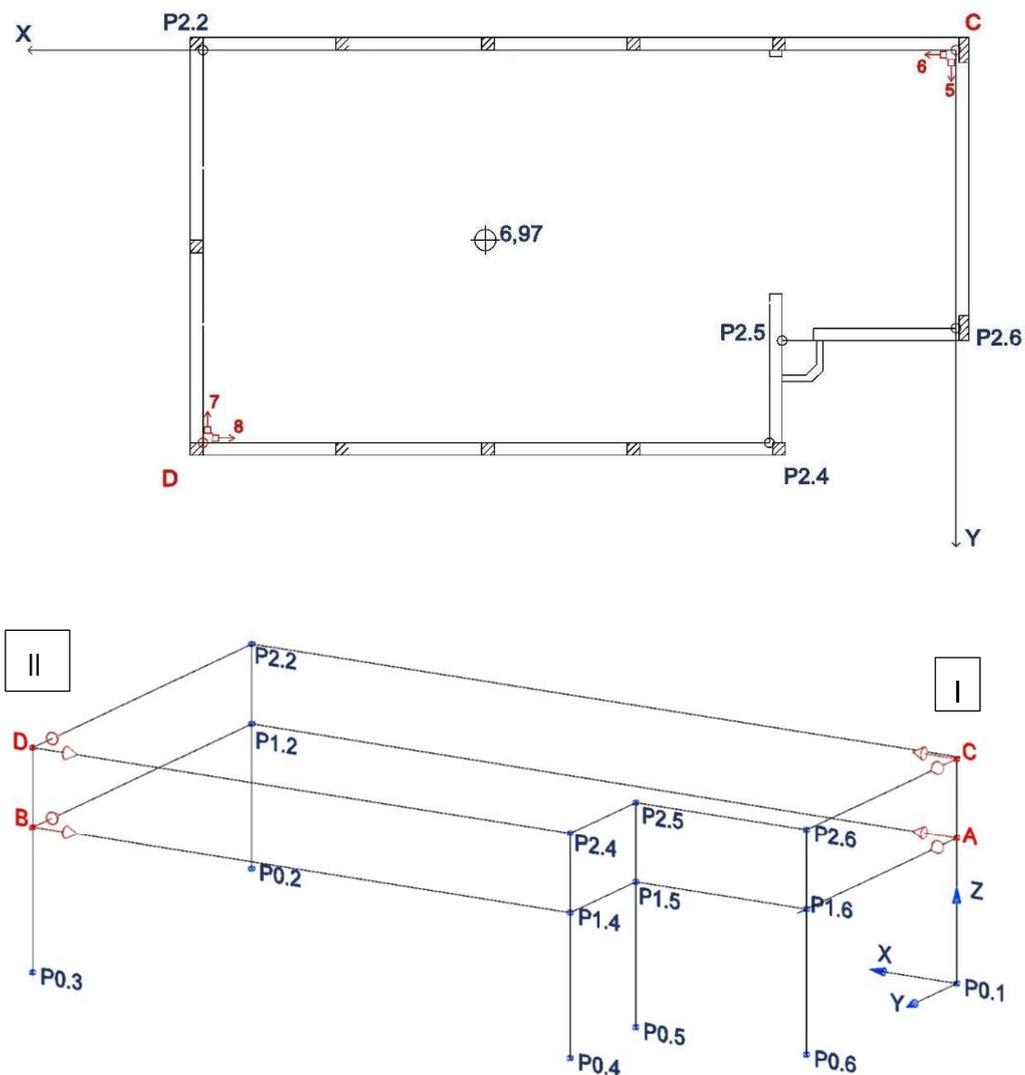


Figura 2-38 Panoramica tridimensionale della posizione degli accelerometri con individuazione delle verticali monitorate

Gli accelerometri sono stati posizionati lungo le verticali I e II, individuate nella Figura 2-38, le quali sono state oggetto di monitoraggio.

Tabella 2-17 Tabella descrittiva del posizionamento dei punti e loro direzione rispetto al sistema di riferimento

POSIZIONE	Accelerometro	Direzione	X [m]	Y [m]	Z [m]
A	1	+Y	0	0	4,5
	2	+X	0	0	4,5
C	5	+Y	0	0	6,97
	6	+X	0	0	6,97
B	3	-X	23,8	12,5	4,5
	4	-Y	23,8	12,5	4,5
D	8	-X	23,8	12,5	6,97
	7	-Y	23,8	12,5	6,97

Per il campionamento dei dati sono state effettuate 5 registrazioni da 10 minuti (600 secondi) ciascuna con un intervallo di campionamento $\Delta T=0,001953$ sec per una frequenza di campionamento di circa 512 Hertz.

Per l'acquisizione dei dati sono stati utilizzati tre canali e due centraline (DAQ1 e DAQ2) collegate con cavo di sincronizzazione. Per un problema di schema a blocchi in LabView è stata utilizzata anche una terza centralina (DAQ3) non collegata a nessun sensore e registrante rumore elettrico.

Tabella 2-18 Tabella descrittiva del cablaggio della strumentazione

Punti	Accelerometro	Direzione	Centralina	Modulo	Canale	X [m]	Y [m]	Z [m]
A	1	+Y	DAQ1	MOD1	CH0	0	0	4,5
	2	+X	DAQ1	MOD1	CH1	0	0	4,5
C	5	+Y	DAQ2	MOD1	CH0	0	0	6,97
	6	+X	DAQ2	MOD1	CH1	0	0	6,97
B	3	-X	DAQ1	MOD1	CH2	23,8	12,5	4,5
	4	-Y	DAQ1	MOD2	CH0	23,8	12,5	4,5
D	8	-X	DAQ2	MOD1	CH2	23,8	12,5	6,97
	7	-Y	DAQ2	MOD2	CH0	23,8	12,5	6,97
	Rumore Elett.	/	DAQ3	MOD1	CH0	-	-	-

Le cinque registrazioni campionate, da 600 secondi ciascuna, sono state riportate in sequenza, in grafici accelerazione-tempo, per un totale di 3000 secondi per ogni accelerometro, in maniera tale da determinare la time-history dell'intero campionamento.

Di seguito vengono riportati i grafici di per ogni punto di misura e per ogni accelerometro.

Nella Figura 2-19 sono state riepilogate le deformate modali del corpo di fabbrica oggetto di indagini. L'etichetta nella prima colonna è composta da un numero romano, che indica il numero dell'impalcato, un numero arabo, che indica la verticale di misura e infine la direzione di misura. Nelle colonne invece, per ogni modo identificato, sono riportati i vettori reali.

Response DOF	8,06 Hz	9,70 Hz	11,31 Hz	Response DOF	8,04 Hz	9,55 Hz	11,40 Hz	Response DOF	8,05 Hz	9,64 Hz	11,37 Hz
I:1:X	0,28	0,08	-0,12	I:1:X	-0,01	0,07	0,34	I:1:X	0,28	0,07	-0,11
I:1:Y	-0,02	0,07	0,35	I:1:Y	0,28	0,09	-0,11	I:1:Y	-0,02	0,07	0,33
I:2:X	0,59	0,16	-0,26	I:2:X	0,00	0,19	0,73	I:2:X	0,60	0,16	-0,24
I:2:Y	-0,01	0,17	0,72	I:2:Y	0,59	0,20	-0,24	I:2:Y	-0,01	0,17	0,72
II:1:X	0,43	-0,12	0,21	II:1:X	0,43	-0,09	0,23	II:1:X	0,42	-0,12	0,23
II:1:Y	0,02	0,53	-0,24	II:1:Y	0,03	0,52	-0,23	II:1:Y	0,03	0,53	-0,24
II:2:X	0,62	-0,20	0,32	II:2:X	0,62	-0,16	0,33	II:2:X	0,62	-0,18	0,34
II:2:Y	0,04	0,77	-0,28	II:2:Y	0,06	0,76	-0,25	II:2:Y	0,06	0,77	-0,27

Tabella 2-19 Deformate modali

Nella Figura 2-20 si riportano le principali caratteristiche dinamiche rilevate.

TEST 1			
Mode	Frequenza [Hz]	Smorzamento [%]	Tipologia
1 Modo	8,06	1,61	Flessionale_X
2 Modo	9,7	1,7	Flessionale_Y
3 Modo	11,31	2,09	Torsionale

TEST 2			
Mode	Frequenza [Hz]	Smorzamento [%]	Tipologia
1 Modo	8,04	1,89	Flessionale_X
2 Modo	9,55	3,74	Flessionale_Y
3 Modo	11,4	1,84	Torsionale

TEST 3			
Mode	Frequenza [Hz]	Smorzamento [%]	Tipologia
1 Modo	8,05	1,54	Flessionale_X
2 Modo	9,64	1,57	Flessionale_Y
3 Modo	11,37	1,93	Torsionale

Tabella 2-20 Riepilogo principali caratteristiche dinamiche

2.3.3 Grandezze dinamiche sperimentali

L'identificazione dinamica della struttura in esame, sottoposta ad eccitazione ambientale, ha permesso di ricavare i principali parametri modali dell'edificio quali modi propri di vibrare, frequenze e coefficienti di smorzamento. I dati raccolti sono stati quindi implementati sul software "Artemis Modal Pro". Il software Artemis permette l'analisi modale operativa e sperimentale in modo da produrre stime di parametri modali basate sull'analisi parallela di diverse tecniche di analisi. Esso permette, infatti, di effettuare tre tipi di analisi nel dominio della frequenza, quali:

- Analisi di decomposizione del dominio di Frequenza (FDD);
- Analisi di decomposizione del dominio di Frequenza avanzata (EFDD);
- Analisi di decomposizione del dominio della Frequenza adatta per curva (CFDD).

Tutte e tre le tecniche si basano sul peak-picking, ovvero la stima dei parametri modali basata sulla selezione, automatica o manuale, dei picchi nel dominio della frequenza.

Artemis permette anche analisi dinamiche nel dominio del tempo, mediante 5 tipi di tecniche, quali:

- Stochastic Subspace Identification - Componente principale non ponderato esteso SSI-UPCX;
- Stochastic Subspace Identification - Componente principale non ponderato SSI-UPC;
- Stochastic Subspace Identification - Componente principale SSI-PC;
- Stochastic Subspace Identification - Analisi delle variabili canoniche SSI-CVA;
- Stochastic Subspace Identification - Configurazioni dei test unite del componente principale non ponderato SSI-UPC-Fuse.

Si tratta di sole tecniche del tipo SSI e stimano i parametri modali direttamente dalle serie storiche misurate non elaborate. Le tecniche SSI possono lavorare con spazio ravvicinato e modalità ripetute con smorzamento leggero o pesante. Lavorando nel dominio del tempo, non vi sono errori di distorsione o mancanza di risoluzione della frequenza, di conseguenza, le stime dei parametri modali sono asintoticamente imparziali. Inoltre, poiché le tecniche SSI sono stimatori dell'ordine dei modelli bassi, gli errori statistici delle stime dei parametri modali sono estremamente piccoli.

In Artemis è stata, prima di tutto, definita la geometria della struttura oggetto di studio, costituita da un insieme di punti (da 1 a 26), opportunamente riferiti al sistema di coordinate definito nel modello, da linee orizzontali e verticali che uniscono i vari

punti e quindi da superfici racchiuse dalle linee. La geometria così elaborata ha il solo scopo di definire, in particolare, la posizione degli accelerometri sulla struttura e di valutarne il comportamento d'insieme, mediante iterazione negli altri punti, mentre non è richiesta alcuna definizione degli spessori delle pareti o delle caratteristiche dei materiali.

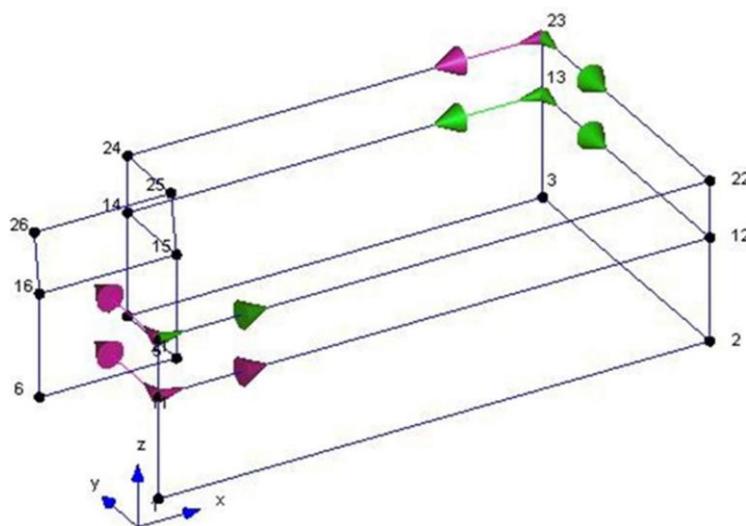


Figura 8 - Geometria modello sperimentale Artemis

Impostata la geometria e definiti i punti, sono state caricate le registrazioni dei dati provenienti dagli accelerometri opportunamente corretti ed organizzati nei diversi setups. Per ognuno dei punti misurati, il programma riconosce automaticamente i channels, nelle direzioni x e y, che riportano le misurazioni dei rispettivi accelerometri. Il software, ottenuti i dati misurati dagli accelerometri per i rispettivi punti di misurazione, ricava per ogni altro punto inserito per definire la geometria della struttura, i valori modali ottenuti per iterazione, ovvero ottenendo dati approssimativi per ogni punto non misurato partendo dai dati iniziali dei punti misurati.

Per l'estrazione delle forme modali sono stati effettuati tre Test mediante l'analisi nel dominio del tempo con metodo SSI-UPC (Stochastic Subspace Identification – Unweighted Principal Component). Nelle tecniche di identificazione SSI un modello parametrico viene adattato direttamente ai dati grezzi delle serie storiche. Un modello parametrico è un modello matematico con alcuni parametri che possono essere regolati per modificare il modo in cui il modello si adatta ai dati. In generale, stiamo cercando un set di parametri che minimizzerà la deviazione tra la risposta del sistema prevista del modello e la risposta del sistema misurata (misurazioni).

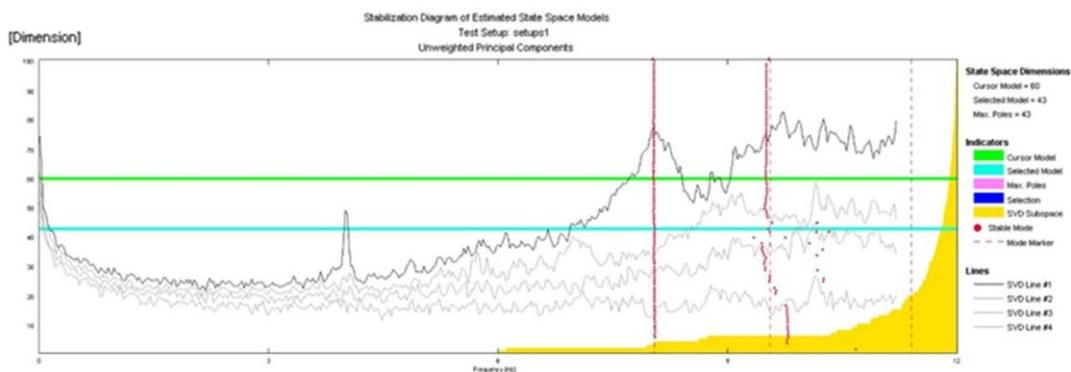


Figura 2-39 - Grafico di funzione di densità spettrale con identificazione dei picchi di frequenza

Il software ha identificato tre frequenze di risonanza corrispondenti a tre modi di vibrare preponderanti.

Tabella 2-21 Risultati ottenuti sperimentalmente per tre modi preponderanti per i tre test

TEST 1			
Mode	Frequenza [Hz]	Smorzamento [%]	Tipologia
1 Modo	8,06	1,61	Flessionale_X
2 Modo	9,7	1,7	Flessionale_Y
3 Modo	11,31	2,09	Torsionale

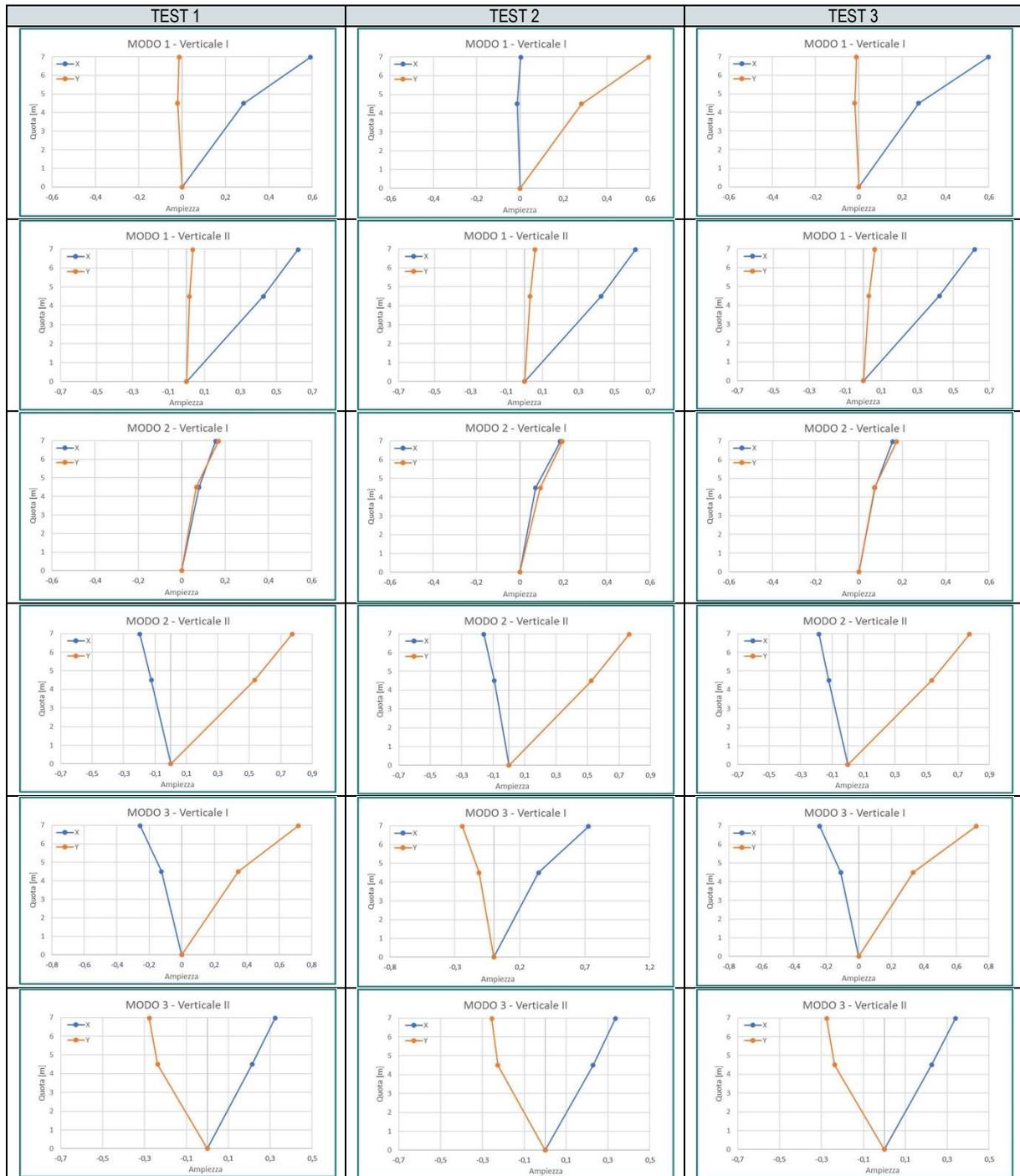
TEST 2			
Mode	Frequenza [Hz]	Smorzamento [%]	Tipologia
1 Modo	8,04	1,89	Flessionale_X
2 Modo	9,55	3,74	Flessionale_Y
3 Modo	11,4	1,84	Torsionale

TEST 3			
Mode	Frequenza [Hz]	Smorzamento [%]	Tipologia
1 Modo	8,05	1,54	Flessionale_X
2 Modo	9,64	1,57	Flessionale_Y
3 Modo	11,37	1,93	Torsionale

I dati modali estratti hanno permesso, inoltre, di determinare le deformate modali delle due verticali per i tre modi di vibrare individuati, riportate in seguito per i tre test effettuati.

Tabella 4 - Dati modali estratti per i diversi test

Response DOF	8,06 Hz	9,70 Hz	11,31 Hz	Response DOF	8,04 Hz	9,55 Hz	11,40 Hz	Response DOF	8,05 Hz	9,64 Hz	11,37 Hz
I:1:X	0,28	0,08	-0,12	I:1:X	-0,01	0,07	0,34	I:1:X	0,28	0,07	-0,11
I:1:Y	-0,02	0,07	0,35	I:1:Y	0,28	0,09	-0,11	I:1:Y	-0,02	0,07	0,33
I:2:X	0,59	0,16	-0,26	I:2:X	0,00	0,19	0,73	I:2:X	0,60	0,16	-0,24
I:2:Y	-0,01	0,17	0,72	I:2:Y	0,59	0,20	-0,24	I:2:Y	-0,01	0,17	0,72
II:1:X	0,43	-0,12	0,21	II:1:X	0,43	-0,09	0,23	II:1:X	0,42	-0,12	0,23
II:1:Y	0,02	0,53	-0,24	II:1:Y	0,03	0,52	-0,23	II:1:Y	0,03	0,53	-0,24
II:2:X	0,62	-0,20	0,32	II:2:X	0,62	-0,16	0,33	II:2:X	0,62	-0,18	0,34
II:2:Y	0,04	0,77	-0,28	II:2:Y	0,06	0,76	-0,25	II:2:Y	0,06	0,77	-0,27



2.3.4 Modellazione a macro-elementi discreti

Di seguito si riporta la modellazione delle due menzionate configurazioni.



Figura 2-40 MODELLO A ES3 Castellaneta - Modello 3DMacro - Vista assometrica modello geometrico con interazione tamponature

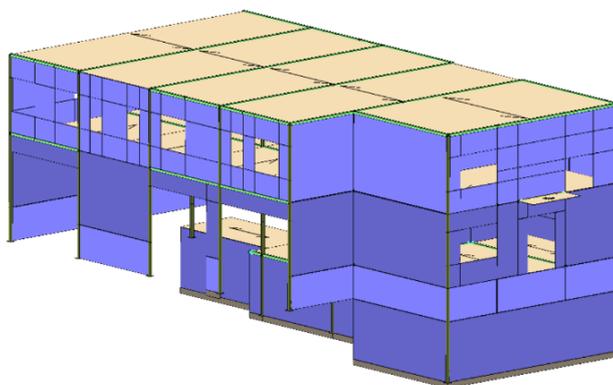


Figura 2-41 MODELLO A ES3 Castellaneta - Modello 3DMacro - Vista assometrica modello computazionale con interazione tamponature



Figura 2-42 MODELLO B ES3 Castellaneta - Modello 3DMacro - Vista assometrica modello geometrico senza interazione tamponature

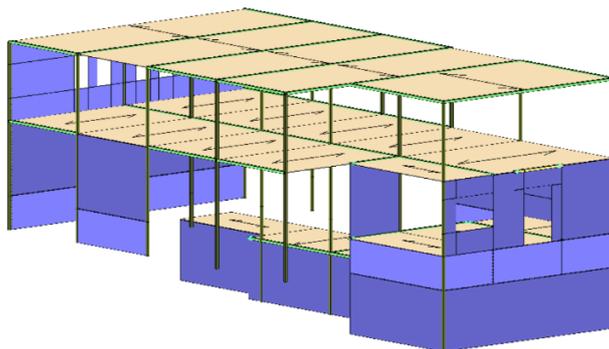
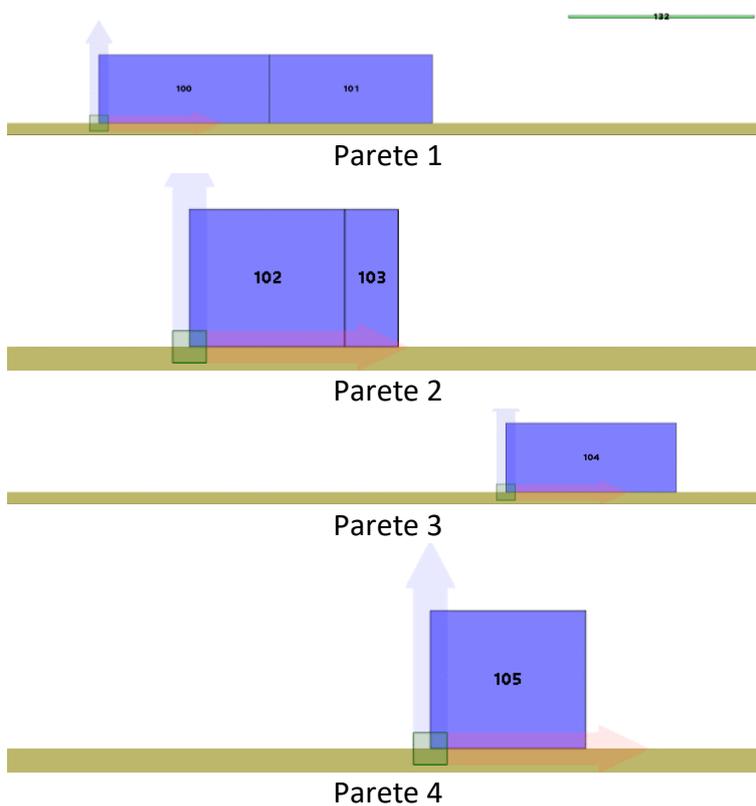
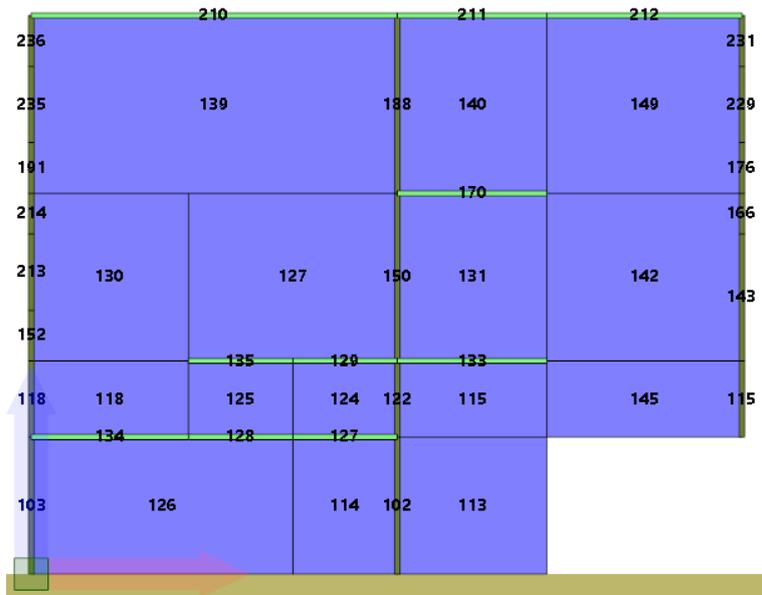


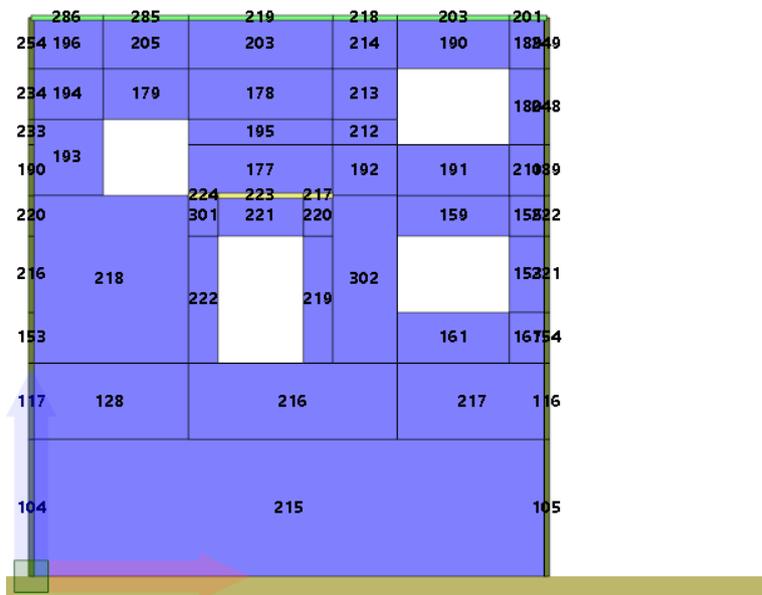
Figura 2-43 MODELLO B ES3 Castellaneta - Modello 3DMacro - Vista assometrica modello computazionale senza interazione tamponature

Si riportano di seguito le pareti dell'edificio con l'indicazione e denominazione degli elementi resistenti (setti murari, telai).





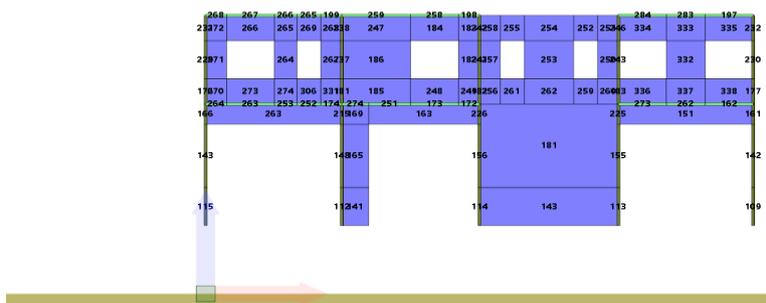
Parete 7



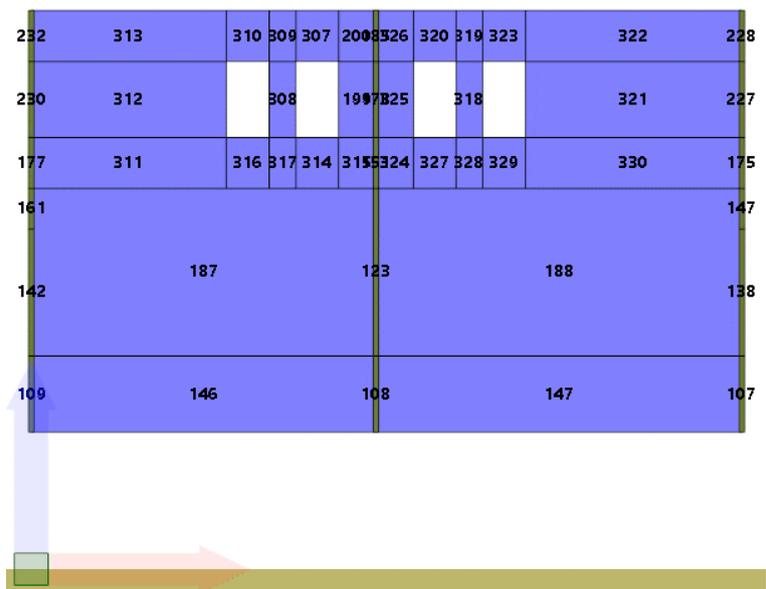
Parete 9



Parete 10



Parete 13

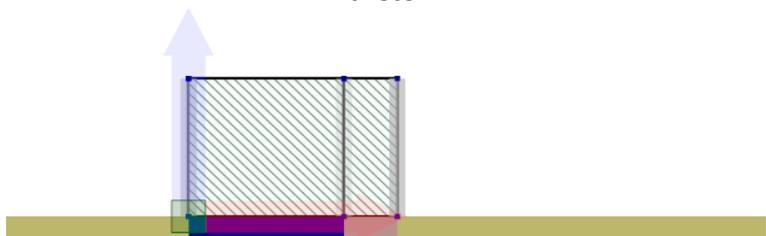


Parete 14

Le figure seguenti mostrano la distribuzione dei formati per le varie tipologie di murature adottate all'interno del modello.



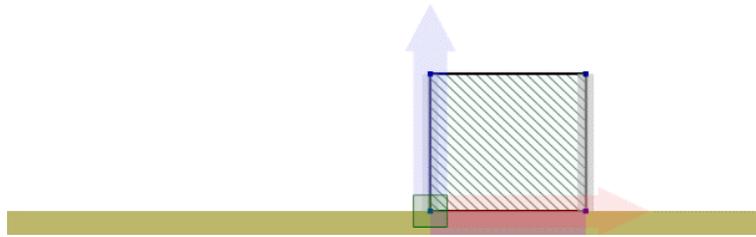
Parete 1



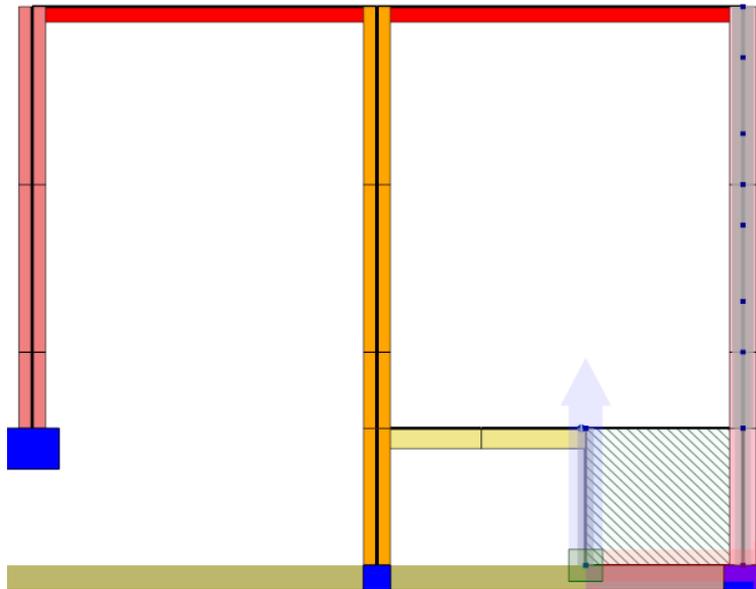
Parete 2



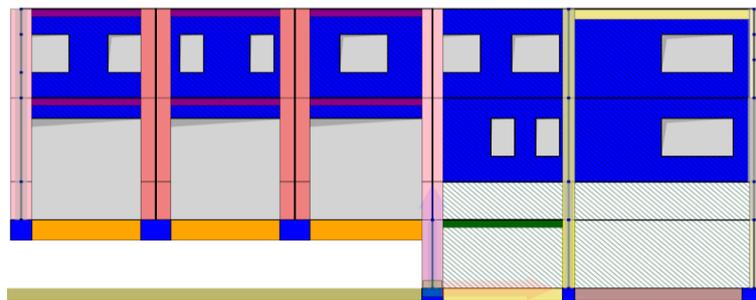
Parete 3



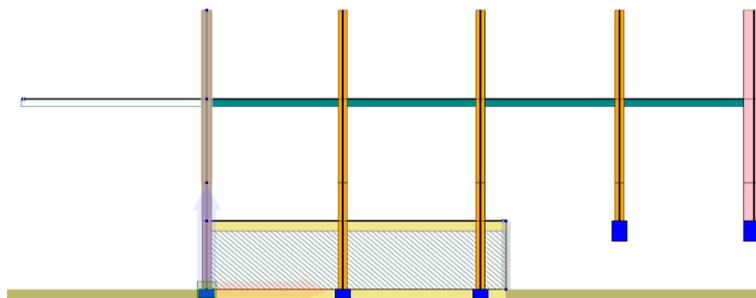
Parete 4



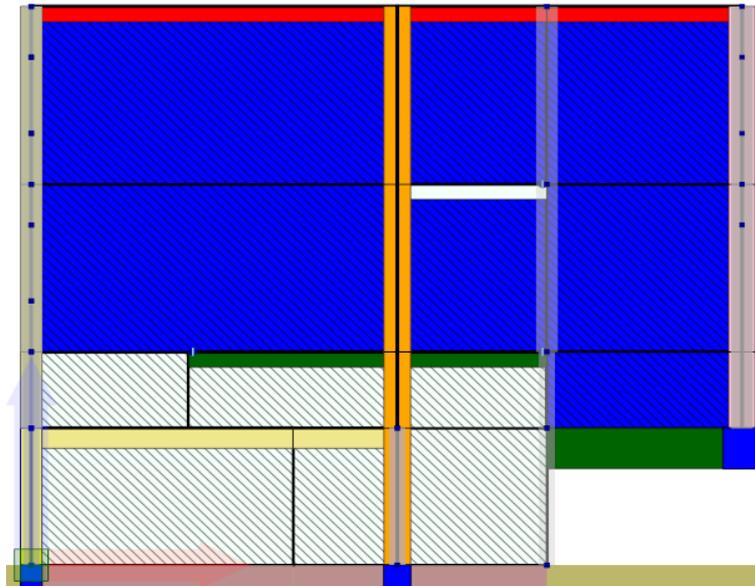
Parete 5



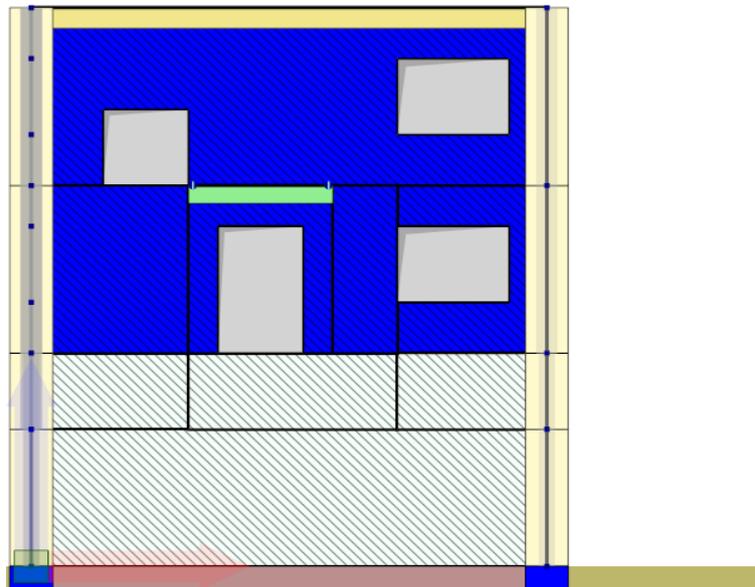
Parete 6



Parete 8



Parete 7



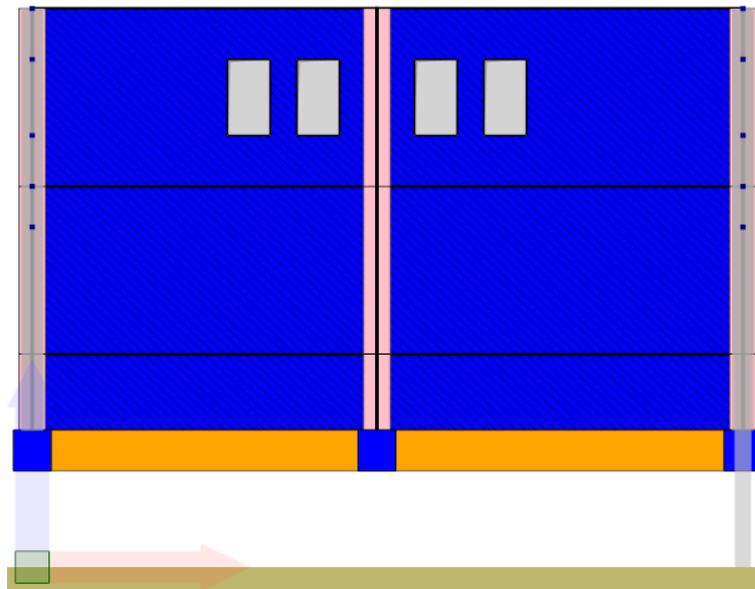
Parete 9



Parete 10



Parete 13



Parete 14

	Muro1	
--	-------	--

Legenda Formati Murature

	Setto1	
--	--------	--

Legenda Formati Setti in c.a.

	Trave2D		PIL_30x50		TR_40x35_BALCONE		PIL_30_40x50
	Trave3D		PIL_40x40		TR_FON_55x60		PIL_30_40_30x50
	Pilastro3D		TR_110x30		TR_FON_40x60		PIL_30x80
	Catena		TR_30x40		TR_FON_45x45		TR_80x30
			TR_40x30		TR_FON_60x45		TR_FON_40_55x60
			TR_60x30		TR_FON_55x45		TR_FON_80x60

Legenda Formati Aste

	FondazioneLinea1		Fondazione_120x45	
	FondazionePunto1		Fondazione_40x60	
			Fondazione_40x45	
			Fondazione_55x45	
			Fondazione_55x60	
			Fondazione_60x45	
			Fondazione_90x80	
			Fondazione_40_55x60	

Legenda Formati Fondazioni

2.3.4.1 Model Updating MODELLO A

Il modello A prevede, come per gli altri casi simili, la modellazione esplicita delle tamponature. Dal model updating sono stati stimati i valori dei parametri elastici necessari ad ottenere la migliore riproduzione delle frequenze e forme modali sperimentali.

Il modello, come riportato in figura presenta una distribuzione di elementi murari supposti tutti della stessa tipologia.

La Tabella 2-24 riporta i valori diagonali della matrice di MAC (Modal Assurance Criterion), usata per determinare la similarità delle forme modali con quelle misurate.

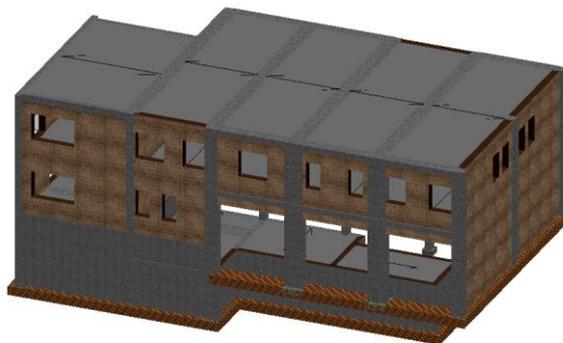


Figura 2-44 Modello A

Tabella 2-22 Parametri elastici identificati - muratura

Parametro	Modulo E	Modulo G
	MPa	MPa
Muratura	5040	1680

Tabella 2-23 Frequenze

Frequenze di partenza	Frequenze ottenute con model updating	Frequenze sperimentali
[Hz]	[Hz]	[Hz]
4.43	8.06	8.06
4.76	9.68	9.7
9.94	14.67	11.31

Tabella 2-24 MAC a) prima dell'updating e b) dopo aver condotto il model updating

0.9855			0.9807		
	0.6817			0.7182	
		0.8966			0.9196
			a		b

Tabella 2-25 Valori della funzione obiettivo

	Prima del model updating	Dopo il model updating
Valore legato alle frequenze	0.6901	0.2968

Valore legato alle forme modali	0.4363	0.3815
---------------------------------	--------	--------

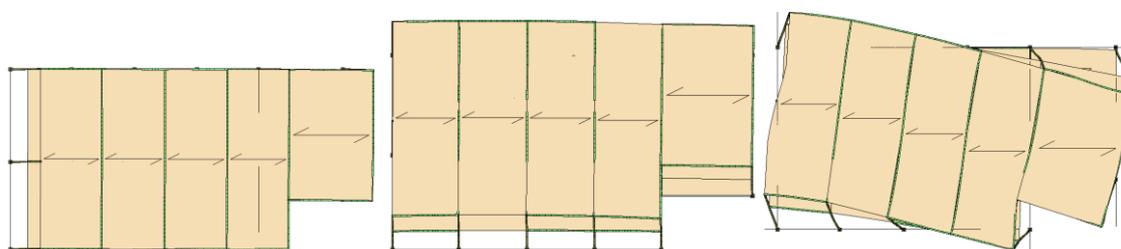
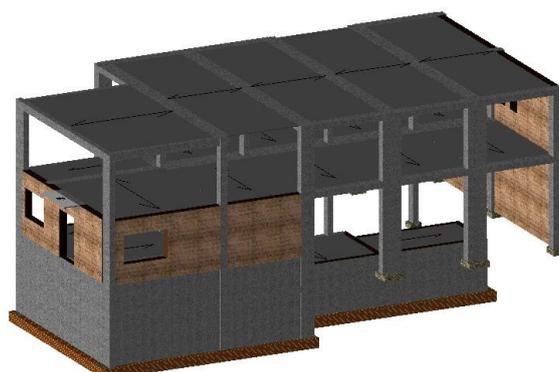


Figura 2-45 Prime forme modali Modello A

2.3.4.2 Model Updating MODELLO B

Il Modello B non prevede la modellazione esplicita delle tamponature, per questo motivo i dati di seguito riportati sono relativi solo all'aggiornamento del modulo elastico di elementi aste. Si predilige l'aggiornamento del modulo elastico dei soli pilastri in maniera indipendente per ogni elemento. In particolare si riportano i valori di rigidezza ottenuti dalla procedura di updating e i risultati in termini di frequenze.

Il modello in figura non prevede l'introduzione di tutte le porzioni di tamponatura che non hanno funzione strutturale.



I parametri elastici delle porzioni di murature che hanno carattere strutturale sono stati identificati e riportati in Tabella 2-26. Unitamente sono stati selezionati i valori di rigidezza delle sezioni dei pilastri (Tabella 2-27). Alla fine del procedimento di updating il valore di rigidezza dei pilastri assume valori non compatibili con la tipologia di calcestruzzi e sezioni adottati. Come mostrato in Tabella 2-28 la prima frequenza calcolata con i suddetti coefficienti correttivi risulta essere sensibilmente inferiore a quella sperimentale sebbene il primo termine della matrice MAC (Tabella 2-29) appare essere prossimo all'unità. Di contro, i valori relativi al modo II e III non sono soddisfacenti. Quanto qui esposto porta a considerare che la struttura abbia una significativa componente legata all'interazione delle strutture in ca con le murature e che il Modello B (senza interazione con le murature) non possa ritenersi rappresentativo.

Tabella 2-26 Parametri elastici identificati - muratura

Parametro	Modulo E	Modulo G
	MPa	MPa
Muratura	5040	1680

Tabella 2-27 Parametri elastici identificati - ca

Parametro	Coefficiente correttivo	Valore del Parametro di base		Valore del Parametro dopo l'updating	
		kN cm ²		kN cm ²	
		Elx	Ely	Elx	Ely
EI 30x50	50	3.54E+08	9.84E+08	1.77E+10	4.92E+10
EI 40x40	50	6.72E+08	6.72E+08	3.36E+10	3.36E+10
EI 70x50	50	1.05E+10	7.79E+08	5.24E+11	3.90E+10
EI 100x50	50	2.83E+08	5.04E+08	1.42E+10	2.52E+10
EI 30x80	50	5.04E+08	2.83E+08	2.52E+10	1.42E+10

Tabella 2-28 Frequenze

Frequenze di partenza	Updating	Frequenze sperimentali
[Hz]	[Hz]	[Hz]
3.22	4.24	8.06
3.27	9.88	9.7
5.28	13.52	11.31

Tabella 2-29 MAC a) prima dell'updating e b) dopo aver condotto il model updating

0.4013			0.9099		
	0.0913			0.0188	
		0.7785	a		0.5102
					b

Tabella 2-30 Valori della funzione obiettivo

	Prima del model updating	Dopo il model updating
Valore legato alle frequenze	1.0413	0.5130
Valore legato alle forme modali	1.7289	1.5611

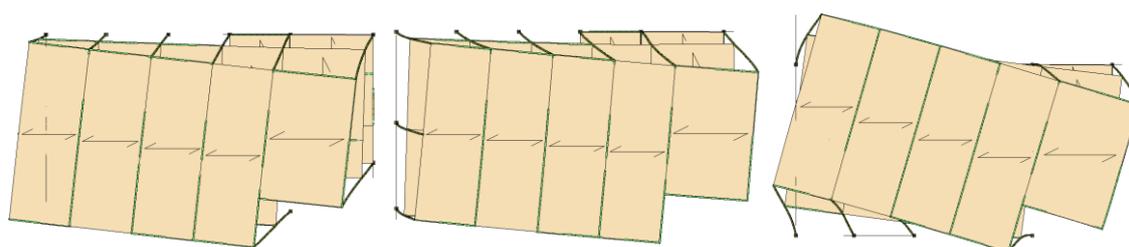


Figura 2-46 Prime forme modali Modello B

2.3.1 Modello SMAV

Tramite l'applicativo vascoSMAV è stato generato il modello numerico SMAV per la definizione delle curve di fragilità secondo il procedimento brevemente descritto al capitolo 1.2. In questa sezione alcuni aspetti della modellazione vengono riassunti tramite immagini e tabelle. In questo caso, a causa delle incertezze determinatesi sulle misure in situ, sono state processate

le frequenze ottenute da campagna di identificazione dinamica e forme modali ottenute da modellazione tramite macroelementi. Il modello a macroelementi è stato calibrato in base alle frequenze sperimentalmente identificate.

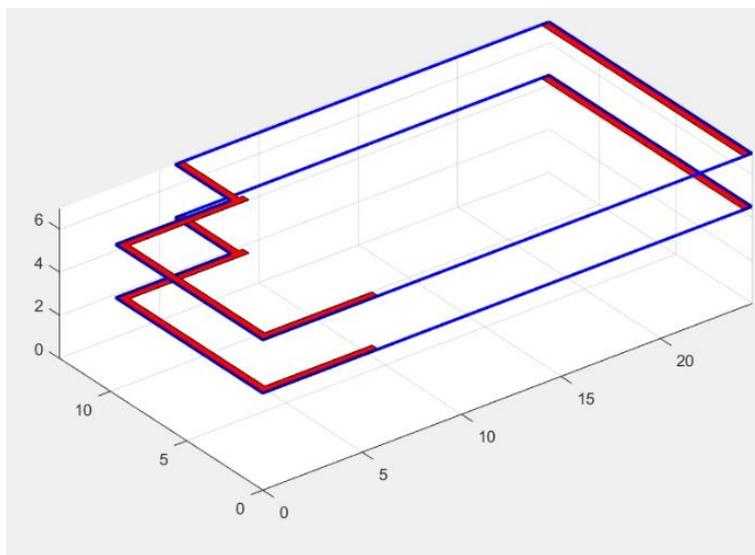


Figura 2-47 Rappresentazione semplificata della geometria della struttura.

Parametri modello SMAV									
Coefficienti di ortogonalità				Masse partecipanti		Ipotesi di poligono rigido			
	1	2	3	Mx	My	MAC			
1	1	0.0038	0.1385	0.92	0.00	1	0.9868		
2	0.0038	1	-0.0490	0.00	0.75	2	0.9989		
3	0.1385	-0.0490	1	0.02	0.12	3	0.9977		
				0.95	0.88				

Figura 2-48 Parametri modello SMAV

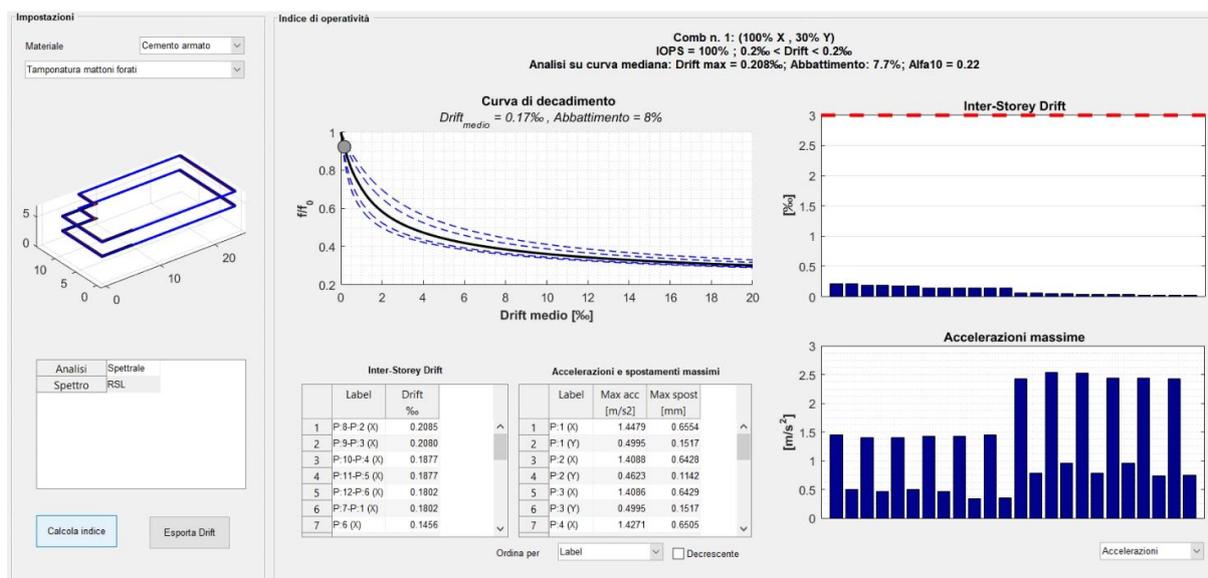


Figura 2-49 Scheda riassuntiva dei risultati SMAV

2.3.2 Curve di fragilità

Tramite la procedura descritta al capitolo 1.2, sono state determinate le curve di fragilità riportate in questa sezione. In questa sede sono stati analizzati due set di spettri di progetto. I due set, costruiti rispettivamente da accelerogrammi sintetici e naturali mostrano, in termini di curva di fragilità, una stabilità del risultato. Quest'ultimo è debolmente influenzato dalla scelta del set di spettri sebbene gli spettri artificiali appaiano determinare una maggiore richiesta di spostamento per la struttura. Questo può determinare una lieve sovrastima della probabilità di danneggiamento come mostra la curva rossa nella Figura 2-20. La curva adotta come parametro di intensità di misura il valore ASI nell'intervallo 0.1-0.5 secondi.

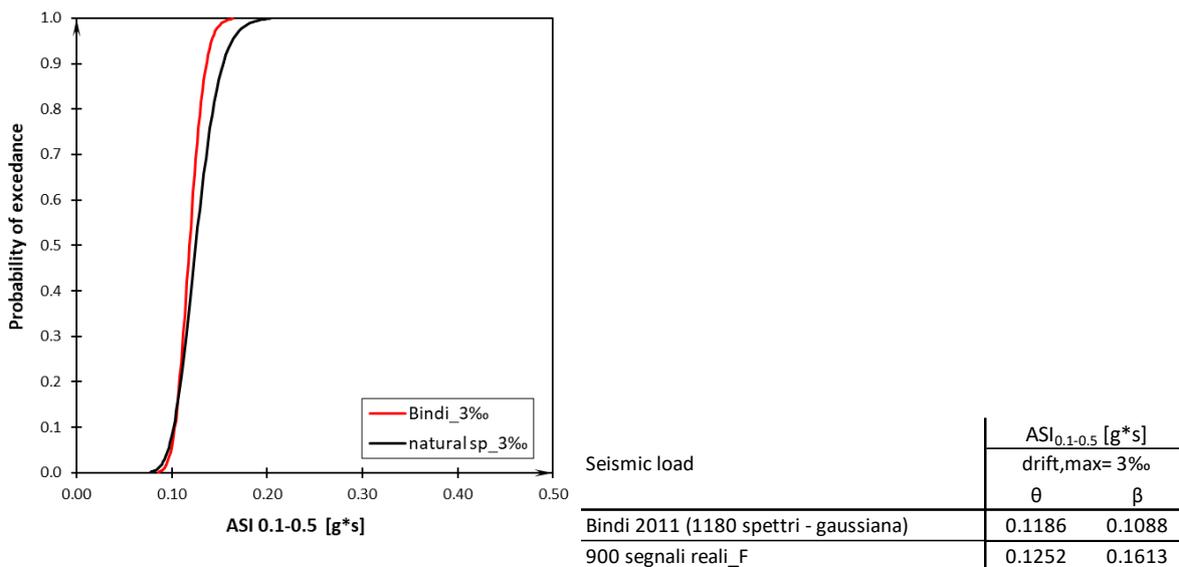


Figura 2-50 Risultati finali

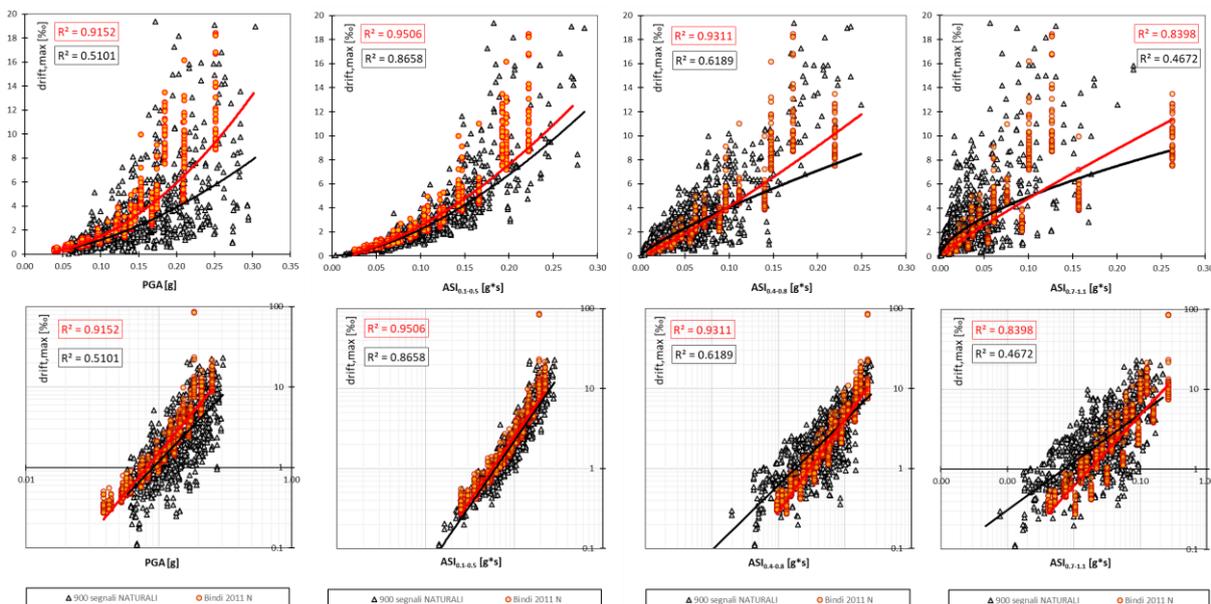


Figura 2-51 Elaborazioni per diversi intervalli di periodo.

2.4 Municipio di Castellaneta

L'edificio oggetto del monitoraggio è il Municipio di Castellaneta, un comune situato nella provincia di Taranto, in Puglia.

Le coordinate geografiche del comune sono 40°37'41"52 N 16°56'15"72 E, con altitudine media del centro urbano pari a 245 m S.L.M e altitudine massima pari a 411 m S.L.M.

Il comune di Castellaneta è situato all'interno dell'area costituente il Parco naturale regionale "Terra delle Gravine" e presenta gli aspetti tipici della morfologia carsica; infatti, il territorio è percorso da una serie di lame e gravine, che permettono di far confluire nel fiume Lato le acque di origine meteorica. Inoltre, nel territorio comunale predominano pendenze molto basse (pianeggiante o quasi pianeggiante); mentre pendenze maggiori si rinvencono nelle zone delle gravine e delle lame (Figura 6).



Figura 2-52 – Inquadramento urbanistico

L'edificio in esame, ospitante gli uffici territoriali di Governo e sito in Piazza Principe di Napoli (Figura 7), è considerato un edificio strategico, ai sensi del DPCM 21/10/2003, emanato dal Dipartimento della protezione civile. In particolare, il municipio ricade tra gli edifici appartenenti all'Elenco A, ovvero categorie di edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico di competenza statale, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile.

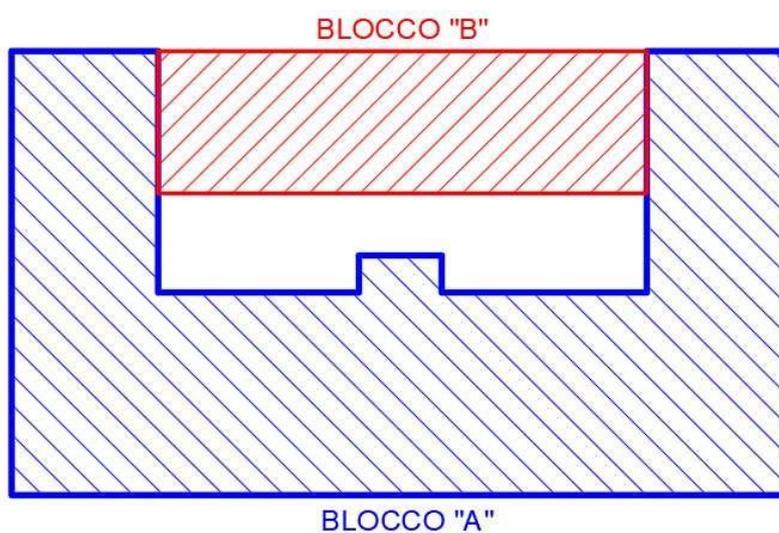


Figura 7 – Municipio di Castellana

2.4.1 Ricerca documentale

Il complesso strutturale oggetto di analisi ha un ingombro totale di 45,10 x 25,90 m con un'altezza di circa 10 m.

L'edificio risulta essere stato realizzato in due fasi successive e può considerarsi composto da due unità: il blocco A è stato realizzato negli anni tra il 1955 e il 1957, mentre il blocco B, di completamento, è stato costruito presumibilmente tra gli anni 1960 e 1961.



Si tratta di un edificio composto da un piano terra, un piano intermedio e un primo piano, il cui ingombro a terra è di circa 860 m², avente forma rettangolare e caratterizzato dalla presenza di una corte interna.

Il piano terra accoglie l'ufficio della Polizia Municipale e la Banca, situati sul lato dell'ingresso principale al Municipio, su Piazza Principe di Napoli, mentre dal lato opposto vi è l'ingresso all'ufficio commercio e l'accesso secondario al Municipio stesso. Al piano terra gli uffici presentano gli accessi direttamente sul fronte stradale o sulla corte interna, mentre al primo piano tutte e quattro le ali dell'edificio sono caratterizzate da lunghi corridoi a servizio dei vari uffici.

In particolare, il blocco A costituisce l'edificio principale e rappresenta il nucleo originale. Esso è costituito da due livelli ed è essenzialmente in muratura portante, con l'aggiunta di elementi in c.a. sul prospetto principale, al fine di ottenere un porticato. La struttura è stata successivamente oggetto di interventi strutturali che hanno comportato l'eliminazione di alcuni muri portanti, che sono stati sostituiti con travi in acciaio (locali al piano terra, ove è ubicata la banca e il locale al piano primo, adibito a sala consiliare). I solai sono in latero-cemento costituiti da laterizi e con travetti in cemento armato gettato in opera. Le fondazioni sono costituite presumibilmente da cordoli e plinti in c.a. Al piano terra, inoltre, è presente una scala di emergenza in acciaio che è considerata come struttura secondaria ininfluente dal punto di vista strutturale.

L'edificio costituente il blocco B, unito al corpo di fabbrica originario, è costituito da tre livelli i quali risultano ubicati a quote sfalsate rispetto il corpo di fabbrica A. La struttura è in muratura portante, mentre i solai, di realizzazione più recente, sono anch'essi in latero-cemento, ma con travetti prefabbricati precompressi. Le fondazioni sono costituite presumibilmente da cordoli in c.a.

All'interno dell'atrio è presente un vano ascensore realizzato in epoca recente. Esso, interamente realizzato in calcestruzzo armato, consente di collegare verticalmente il piano terra con il piano primo e il blocco B, posto ad una quota superiore di circa 1,05 m rispetto al blocco A. Tale struttura è composta da pareti in calcestruzzo armato, disposte a "C", di spessore pari a 25 cm. Le fondazioni, invece, sono costituite da cordoli in c.a.

Sempre all'interno dell'atrio, insiste un piccolo vano tecnico destinato a centrale termica, avente struttura completamente indipendente dal resto dell'edificio: è realizzato con pareti portanti in tufo dello spessore di circa 30 cm e solaio in latero-cemento della tipologia con travetti precompressi. Le fondazioni sono costituite presumibilmente da cordoli in c.a.

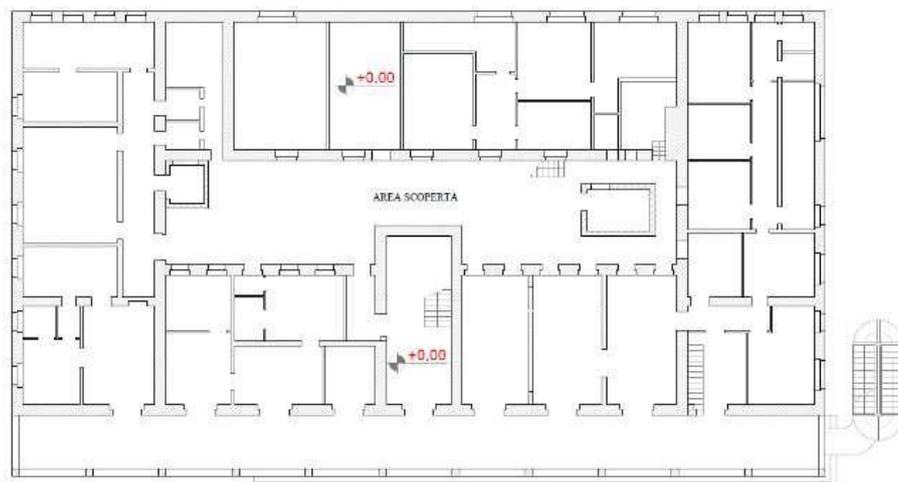


Figura 2-53 - Pianta piano terra

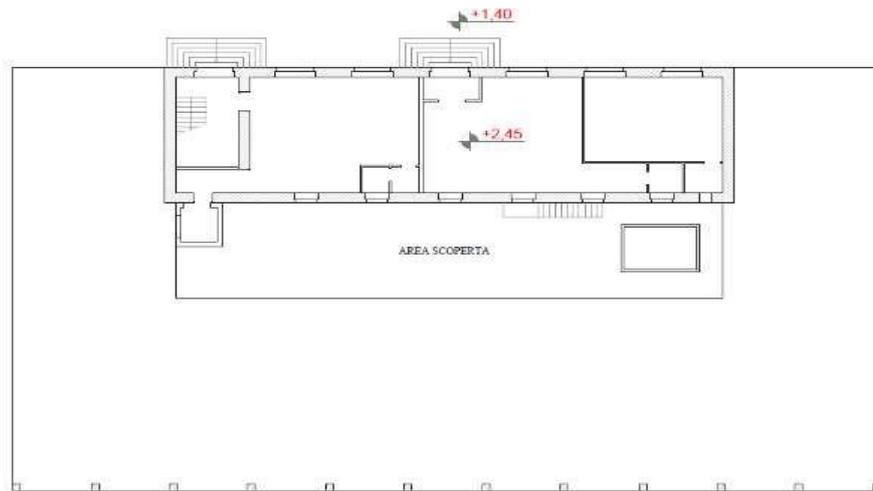


Figura 2-54 - Pianta piano intermedio



Figura 2-55 - Pianta primo piano

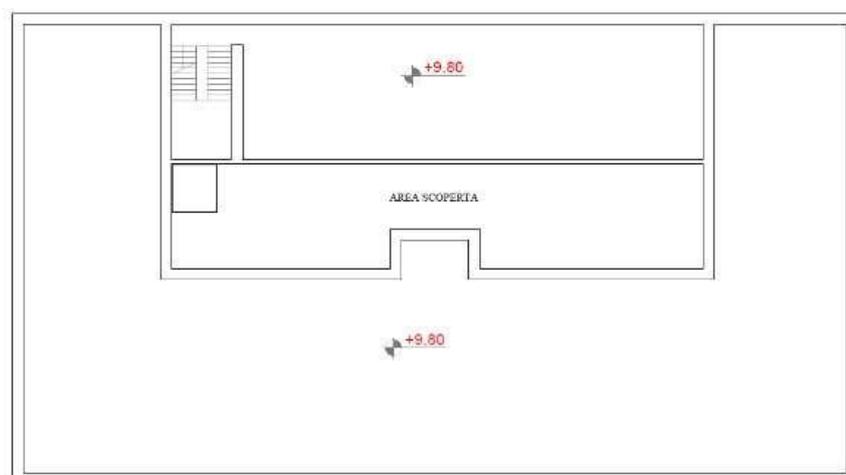


Figura 2-56 - Pianta copertura

Nel 2016, a causa dello sfondellamento di un solaio, sull'edificio oggetto di studio è stata effettuata la valutazione della sicurezza. A tal fine è stata condotta un'analisi storico-critica, rilievo geometrico strutturale e caratterizzazione meccanica dei materiali, a partire dai seguenti parametri della struttura:

Classe d'uso	Vita [anni]	V_n	Coeff. uso	Periodo V_r [anni]	Tipo di suolo	Categoria topografica
IV	100	2		200	B	T1

Dalle indagini condotte, le murature sono risultate sostanzialmente di buona realizzazione e non sono stati riscontrati particolari difetti, se non locali fessurazioni in particolar modo nei punti di giunzione con le parti in cemento armato. La muratura è a doppio paramento, in conci di tufo, con uno spessore totale di 60 cm. Localmente, al piano primo le murature risultano di 50 cm, mentre altre murature secondarie hanno spessore pari a 25 cm.

Le strutture in cemento armato sono costituite da:

- Pilastri del porticato al piano terra, aventi dimensioni 40x40 cm, armati con 8Ø16 e con staffe Ø8 con passo 40 cm;
- Travi del porticato, di dimensioni 40x70 cm, armati inferiormente con 8Ø14;
- Vano ascensore, con pareti di spessore pari a 25 cm, armati con armatura diffusa.

In riferimento ai solai, dalle indagini effettuate è emerso quanto segue:

- Solaio di copertura dell'edificio con spessore complessivo di 58 cm, di cui solaio strutturale da 30 cm (25 cm di alleggerimento e 5 cm di soletta), tufina da 12 cm, massetto da 11 cm e chianca all'estradosso da 3 cm;
- Solaio di calpestio del piano primo con spessore complessivo di 44 cm, con solaio strutturale da 40 cm (costituito da 35 cm di alleggerimento con 5 cm di tavella e 30 cm circa di vuoto, e 5 cm di soletta in calcestruzzo) e 4 cm di massetto e pavimento;
- Solaio del piano primo con spessore complessivo di 44 cm, con solaio strutturale di 30+5 cm (alleggerimento da 30 cm, costituito da 5 cm di tavella e 25 cm di vuoto), e 9 cm di massetto e pavimento all'estradosso.

2.4.2 Campagna di misure di vibrazione

Sono stati identificati 11 punti di misura, dove posizionare n°22 accelerometri, due per ogni punto, in direzione x e y.

In particolare, in copertura sono stati individuati 5 punti di misura, e quindi si sono posizionati n°10 accelerometri, collegati alla cDAQ1.

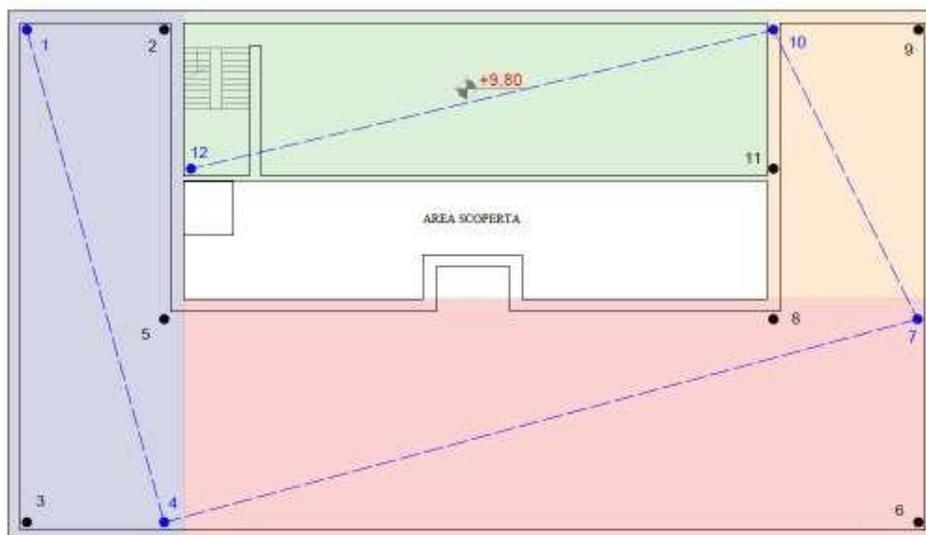


Figura 2-57 - Punti di misura copertura

Al primo piano del blocco B, invece, sono stati individuati 2 punti di misura, a cui è seguito il posizionamento di n°4 accelerometri, anch'essi collegati alla cDAQ1, mentre, al primo piano si sono individuati 4 punti di monitoraggio: i punti 18 e 20 sono stati collegati alla cDAQ2, mentre i punti 23 e 26 alla cDAQ3 (Figura 13).



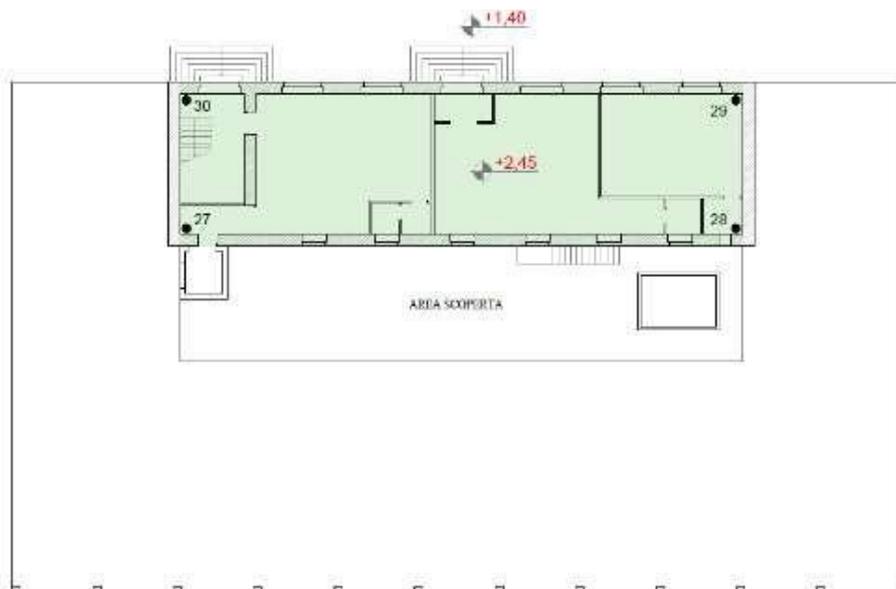


Figura 2-59 - Punti di misura piano intermedio



Figura 2-60 - Punti di misura piano terra

2.4.3 Grandezze dinamiche sperimentali

Tramite la campagna di identificazione dinamica sono state desunte le seguenti frequenze.

Tabella 2-31 Riepilogo delle prime quattro frequenze stimate.

Frequenza [Hz]	Test1	Test2	Test3	Media
1	5.94	5.89	5.95	5.93
2	6.04	6.02	6.05	6.04
3	6.85	6.80	6.79	6.81
4	7.47	7.50	7.49	7.49

Il modello utilizzato in Artemis Modal per effettuare l'analisi sperimentale è mostrato nella seguente figura, dove sono mostrati tutti i 42 nodi considerati e la posizione e direzione dei 22 accelerometri (indicati con frecce).

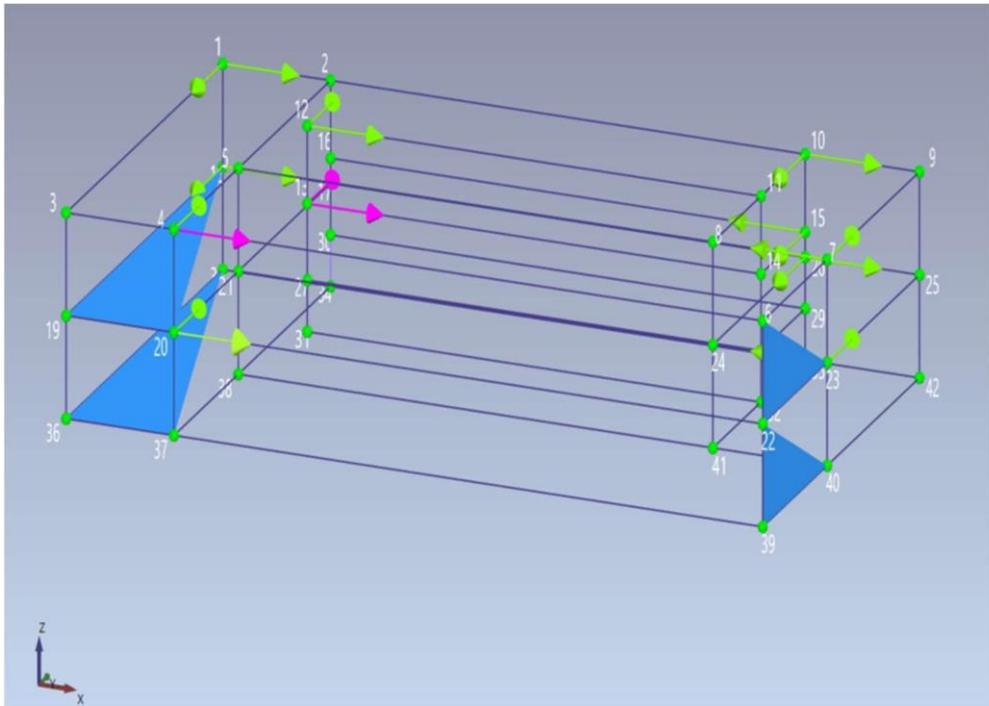


Figura 2-61 - Modello Artemis delle acquisizioni del Municipio di Castellana.

Il diagramma di stabilizzazione relativo al Test 1 con l'identificazione effettuata con il metodo SSIUPC è riportato nella successiva.

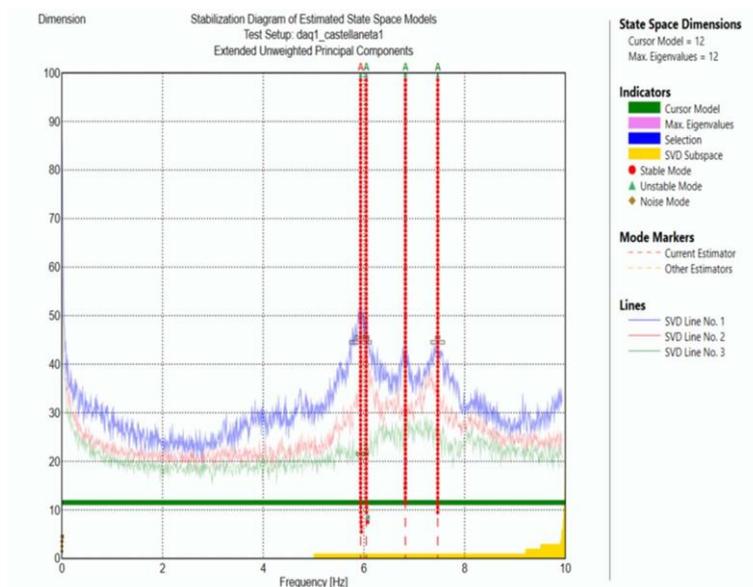


Figura 21 - Diagramma di stabilizzazione relativo al Test 1 con l'identificazione effettuata con il metodo SSI-UPC.

Per verificare l'indipendenza delle frequenze è stato calcolato il MAC delle 4 frequenze stimate relativamente al Test 1, dove si può notare l'indipendenza delle 4 frequenze identificate.

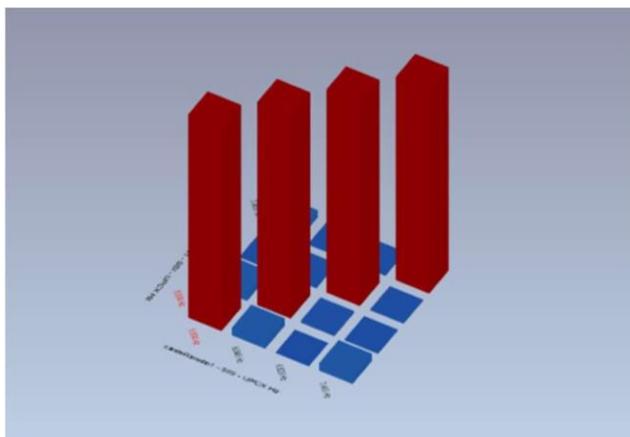


Figura 2-62 - MAC delle 4 frequenze stimate relativamente al Test 1.

Relativamente ai modi corrispondenti, i modi relativi alle prime 3 frequenze sono rappresentati nelle successive figure.

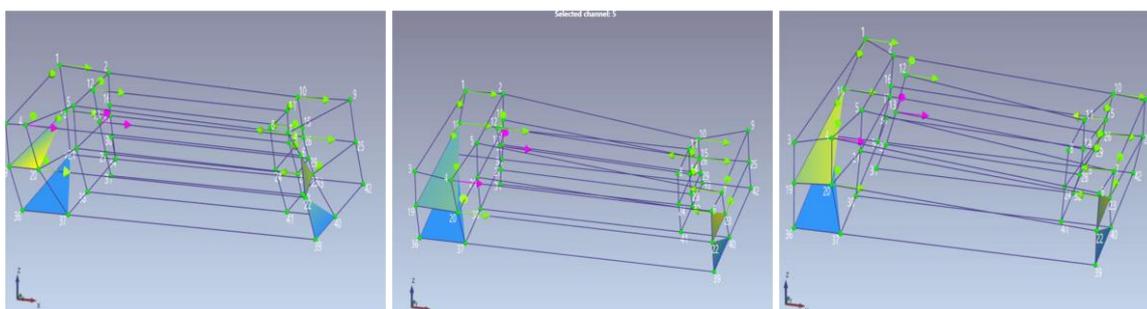


Figura 2-63 Primi tre modi

2.4.4 Modello SMAV

Tramite l'applicativo vascoSMAV è stato generato il modello numerico SMAV per la definizione delle curve di fragilità secondo il procedimento brevemente descritto al capitolo 1.2. In questa sezione alcuni aspetti della modellazione vengono riassunti tramite immagini e tabelle. In questo caso, a causa delle incertezze determinatesi sulle misure in situ, sono state processate le frequenze ottenute da campagna di identificazione dinamica e forme modali ottenute da modellazione tramite macroelementi. Il modello a macroelementi è stato calibrato in base alle frequenze sperimentalmente identificate.

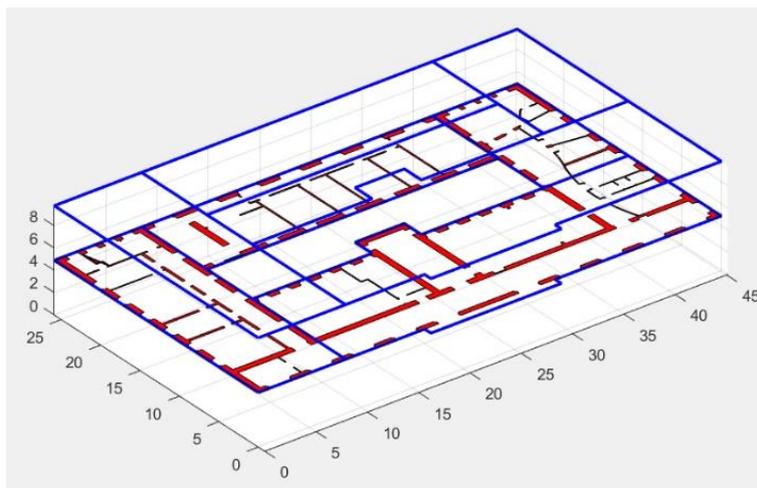


Figura 2-64 Rappresentazione semplificata della geometria della struttura.

Parametri modello SMAV

Coefficienti di ortogonalità			Masse partecipanti		Ipotesi di poligono rigido	
	1	2	Mx	My		MAC
1	1	0.2603	0.70	0.02	1	0.9684
2	0.2603	1	0.02	0.79	2	0.9843
			0.72	0.81		

Figura 2-65 Parametri modello SMAV

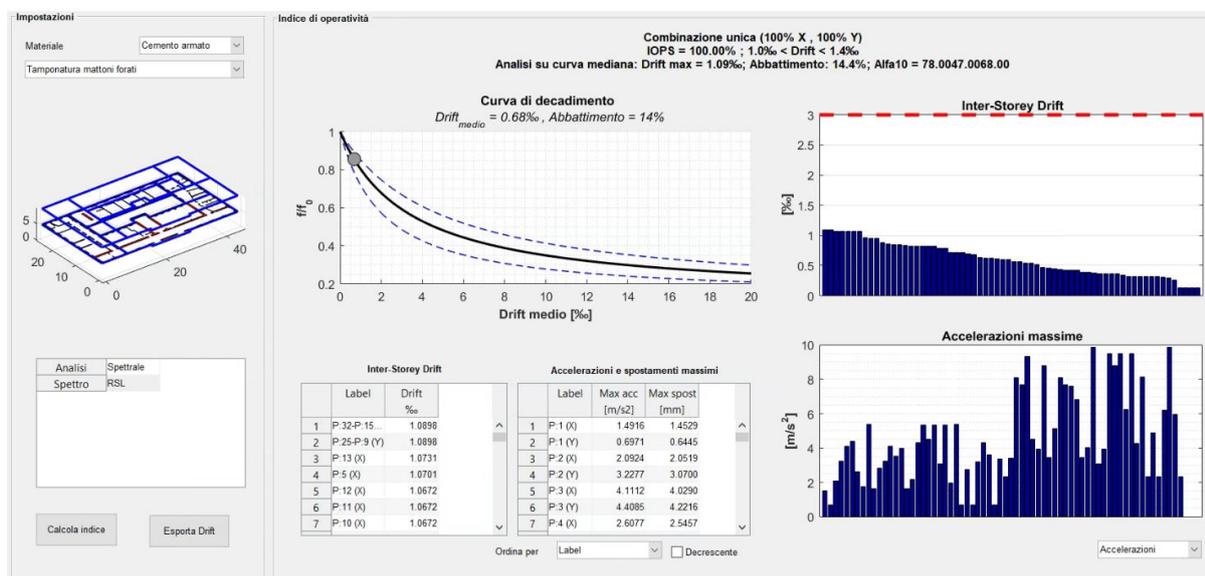


Figura 2-66 Scheda riassuntiva dei risultati SMAV

2.4.5 Curve di Fragilità

Tramite la procedura descritta al capitolo 1.2, sono state determinate le curve di fragilità riportate in questa sezione. In questa sede sono stati analizzati due set di spettri di progetto. I due set, costruiti rispettivamente da accelerogrammi sintetici e naturali mostrano, in termini di curva di fragilità, una stabilità del risultato. Quest'ultimo è debolmente influenzato dalla scelta del set di

spettri sebbene gli spettri artificiali appaiano determinare una maggiore richiesta di spostamento per la struttura. Questo può determinare una lieve sovrastima della probabilità di danneggiamento come mostra la curva rossa nella Figura 2-20. La curva adotta come parametro di intensità di misura il valore ASI nell'intervallo 0.1-0.5 secondi.

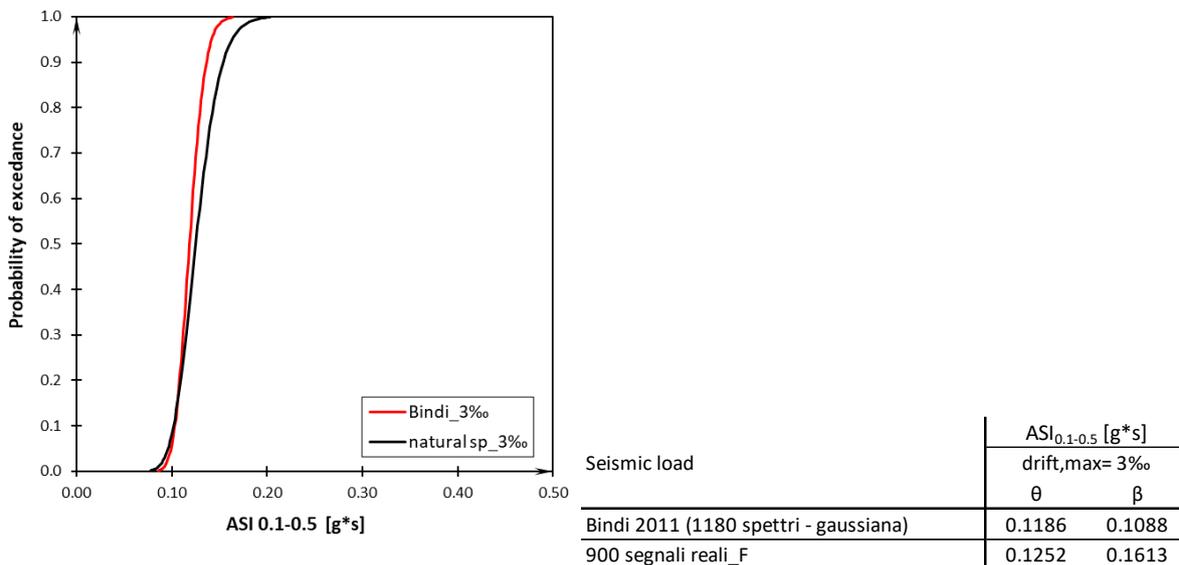


Figura 2-67 Risultati finali

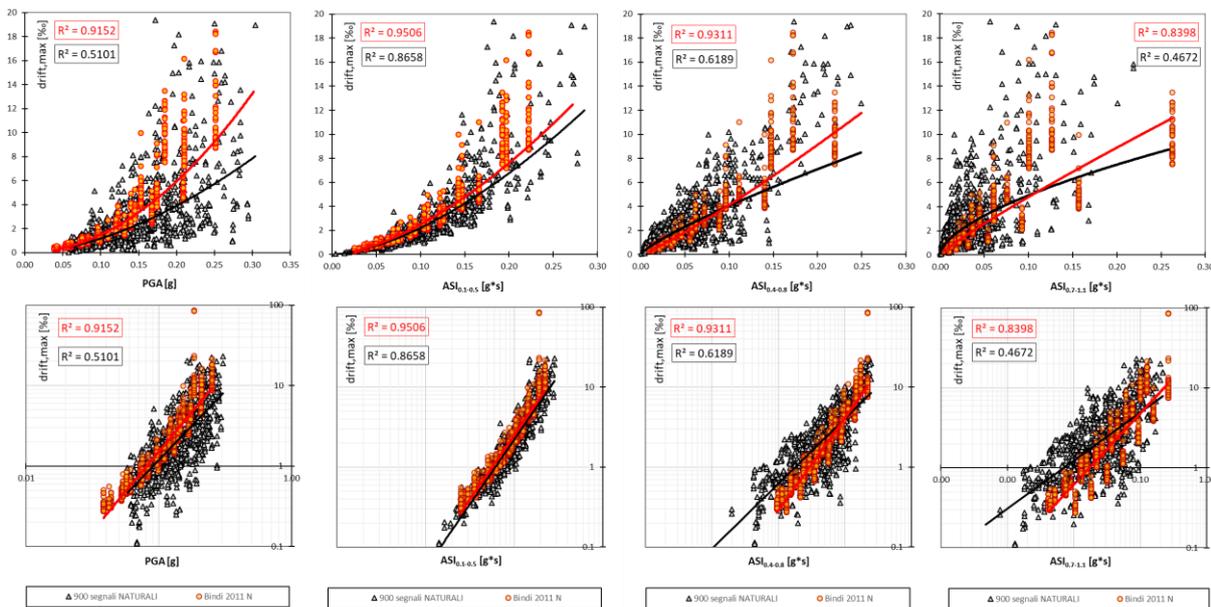


Figura 2-68 Elaborazioni per diversi intervalli di periodo.

2.5 COC Laterza

2.5.1 Modello SMAV

Tramite l'applicativo vascoSMAV è stato generato il modello numerico SMAV per la definizione delle curve di fragilità secondo il procedimento brevemente descritto al capitolo 1.2. In questa sezione alcuni aspetti della modellazione vengono riassunti

tramite immagini e tabelle. In questo caso, a causa delle incertezze determinatesi sulle misure in situ, sono state processate le frequenze ottenute da campagna di identificazione dinamica e forme modali ottenute da modellazione tramite macroelementi. Il modello a macroelementi è stato calibrato in base alle frequenze sperimentalmente identificate.

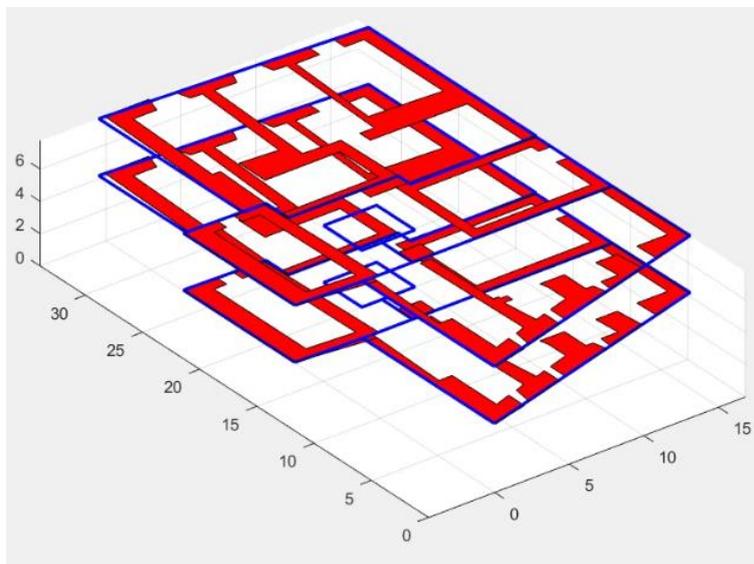


Figura 2-69 Rappresentazione semplificata della geometria della struttura.

Parametri modello SMAV

Coefficienti di ortogonalità				Masse partecipanti		Ipotesi di poligono rigido	
	1	2	3	Mx	My	MAC	
1	1	-0.2002	0.3048	0.63	0.02	1	0.7312
2	-0.2002	1	-0.2009	0.00	0.62	2	0.8380
3	0.3048	-0.2009	1	0.31	0.08	3	0.9027
				0.94	0.72		

Figura 2-70 Parametri modello SMAV

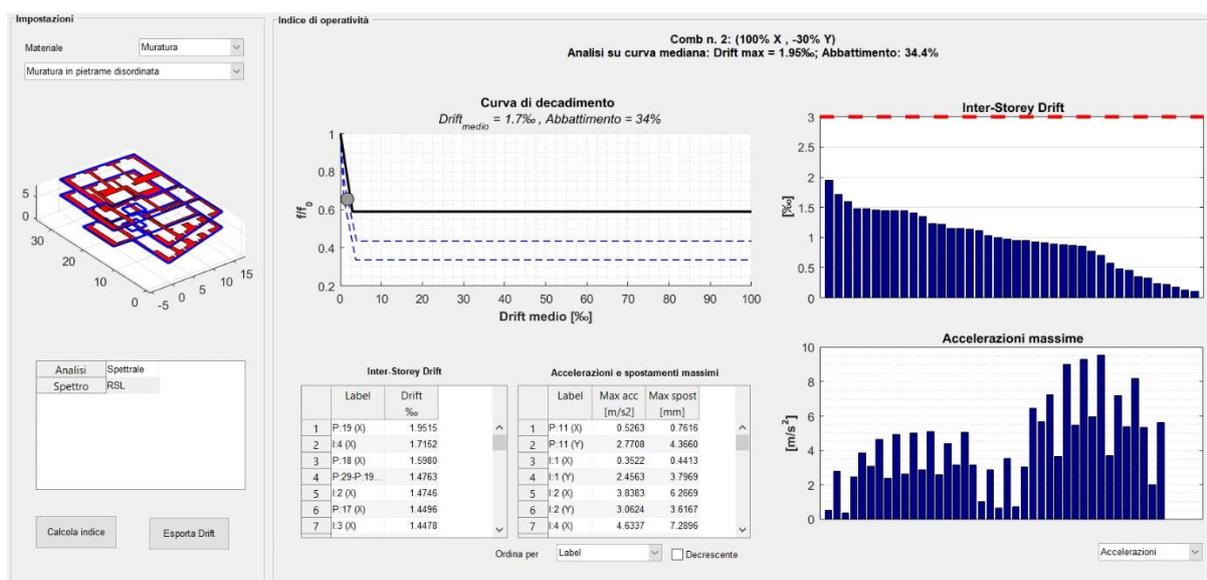


Figura 2-71 Scheda riassuntiva dei risultati SMAV

2.5.2 Curve di Fragilità

In fase di revisione finale per novembre.

2.6 COC Mottola

L'edificio oggetto di studio è il Palazzo municipale di Mottola, un comune situato nella provincia di Taranto, in Puglia.

Le coordinate geografiche del comune sono 40°38'3"12 N 17°2'16"80 E, con un'altitudine media pari a 387 m s.l.m., situato nella parte sud della Murgia il comune sorge su una collina a circa 10 km dal Mar Ionio.

Il Palazzo municipale di Mottola è ubicato tra via Salvo D'acquisto e la piazza XX Settembre in una zona pressoché baricentrica rispetto lo sviluppo urbano della città.



Figura 2-72 - Inquadramento edificio del Municipio di Mottola (TA).

2.6.1 Ricerca documentale

Il monumentale palazzo municipale venne costruito nell'ex Orto del Vescovo tra il 1881 ed il 1887, su progetto dell'ingegnere mottolese Stefano Buttigione, grazie al ricavato della vendita del bosco demaniale di Selvapiana.

La facciata è in stile neoclassico, disposta su tre ordini, ognuno dei quali delimitati da cornicioni aggettanti e ornati da coppie di lesene, nei quali si aprono grandi finestroni. La parte centrale del secondo ordine presenta anche una lunga balconata. L'ultimo ordine ha una lunghezza pari a circa un terzo degli altri due, ed è sovrastato da un frontone mistilineo, sul quale trova posto l'orologio della città, affiancato anch'esso da due piccole lesene.

Si accede al palazzo attraverso il grande portone del monumentale portale, che presenta in ambo i lati una coppia di colonne doriche poste su un'alta base. Nelle circa settanta stanze disposte intorno allo spazioso atrio ospita gli uffici del Comune, la sala convegni comunale, il museo della civiltà rupestre e contadina (MUDERC), sedi di partiti e associazioni. Al di sotto dell'atrio del palazzo è scavata una grande cisterna.

Il fabbricato si sviluppa per due piani fuori terra con un'altezza di circa 6 metri a livello, in copertura vi è un piano in arretramento, un terzo livello, di circa 4 metri in corrispondenza del quale si trova il collegamento verticale. Il palazzo municipale è costituito da una struttura voltata in muratura portante in conci di tufo. Lo sviluppo in pianta del fabbricato è abbastanza regolare, una forma pseudo rettangolare di circa 55 m x 65 m caratterizzata da una corte centrale. Le murature perimetrali sono caratterizzate da uno spessore variabile tra i 180 e 200 cm, alcuni punti della muratura esposta in via Salvo D'acquisto raggiungono spessori di 350 cm. Tutti gli ambienti interni del fabbricato sono voltati, sono presenti volti a botte, a stella, a padiglione, a vela e a crociera.

L'edificio in esame è considerato un edificio strategico, ai sensi del DPCM 21/10/2003, emanato dal Dipartimento della protezione civile. In particolare, il municipio ricade tra gli edifici appartenenti all'Elenco A, ovvero categorie di edifici ed opere infrastrutturali di interesse strategico di competenza statale, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile.

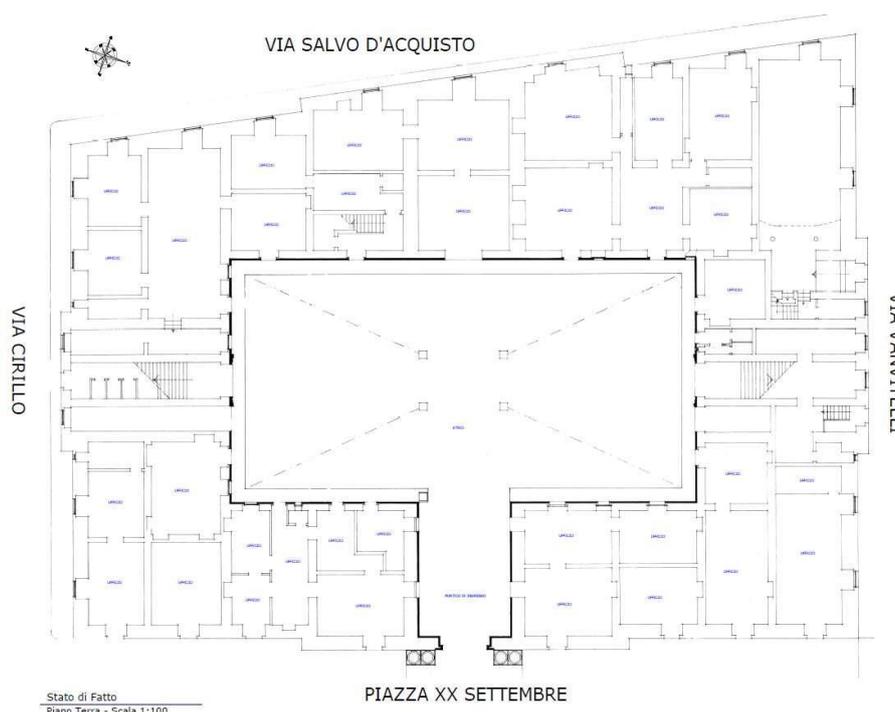


Figura 2-73 – Pianta piano terra Palazzo del Municipio di Mottola (TA).

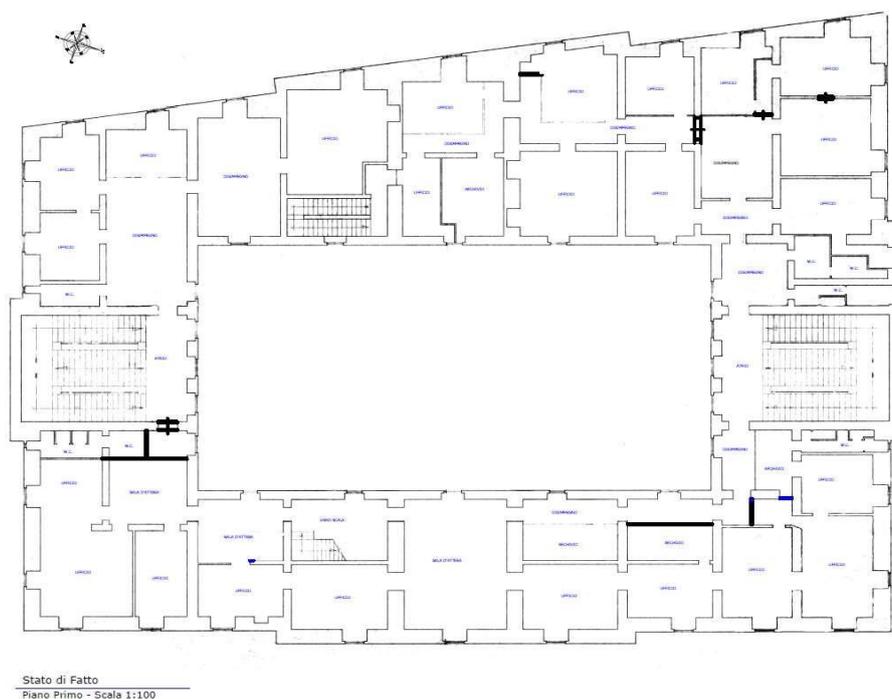


Figura 2-74 – Pianta piano primo Palazzo del Municipio di Mottola (TA)

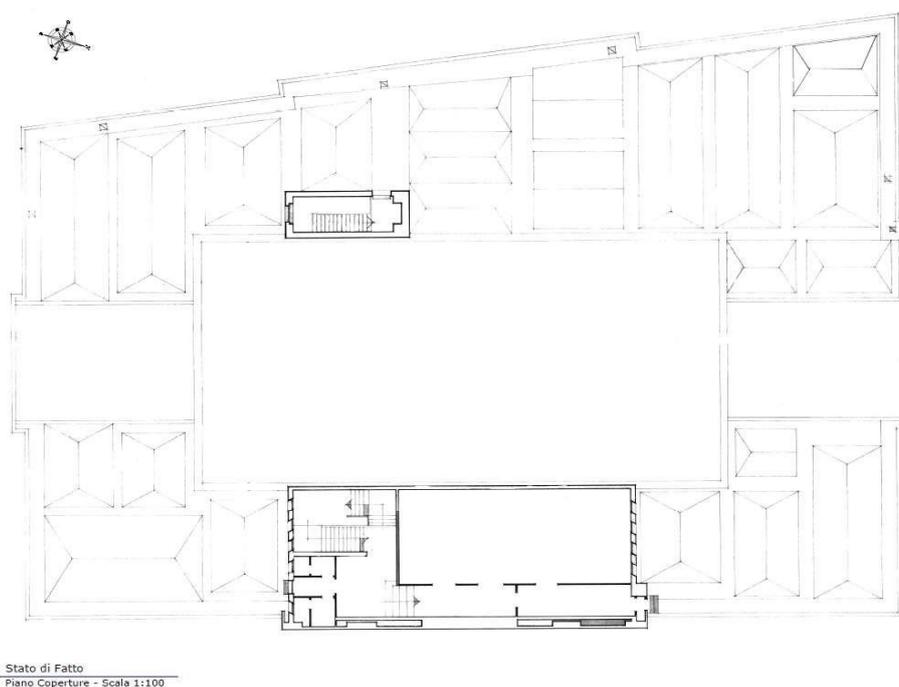


Figura 2-75 Pianta copertura Palazzo del Municipio di Mottola (TA)

2.6.2 Campagna di misure di vibrazioni

Considerando l'ampia superficie dei vari livelli del palazzo municipale oggetto di studio, sono stati individuati 12 punti di misura, dove posizionare n° 24 accelerometri, due per ogni punto, in direzione x e y, collegati a 4 diverse CompactDAQ.

In particolare, si sono individuati 5 punti sia per il piano primo che per il piano copertura, in cui posizionare n°10 accelerometri e 2 successivi punti nel terzo livello in arretramento in cui posizionare n°4 accelerometri.

I punti sono individuabili alle seguenti altezze:

- 5 a quota 6 metri, ovvero a livello del solaio del primo livello;
- 5 a quota 12 metri, pari al livello del solaio in copertura;
- per il terzo livello in arretramento avente una quota di 16 metri.

Inoltre, per poter ricostruire la geometria della struttura sui software di calcolo, sono stati individuati dei punti fittizi, come indicato in legenda.

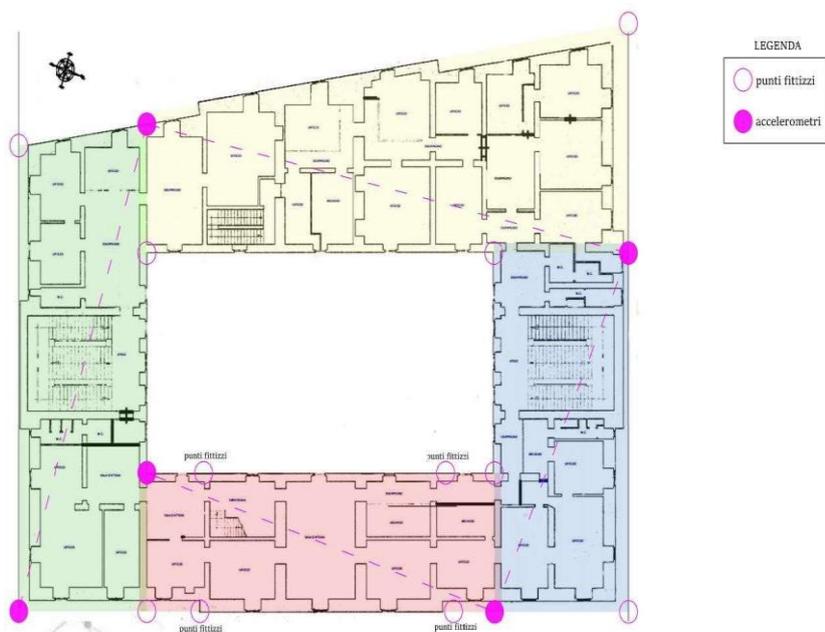


Figura 2-76 – Punti di misura primo livello

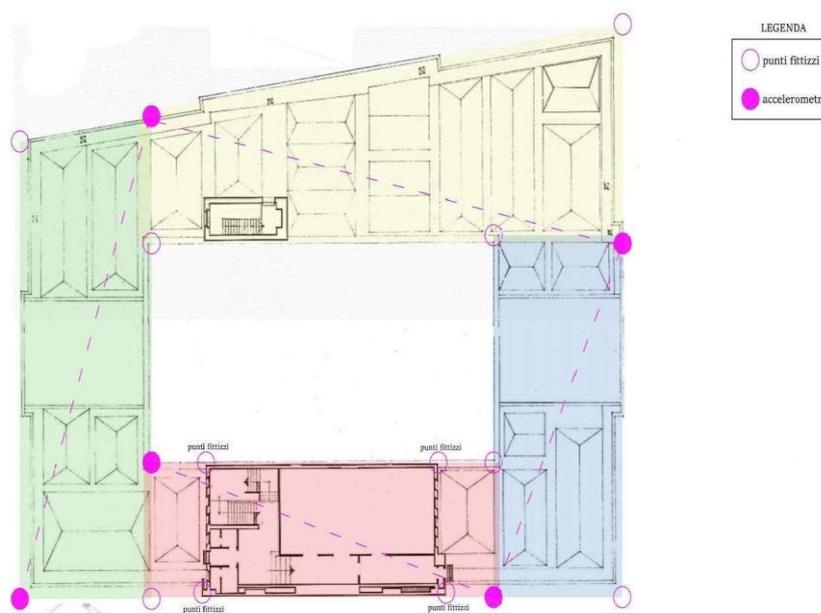


Figura 2-77 – Punti di misura secondo livello (copertura)

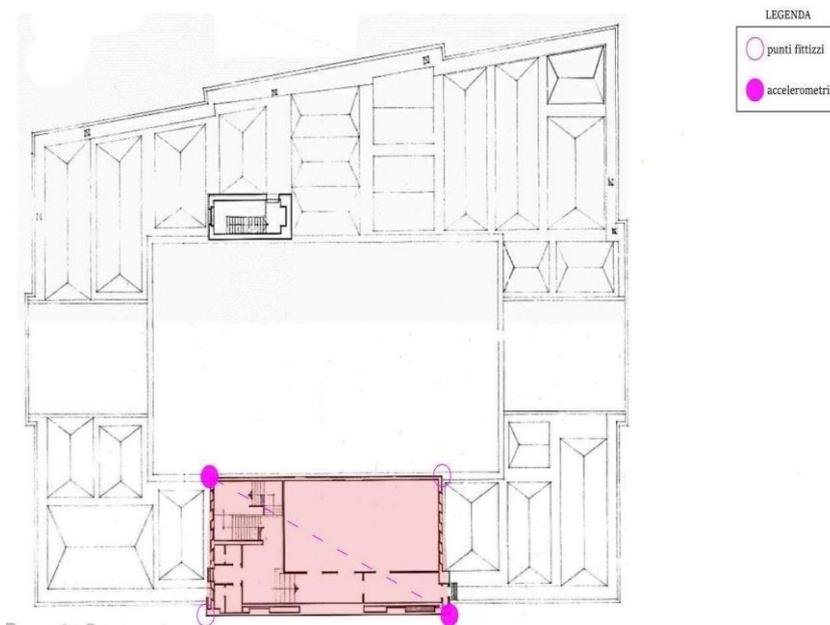


Figura 2-78 – Punti di misura terzo livello in arretramento

Negli elaborati grafici successivi viene illustrato nel dettaglio il posizionamento degli accelerometri per ogni livello dell'edificio oggetto di studio (primo livello, copertura, terzo livello), in considerazione sia della CompactDAQ a cui sono collegati, sia delle direzioni x e y rispetto al sistema di riferimento impostato in fase di monitoraggio.

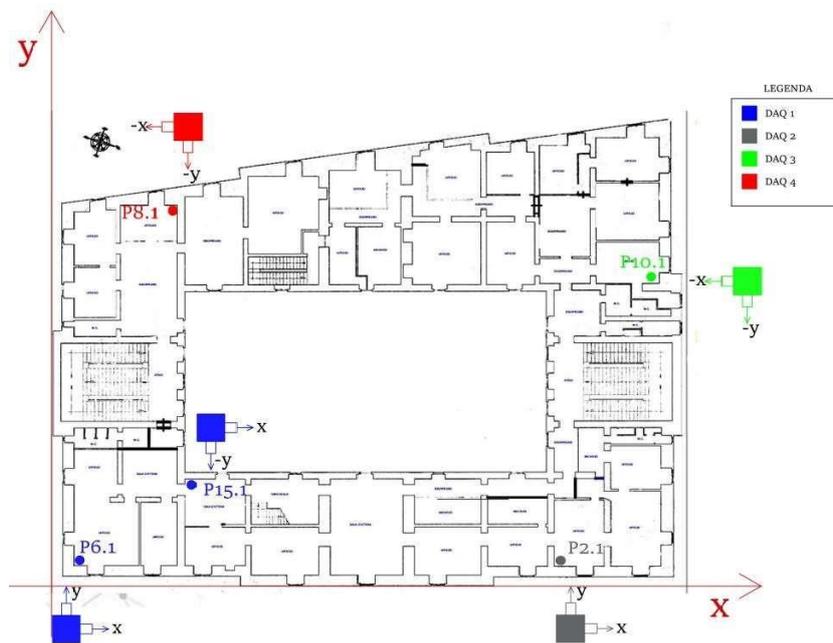


Figura 2-79– Dettaglio posizionamento accelerometri e DAQ primo livello

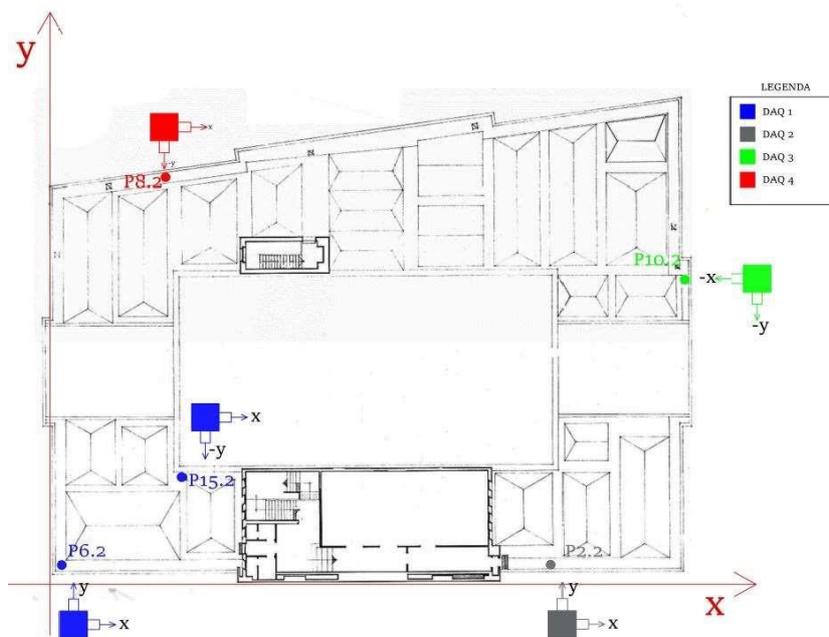


Figura 2-80 – Dettaglio posizionamento accelerometri e DAQ copertura

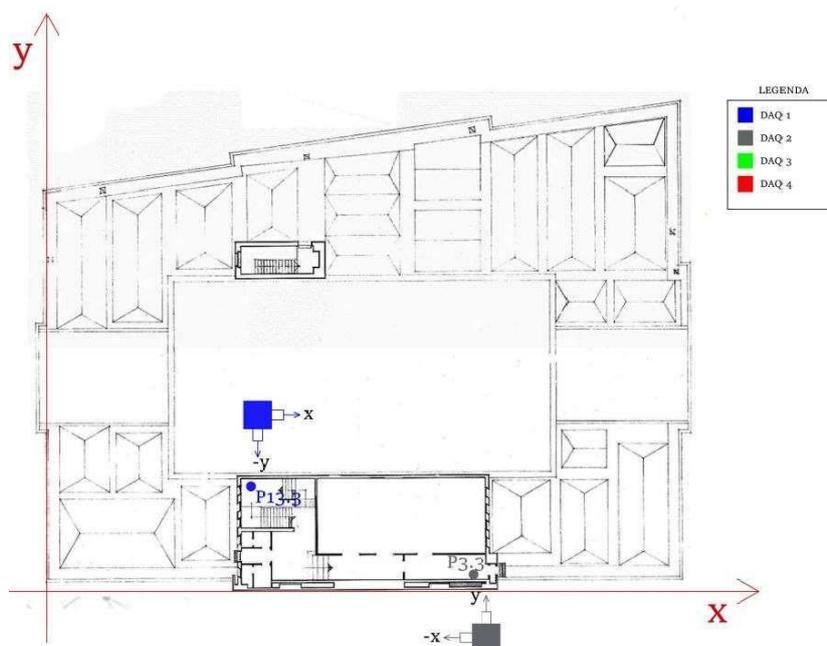


Figura 2-81– Dettaglio posizionamento accelerometri e DAQ terzo livello

2.6.3 Grandezze dinamiche sperimentali

Sono state identificate le seguenti frequenze fondamentali.

Frequenza [Hz]	Test1	Test2	Test3	Media
1	4.68	4.77	4.79	4.75
2	5.42	5.6	5.6	5.54
3	6.36	6.36	6.7	6.47
4	7.23	7.81	7.76	7.6

Il modello utilizzato in Artemis Modal per effettuare l'analisi sperimentale è mostrato nella Figura 49, dove sono mostrati tutti i nodi considerati e la posizione e direzione dei 22 accelerometri (indicati con frecce).

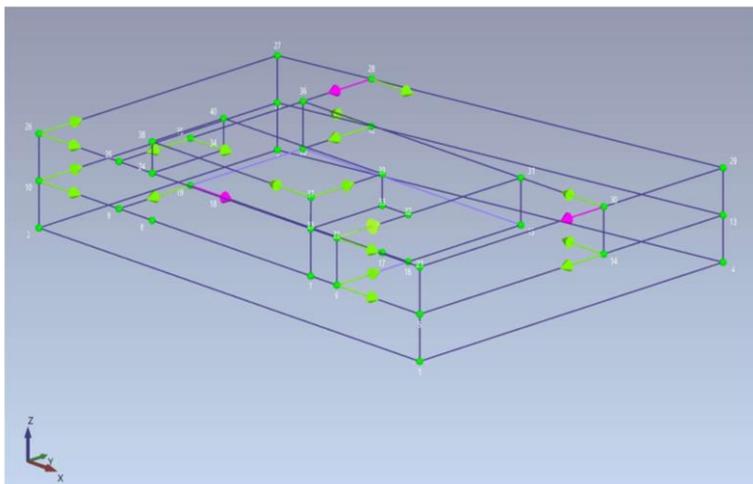


Figura 2-82 – Modello Artemis dell'edificio.

Il diagramma di stabilizzazione relativo al Test 1 con l'identificazione effettuata con il metodo SSIUPC è riportato nella successiva figura.

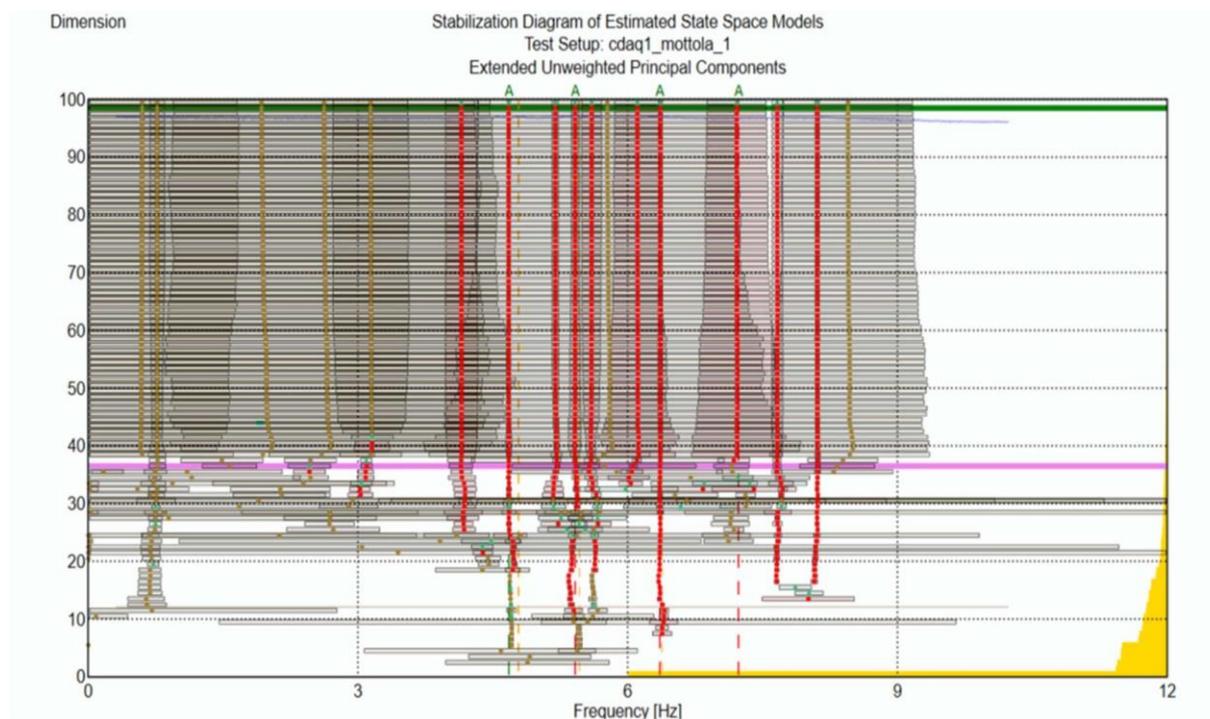


Figura 2-83 - Diagramma di stabilizzazione relativo al Test 4; identificazione con il metodo SSI-UPC

Per verificare l'indipendenza delle frequenze è stato calcolato il MAC delle 4 frequenze stimate relativamente al Test 1, dove si può notare un elevato valore ed una possibile dipendenza solamente in relazione alle frequenze 1 e 3.

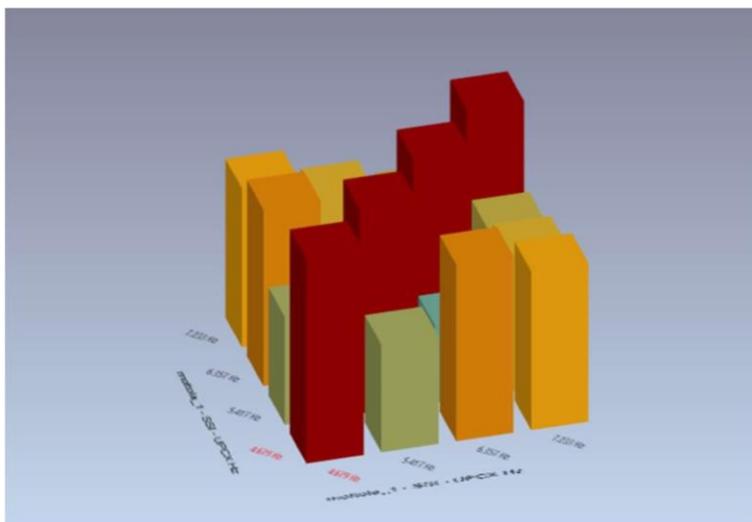


Figura 2-84 - MAC delle 5 frequenze stimate relativamente al Test 4

Si rappresenta il primo modo di vibrazione tenendo presente che gli altri modi mostrano tutti un comportamento non identificabile dai pochi punti di misura rispetto alla complessità dell'edificio.

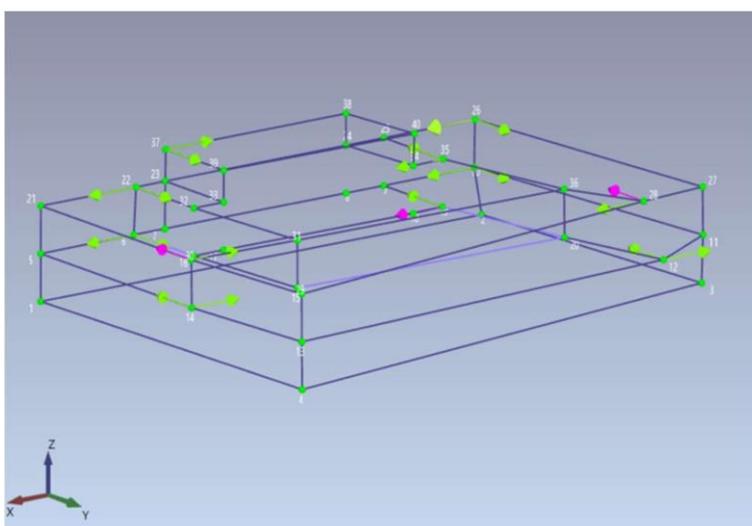


Figura 2-85 – Test 1: Modo 1 flessio-torsionale

2.6.4 Curve di Fragilità

La complessità dell'edificio e l'incertezza delle misure sperimentali hanno reso impossibile l'uso di modelli semplificati tipo quello SMAV. Al fine di individuare delle curve di fragilità tipologiche si è attinto tra quelle in letteratura che appaiono coerenti con la tipologia strutturale. Si possono a tal fine considerare le curve di letteratura relative ad edifici in muratura illustrate in S. Lagomarsino, S. Giovinazzi. *Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings*. Bulletin of Earthquake Engineering 4(4), 415-443, 2006.

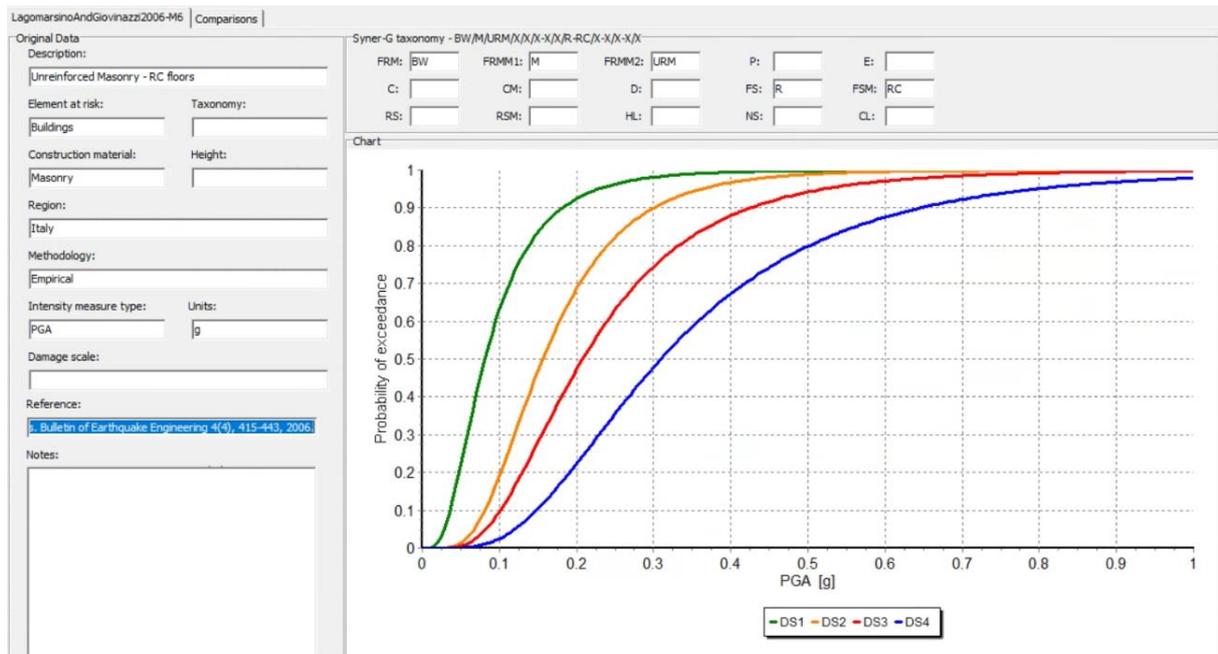


Figura 2-86 Curve di Fragilità (Lagomarsino et al., 2006)

2.7 COC Palagiano

La struttura oggetto di monitoraggio è il complesso edilizio ubicato nel comune di Palagiano, un comune situato nella provincia di Taranto in Puglia, nella quale troviamo una serie di funzioni strategiche, tra cui il centro operativo comunale (C.O.C.) della Protezione Civile e l'ufficio S.U.A.P della Polizia Locale.

Le coordinate geografiche del comune sono 40°34'45"12 N 17°2'17"52 E, con un'altitudine media pari a 39 m s.l.m., caratterizzato da un'estensione territoriale piana di 69,15 kmq, dista circa 25 km dal capoluogo Taranto.

Il fabbricato oggetto del monitoraggio, ospitante dunque sia il centro operativo comunale della protezione civile di Palagiano che l'ufficio S.U.A.P della polizia locale, è ubicato in via San Giovanni Bosco n° 16, in una posizione leggermente a sud rispetto lo sviluppo urbano della città.



Figura 2-87 - Inquadramento urbanistico edificio oggetto di monitoraggio



Figura 2-88 COC di Palagiano

2.7.1 Ricerca documentale

Il fabbricato si sviluppa su un unico livello fuori terra con un'altezza pari 5,5 metri, ed è caratterizzato dall'aggregazione di diverse unità di forma regolare (evidenziato in blu in Figura 2-89) interconnesse tra loro e aventi diversa destinazione d'uso. La copertura è a prevalente sviluppo piano ma presenta sul lato Sud dell'edificio una doppia una falda inclinata in arretramento.

La mancanza di documentazioni ufficiali non ha permesso una ricostruzione storico-critica dell'edificio, tuttavia, facendo affidamento a informazioni locali raccolte in fase di monitoraggio, si è determinato che la struttura risale a un periodo antecedente al 1940.

Considerando il periodo storico di riferimento e lo spessore delle mura perimetrali, pari a 55 centimetri, è possibile affermare che si tratti di un edificio in muratura portante.

Nella planimetria generale sono riportati anche altri due fabbricati (non evidenziati in blu) di recente costruzione non oggetto di monitoraggio.

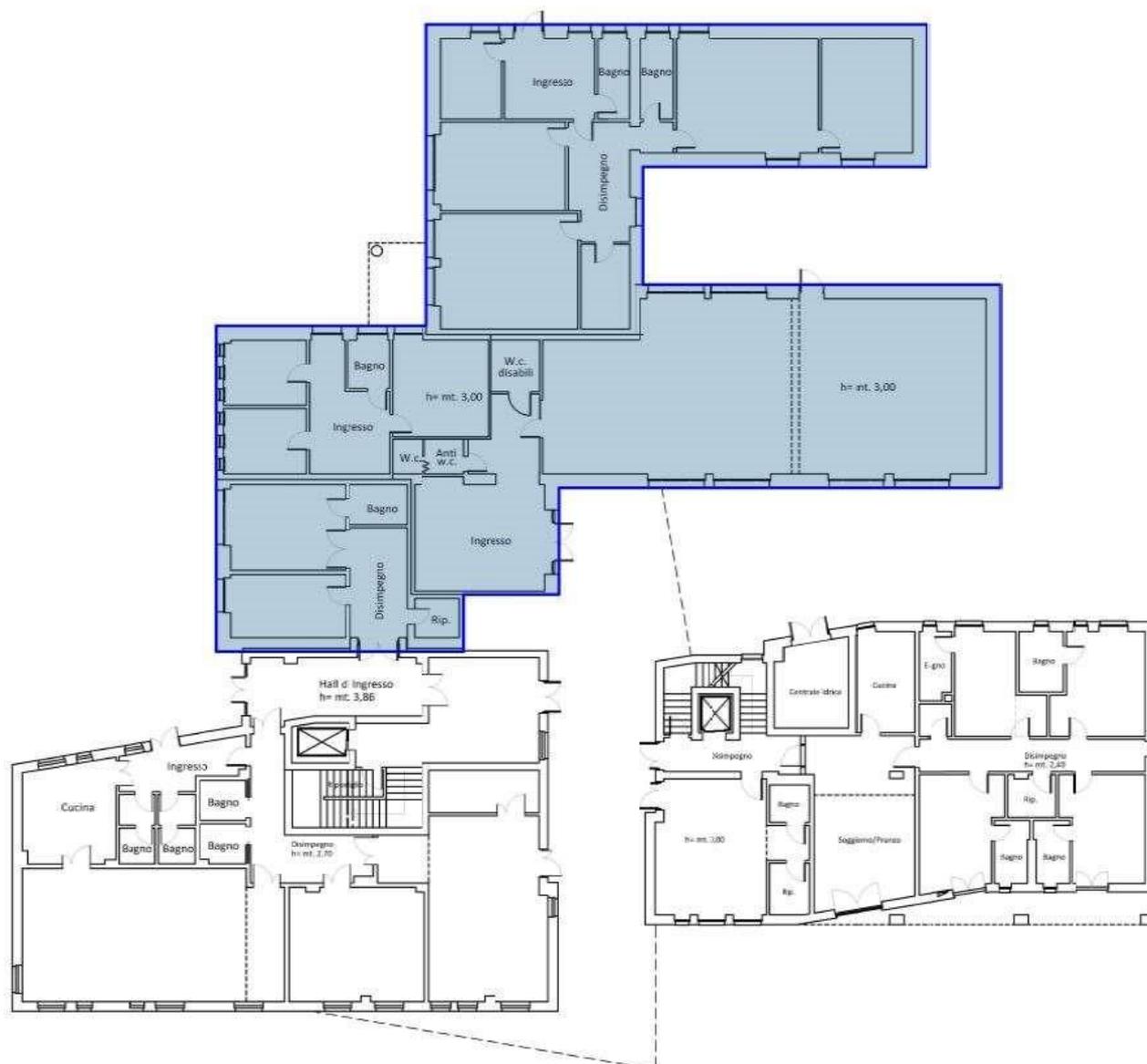


Figura 2-89 - Planimetria generale C.O.C. Protezione Civile e ufficio Polizia Locale

2.7.2 Campagna di misure di vibrazione

Sono stati identificati 4 punti di misura, dove posizionare n° 8 accelerometri, due per ogni punto, in direzione x e y, collegati a un'unica CompactDAQ.

In particolare, tutti i 4 punti sono stati individuati a livello del solaio in copertura, ad un'altezza pari a 5,5 m.

Inoltre, per poter ricostruire la geometria della struttura sui software di calcolo, sono stati individuati dei punti fittizi, come indicato in legenda (Figura 2-90).

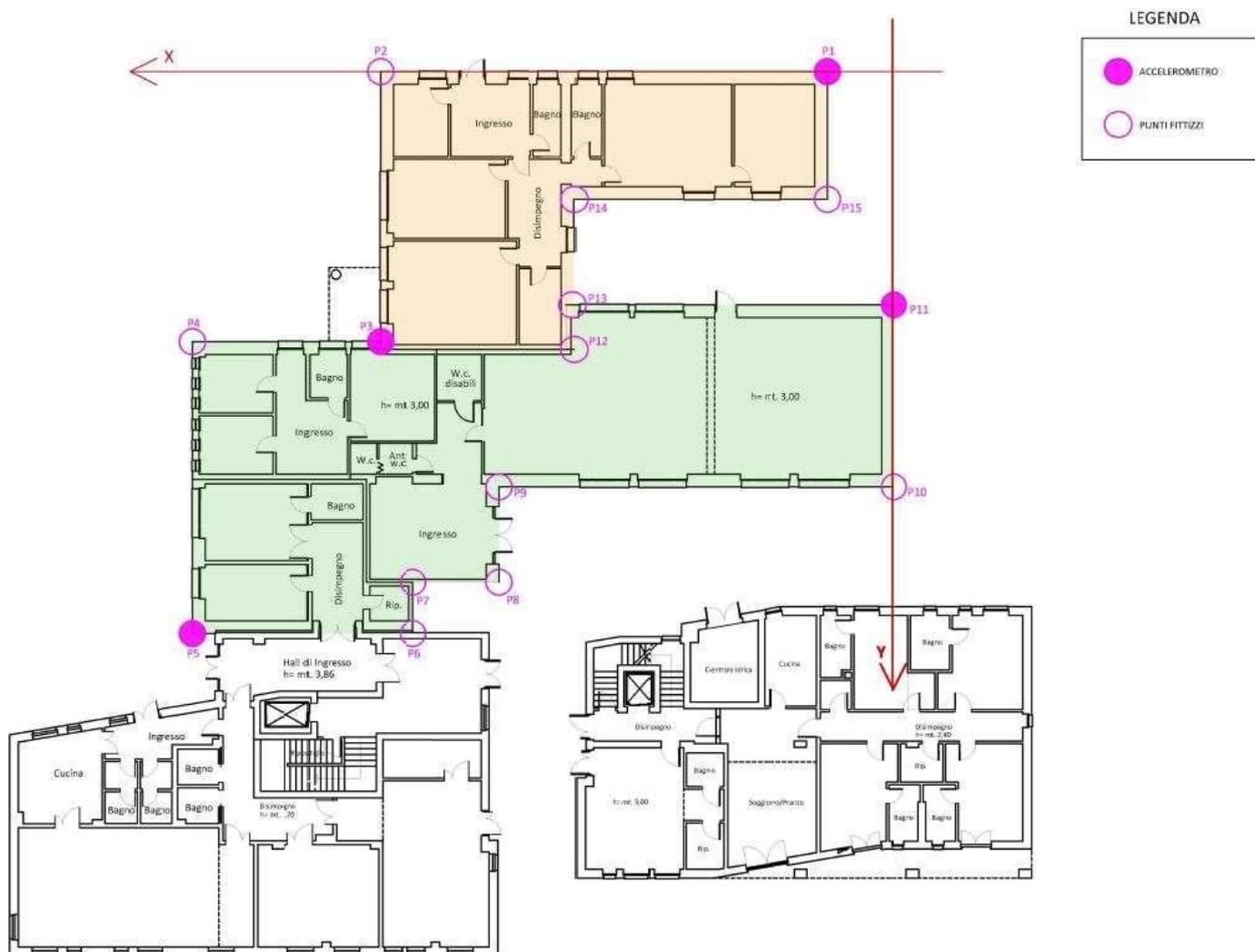


Figura 2-90 – Punti di misura C.O.C. Protezione Civile e ufficio Polizia Locale

Nella pianta in Figura 2-91 viene illustrato nel dettaglio il posizionamento degli accelerometri per l'edificio oggetto di studio, in considerazione sia della CompactDAQ a cui sono collegati, sia delle direzioni x e y rispetto al sistema di riferimento impostato in fase di monitoraggio.

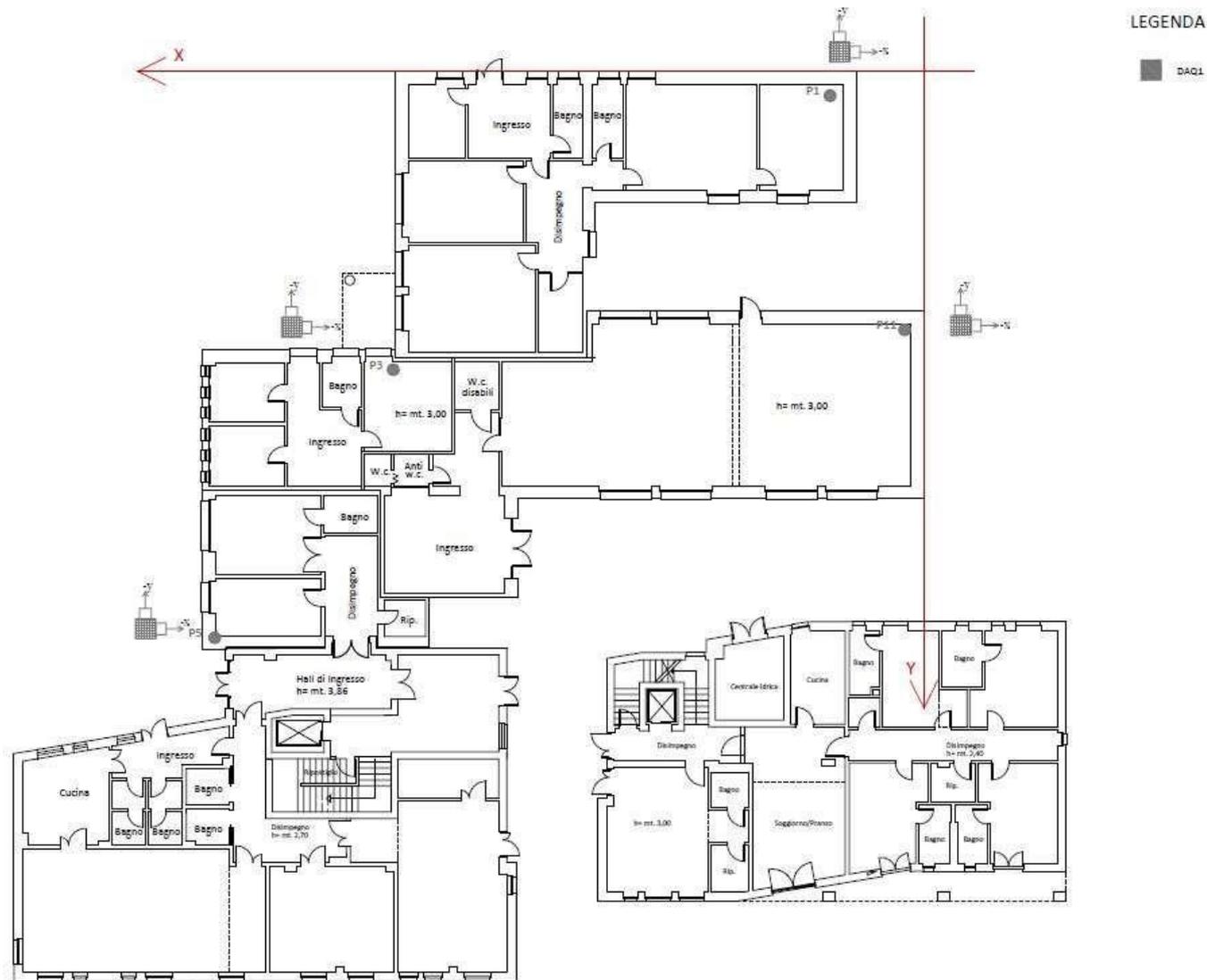


Figura 2-91 – dettaglio posizionamento accelerometri C.O.C. Protezione Civile e ufficio Polizia Locale

2.7.3 Grandezze dinamiche sperimentali

Si riportano in tabelle le frequenze identificate

Frequenza [Hz]	Test1	Test2	Test3	Test4	Media
1	11.09	10.41	10.77	10.98	10.81
2	12.32	11.72	12.56	-	12.2
3	13.74	13.91	13.64	13.49	13.69
4	14.19	14.13	14.29	-	14.2

Il modello utilizzato in Artemis Modal per effettuare l'analisi sperimentale è mostrato nella Figura 2-92, dove sono mostrati tutti i nodi considerati e la posizione e direzione degli 8 accelerometri (indicati con frecce) utilizzati, tutti posizionati al primo livello. Si nota la presenza di una prima frequenza molto elevata (superiore ai 10 Hz).

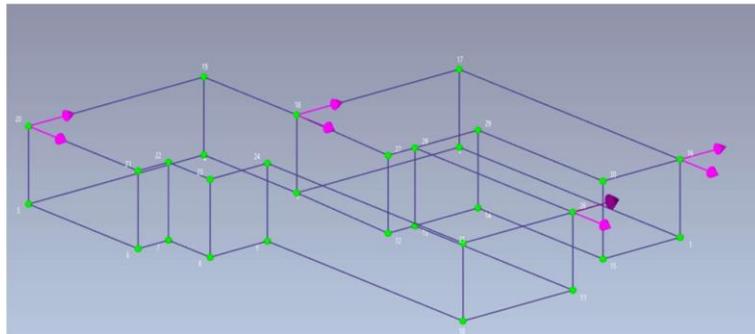


Figura 2-92 - Modello Artemis dell'edificio.

Il diagramma di stabilizzazione relativo al Test3 con l'identificazione effettuata con il metodo SSIUPC è riportato nella figura seguente.

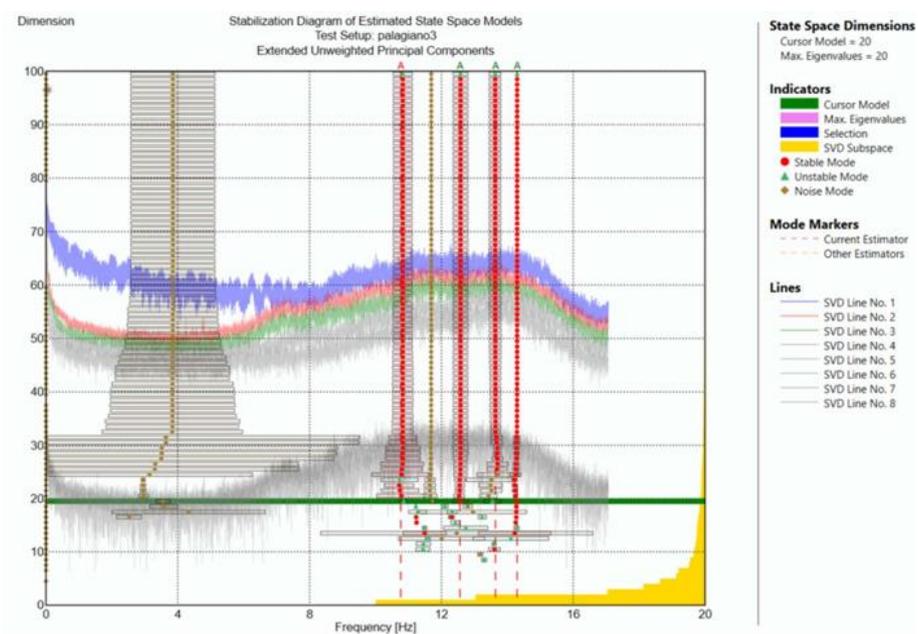


Figura 2-93 - Diagramma di stabilizzazione relativo al Test 4; identificazione con il metodo SSI-UPC

Dal calcolo del MAC si può notare che le frequenze identificate sono indipendenti.

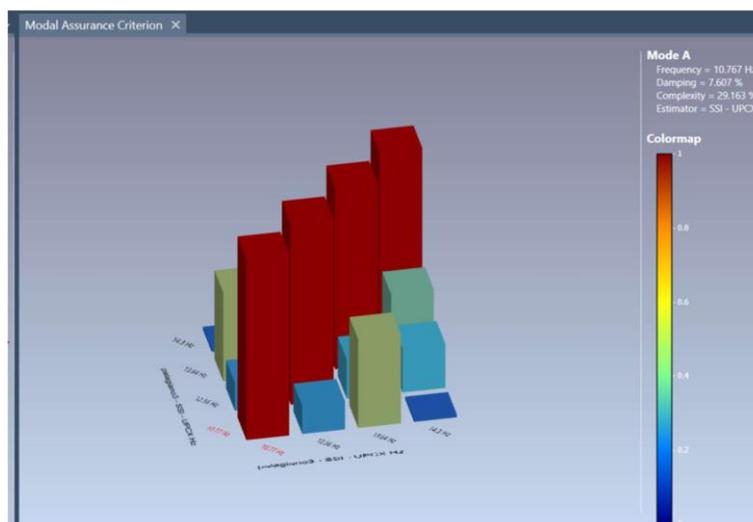


Figura 2-94 - MAC delle 5 frequenze stimate relativamente al Test3

Si riporta la deformata modale identificata per il primo modo.

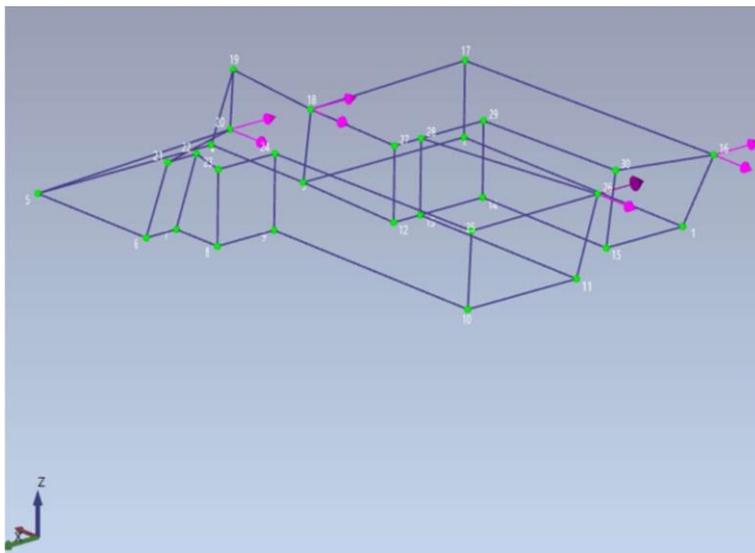


Figura 2-95 - Test 3: Modo 1

2.7.4 Curve di Fragilità

L'irregolarità planimetrica dell'edificio e l'incertezza delle misure sperimentali hanno reso impossibile l'uso di modelli semplificati tipo quello SMAV. Al fine di individuare delle curve di fragilità tipologiche si è attinto tra quelle in letteratura che appaiono coerenti con la tipologia strutturale. Si possono a tal fine considerare le curve di letteratura relative ad edifici in muratura illustrate in M. Rota, A. Penna, C.L.Strobbia. Processing Italian damage data to derive typological fragility curves. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 28(10-11), 933-947, 2008.

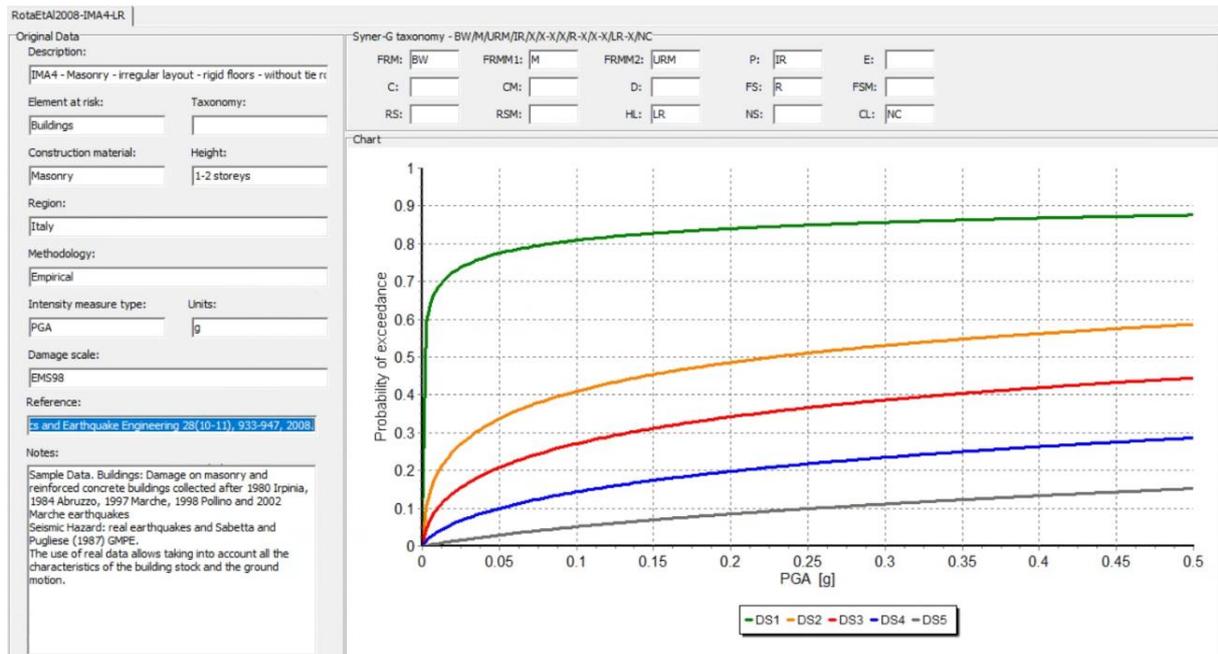


Figura 2-96 Curve di Fragilità (M. Rota et al., 2008)

2.8 COC Palagianello

L'edificio oggetto del monitoraggio è la sede del Municipio di Palagianello, un comune situato nella provincia di Taranto, in Puglia.

Il territorio di Palagianello ha una conformazione longitudinale a sviluppo Nord-Sud, le cui coordinate geografiche sono 40°37'N 16°58'E, con altitudine di 130 m sul livello del mare e superficie di 43,27 km².

L'edificio è situato nella parte settentrionale del tessuto urbanizzato di Palagianello, in via Massimo D'Azeglio.

L'anno di costruzione dell'edificio risale al 1991, sebbene la progettazione sia stata effettuata nel 1988.

L'edificio in esame è suddiviso in tre blocchi aventi tre differenti destinazioni d'uso:

- blocco scuola
- blocco casa comunale
- blocco sala consiliare facendo parte, così, della categoria B4 – Uffici pubblici e B5 – Scuole e laboratori scientifici dal punto di vista catastale.



Figura 2-97- Inquadramento urbanistico

2.8.1 Ricerca documentale

Ai sensi del DPCM 21/10/2003, il fabbricato è considerato un edificio strategico da parte della Protezione Civile.

L'edificio in esame ricade nella categoria A, ovvero struttura civile destinata a centri funzionali di supporto alle attività di protezione civile e strutture specificate nei piani di Protezione Civile; edificio destinato a sedi di Sale Operative per la gestione delle emergenze; edificio destinato a sede istituzionale del Comune.



Figura 2-98 - Municipio di Palagianello

Ai fini dell'oggetto del presente lavoro, nonché all'obiettivo della Protezione Civile, si pone l'attenzione esclusivamente al blocco casa comunale in quanto tale porzione rappresenta il vero e proprio edificio strategico che assolve la funzione di "intervento operativo" durante la gestione di un'emergenza.

La sede Comunale di Palagianello è una struttura molto articolata e di complessa interpretazione strutturale dovuta alla variegata articolazione degli elementi portanti.

L'intera costruzione tipologicamente è una struttura in c.a. con solaio in laterocemento irrigidente, suddivisa in tre blocchi indipendenti ciascuno separato dall'altro da un giunto pseudo dilatazione di modestissima entità (2-3 cm).

L'edificio si compone di quattro livelli fuori terra, con una copertura piana, e un livello seminterrato (Figure 28-30).

Gli impalcati sono situati alle seguenti quote:

- piano seminterrato: -1.80 m;
- piano rialzato: 2.50 m;
- primo piano: 6.10 m;
- piano secondo: 9.40 m;
- piano copertura: 12.70 m.

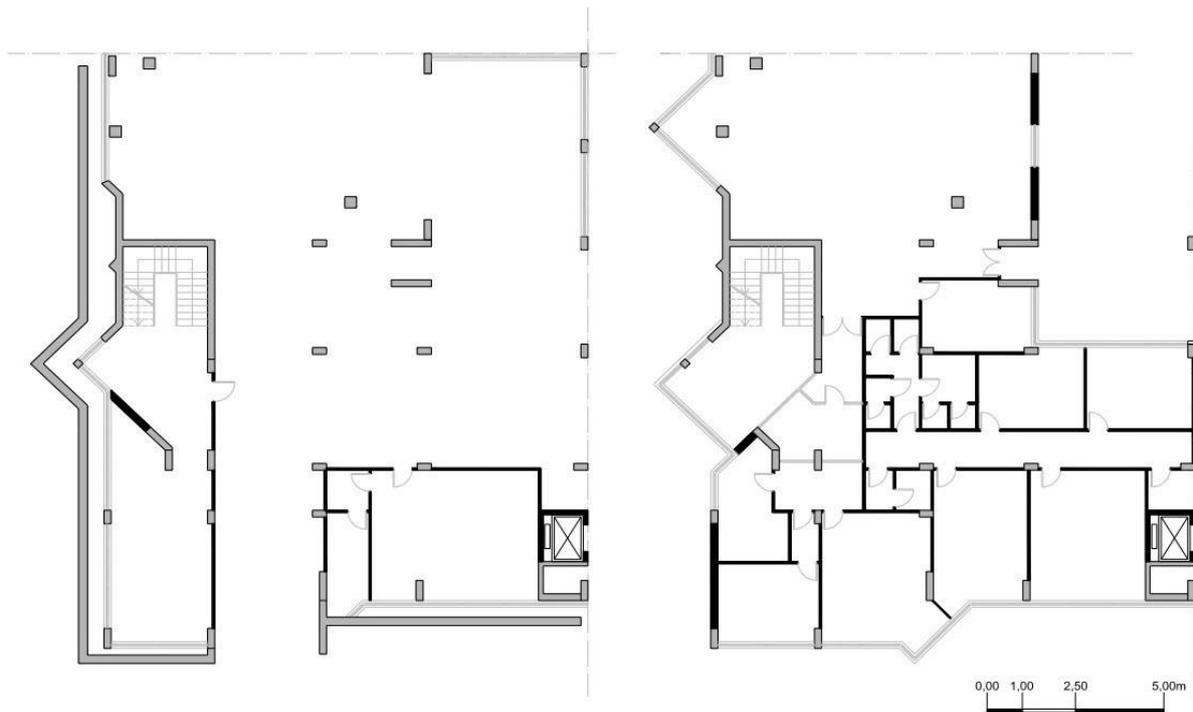


Figura 2-99 - Pianta piano seminterrato (sx) e pianta piano rialzato (dx)

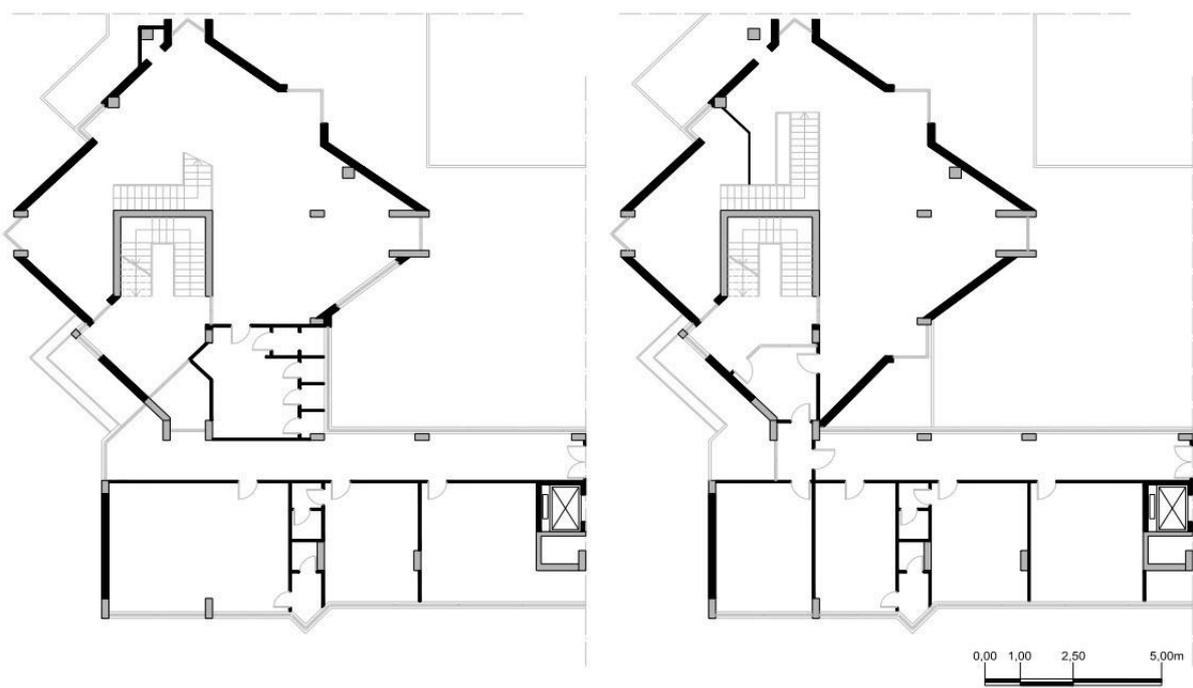


Figura 2-100 - Pianta piano primo (sx) e pianta piano secondo (dx)

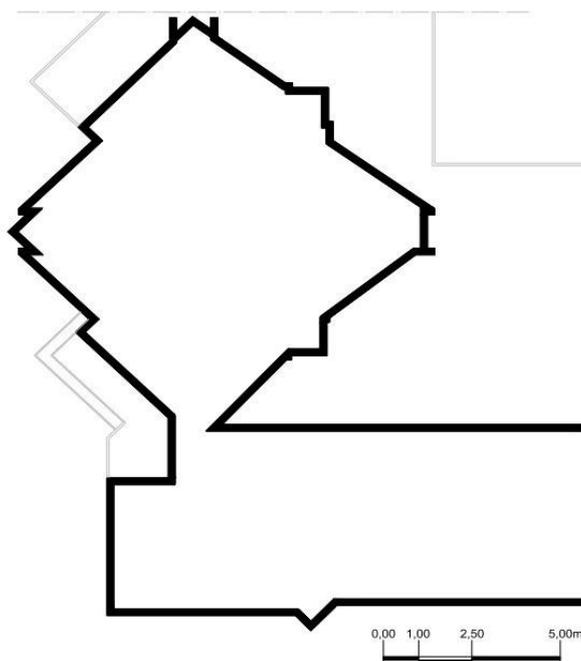


Figura 2-101 - Pianta piano copertura

In data 16.04.2015, da parte del “Laboratorio per la Conoscenza delle Scienze Tecniche” BRAINSTOMERS di Barile (PZ) ha eseguito sulla struttura le seguenti prove: n. 9 carotaggi su cls; n. 3 prelievi di armatura;

n. 18 indagini pacometriche;

n. 22 indagini sonreb.

Dagli esami dei certificati di prova per la caratterizzazione del calcestruzzo, risulta una Resistenza cubica media pari a 402 kg/cm², corrispondente ad una classe di calcestruzzo C32/40.

Dall'esame dei dati provenienti dalle prove a trazione sull'acciaio, emerge che la caratterizzazione dell'acciaio è simile a quello del B450C.

2.8.2 Campagna di misure di vibrazione

Il posizionamento degli accelerometri è stato individuato in maniera tale da riportare dati quanto più attendibili possibile circa il comportamento dinamico della struttura ed esclusivamente sul blocco casa comunale, oggetto di studio.

In primo luogo, secondo le linee guida SMAV, è stata effettuata una suddivisione dell'edificio in pianta realizzando poligoni di comportamento rigido i cui vertici sono costituiti proprio dai punti monitorati in fase OMA.

In secondo luogo, il posizionamento dei sensori è condizionato da altre due problematiche, ovvero l'accessibilità ai locali e la lunghezza dei cavi coassiali.

Per ogni punto di applicazione, poiché gli accelerometri sono monoassiali, è stato applicato un accelerometro per asse (X, Y).

In questo modo è possibile cogliere non solo i modi traslatori (X, Y) ma anche quelli torsionali.

Sono stati applicati in totale 28 accelerometri, 14 in direzione X e 14 in direzione Y.

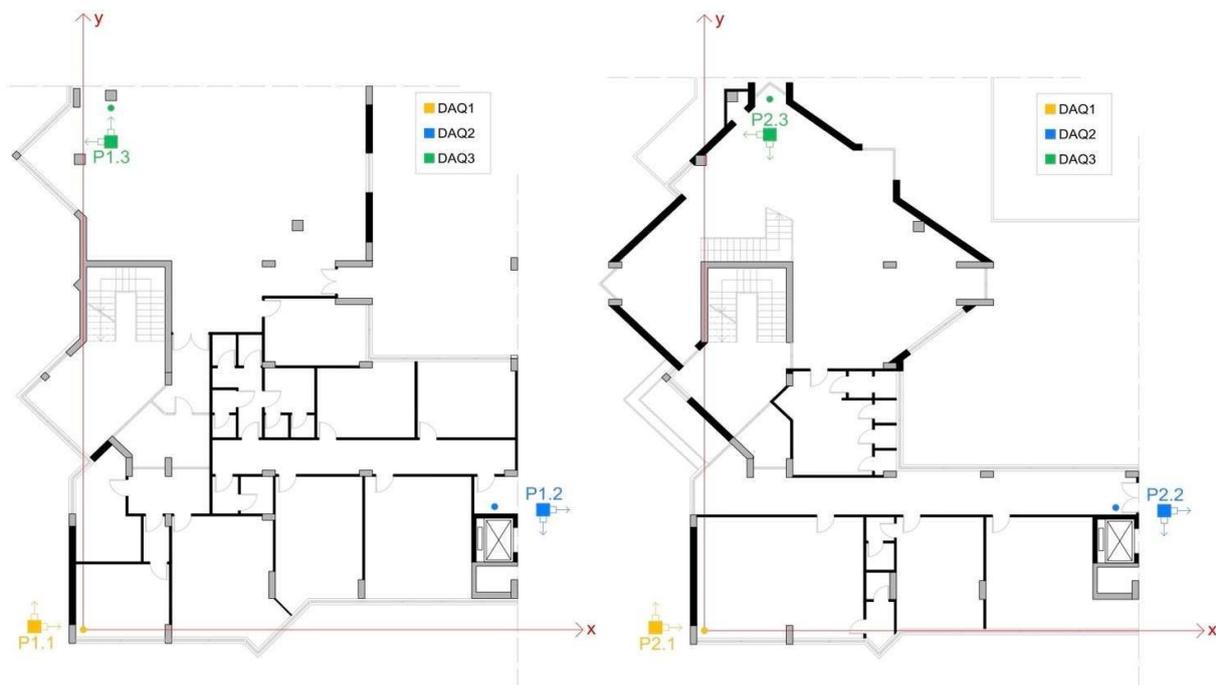


Figura 2-102 - Posizionamento accelerometri piano rialzato (sx) e piano primo (dx)

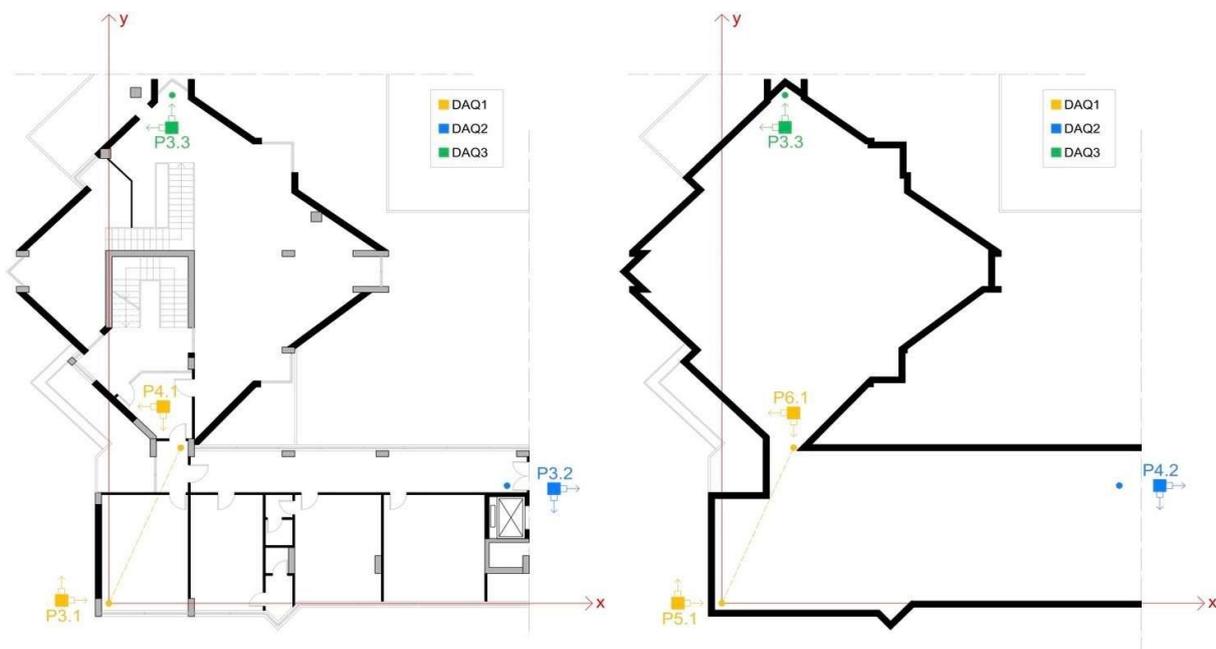


Figura 2-103 - Posizionamento accelerometri piano primo (sx) e piano copertura (dx)

2.8.3 Grandezze dinamica sperimentali

L'identificazione dei parametri modali dai dati sperimentali è stata effettuata utilizzando le più moderne tecniche di Operational Modal Analysis (OMA) implementate nel software Artemis Modal, versione 7.0.

Nella tabella successiva si riportano le frequenze stimate con diversi tre diversi test di acquisizione.

Frequenza [Hz]	Test4	Test5	Test6	Media
1	5.13	5.14	5.35	5.2
2	5.35	5.49	5.36	5.4
3	6.74	-	6.72	6.73
4	7.67	7.65	7.66	7.66
5	8.73	8.63	8.79	8.72

Il modello utilizzato in Artemis Modal per effettuare l'analisi sperimentale è mostrato nella seguente figura, dove sono mostrati tutti i 46 nodi considerati e la posizione e direzione dei 28 accelerometri (indicati con frecce).

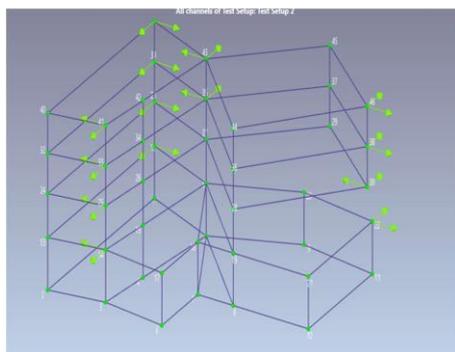


Figura 2-104 – Modello Artemis dell'edificio.

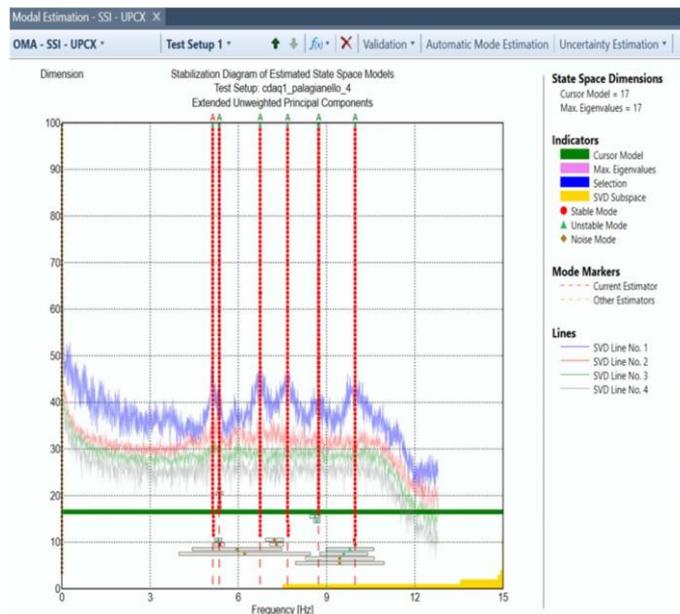


Figura 2-105 - Diagramma di stabilizzazione relativo al Test 4; identificazione con il metodo SSI-UPC

Per verificare l'indipendenza delle frequenze è stato calcolato il MAC delle 5 frequenze stimate relativamente al Test 4, dove si può notare un elevato valore ed una possibile dipendenza solamente in relazione alle frequenze 2 e 4.

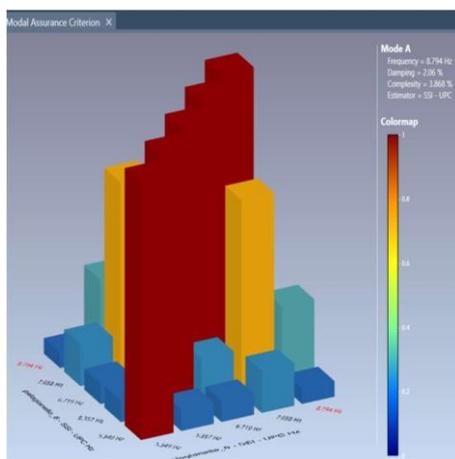


Figura 2-106 - MAC delle 5 frequenze stimate relativamente al Test 4

Relativamente ai modi corrispondenti, i modi relativi alle prime tre frequenze sono rappresentati nelle Figure 36-38 e sono riferiti rispettivamente ad un modo flessionale lungo l'asse y (indicata in figura), ad un modo flessionale lungo x e ad un modo torsionale, rispettivamente. I risultati mostrati sono relativi al Test 4.

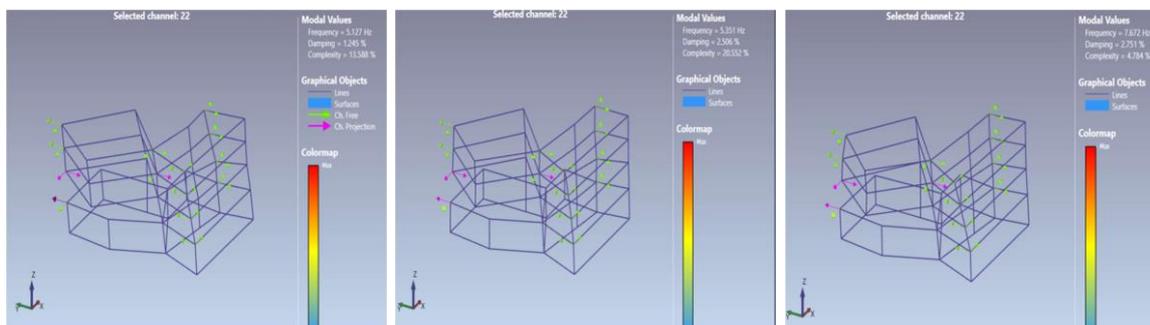


Figura 2-107 Primi tre modi relativi al test 4

2.8.4 Modello SMAV

Tramite l'applicativo vascoSMAV è stato generato il modello numerico SMAV per la definizione delle curve di fragilità secondo il procedimento brevemente descritto al capitolo 1.2. In questa sezione alcuni aspetti della modellazione vengono riassunti tramite immagini e tabelle. In questo caso, a causa delle incertezze determinatesi sulle misure in situ, sono state processate le frequenze ottenute da campagna di identificazione dinamica e forme modali ottenute da modellazione tramite macroelementi. Il modello a macroelementi è stato calibrato in base alle frequenze sperimentalmente identificate.

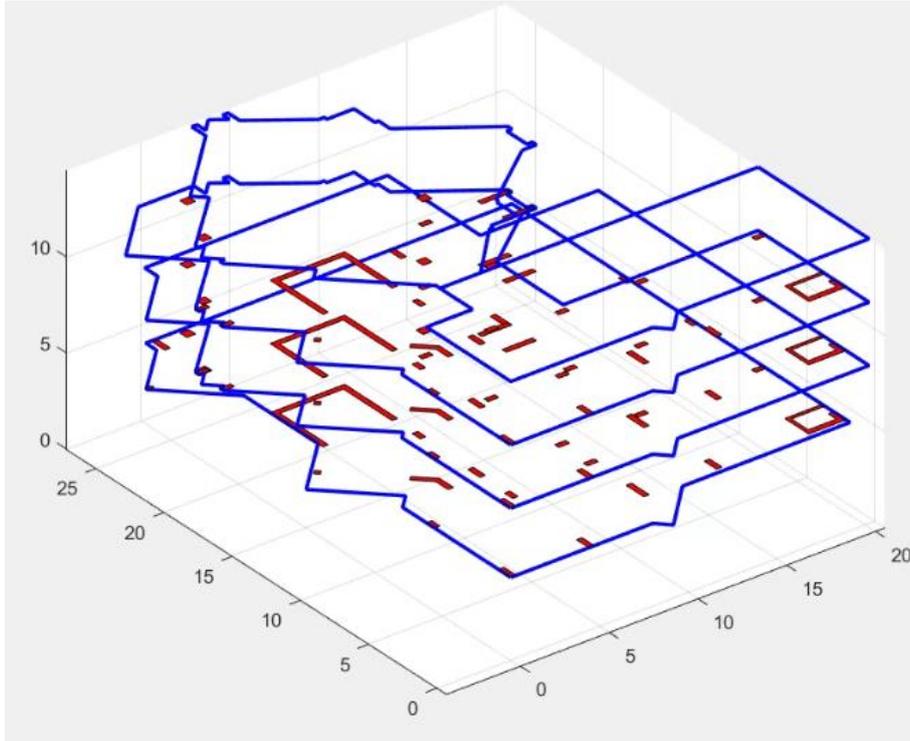


Figura 2-108 Rappresentazione semplificata della geometria della struttura.

Parametri modello SMAV												
Coefficienti di ortogonalità					Masse partecipanti				Ipotesi di poligono rigido			
	1	2	3	4	Mx	My		MAC				
1	1	0.8112	0.8811	0	0.03	0.68	1	0.9504				
2	0.8112	1	0.8778	0	0.27	0.45	2	0.6938				
3	0.8811	0.8778	1	0	0.15	0.56	3	0.8234				
4	0.7131	0.9116	0.8269	1	0.49	0.23	4	0.8231				
5	0.8318	0.9479	0.9036	0	0.34	0.39	5	0.9252				
Σ					1.27	2.31						

Figura 2-109 Parametri modello SMAV

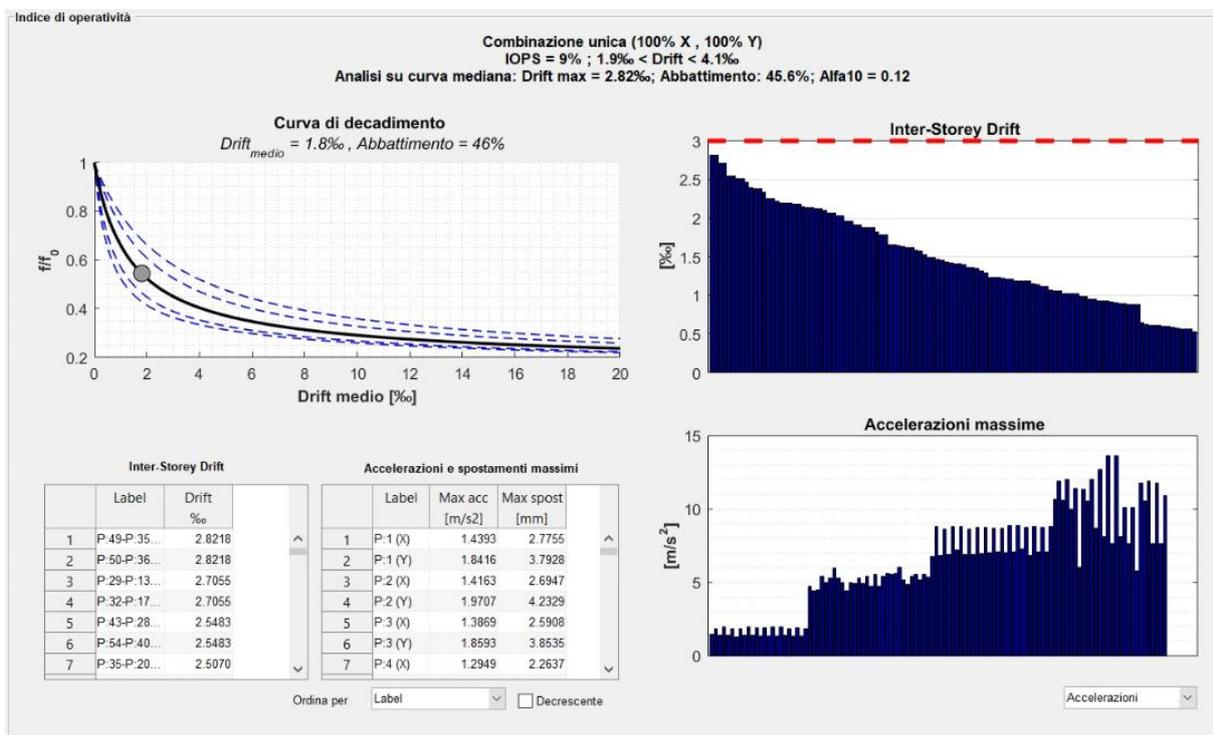
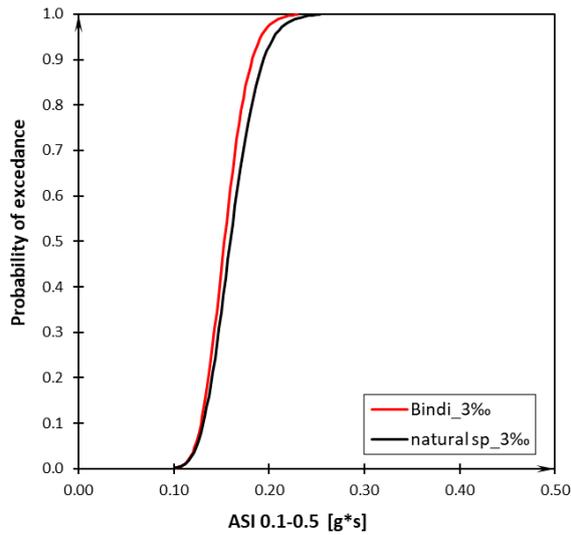


Figura 2-110 Scheda riassuntiva dei risultati SMAV

2.8.5 Curve di Fragilità

Tramite la procedura descritta al capitolo 1.2, sono state determinate le curve di fragilità riportate in questa sezione. In questa sede sono stati analizzati due set di spettri di progetto. I due set, costruiti rispettivamente da accelerogrammi sintetici e naturali mostrano, in termini di curva di fragilità, una stabilità del risultato. Quest'ultimo è debolmente influenzato dalla scelta del set di spettri sebbene gli spettri artificiali appaiano determinare una maggiore richiesta di spostamento per la struttura. Questo può determinare una lieve sovrastima della probabilità di danneggiamento come mostra la curva rossa nella Figura 2-20. La curva adotta come parametro di intensità di misura il valore ASI nell'intervallo 0.1-0.5 secondi.



Seismic load	ASI _{0.1-0.5} [g*s]	
	θ	β
Bindi 2011 (1180 spettri - gaussiana)	0.1531	0.1360
900 segnali reali_F	0.1593	0.1539

Figura 2-111 Risultati finali

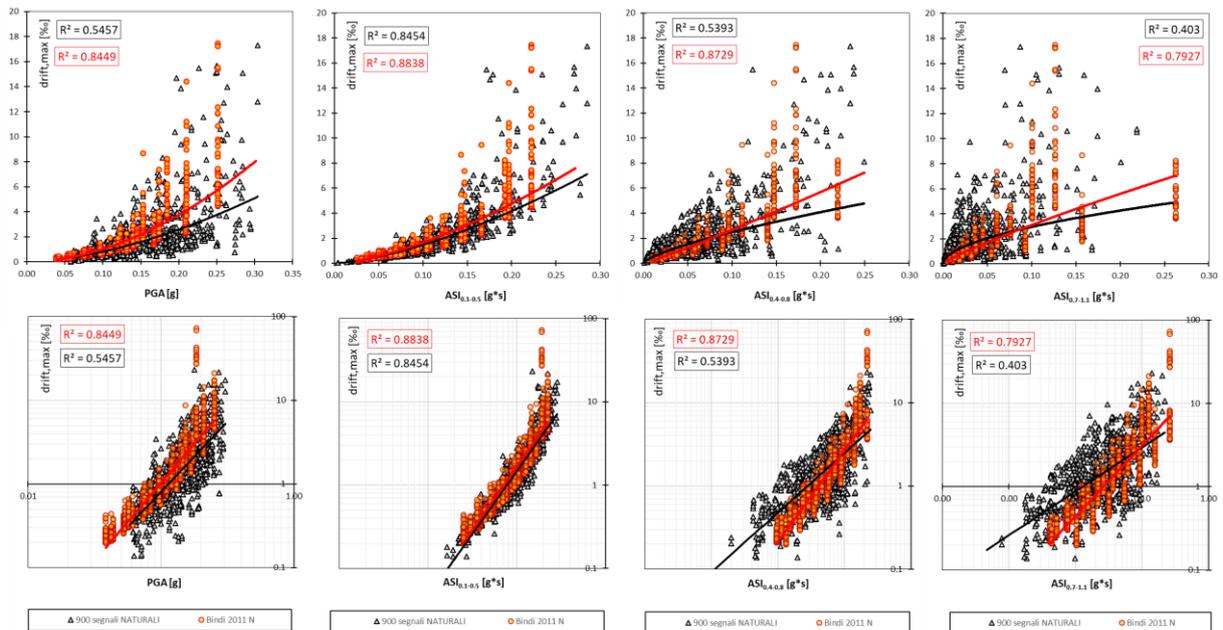


Figura 2-112 Elaborazioni per diversi intervalli di periodo.