



# PON GOVERNANCE 2014-2020 Rischio Sismico e Vulcanico

Attività CAM\_F4.3 | Affiancamento per la valutazione dell'operatività strutturale degli edifici strategici in condizioni dinamiche nei contesti territoriali individuati come prioritari

## Valutazioni operatività strutturale edifici strategici Regione Campania

Versione 1.2

Pubblicato in data 13/12/2021





# PON GOVERNANCE 2014-2020 Rischio Sismico e Vulcanico

Attività CAM\_F4.3 | Affiancamento per la valutazione dell'operatività strutturale degli edifici strategici in condizioni dinamiche nei contesti territoriali individuati come prioritari

## Valutazioni operatività strutturale edifici strategici Regione Campania

**Versione 1.2**

Publicato in data 13/12/2021



Consiglio Nazionale delle Ricerche



## 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 Mazza (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 Castigliano, 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 Taflija; *Sicilia:* Giuseppe Basile, Antonio Brucculeri, 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

### CAM F4.3 | Affiancamento per la valutazione dell'operatività strutturale degli edifici strategici in condizioni dinamiche nei contesti territoriali individuati come prioritari

**Responsabile DPC:** Daniele Spina

**Responsabile CNR-IGAG:** Federico Mori

#### A cura di

Vitantonio Vacca, Giuseppe Occhipinti, Gianluca Acunzo, Angelo Anelli

versione colophon 06/12/2021

# Sommario

---

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
1.1	<i>Modello SMAV</i>	5
1.2	<i>Curve di fragilità tramite modello "SMAV"</i>	7
1.3	<i>Modellazione a macro-elementi discreti</i>	9
1.4	<i>Modello semplificato a trave equivalente</i>	12
<b>2</b>	<b>I modelli di fragilità per la valutazione di operatività degli edifici strategici</b>	<b>13</b>
2.1	<i>ES1 - COM del Comune di Vallata</i>	13
2.1.1	Ricerca documentale	14
2.1.2	Campagna di misure di vibrazione	17
2.1.3	Risultati sperimentali	23
2.1.4	Modellazione a macro-elementi e model updating	24
2.1.5	Modello SMAV	37
2.1.6	Curve di fragilità	38
2.2	<i>ES2 – Ospedale di Bisaccia</i>	39
2.2.1	Ricerca documentale	41
2.2.2	Campagna di misure di vibrazione	47
2.2.3	Risultati sperimentali	50
2.2.4	Modello SMAV	51
2.2.5	Curve di fragilità	52
2.3	<i>ES3 – Caserma VVF di Bisaccia Nuova</i>	53
2.3.1	Ricerca documentale	54
2.3.2	Campagna di misure di vibrazione	55
2.3.3	Risultati sperimentali	58
2.3.4	Modello SMAV	59
2.3.5	Curve di fragilità	60

# 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 CAM\_F4.2.

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 applicati 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  $M$  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 lognormale, 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,  $\xi$  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.

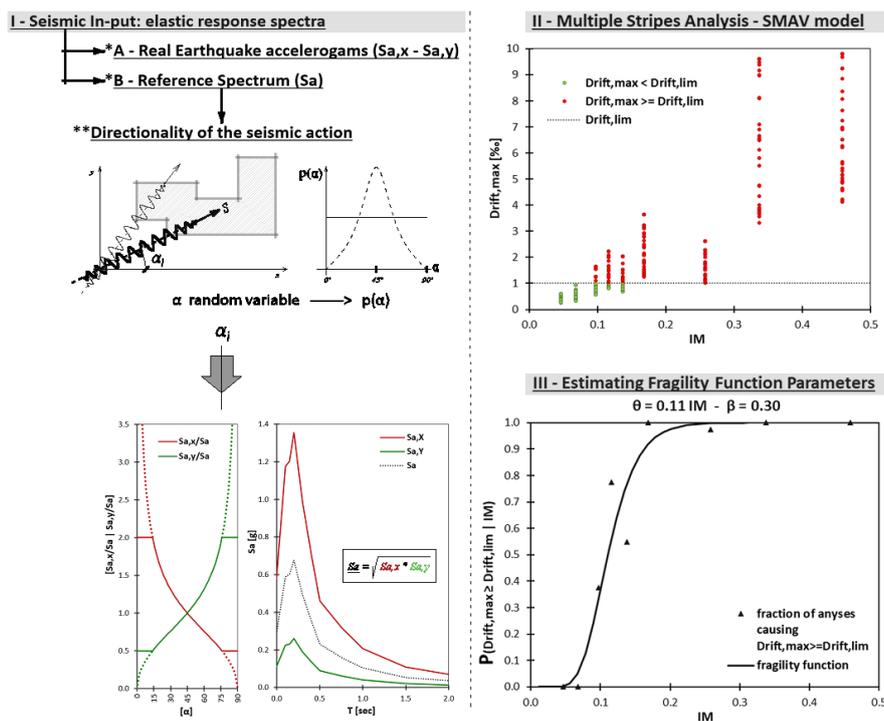


Figura 1-1 Rappresentazione delle fasi metodologiche per la costruzione delle curve di fragilità

### 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  $\mu$  e deviazione standard  $\delta$  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.

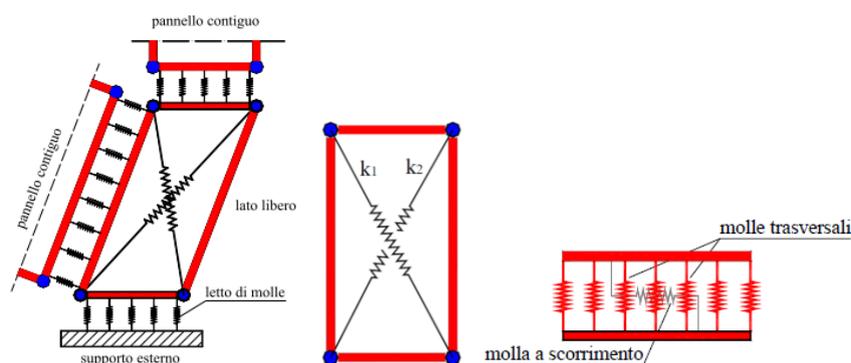


Figura 1-2 Rappresentazione del macro-modello piano (a sx) e di un'interfaccia (a dx)

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 computazionale 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.

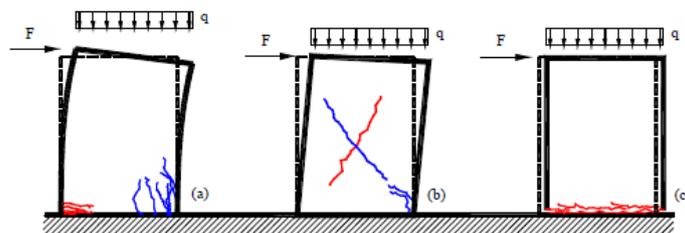


Figura 1-3 Meccanismi di rottura nel piano di un pannello murario: per flessione (a), per taglio diagonale (b), per scorrimento (c)

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.

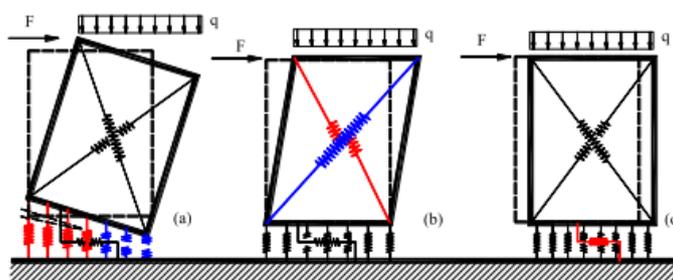


Figura 1-4 Simulazione dei meccanismi di rottura nel piano di un pannello murario: per flessione (a), per taglio diagonale (b), per scorrimento (c)

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.

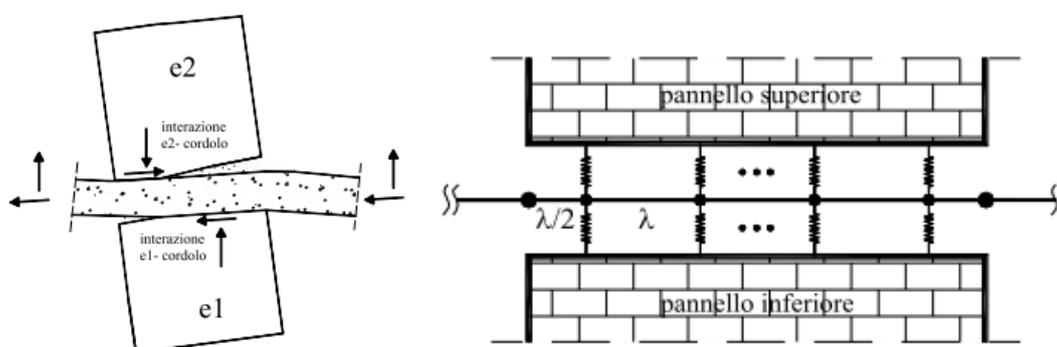


Figura 1-5 Interazione tra asta e pannelli

A ciascun segmento dell'asta viene associato una sezione critica posta in mezziera 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 1-6.d). 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 rigidezza (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 rigidezza 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.

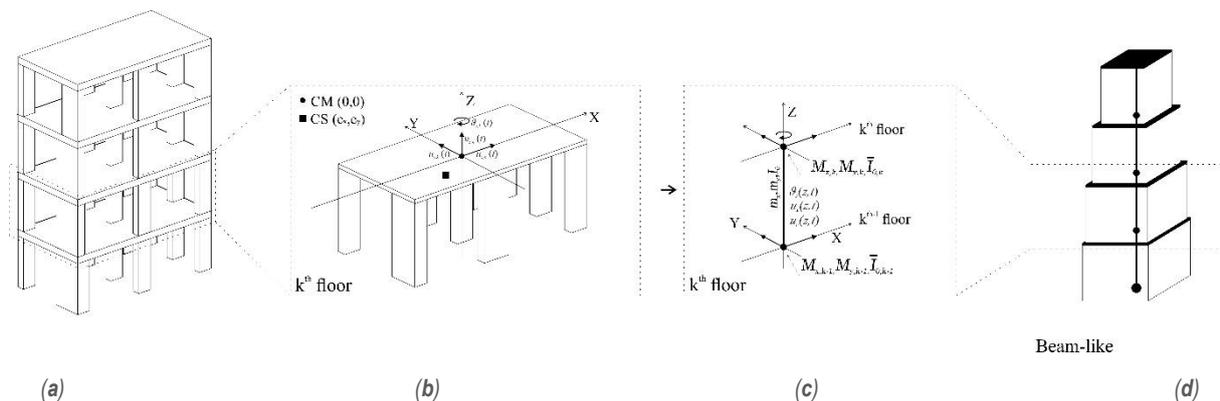


Figura 1-6 Rappresentazione del modello BLM a partire dalla (a) struttura 3D e (b) il generico piano fino all'elemento (c) computazionale di interpiano e al modello (d) globale assemblato. (Greco A. , et al., 2020)

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 - COM del Comune di Vallata

Il Municipio (ES1), situato nel comune di Vallata (Av) in Corso Kennedy 13-1 (coordinate: 1.036889 lat. - 15.251377 long.) è rappresentato nelle immagini seguenti (Figura 2-1). La struttura è di tipo a telai in c.a. tamponata con tre piani fuori rispetto alla quota di ingresso inferiore. La parte retrostante, in base alla documentazione in possesso, risulta essere a contatto con un sistema di drenaggio per le acque. Quest'ultimo può rappresentare un vincolo e influenzare sia modi che le frequenze proprie della struttura. La quota fondazione appare unica.



Figura 2-1 Immagini del centro COM di Vallata- ES1

### 2.1.1 Ricerca documentale

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)	
CAMPANIA	ES1	1989 (L. 64/74 - L.R. 9/83)	3	<input type="checkbox"/>

Tabella 2-2 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	P10
CAMPANIA	ES1	3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>											

Tabella 2-3 Edifici Strategici – Informazioni Strutturali

REGIONE	CODICE	N. PIANI (n. di elevazioni)	CARPENTERIE										COPERTURA	Note				
			F	-2	-1	PT	P1	P2	P3	P4	P5	P6			P7	P8	P9	P10
CAMPANIA	ES1	3	<input type="checkbox"/>															

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

REGIONE	CODICE	DETTAGLI	DATI		Note
			MATERIALI	TERRENI	
CAMPANIA	ES1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Dalla documentazione si desume che la struttura è stata oggetto di interventi leggeri su elementi strutturali al fine di una rimodulazione degli spazi interni e rifacimento delle falde di copertura. Generalmente la qualità della documentazione appare scadente e non su supporto digitale. Si riportano alcuni estratti dei dati pervenuti.

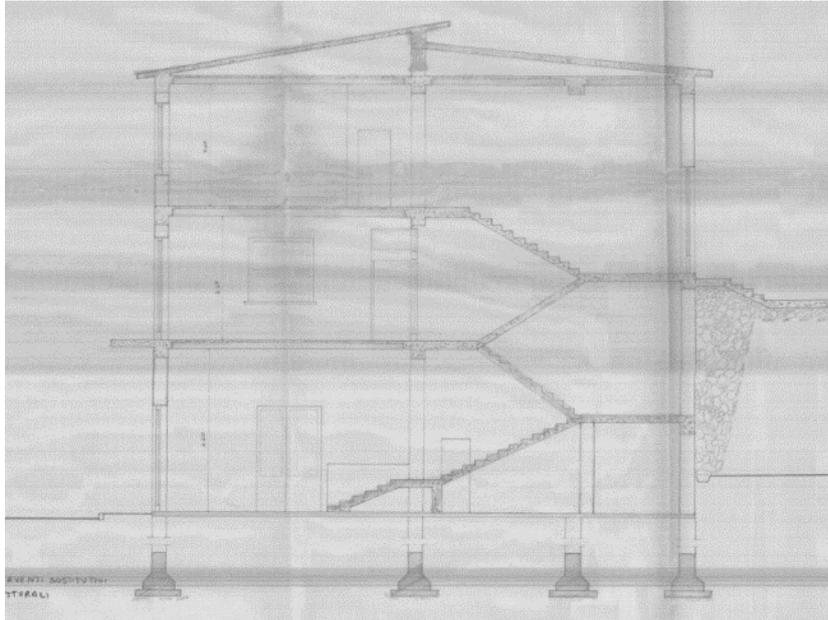


Figura 2-2 Sezione strutturale

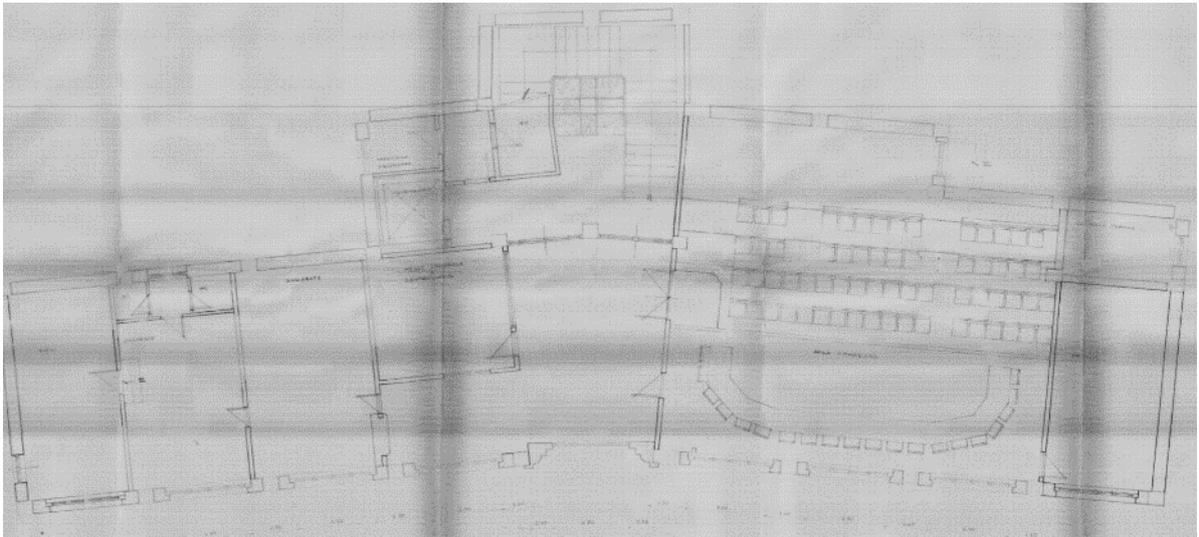


Figura 2-3 Piano Terra

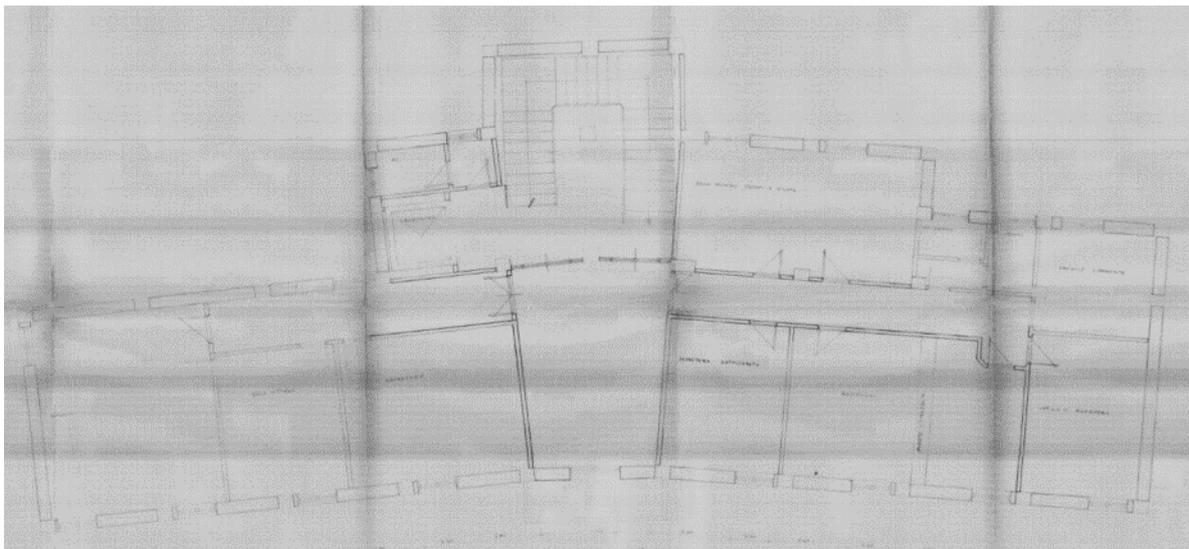


Figura 2-4 Piano Primo

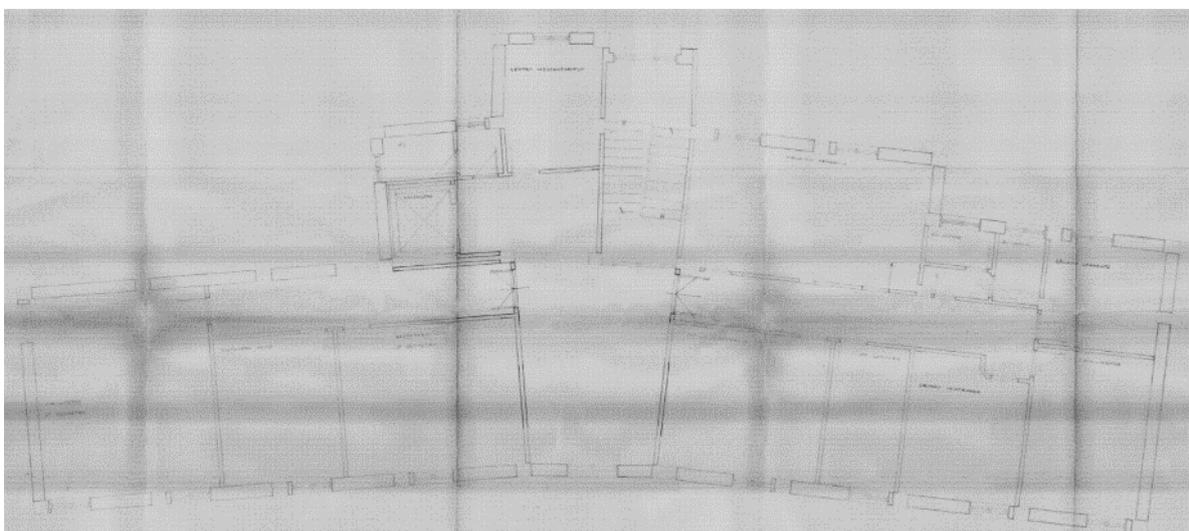


Figura 2-5 Piano secondo

La struttura è di tipo a telai in ca tamponata e si sviluppa su tre piani fuori terra. Le quote sismiche sono state impostate facendo riferimento ai documenti reperiti<sup>1</sup>.

Non sono fornite informazioni sui parametri relativi alla classificazione sismica del sito di costruzione. Si riportano di seguito i valori<sup>2</sup> relativi a:

- Classificazione sismica del sito di costruzione:  $a_g = 0.1879$

<sup>1</sup> ES1 COM di Vallata - "Relazione di calcolo – Ristrutturazione Casa Comunale, realizzazione di una struttura per vano ascensore e di una scala, TAV: Relazione di Calcolo"; Regione Campania, Sezione autonoma del Genio Civile

<sup>2</sup> ES1 COM di Vallata - "Relazione geotecnica – Realizzazione di una struttura portante in c.a. Di un ascensore della casa municipale di Vallata, Relazione Geologica e Geotecnica"; 12.06.1989

- Categoria di suolo: C

Sui materiali si dispongono poche informazioni, relative al solo intervento di ristrutturazione del 1989. Sono stati individuati<sup>3</sup> i seguenti materiali:

Calcestruzzo Rbk 250

Acciaio FeB 38k

Non avendo altre informazioni, questi materiali sono stati assegnati a tutti gli elementi tipo in cemento armato.

Non è presente una carpenteria dei vari impalcati, la documentazione fornita non include informazioni relative alle sezioni e alle armature delle aste. Le sezioni di travi e pilastri sono state assegnate facendo riferimento a piante e sezioni e sono state attribuite le armature minime da normativa, effettuandone un predimensionamento.

Per quanto riguarda gli elementi relativi al vano ascensore aggiunto in seguito, le informazioni sono dettagliate<sup>4</sup>.

Dalla documentazione reperita<sup>5</sup> si hanno informazioni sulle travi di copertura per cui si assume come materiale Acciaio FeB 38k. Dalle sezioni tipo delle coperture è stata individuata la presenza di due tipologie di travi: IPN 120 e IPN 140. L'assenza di carpenteria ha comportato la necessità di ipotizzarne la posizione, stabilita in fase di modellazione in base alla luce da coprire: ad una maggiore luce corrisponde la trave IPN 140, ad una minore la trave IPN 120.

Non si ha alcuna informazione relativa agli elementi di tamponamento. In fase di modellazione si è optato per una muratura in blocchi in laterizio semipieni a cui viene assegnata una sezione di 20 cm.

Dai disegni si individua un solaio<sup>6</sup> di calpestio in laterocemento, di cui si conosce l'altezza e da cui sono state dedotte le dimensioni della caldana e della pignatta.

Non si conosce, inoltre, la quota di fondazione, è stato quindi supposto che sia al di sotto del livello del piano di calpestio. Maggiori informazioni relative alle fondazioni potranno garantire un futuro aggiornamento del modello.

### 2.1.2 Campagna di misure di vibrazione

La struttura è stata oggetto di campagna di identificazione dinamica giorno **05/12/2020**. L'analisi ha previsto 4 configurazioni di strumentazione disposti opportunamente per poter descrivere il comportamento dinamico modale dell'edificio. Al fine di caratterizzare il comportamento dinamico dell'edificio e del terreno di fondazione sono state utilizzate due tipologie di strumenti di misura: tre stazioni accelerometriche triassiali e due stazioni accelerometriche biassiali tipo Poseidon, della LeaneNet, e una stazione velocimetrica tri-direzionale tipo SR04 GeoBox, della "Sara Electronic Instruments".

Ogni set di acquisizione accelerometrico ha avuto una durata di circa 33 minuti ed una frequenza di campionamento di 250 Hz.

<sup>3</sup> ES1 COM di Vallata - "Relazione di calcolo – Ristrutturazione Casa Comunale, realizzazione di una struttura per vano ascensore e di una scala, TAV: Relazione di Calcolo"; Regione Campania, Sezione autonoma del Genio Civile

<sup>4</sup> ES1 COM di Vallata - "Elaborati – Ristrutturazione Casa Comunale, TAV: Tabelle pilastri – carpenterie e armature a tutti i livelli – caratteristiche geometriche telai e schemi di carico – momenti finali"

<sup>5</sup> ES1 COM di Vallata - "Relazione tecnica - Ristrutturazione Casa Comunale, variante tecnica e suppletiva", Amministrazione comunale di Vallata, Regione Campania, Sezione autonoma del Genio Civile

<sup>6</sup> ES1 COM di Vallata - "Relazione tecnica - Ristrutturazione Casa Comunale, variante tecnica e suppletiva", Amministrazione comunale di Vallata, Regione Campania, Sezione autonoma del Genio Civile

Il sistema Poseidon integra un sensore accelerometrico tri-assiale, un digitalizzatore a 24bit, una memoria di massa, un ricevitore GPS per la sincronizzazione, apparati di comunicazione e microprocessore per la gestione di tutto il sistema.

Il sensore accelerometrico è di tipo “force balance” a bassissimo rumore ed elevata dinamica che consente di rilevare rumore ambientale e forti fenomeni sismici (strong-motion). La sezione di conversione A/D ha una risoluzione di 24 bit, la frequenza di campionamento è programmabile fino al massimo di 500 Hz per canale. I canali sono campionati in modo sincrono, requisito indispensabile per il monitoraggio strutturale. Il ricevitore GPS integrato consente di creare una rete di strumenti tutti sincronizzati con il tempo assoluto. È possibile collegarsi localmente al sistema tramite un collegamento di rete via cavo o Wi-Fi, oppure tramite interfaccia Bluetooth. Il registratore integra, inoltre, un sistema di comunicazione UMTS/HSPA che consente di poter controllarne il funzionamento da remoto.



Figura 2-6 Stazione accelerometrica TIPO utilizzata per i test

#### Caratteristiche tecniche generali

##### Sensore:

- Accelerometro Mono-, Bi- o Tri-assiale tipo Force Balance
- Range da +/- 0,1 g a +/-2 g
- Dinamica 140 dB
- Auto test per verifica calibrazione/funzionamento

##### Sezione analogico/digitale:

- Risoluzione 24 bit
- Frequenza di campionamento programmabile fino a 500 Hz per canale

##### Sezione trigger:

- Trigger sulla soglia e durata del trigger indipendente per ogni canale
- Gestione falsi eventi
- Configurazione AND/OR su tutti i canali

##### Sezione digitale:

- CPU a basso consumo
- Tecnologia costruttiva “LPC” (Lower Power Consumption)
- Interfaccia di rete per gestione locale o remota
- Interfacce di comunicazione remota disponibili: PSTN, ISDN, ADSL, HDSL, GSM/GPRS/EDGE/UMTS/HSPA, modem satellitare
- Memoria di massa compact flash di tipo industrial da 32/64 GB

- Buffer circolare “storico” impostabile fino a 7 giorni, indipendentemente dal buffer di “evento” - Sincronizzazione tempo assoluto con GPS integrato ad alta sensibilità

#### Sezione alimentazione:

- Alimentazione da rete 115-230 VAC o pannelli solari
- Batteria di backup integrata agli ioni di litio. Autonomia 4 ore
- Gestione del bilancio energetico controllato da microprocessore
- Gestione allarmi remoti in caso di mancata alimentazione

#### Range di temperatura:

-20°C ÷ 70 °C

#### Caratteristiche meccaniche:

- Case in alluminio anodizzato
- Grado di protezione IP65
- Dimensioni 26.3 x 11 x 7.5
- Peso 1.2 Kg

#### Caratteristiche firmware e software:

- Controllo del sistema “punto/punto” o mediante browser di rete su VPN
- Gestione invio allarmi, “warning” ed eventi via GSM
- Possibilità di aggiornamento “Firmware” da postazione remota
- Trasferimento dati automatico al server di gestione

I 4 test hanno previsto la disposizione degli strumenti in prestabiliti quanto più allineati lungo verticali. I test sono stati così organizzati come descritto in Tabella 2-5e la strumentazione posizionata secondo le coordinate del sistema relativo raffigurate in Figura 2-7 e Tabella 2-6.

Tabella 2-5 Descrizione dei 4 test di acquisizione

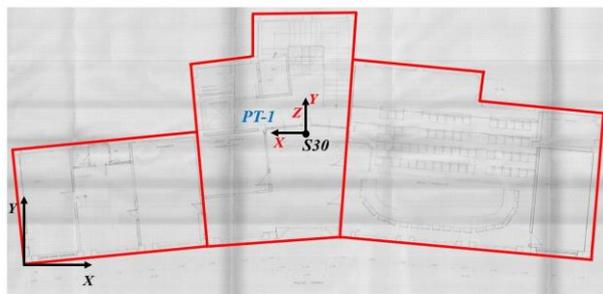
<b>TEST 1 – MUNICIPIO - 05/12/2019</b>						
<b>Punto di Misura</b>	<b>Denominazione Punto di Misura</b>	<b>Ubicazione Punto di Misura</b>	<b>Denominazione Accelerometro</b>	<b>Tipologia Accelerometro</b>	<b>Frequenza di Campionamento [Hz]</b>	<b>Durata Misura</b>
1	PT-1	Piano Terra PT	S30	Triassiale	250	33 min.
2	P1-1	Piano Primo P1	S94	Triassiale	250	33 min.
3	P1-2	Piano Primo P1	S31	Triassiale	250	33 min.
4	P1-3	Piano Primo P1	S130	Biassiale	250	33 min.
5	P1-4	Piano Primo P1	S128	Biassiale	250	33 min.
<b>TEST 2 – MUNICIPIO - 05/12/2019</b>						
<b>Punto di Misura</b>	<b>Denominazione Punto di Misura</b>	<b>Ubicazione Punto di Misura</b>	<b>Denominazione Accelerometro</b>	<b>Tipologia Accelerometro</b>	<b>Frequenza di Campionamento [Hz]</b>	<b>Durata Misura</b>
1	PT-1	Piano Terra PT	S30	Triassiale	250	33 min.
2	P2-1	Piano Secondo P2	S94	Triassiale	250	33 min.
3	P2-2	Piano Secondo P2	S31	Triassiale	250	33 min.
4	P2-3	Piano Secondo P2	S130	Biassiale	250	33 min.
5	P2-4	Piano Secondo P2	S128	Biassiale	250	33 min.
<b>TEST 3 – MUNICIPIO - 05/12/2019</b>						

Punto di Misura	Denominazione Punto di Misura	Ubicazione Punto di Misura	Denominazione Accelerometro	Tipologia Accelerometro	Frequenza di Campionamento [Hz]	Durata Misura
1	PT-1	Piano Terra PT	S30	Triassiale	250	33 min.
2	P3-1	Piano Sottotetto P3	S94	Triassiale	250	33 min.
3	P3-2	Piano Sottotetto P3	S31	Triassiale	250	33 min.
4	P3-3	Piano Sottotetto P3	S130	Biassiale	250	33 min.
5	P3-4	Piano Sottotetto P3	S128	Biassiale	250	33 min.

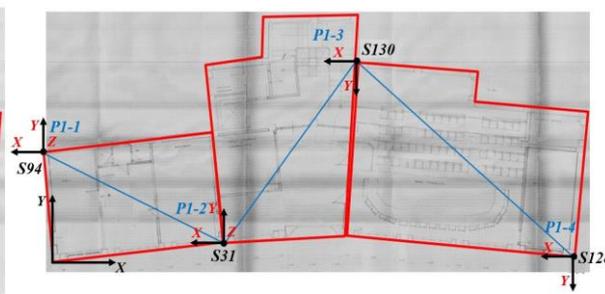
**TEST 4 – MUNICIPIO - 05/12/2019**

Punto di Misura	Denominazione Punto di Misura	Ubicazione Punto di Misura	Denominazione Accelerometro	Tipologia Accelerometro	Frequenza di Campionamento [Hz]	Durata Misura
1	PT-1	Piano Terra PT	S30	Triassiale	250	33 min.
2	P1-5	Piano Primo P1	S128	Biassiale	250	33 min.
3	P2-5	Piano Secondo P2	S94	Triassiale	250	33 min.
4	P3-5	Piano Sottotetto P3	S31	Triassiale	250	33 min.

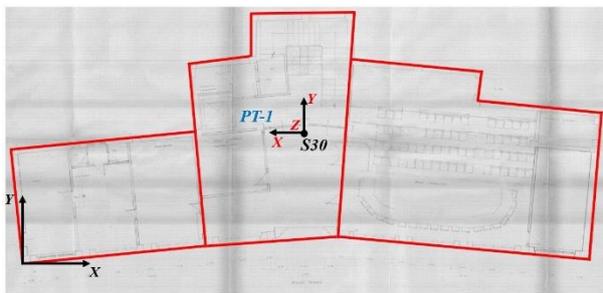
**PIANO TERRA – TEST 1**



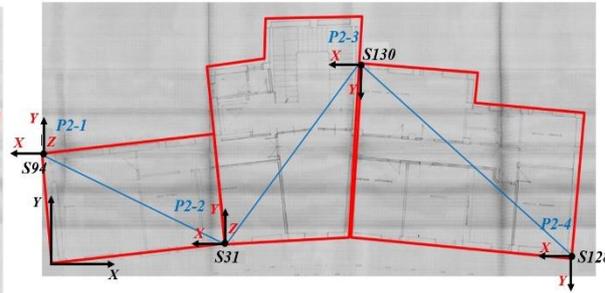
**PIANO PRIMO – TEST 1**



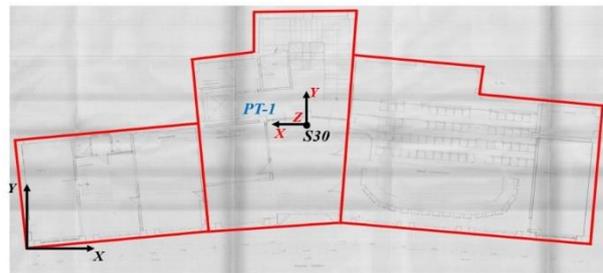
**PIANO TERRA – TEST 2**



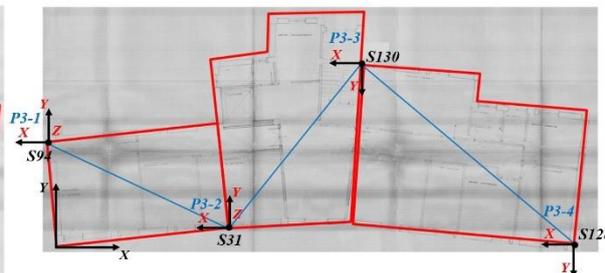
**PIANO SECONDO – TEST 2**



**PIANO TERRA – TEST 3**



**PIANO SOTTOTETTO – TEST 3**



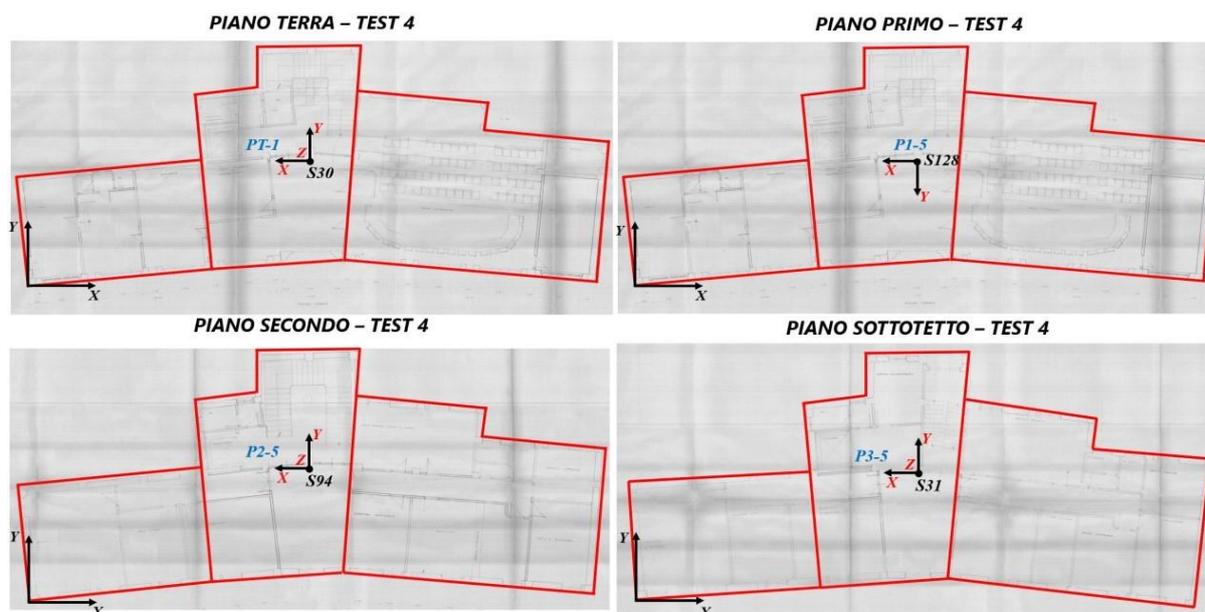


Figura 2-7 Disposizione punti di misura durante i 4 test

Tabella 2-6 Coordinate posizioni dei punti di misura

TEST 1				TEST 2				TEST 3				TEST 4			
STAZIONE	X [m]	Y [m]	Z [m]	STAZIONE	X [m]	Y [m]	Z [m]	STAZIONE	X [m]	Y [m]	Z [m]	STAZIONE	X [m]	Y [m]	Z [m]
S30	20.69	9.56	0												
S94	0.07	7.59	4.85	S94	-0.01	7.61	8.60	S94	0.22	7.66	12.3	S128	20.69	9.56	4.85
S31	13.75	2.00	4.85	S31	12.09	1.96	8.60	S31	12.12	1.61	12.3	S94	20.60	9.78	8.60
S130	24.65	14.30	4.85	S130	24.50	14.58	8.60	S130	25.00	13.87	12.3	S31	20.89	8.85	12.3
S128	40.75	1.05	4.85	S128	40.79	1.47	8.60	S128	40.79	1.47	12.3				

I dati accelerometrici registrati sotto le condizioni di rumore ambientale sono stati rielaborati in termini di spettri si Welch (Figura 2-8) e funzioni di trasferimento (Figura 2-9) al fine di ricostruire le grandezze dinamiche modali fondamentali dell'edificio.

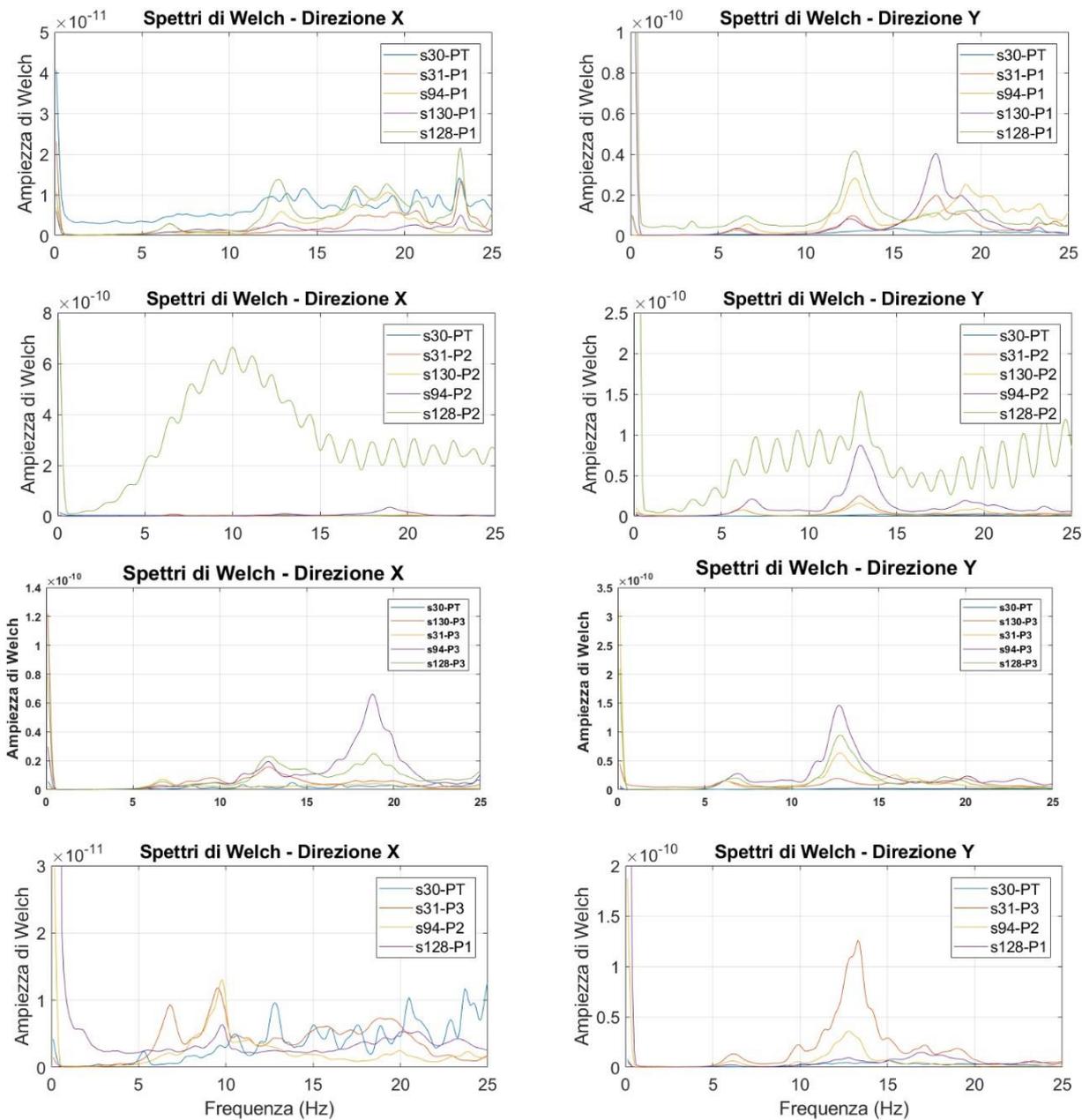
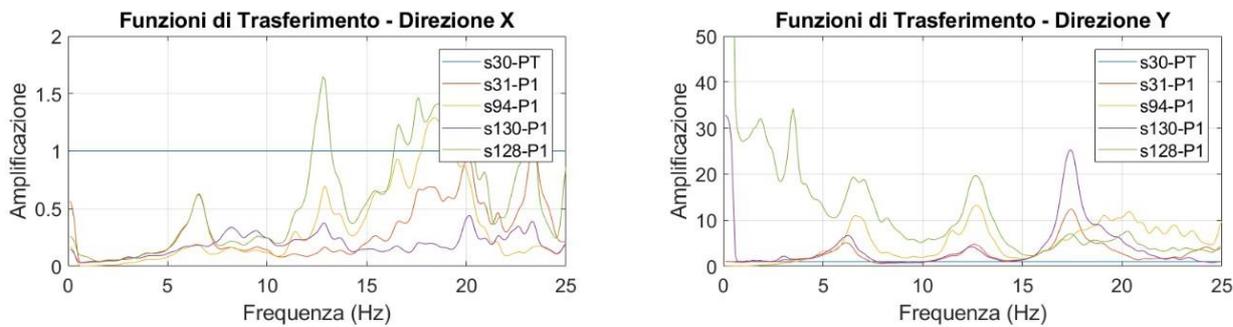


Figura 2-8 Trasformate di Welch



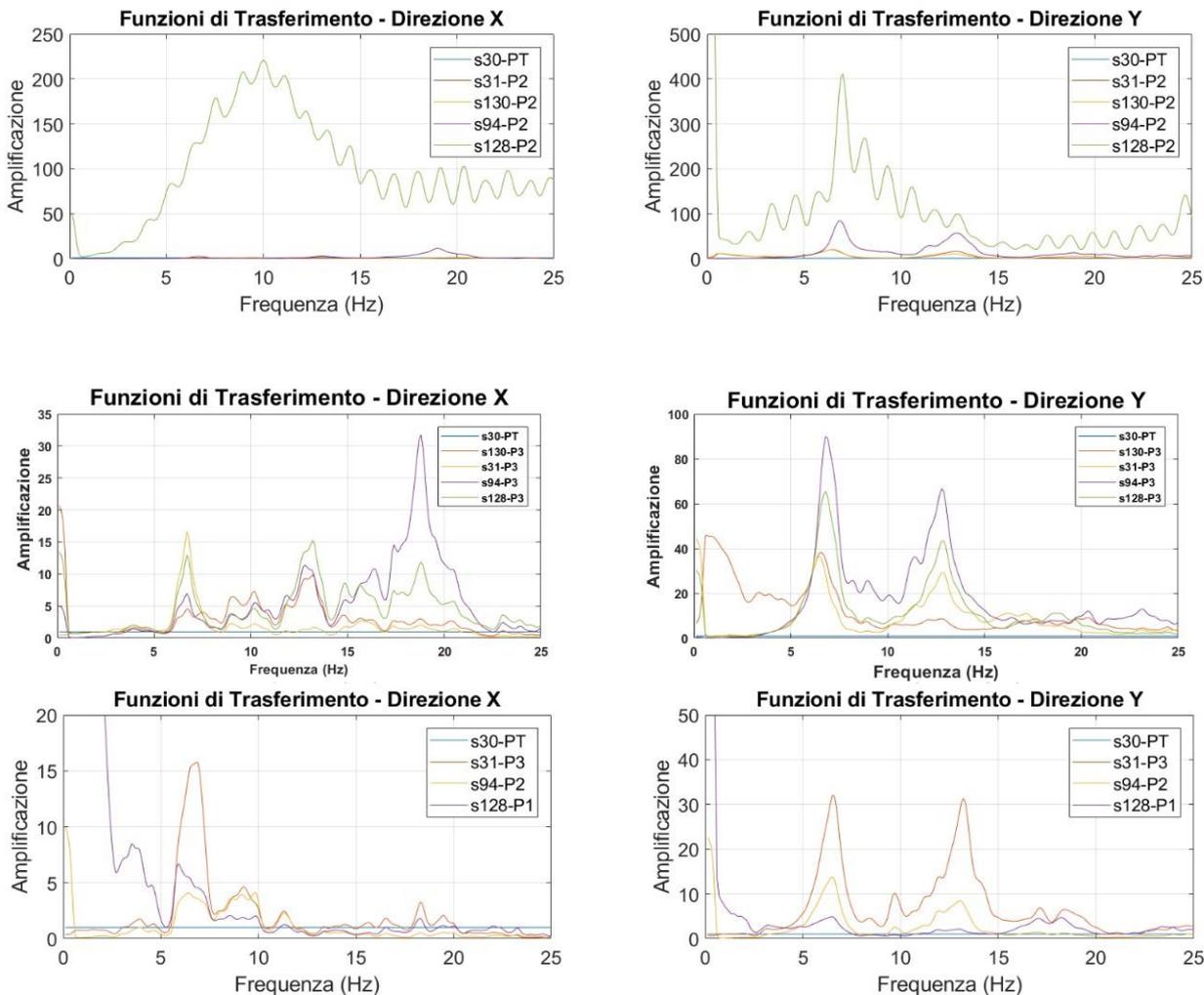


Figura 2-9 Funzioni di Trasferimento

Si evidenzia la presenza di un modo di vibrare a circa 6.7Hz, un secondo modo di vibrare a circa 9.5Hz e un terzo modo di vibrare a circa 12.9Hz.

### 2.1.3 Risultati sperimentali

Nella Tabella 2-7 sono 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	6,7 Hz	9,5 Hz	12,9 Hz
I:1:+X	0,01	0,04	0,01
I:1:+Y	0,18	-0,08	0,19
I:2:+X	0,01	0,04	0,01
I:2:+Y	0,04	-0,04	0,07
I:3:+X	0,0	0,08	-0,01
I:3:+Y	0,05	-0,04	-0,07
I:4:+X	0,0	0,04	-0,03

Response	6,7 Hz	9,5 Hz	12,9 Hz
I:4:+Y	0,31	-0,32	-0,27
II:1:+X	0,02	0,08	0,03
II:1:+Y	0,63	-0,4	0,82
II:2:+X	0,02	0,08	0,03
II:2:+Y	0,13	-0,08	0,23
II:3:+X	0,01	0,2	-0,03
II:3:+Y	0,13	-0,08	-0,15
II:4:+X	0,02	0,08	-0,08
II:4:+Y	0,63	-0,48	-0,75
III:1:+X	0,09	0,56	0,36
III:1:+Y	1,0	-0,6	1,0
III:2:+X	0,23	0,28	0,04
III:2:+Y	0,31	-0,16	0,45
III:3:+X	0,06	1,0	-0,3
III:3:+Y	0,38	-0,2	-0,15
III:4:+X	0,017	0,56	-0,47
III:4:+Y	0,71	-0,36	-0,68

Tabella 2-7 Deformate modali

#### 2.1.4 Modellazione a macro-elementi e model updating

Sono stati sviluppati due modelli:

**MODELLO A:** modello con interazione delle tamponature, in cui è stata valutata l'influenza delle pannellature in termini di massa e di interazione con le strutture in c.a., mantenendo le tamponature del modello;

**MODELLO B:** modello senza interazione delle tamponature, in cui è stato valutato il contributo delle pannellature solamente in termini di massa, rimuovendo le tamponature del modello e sostituendole con carichi lineari aventi peso equivalente.

Di seguito si riportano le due configurazioni.

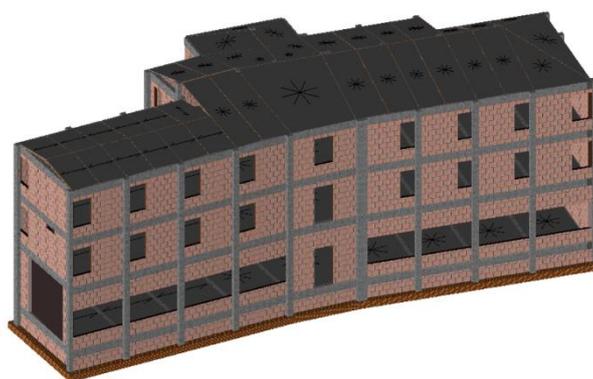


Figura 2-10 MODELLO A ES1 Vallata - Modello 3DMacro - Vista assonometrica modello geometrico con interazione delle tamponature

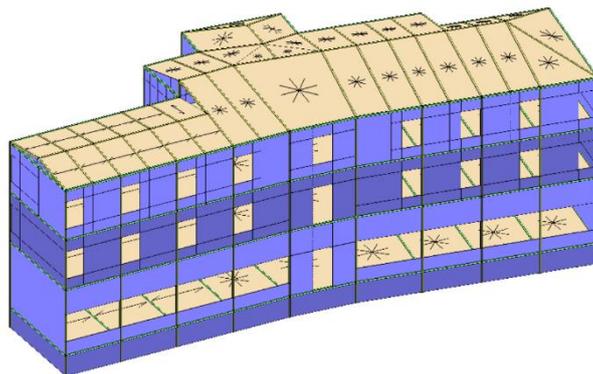


Figura 2-11 MODELLO A ES1 Vallata - Modello 3DMacro - Vista assonometrica modello computazionale con interazione delle tamponature

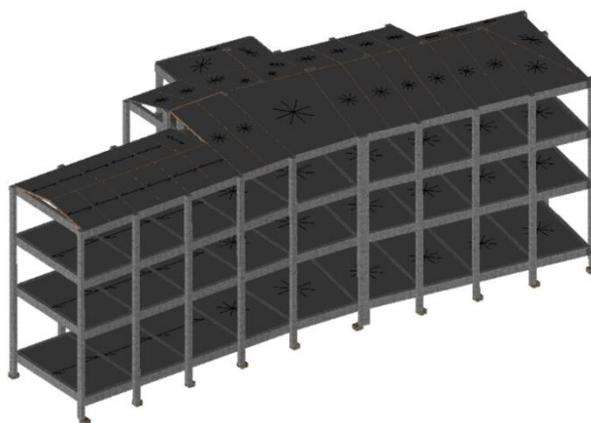


Figura 2-12 MODELLO B ES1 Vallata - Modello 3DMacro - Vista assonometrica modello computazionale senza interazione delle tamponature

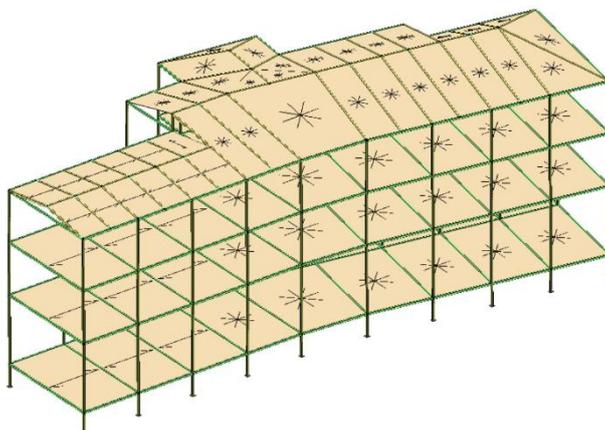
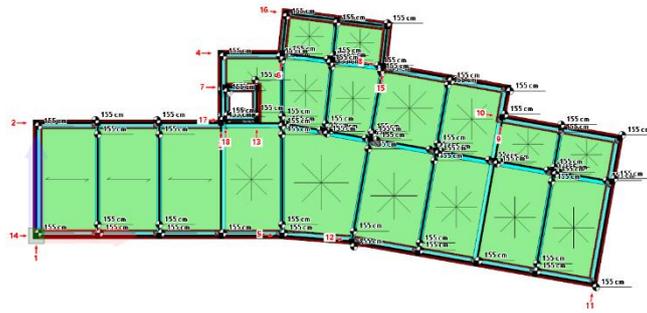
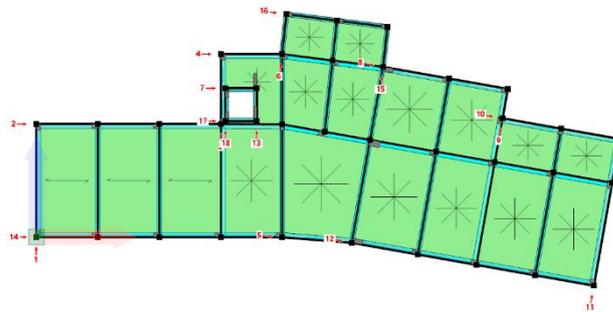


Figura 2-13 MODELLO B ES1 Vallata - Modello 3DMacro - Vista assonometrica modello computazionale senza interazione delle tamponature

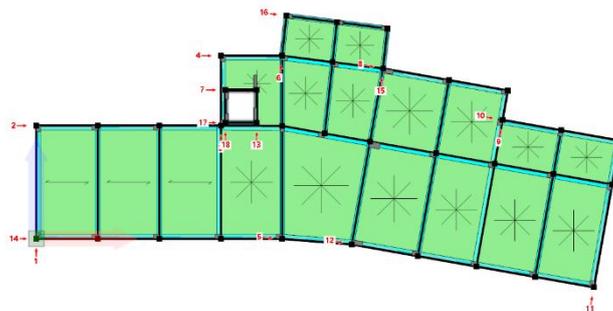
Si riportano di seguito le piante dell'edificio con l'indicazione e denominazione degli elementi resistenti (setti murari, telai).



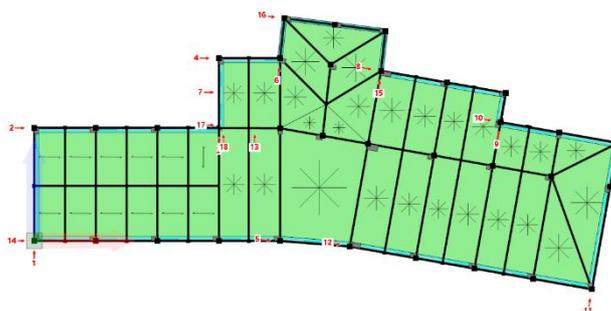
Pianta a quota 155 cm con l'indicazione dei numeri attribuiti alle pareti



Pianta a quota 640 cm con l'indicazione dei numeri attribuiti alle pareti



Pianta a quota 1010 cm con l'indicazione dei numeri attribuiti alle pareti



Pianta a quota 1500 cm con l'indicazione dei numeri attribuiti alle pareti

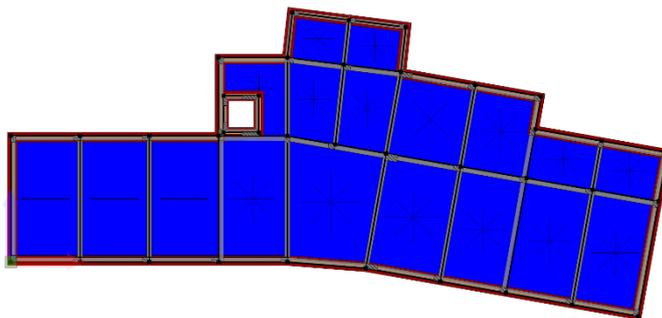
Di seguito si riporta l'analisi dei carichi gravitazionali considerati nel modello. Non vengono riportati i carichi derivanti dagli elementi strutturali, calcolati in automatico dal programma.

Ciascun carico può contenere molteplici voci di carico. Ciascuna voce di carico viene assegnata a una *condizione di carico* tra quelle definite.

#### Carichi di area

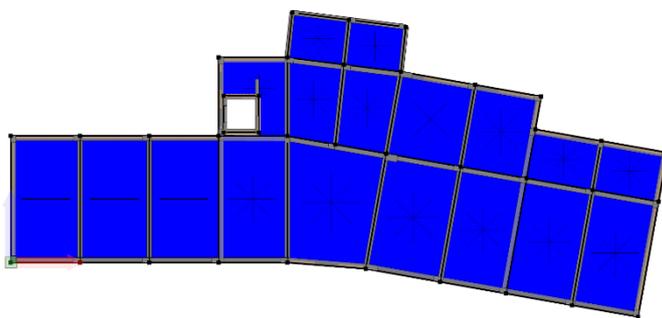
Nome	Voce di carico	Condizione di carico	Tipo	Valore	Destinazione d'uso	Coefficienti di combinazione			
						$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$	$\Psi_{2sis}$
				kN/m <sup>2</sup>					
Carico1	Pesi permanenti	Permanenti Non Strutturali	Permanente non strutturale	1.42	-	1	1	1	1
Carico1	Pesi variabili	Variabili	A. Ambienti ad uso residenziale	2	C. Ambienti suscettibili di affollamento	0.7	0.7	0.6	0.6
Carico2	Permanenti non strutturali	Permanenti Non Strutturali	Permanente non strutturale	0.24	-	1	1	1	1
Carico2	Variabili	Variabili	Personalizzato	1.47	A. Ambienti ad uso residenziale	0.7	0.5	0.3	0.3

Negli schemi che seguono viene riportata la dislocazione dei carichi gravitazionali.



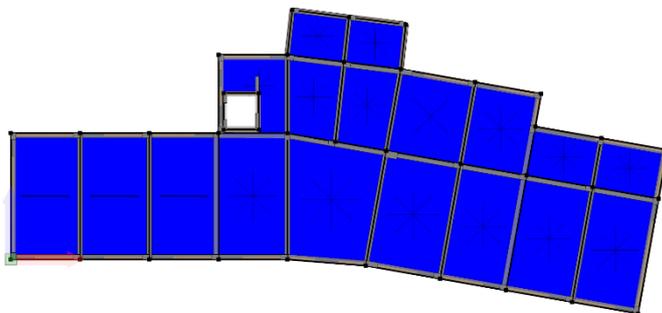
Carichi di Area	Carico1	Carichi di Linea	Nessuno	Linea1
Nessuno	Carico2			

Pianta a quota 155 cm: carichi di area applicati ai solai



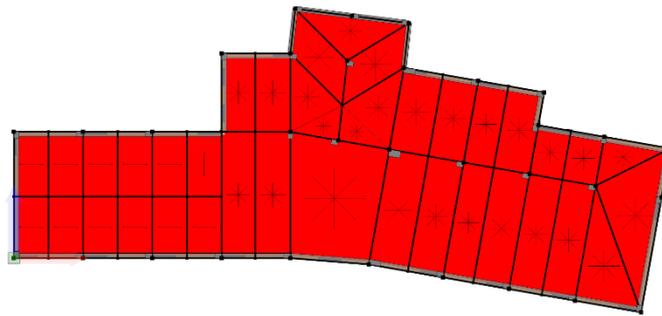
Carichi di Area	Carico1	Carichi di Linea	Nessuno	Linea1
Nessuno	Carico2			

Pianta a quota 640 cm: carichi di area applicati ai solai



Carichi di Area	Carico1	Carichi di Linea	Nessuno	Linea1
Nessuno	Carico2			

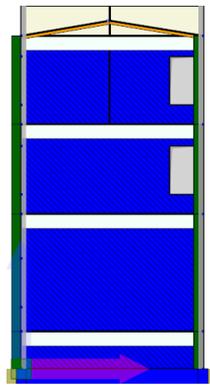
Pianta a quota 1010 cm: carichi di area applicati ai solai



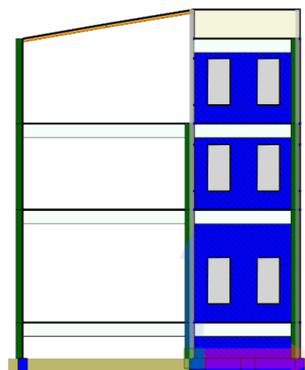
Carichi di Area	Carico1	Carichi di Linea	Nessuno	Linea1
Nessuno	Carico2			

Pianta a quota 1500 cm: carichi di area applicati ai solai

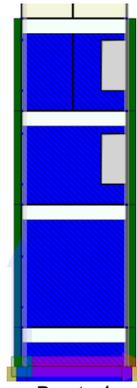
Le figure seguenti mostrano la distribuzione dei formati per le varie tipologie di murature adottate all'interno del modello.



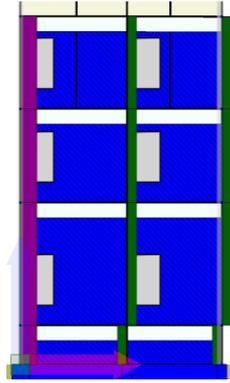
Parete 1



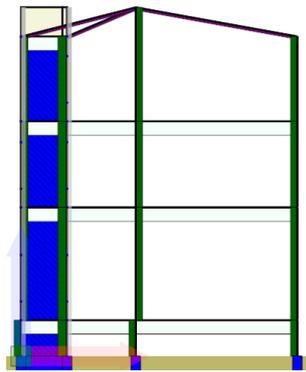
Parete 3



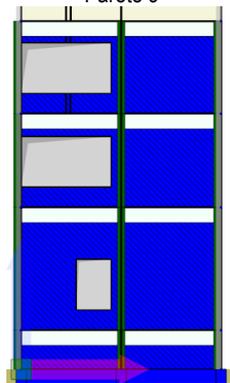
Parete 4



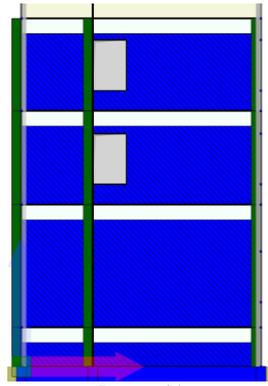
Parete 8



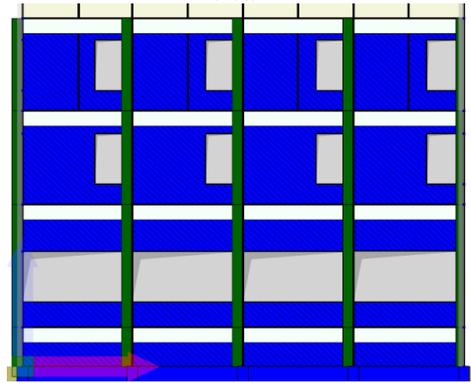
Parete 9



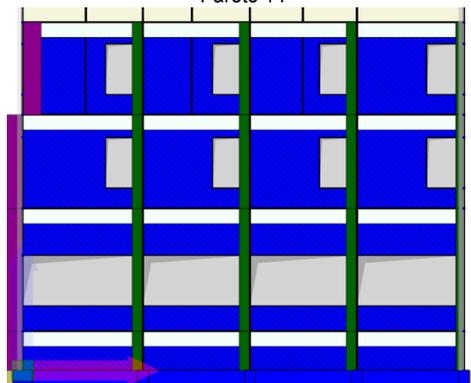
Parete 10



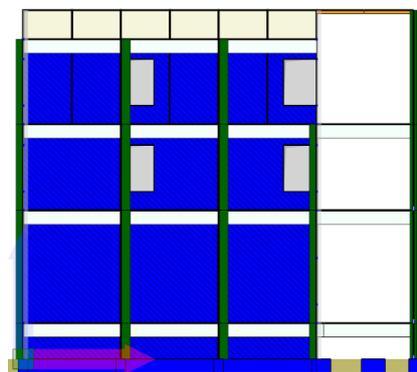
Parete 11



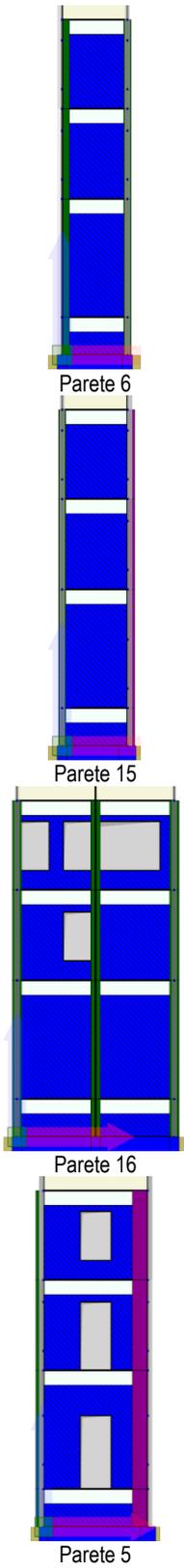
Parete 14

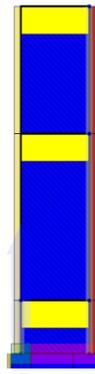


Parete 12

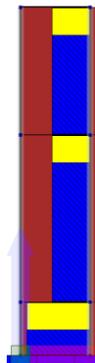


Parete 2

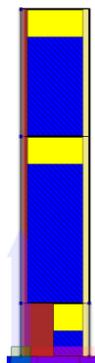




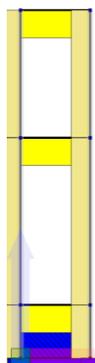
Parete 7



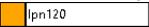
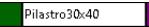
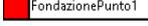
Parete 13



Parete 17



Parete 18

	Muro1				
<b>Legenda Formati Murature</b>					
	Trave2D		Ipn120		Pilastro30x40
					Ipn120_Copia
<b>Legenda Formati Aste</b>					
	FondazioneLinea1				
	FondazionePunto1				

Legenda Formati Fondazioni

2.1.4.1 Model Updating MODELLO A

Il MODELLO A prevede la presenza esplicita delle tamponature. Nella calibrazione sono stati applicati coefficienti correttivi solo ai parametri elastici delle murature data la forte presenza di tamponature sulla struttura.

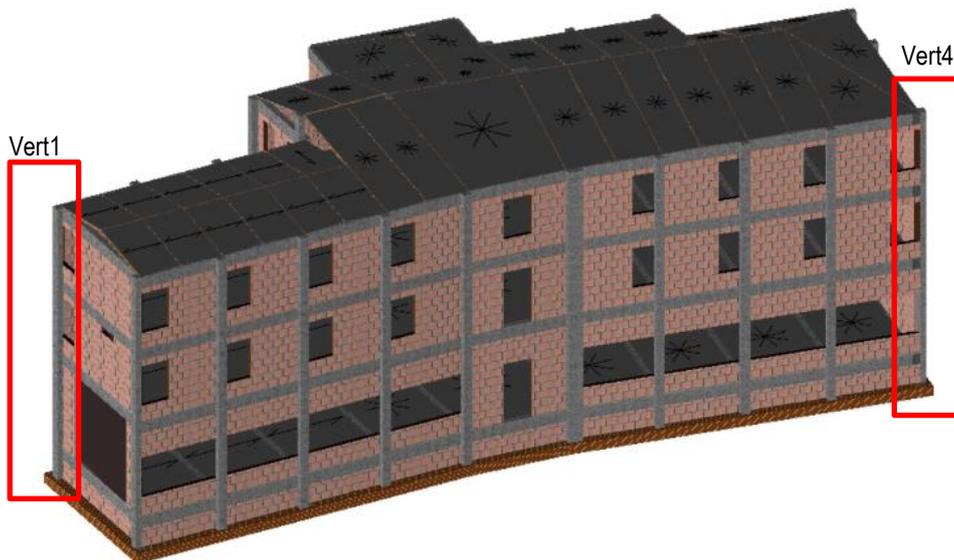


Figura 2-14 Edificio tamponato ed indicazione delle verticali analizzate

In base ai risultati ottenuti tramite la campagna di identificazione dinamica, si sceglie di calibrare il modello con riferimento alle frequenze ed alla sola prima forma modale. Quest'ultima appare caratterizzata da un comportamento più uniforme dell'edificio. In particolare modo si osserva con maggiore evidenza nelle forme modali II e III una brusca variazione degli spostamenti modali sommitali. Questo lascia presupporre che possano esserci significative variazioni di massa all'ultimo livello o di rigidità che non possono essere valutate in base ai dati a disposizione.

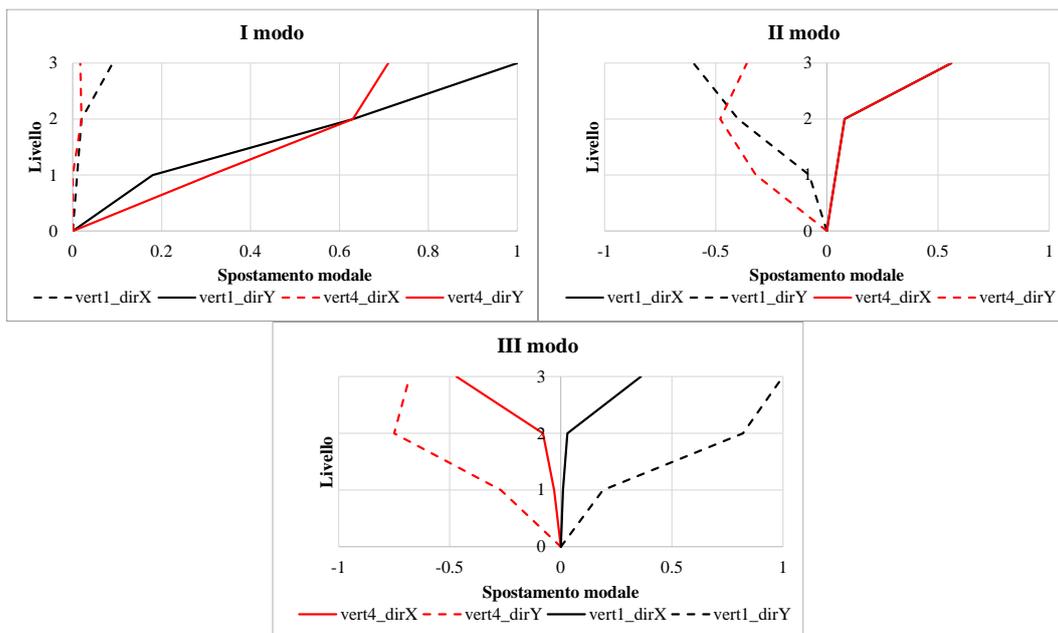


Figura 2-15 Prime tre forme modali

Tabella 2-8 Coefficienti correttivi

Parametro	Modulo E	Modulo G
	MPa	MPa
Muratura in direzione x	2133	640
Muratura in direzione y	3200	960

A seguito della procedura di updating dei parametri indicati nella Tabella 2-8 sono state ottenute le frequenze riportate in Tabella 2-9a confronto con quelle sperimentali.

Tabella 2-9 Frequenze

Frequenze di partenza	Frequenze ottenute con model updating	Frequenze sperimentali
[Hz]	[Hz]	[Hz]
3.04	6	6.7
4.49	9.80	9.5
6.12	10.97	12.9

Tabella 2-10 MAC relativo al primo modo a) prima dell'updating e b) dopo aver condotto il model updating

0.7253 a 0.9247 b

Tabella 2-11 Valori della funzione obiettivo

	Prima del model updating	Dopo il model updating
Valore legato alle frequenze	0.9230	0.1853
Valore legato alle forme modali	0.2747	0.0753

#### 2.1.4.2 Model Updating MODELLO B

Il MODELLO B non prevede la modellazione esplicita delle tamponature. La struttura risulta quindi essere eccessivamente deformabile. Come mostrano le tabelle sottostanti sono state variate le rigidità elastiche di tutte le sezioni di pilastri. Come per il Modello A, si considerata solo la prima forma modale.

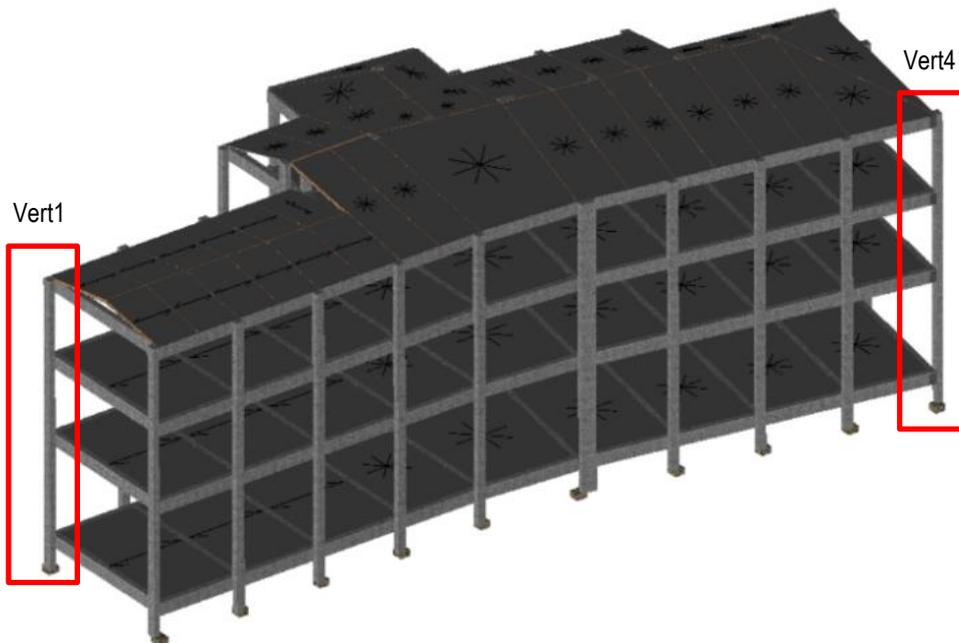


Figura 2-16 Edificio solo telaio ed indicazione delle verticali analizzate

Come riportato nella Tabella 2-12 i valori delle rigidzze elastiche sono tali da perdere il significato fisico senza riuscire a riprodurre correttamente le frequenze sperimentalmente calcolate (Tabella 2-13).

Tabella 2-12 Coefficienti correttivi

Parametro	Coefficiente correttivo	Valore del Parametro di base		Valore del Parametro dopo l'updating	
		kN cm2		kN cm2	
		Elx	Ely	Elx	Ely
EI 30x40	50	2.46E+08	4.38E+08	1.23E+10	2.19E+10
EI 30x70	50	4.31E+08	2.35E+09	2.16E+10	1.17E+11
EI 40x75	50	1.02E+09	3.13E+09	5.11E+10	1.57E+11

Il risultato evidenzia il forte contributo nella risposta dinamica delle tamponature rispetto al telaio in ca. Si ritiene quindi non rappresentativo del comportamento dinamico la modellazione dell'edificio in assenza dell'opportuna modellazione degli elementi in muratura.

Tabella 2-13 Frequenze

Frequenze di partenza	Frequenze ottenute con model updating	Frequenze sperimentali
[Hz]	[Hz]	[Hz]
1.26	3.26	6.7
1.45	3.86	9.5
1.72	4.79	12.9

Tabella 2-14 MAC a) prima dell'updating e b) dopo aver condotto il model updating

0.4411 a 0.4419 b

Tabella 2-15 Valori della funzione obiettivo

	Prima del model updating	Dopo il model updating
Valore legato alle frequenze	1.4588	1.0056
Valore legato alle forme modali	0.5589	0.5963

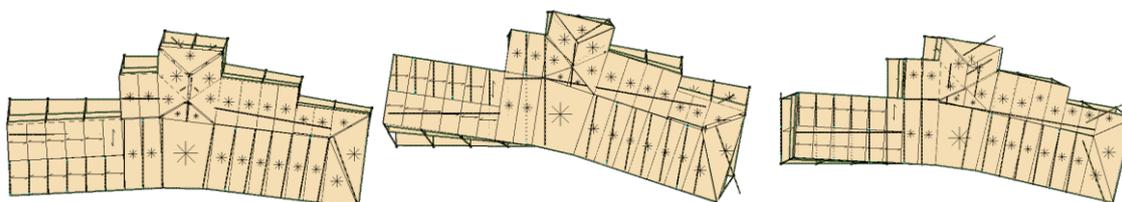


Figura 2-17 Prime forme modali Modello B

### 2.1.5 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.

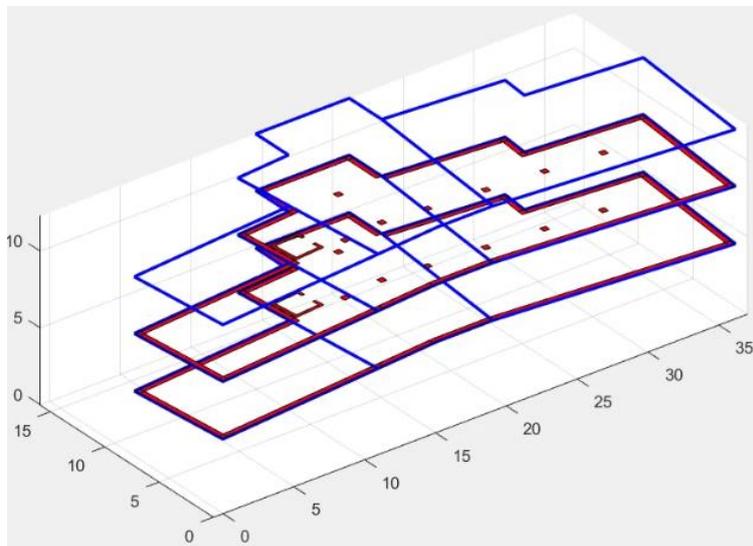


Figura 2-18 Rappresentazione semplificata della geometria della struttura.

Parametri modello SMAV									
Coefficienti di ortogonalità				Masse partecipanti		Ipotesi di poligono rigido			
	1	2	3	Mx	My	MAC			
1	1	-0.4870	-0.0652	0.01	0.64	1	0.9520		
2	-0.4870	1	0	0.25	0.24	2	0.9448		
3	-0.0652	0	1	0.01	0.00	3	0.9578		
				0.26	0.88				

Figura 2-19 Parametri modello SMAV

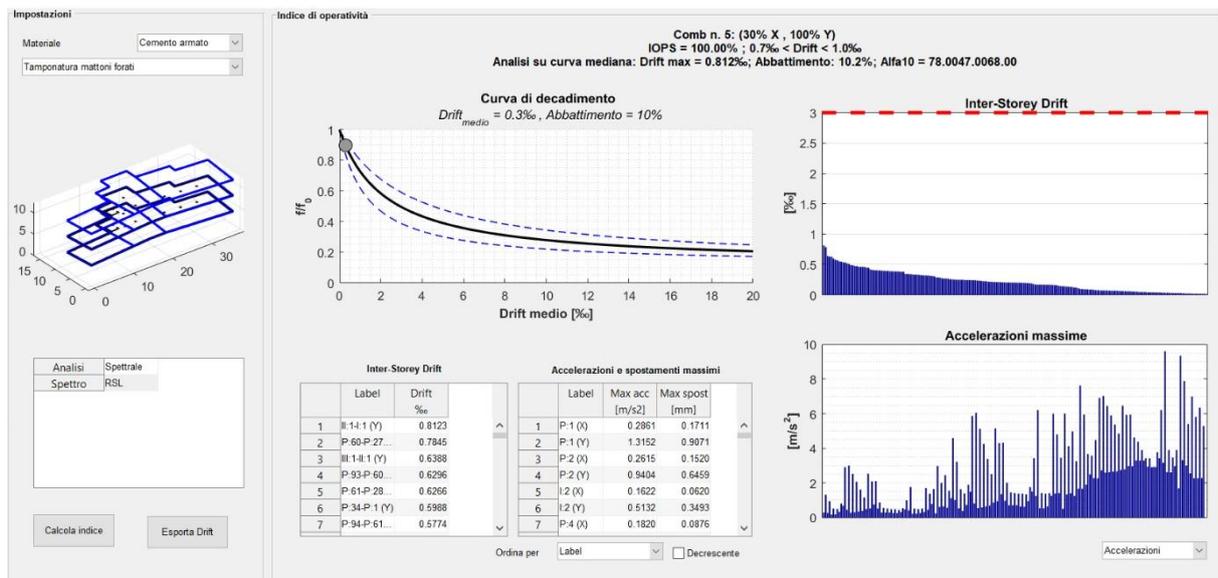


Figura 2-20 Scheda riassuntiva dei risultati SMAV

### 2.1.6 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, come mostrano i diagrammi successivi, 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 2-21. La curva adotta come parametro di intensità di misura il valore ASI nell'intervallo 0.1-0.5 secondi.

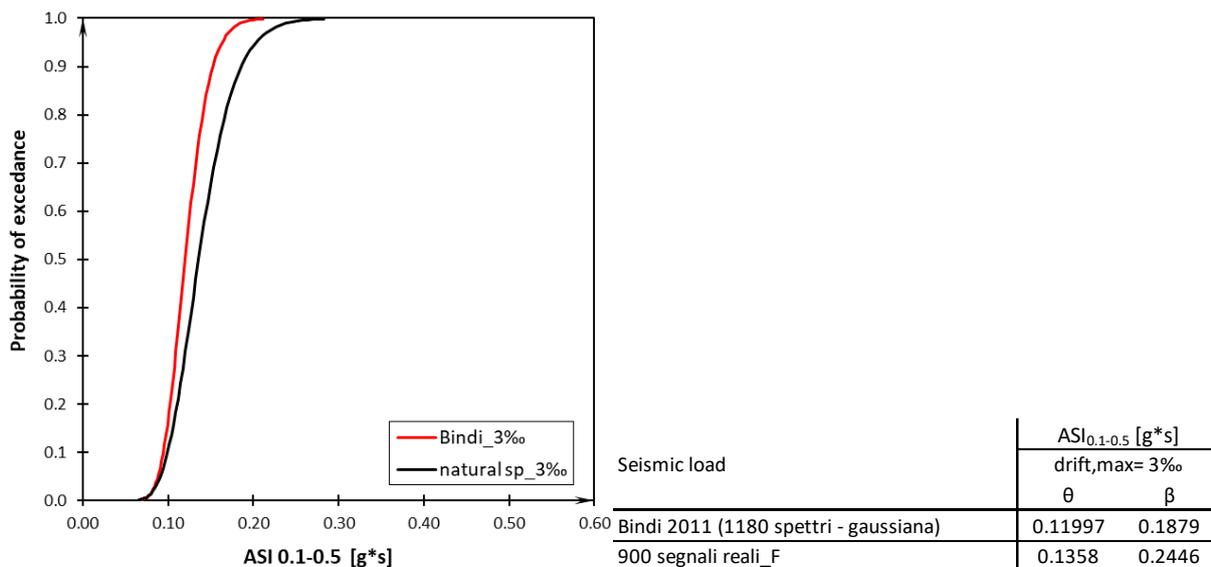


Figura 2-21 Risultati finali

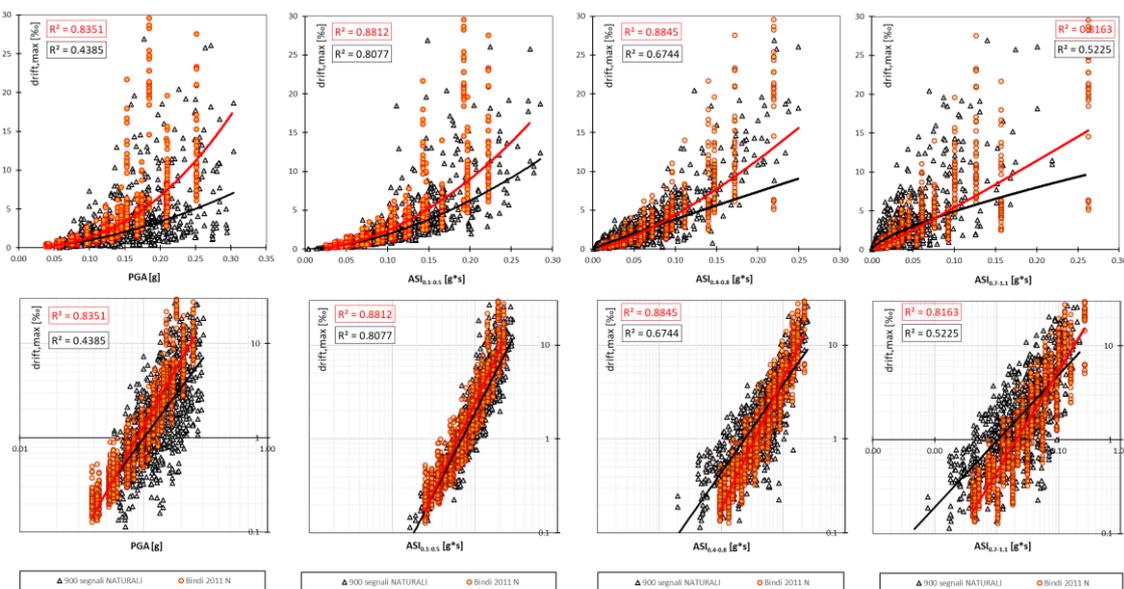


Figura 2-22 Confronto risultati con diversi input

## 2.2 ES2 – Ospedale di Bisaccia

Il Presidio Ospedaliero (ES2), situato nel comune di Bisaccia Nuova (AV) in Via Guglielmo Marconi, (coordinate: 41.007699 lat. - 15.356410 long.). La struttura portante è in c.a. e si sviluppa principalmente in una direzione con un fulcro centrale (blocco scala-ascensori) di connessione dei vari reparti. (vedi Figura 2-23) La copertura è generalmente costituita da elementi a falde con sovrastruttura in tegole di argilla. Le tamponature sono in muratura a cassa vuota con parametro 8 esterno in mattoni di laterizio. Il complesso ospedaliero si sviluppa su sei livelli (un piano seminterrato e cinque piani fuori terra). La Figura 2-24 evidenzia l'ala dell'ospedale oggetto di identificazione dinamica.



*Figura 2-23 Immagini dell'Ospedale di Bisaccia- ES2*

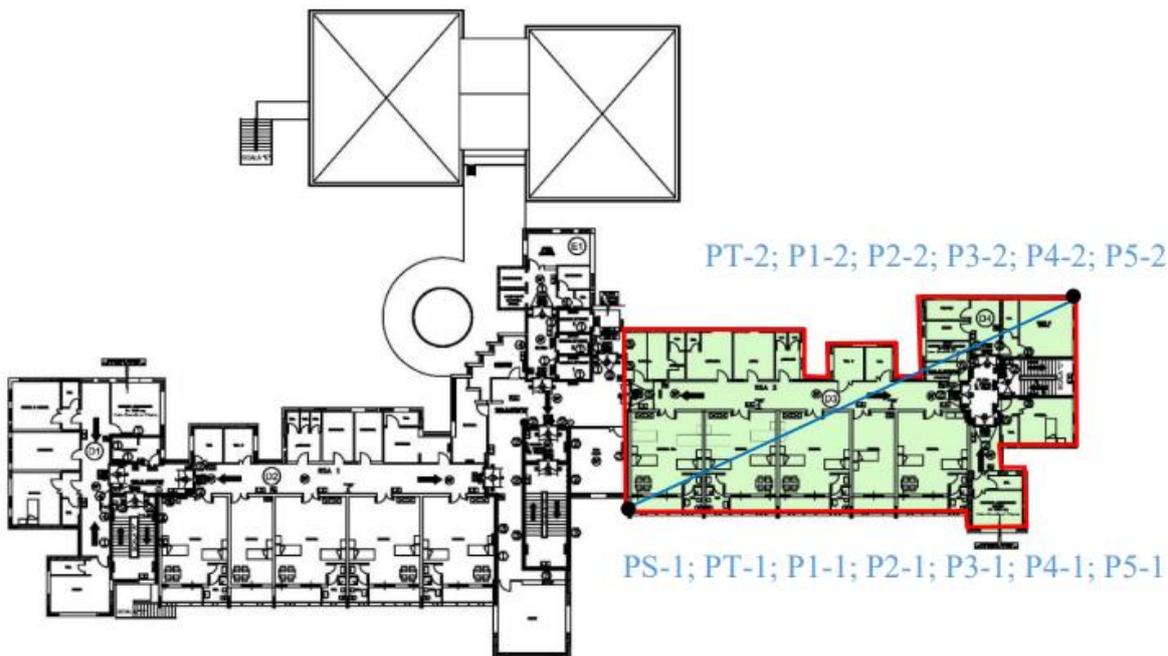


Figura 2-24 Planimetria ed indicazione dell'ala oggetto di indagine

### 2.2.1 Ricerca documentale

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

Tabella 2-16 Edifici Strategici – Informazioni generali

REGIONE	CODICE	ANNO DI COSTRUZ	N. PIANI	PRESENZA DI SETTI
		Normativa di riferimento	(n. di elevazioni)	
CAMPANIA	ES2	-	7	□

Tabella 2-17 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	
CAMPANIA	ES	7	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	
IA	2																		

Tabella 2-18 Edifici Strategici – Informazioni Strutturali

REGIONE	CODICE	N. PIANI (n. di elevazioni)	CARPENTERIE										COPERTURA	Note			
			F	-2	-1	PT	P1	P2	P3	P4	P5	P6			P7	P8	P9
CAMPA	ES	7	<input type="checkbox"/>														
NIA	2																

Tabella 2-19 Edifici Strategici – Informazioni dettagli architetonici e dati materiali e terreno

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

La struttura è del tipo intelaiata in c.a. e si compone di sette elevazioni di cui sei fuori terra e una semi-interrata.  
 La copertura è generalmente costituita da elementi a falda con sovrastruttura in tegole di argilla. L’involucro perimetrale è costituito da murature a cassa vuota con paramento esterno in mattoni di laterizio.

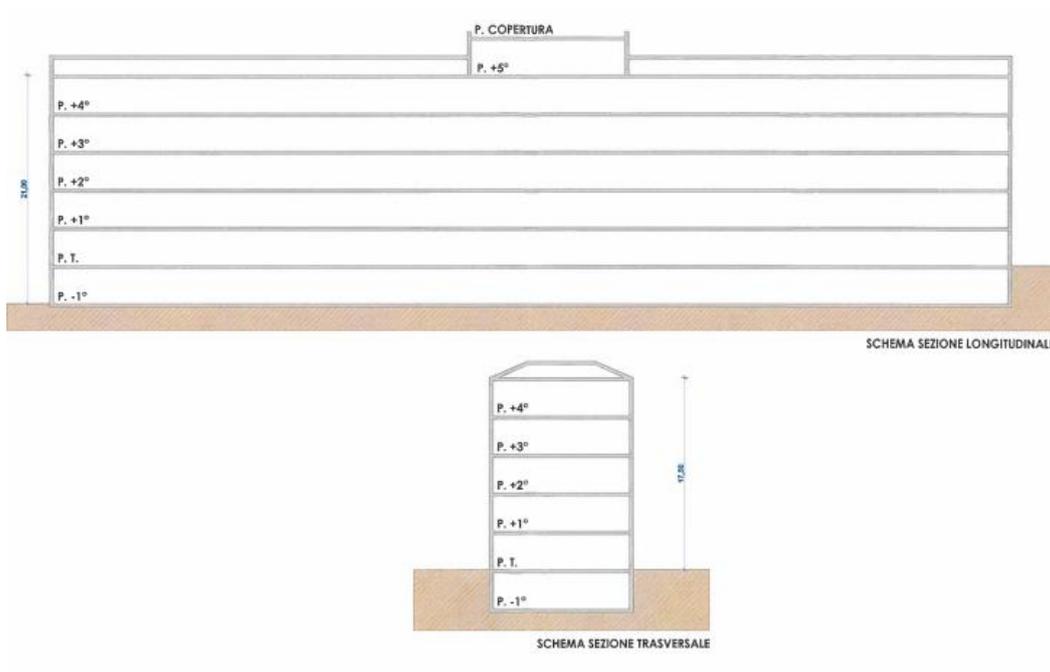


Figura 2-25 - Numero di elevazioni fuori terra e semi-interrate

Di seguito si riportano le planimetrie relative ai diversi piani della struttura. Le planimetrie sono di carattere architettonico. Non sono state reperite informazioni relative agli schemi strutturali.

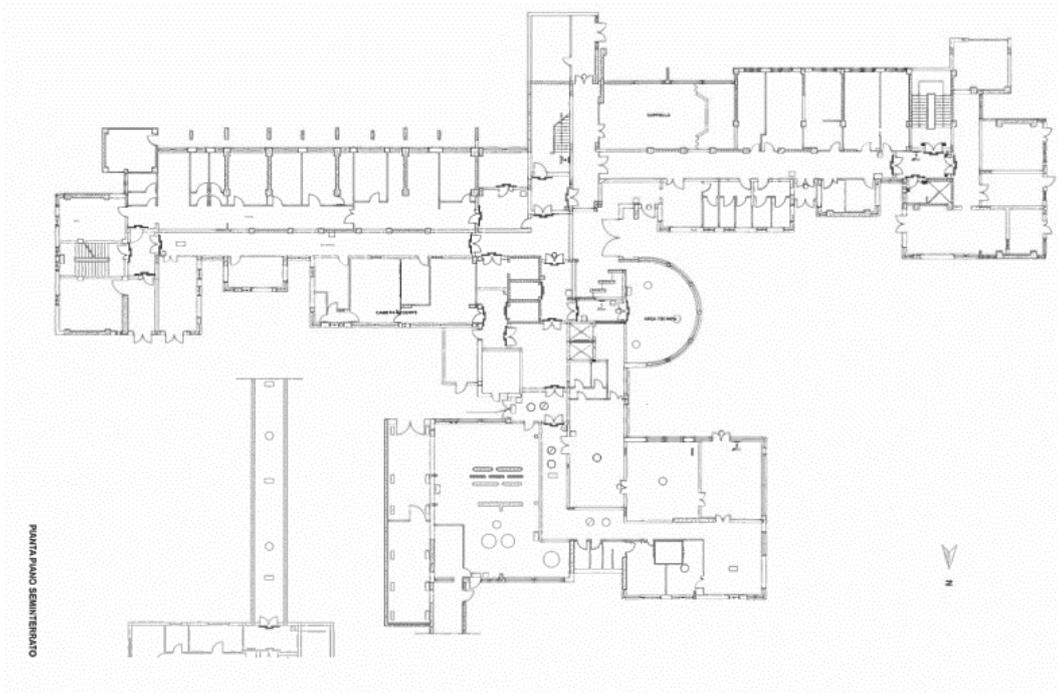


Figura 2-26 - Pianta piano semi-interrato

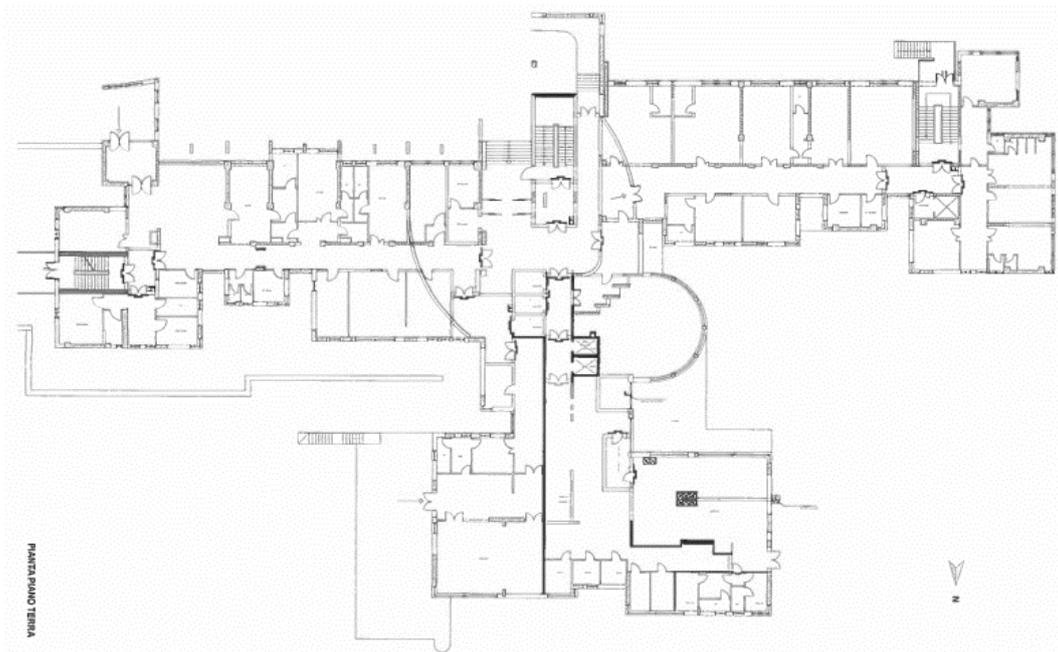


Figura 2-27 - Pianta piano terra

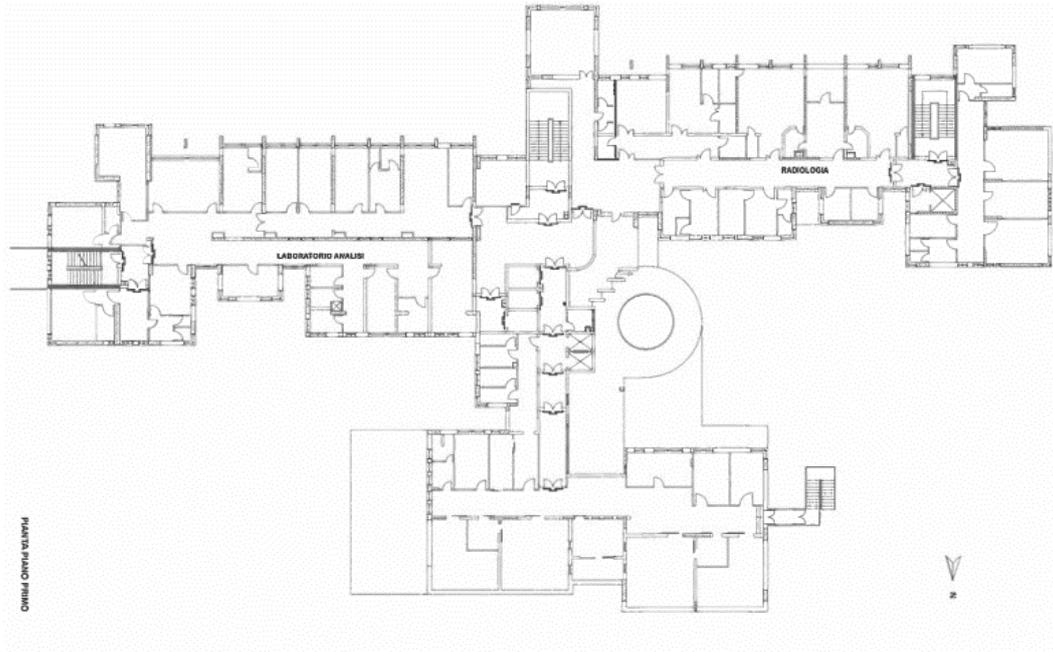


Figura 2-28 - Pianta piano primo

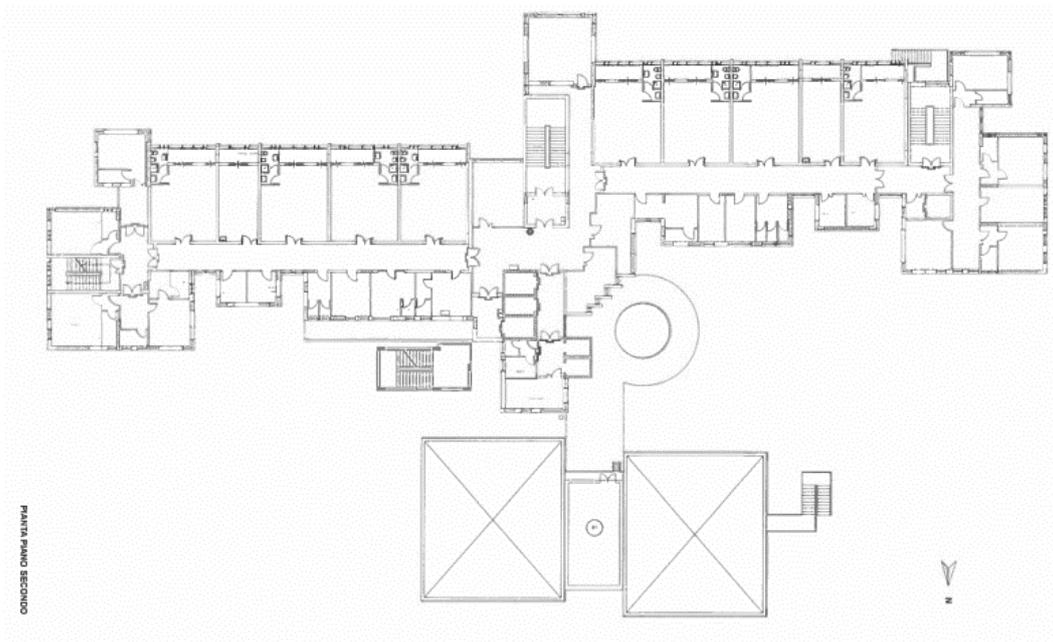


Figura 2-29 - Pianta piano secondo

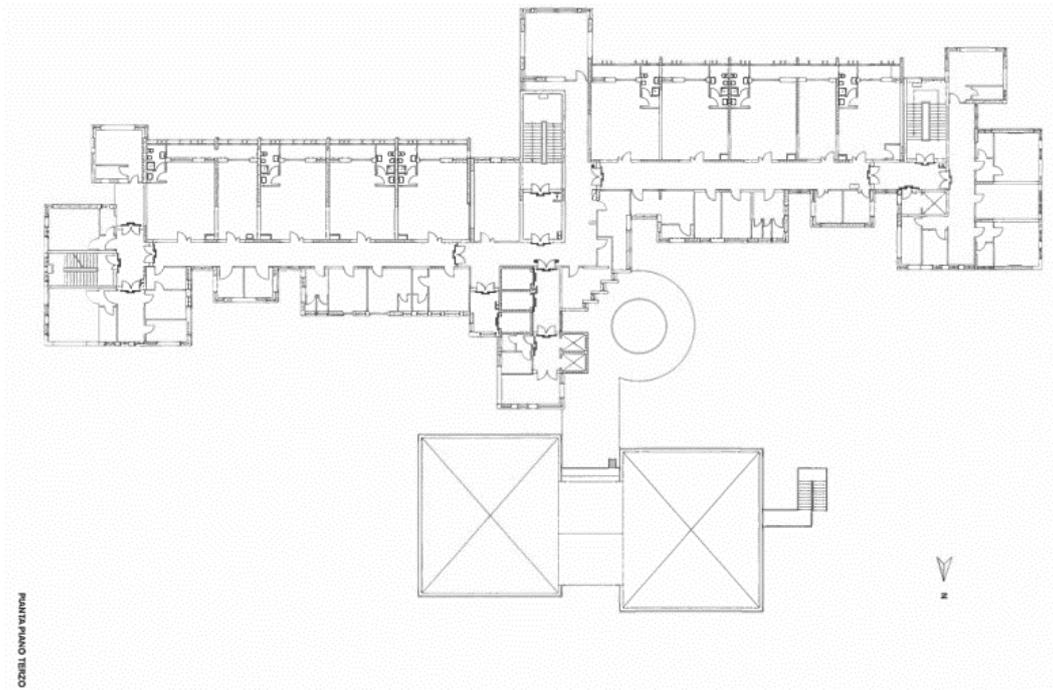


Figura 2-30 - Pianta piano terzo

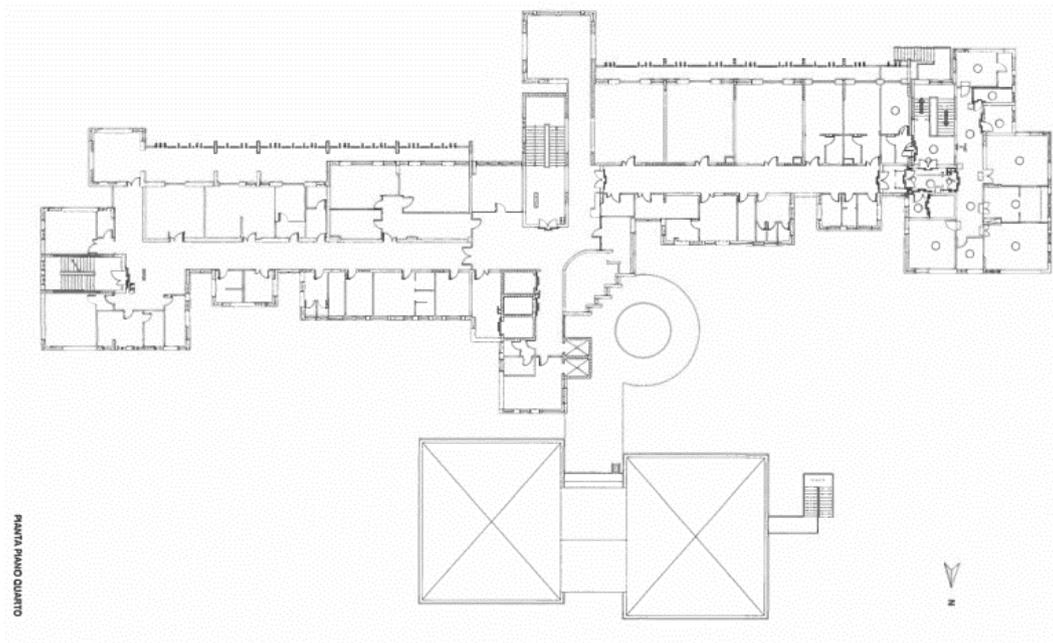


Figura 2-31 - Pianta piano quarto

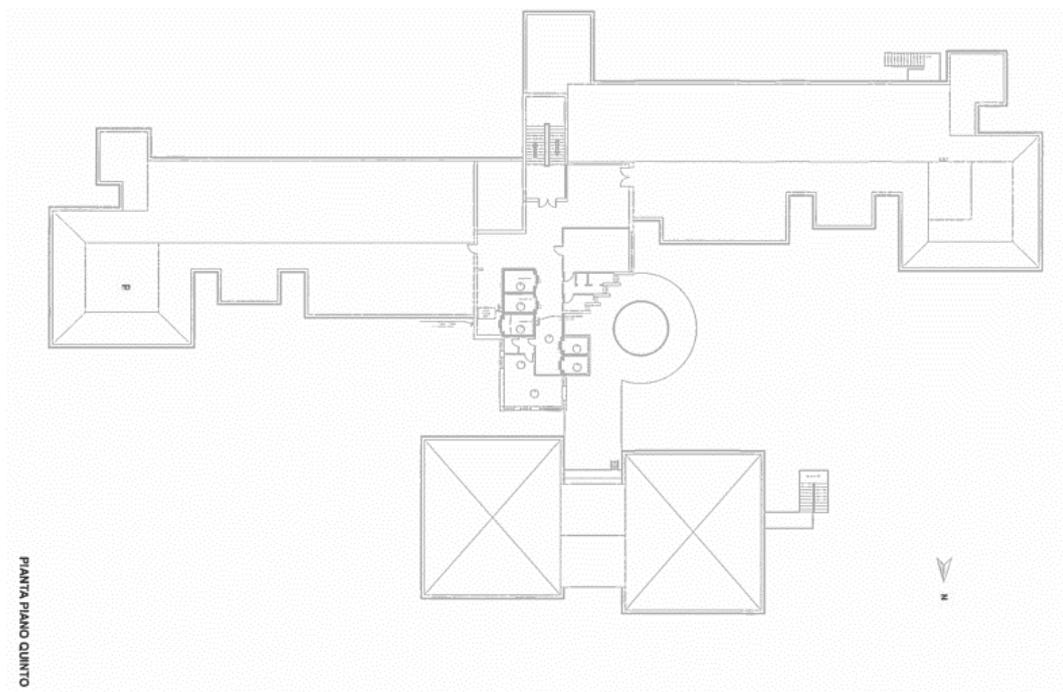


Figura 2-32 - Pianta piano quinto

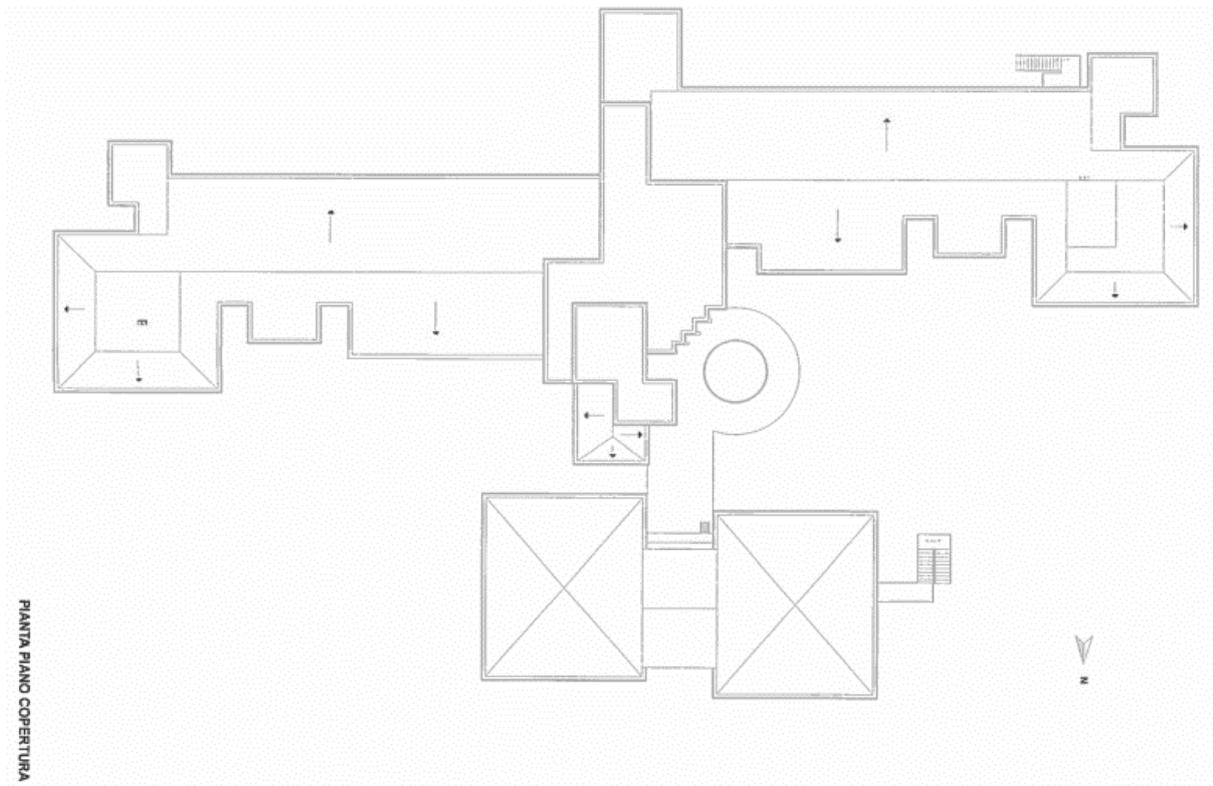


Figura 2-33 - Pianta copertura

## 2.2.2 Campagna di misure di vibrazione

La struttura è stata oggetto di campagna di identificazione dinamica giorno **24/01/2020**. L'analisi ha previsto 3 configurazioni di strumentazione disposti opportunamente per poter descrivere il comportamento dinamico modale dell'edificio. Al fine di caratterizzare il comportamento dinamico dell'edificio e del terreno di fondazione sono state utilizzate due tipologie di strumenti di misura: tre stazioni accelerometriche triassiali e due stazioni accelerometriche biassiali tipo Poseidon, della LeaneNet, e una stazione velocimetrica tri-direzionale tipo SR04 GeoBox, della "Sara Electronic Instruments".

Ogni set di acquisizione accelerometrico ha avuto una durata di circa 34 minuti ed una frequenza di campionamento di 250 Hz.

Maggiori dettagli sulla strumentazione sono riportati al capitolo 2.1.2.

I 3 test hanno previsto la disposizione degli strumenti in prestabiliti quanto più allineati lungo verticali. I test sono stati così organizzati come descritto in Tabella 2-5 e la strumentazione posizionata secondo le coordinate del sistema relativo raffigurate in Figura 2-7 e Tabella 2-6.

Tabella 2-20 Descrizione dei 4 test di acquisizione

<b>TEST 1 – OSPEDALE DI BISACCIA NUOVA -24/01/2020</b>						
<b>Punto di Misura</b>	<b>Denominazione Punto di Misura</b>	<b>Ubicazione Punto di Misura</b>	<b>Denominazione Accelerometro</b>	<b>Tipologia Accelerometro</b>	<b>Frequenza di Campionamento [Hz]</b>	<b>Durata Misura</b>
1	PS-1	Piano Seminterrato PS	S30	Triassiale	250	34 min.
2	PT-1	Piano Terra PT	S31	Triassiale	250	34 min.
3	PT-2	Piano Terra PT	S94	Triassiale	250	34 min.
4	P1-1	Piano Primo P1	S128	Biassiale	250	34 min.
5	P1-2	Piano Primo P1	S130	Biassiale	250	34 min.
<b>TEST 2 – OSPEDALE DI BISACCIA NUOVA -24/01/2020</b>						
<b>Punto di Misura</b>	<b>Denominazione Punto di Misura</b>	<b>Ubicazione Punto di Misura</b>	<b>Denominazione Accelerometro</b>	<b>Tipologia Accelerometro</b>	<b>Frequenza di Campionamento [Hz]</b>	<b>Durata Misura</b>
1	PS-1	Piano Seminterrato PS	S30	Triassiale	250	32 min.
2	P2-1	Piano Secondo P2	S31	Triassiale	250	32 min.
3	P2-2	Piano Secondo P2	S94	Triassiale	250	32 min.
4	P3-1	Piano Terzo P3	S128	Biassiale	250	32 min.
5	P3-2	Piano Terzo P3	S130	Biassiale	250	32 min.
<b>TEST 3 – OSPEDALE DI BISACCIA NUOVA -24/01/2020</b>						
<b>Punto di Misura</b>	<b>Denominazione Punto di Misura</b>	<b>Ubicazione Punto di Misura</b>	<b>Denominazione Accelerometro</b>	<b>Tipologia Accelerometro</b>	<b>Frequenza di Campionamento [Hz]</b>	<b>Durata Misura</b>
1	PS-1	Piano Seminterrato PS	S30	Triassiale	250	32 min.
2	P4-1	Piano Quarto P4	S31	Triassiale	250	32 min.
3	P4-2	Piano Quarto P4	S94	Triassiale	250	32 min.
4	P5-1	Piano Quinto P5	S128	Biassiale	250	32 min.
5	P5-2	Piano Quinto P5	S130	Biassiale	250	32 min.

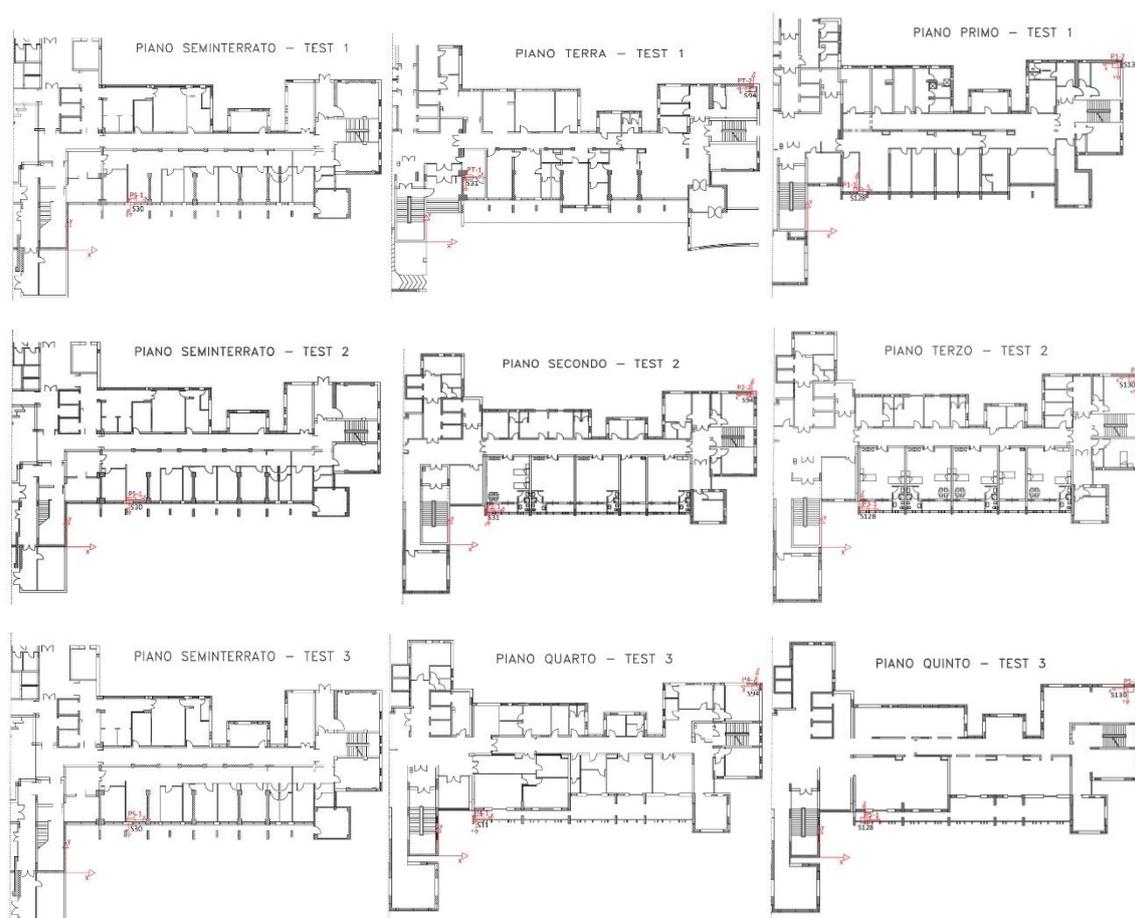


Figura 2-34 Disposizione punti di misura durante i 4 test

Tabella 2-21 Coordinate posizioni dei punti di misura

TEST 1				TEST 2				TEST 3			
STAZIONE	X [m]	Y [m]	Z [m]	STAZIONE	X [m]	Y [m]	Z [m]	STAZIONE	X [m]	Y [m]	Z [m]
S30	8.70	6.85	0.00	S30	8.70	6.85	0.00	S30	8.70	6.85	0.00
S31	5.15	9.80	3.50	S31	5.55	5.25	10.50	S31	5.15	5.25	17.50
S94	42.75	23.10	3.50	S94	42.95	23.30	10.50	S94	42.95	23.30	17.50
S128	6.80	8.05	7.00	S128	5.55	5.25	14.00	S128	6.05	5.25	21.00
S130	42.95	23.30	7.00	S130	42.95	23.30	14.00	S130	42.05	23.30	21.00

I dati accelerometrici registrati sotto le condizioni di rumore ambientale sono stati rielaborati in termini di spettri si Welch (Figura 2-8) e funzioni di trasferimento (Figura 2-9) al fine di ricostruire le grandezze dinamiche modali fondamentali dell'edificio.

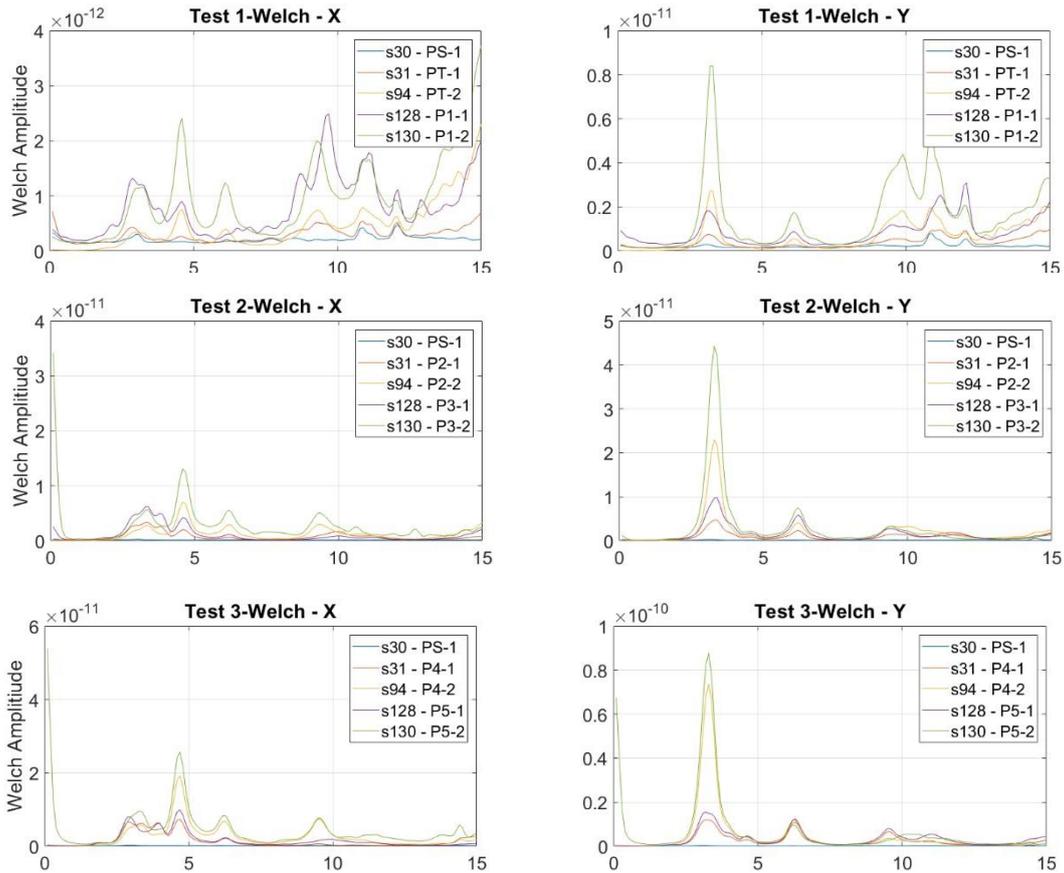
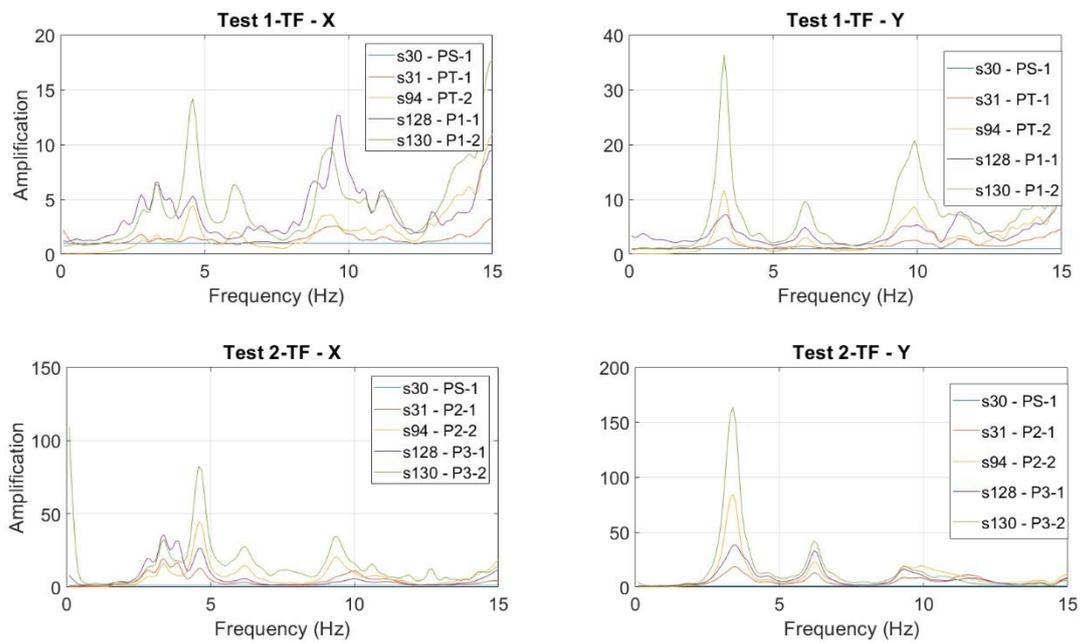


Figura 2-35 Trasformate di Welch



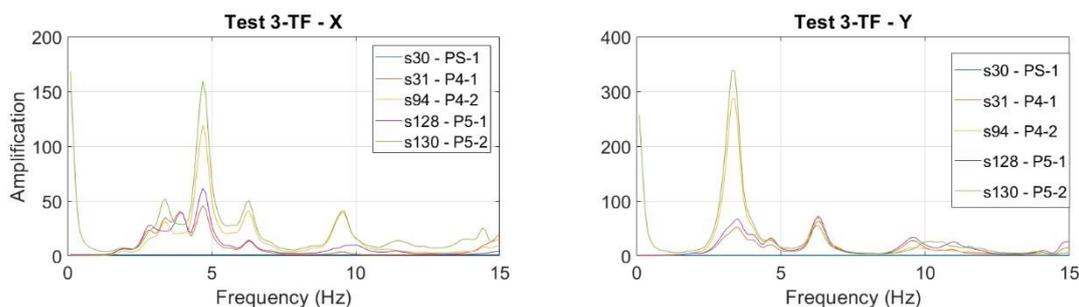


Figura 2-36 Funzioni di Trasferimento

Si evidenzia la presenza di un modo di vibrare a circa 3.3Hz, un secondo modo di vibrare a circa 4.7Hz e un terzo modo di vibrare a circa 6.3 Hz.

### 2.2.3 Risultati sperimentali

Nella Tabella 2-7 sono 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	3.3Hz	4.7Hz	6.3Hz
I:1:+X	0.01	-0.01	0.01
I:1:+Y	0.01	-0.01	0.02
I:2:+X	-0.01	0.03	0.03
I:2:+Y	0.04	0.01	0.04
II:1:+X	0.02	-0.03	0.01
II:1:+Y	0.02	-0.01	0.07
II:2:+X	-0.02	-0.10	0.10
II:2:+Y	0.12	0.02	0.12
III:1:+X	0.03	-0.08	0.05
III:1:+Y	0.06	-0.03	0.17
III:2:+X	-0.03	-0.27	0.21
III:2:+Y	0.28	0.04	0.30
IV:1:+X	0.05	-0.16	0.08
IV:1:+Y	0.12	-0.06	0.41
IV:2:+X	-0.06	-0.48	0.38
IV:2:+Y	0.52	0.08	0.54
V:1:+X	0.08	-0.28	0.17
V:1:+Y	0.14	-0.11	0.86
V:2:+X	-0.07	-0.73	0.51
V:2:+Y	0.84	0.16	0.93
VI:1:+X	0.09	-0.34	0.18
VI:1:+Y	0.19	-0.18	1.00
VI:2:+X	-0.11	-1.00	0.62
VI:2:+Y	1.00	0.15	0.72

Tabella 2-22 Deformate modali

## 2.2.4 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.

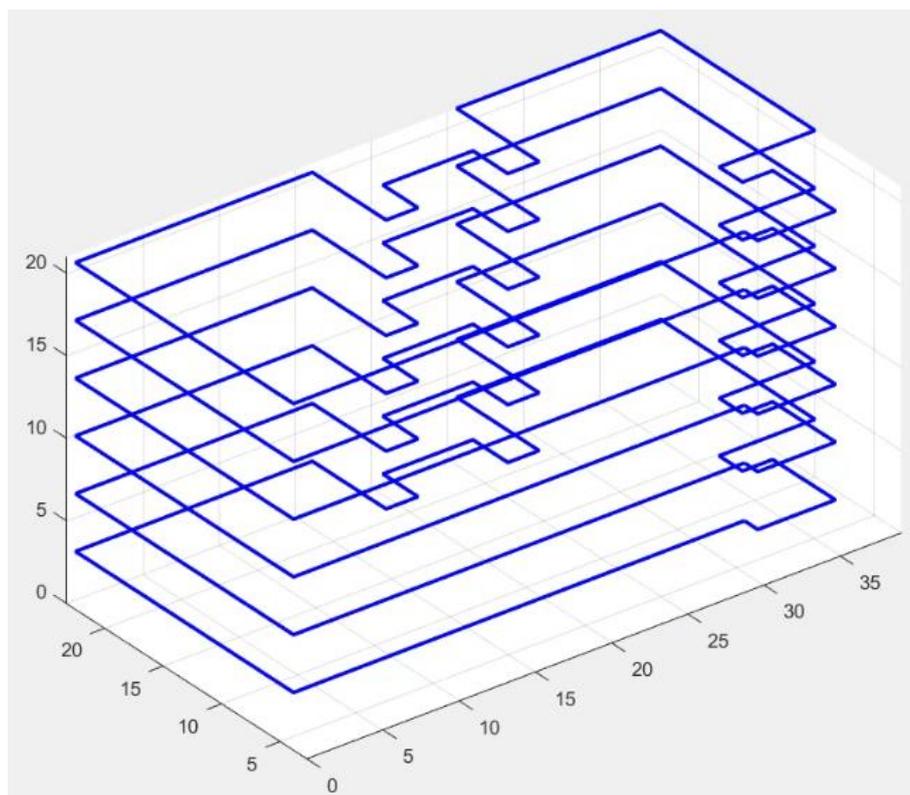


Figura 2-37 Rappresentazione semplificata della geometria della struttura.

Parametri modello SMAV									
Coefficienti di ortogonalità				Masse partecipanti		Ipotesi di poligono rigido			
	1	2	3	Mx	My	MAC			
1	1	0.4110	0.8956	0.03	0.52	1	0.9322		
2	0.4110	1	0.6394	0.55	0.04	2	0.8655		
3	0.8956	0.6394	1	0.11	0.51	3	0.9594		
				0.69	1.08				

Figura 2-38 Parametri modello SMAV

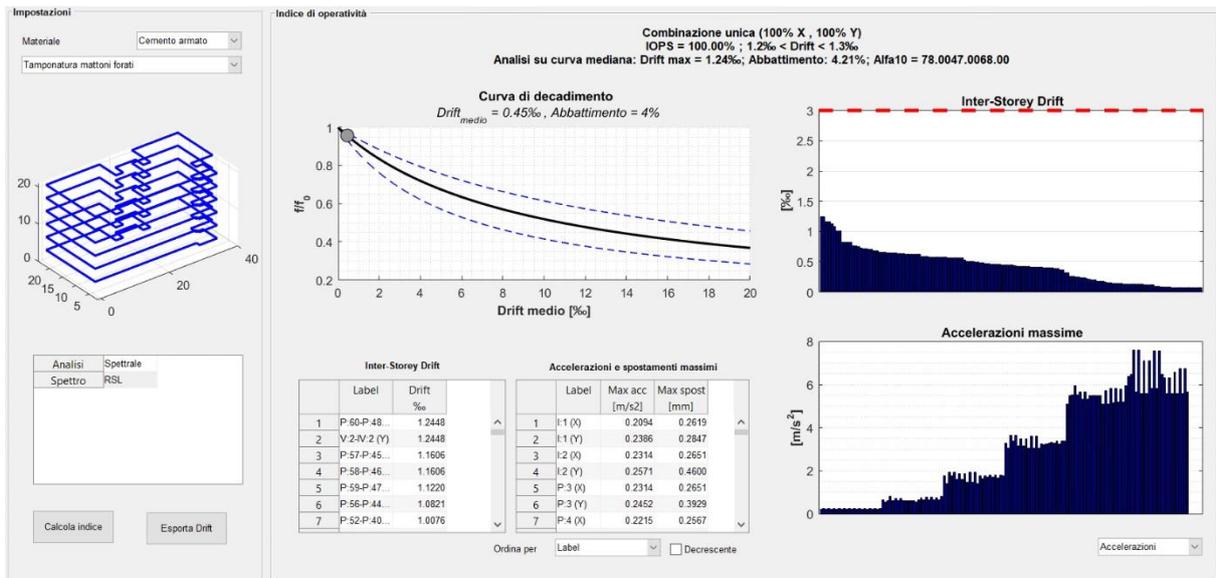


Figura 2-39 Scheda riassuntiva dei risultati SMAV

## 2.2.5 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, come mostrano i diagrammi successivi, 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 2-21. La curva adotta come parametro di intensità di misura il valore ASI nell'intervallo 0.1-0.5 secondi.

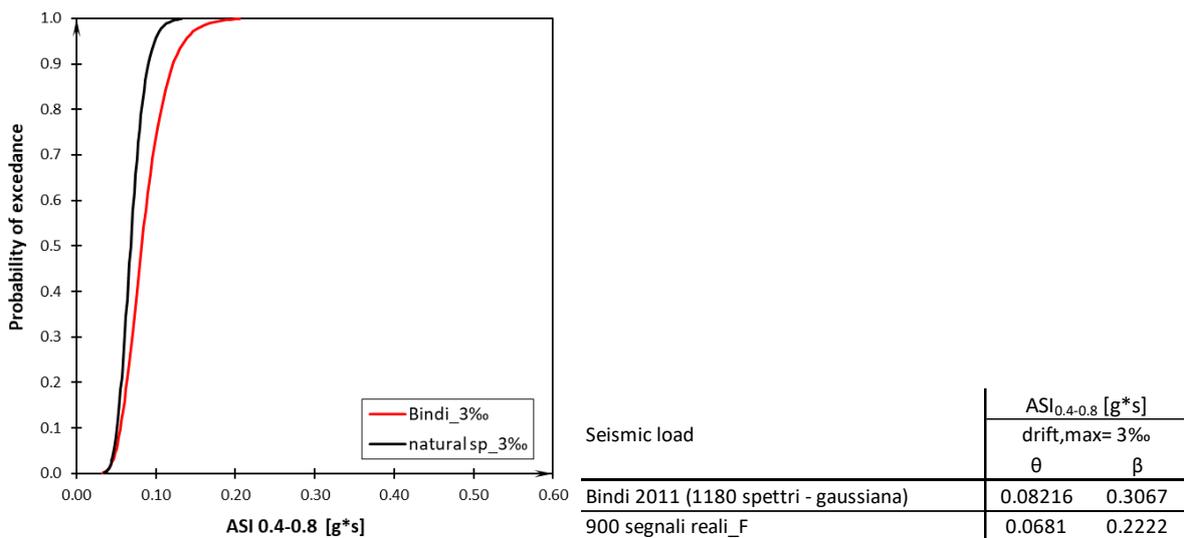


Figura 2-40 Risultati finali

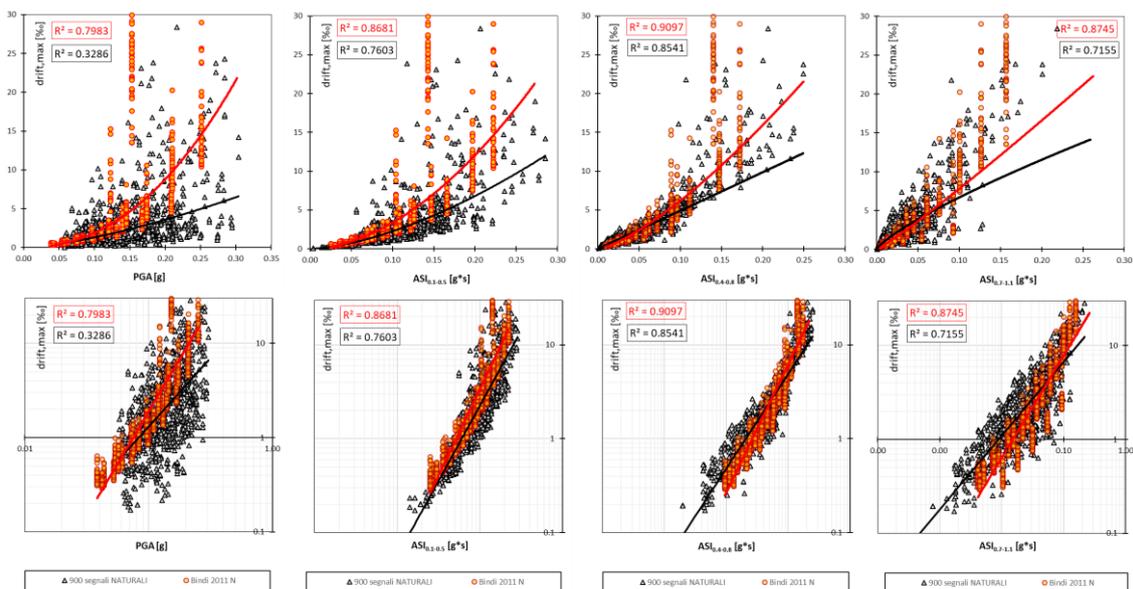


Figura 2-41 Confronto risultati con diversi input

### 2.3 ES3 – Caserma VVF di Bisaccia Nuova

La caserma dei Vigili del Fuoco (ES3), situata nel comune di Bisaccia Nuova (AV) in via Lucrezio, (coordinate: 41.00594 lat. - 15.36172 long.) è rappresentata nelle immagini seguenti (Figura 2-42). La struttura portante è in c.a. e si sviluppa su tre livelli (un piano seminterrato e due piani fuori terra). La copertura è costituita da elementi a falde e le tamponature sono in laterizio.



Figura 2-42 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 2-23 Edifici Strategici – Informazioni generali

REGIONE	CODICE	ANNO DI COSTRUZ	N. PIANI	PRESENZA DI SETTI
		Normativa di riferimento	(n. di elevazioni)	
CAMPANIA	ES3	-	3	<input type="checkbox"/>

Tabella 2-24 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
CAMPANIA	ES	3		■	■	■											<input type="checkbox"/>
IA	3																

Tabella 2-25 Edifici Strategici – Informazioni Strutturali

REGIONE	CODICE	N. PIANI (n. di elevazioni)	CARPENTERIE										COPERTURA	Note			
			F	-2	-1	PT	P1	P2	P3	P4	P5	P6			P7	P8	P9
CAMPANIA	ES	3			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										<input type="checkbox"/>
IA	3																

Tabella 2-26 Edifici Strategici – Informazioni dettagli architettonici e dati materiali e terreno

REGIONE	CODICE	DETTAGLI	DATI		Note
			MATERIALI	TERRENI	
CAMPANIA	ES3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

### 2.3.2 Campagna di misure di vibrazione

La struttura è stata oggetto di campagna di identificazione dinamica giorno **16/01/2020**. L'analisi ha previsto 2 configurazioni di strumentazione disposti opportunamente per poter descrivere il comportamento dinamico modale dell'edificio. Al fine di caratterizzare il comportamento dinamico dell'edificio e del terreno di fondazione sono state utilizzate due tipologie di strumenti di misura: tre stazioni accelerometriche triassiali e due stazioni accelerometriche biassiali tipo Poseidon, della LeaneNet, e una stazione velocimetrica tri-direzionale tipo SR04 GeoBox, della "Sara Electronic Instruments".

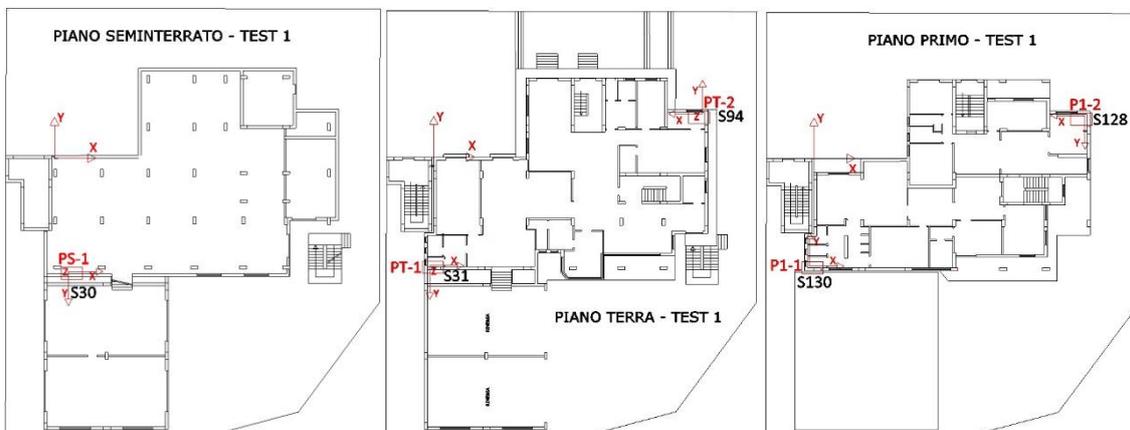
Ogni set di acquisizione accelerometrico ha avuto una durata di circa 30 minuti ed una frequenza di campionamento di 250 Hz.

Maggiori dettagli sulla strumentazione sono riportati al capitolo 2.1.2.

I 2 test hanno previsto la disposizione degli strumenti in prestabiliti quanto più allineati lungo verticali. I test sono stati così organizzati come descritto in Tabella 2-5 e la strumentazione posizionata secondo le coordinate del sistema relativo raffigurate in Figura 2-7 e Tabella 2-6.

Tabella 2-27 Descrizione dei 4 test di acquisizione

TEST 1 – VIGILI DEL FUOCO - 16/01/2020						
Punto di Misura	Denominazione Punto di Misura	Ubicazione Punto di Misura	Denominazione Accelerometro	Tipologia Accelerometro	Frequenza di Campionamento [Hz]	Durata Misura
1	PS-1	Piano Seminterrato PS	S30	Triassiale	250	30 min.
2	PT-1	Piano Terra PT	S31	Triassiale	250	30 min.
3	PT-2	Piano Terra PT	S94	Triassiale	250	30 min.
4	P1-1	Piano Primo P1	S130	Biassiale	250	30 min.
5	P1-2	Piano Primo P1	S128	Biassiale	250	30 min.
TEST 2 – VIGILI DEL FUOCO - 16/01/2020						
Punto di Misura	Denominazione Punto di Misura	Ubicazione Punto di Misura	Denominazione Accelerometro	Tipologia Accelerometro	Frequenza di Campionamento [Hz]	Durata Misura
1	PS-1	Piano Seminterrato PS	S30	Triassiale	250	32 min.
2	PT-1	Piano Terra PT	S31	Triassiale	250	32 min.
3	PT-2	Piano Terra PT	S94	Triassiale	250	32 min.
4	P2-1	Piano Sottotetto P2	S130	Biassiale	250	32 min.
5	P2-2	Piano Sottotetto P2	S128	Biassiale	250	32 min.



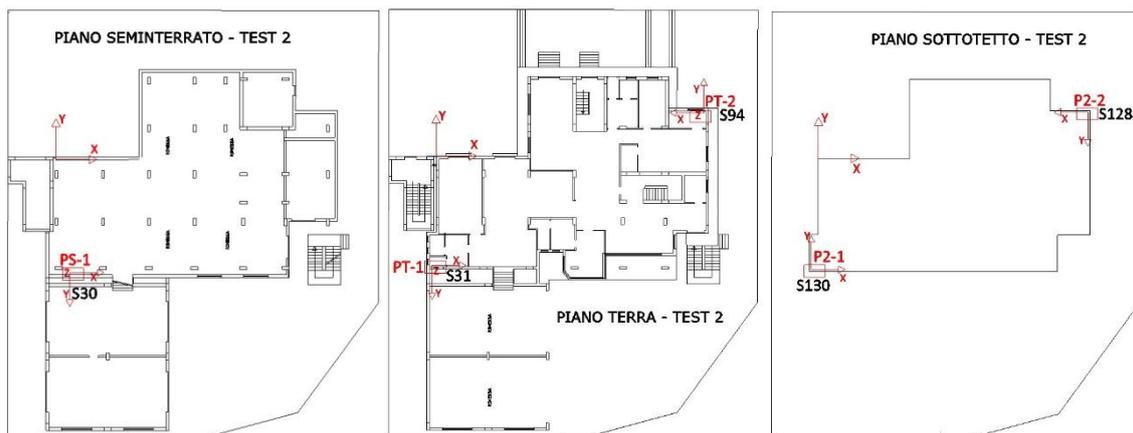


Figura 2-43 Disposizione punti di misura durante i 4 test

Tabella 2-28 Coordinate posizioni dei punti di misura

TEST 1				TEST 2			
STAZIONE	X [m]	Y [m]	Z [m]	STAZIONE	X [m]	Y [m]	Z [m]
S30	1.30	-10.80	0.00	S30	1.30	-10.80	0
S31	-0.40	-10.40	3.50	S31	-0.40	-10.40	3.50
S94	25.60	4.15	3.50	S94	25.60	4.15	3.50
S130	-0.40	-10.40	7.00	S130	-0.40	-10.40	10.40
S128	25.60	4.15	7.00	S128	25.60	4.15	10.40

I dati accelerometrici registrati sotto le condizioni di rumore ambientale sono stati rielaborati in termini di spettri si Welch (Figura 2-8) e funzioni di trasferimento (Figura 2-9) al fine di ricostruire le grandezze dinamiche modali fondamentali dell'edificio.

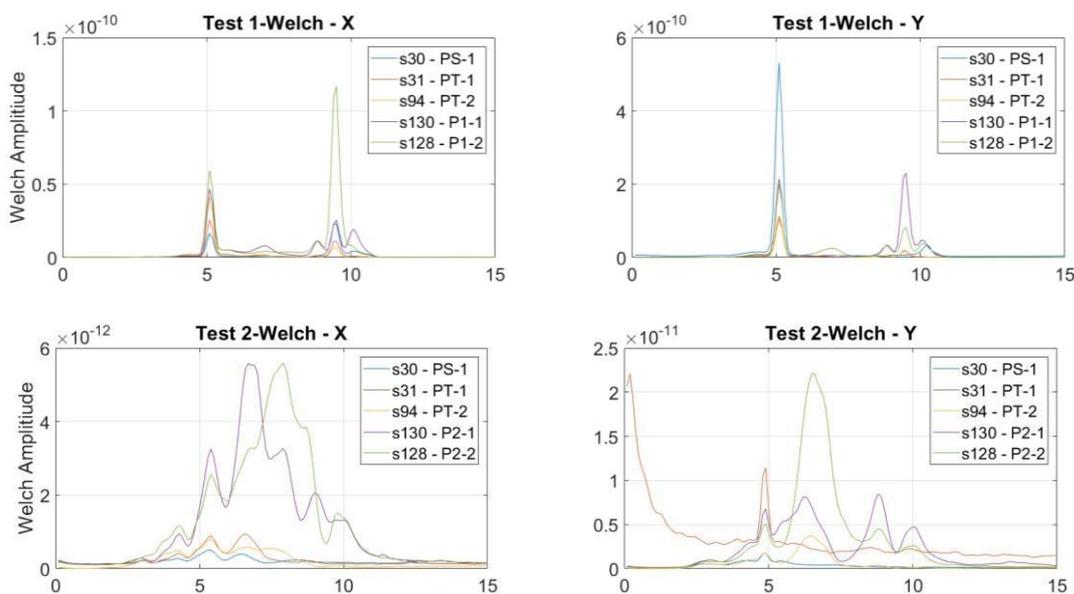


Figura 2-44 Trasformate di Welch

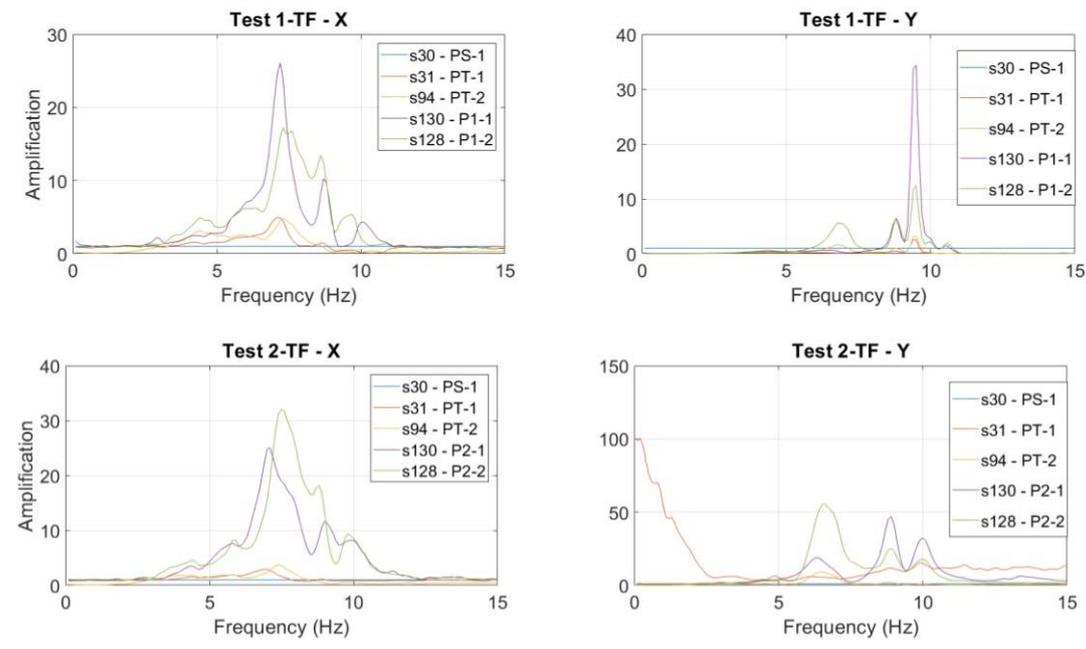


Figura 2-45 Funzioni di Trasferimento

Si evidenzia la presenza di un modo di vibrare a circa 4.6Hz, un secondo modo di vibrare a circa 7.2Hz, un terzo modo di vibrare a circa 8.8 Hz ed un quarto a circa 10 Hz.

### 2.3.3 Risultati sperimentali

Nella Tabella 2-7 sono 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	4.6Hz	7.2Hz	8.8Hz	10Hz
I:1:+X	0.20	0.06	0.02	0.03
I:1:+Y	0.20	0.06	0.13	0.24
I:2:+X	0.32	0.08	0.02	0.03
I:2:+Y	0.20	0.08	0.02	0.06
II:1:+X	0.40	0.30	0.15	0.03
II:1:+Y	0.20	0.10	0.15	1.00
II:2:+X	0.80	0.34	0.28	0.15
II:2:+Y	0.20	0.12	0.15	0.35
III:1:+X	0.80	0.48	0.23	0.24
III:1:+Y	0.80	0.40	1.00	-0.94
III:2:+X	1.00	0.58	0.38	0.26
III:2:+Y	0.64	1.00	0.53	-0.53

Tabella 2-29 Deformate modali

### 2.3.4 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.

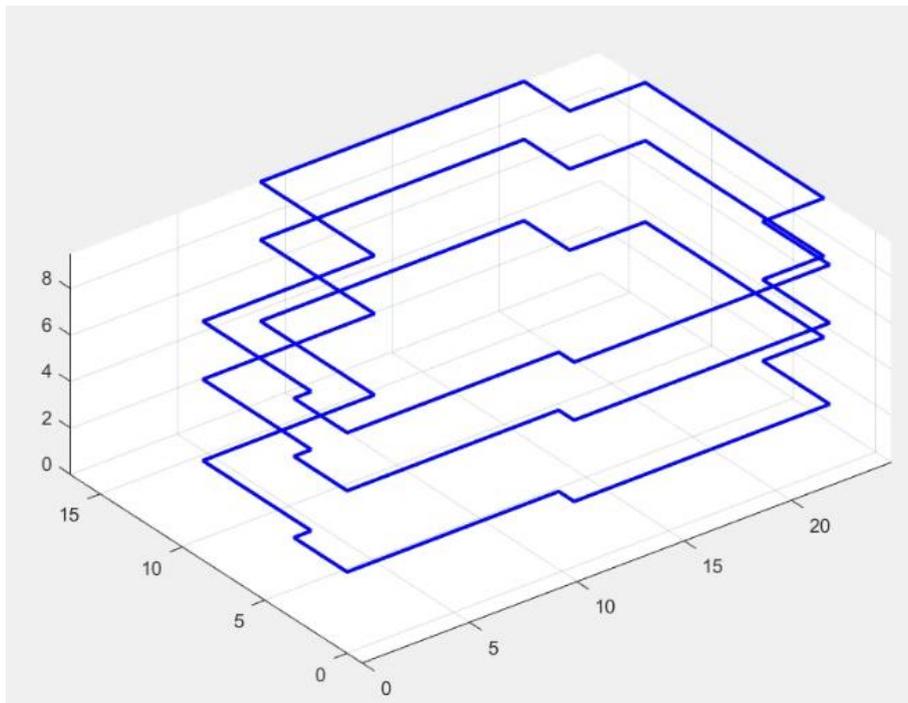


Figura 2-46 Rappresentazione semplificata della geometria della struttura.

Parametri modello SMAV									
Coefficienti di ortogonalità					Masse partecipanti		Ipotesi di poligono rigido		
	1	2	3	4	Mx	My		MAC	
1	1	0.9341	0.8532	-0.047	0.57	0.22	1	0.9814	
2	0.9341	1	0.9261	-0.260	0.30	0.29	2	0.9622	
3	0.8532	0.9261	1	-0.383	0.13	0.42	3	0.9921	
4	-0.0477	-0.2607	-0.3833		0.04	0.00	4	0.9794	
					1.04	0.93			

Figura 2-47 Parametri modello SMAV

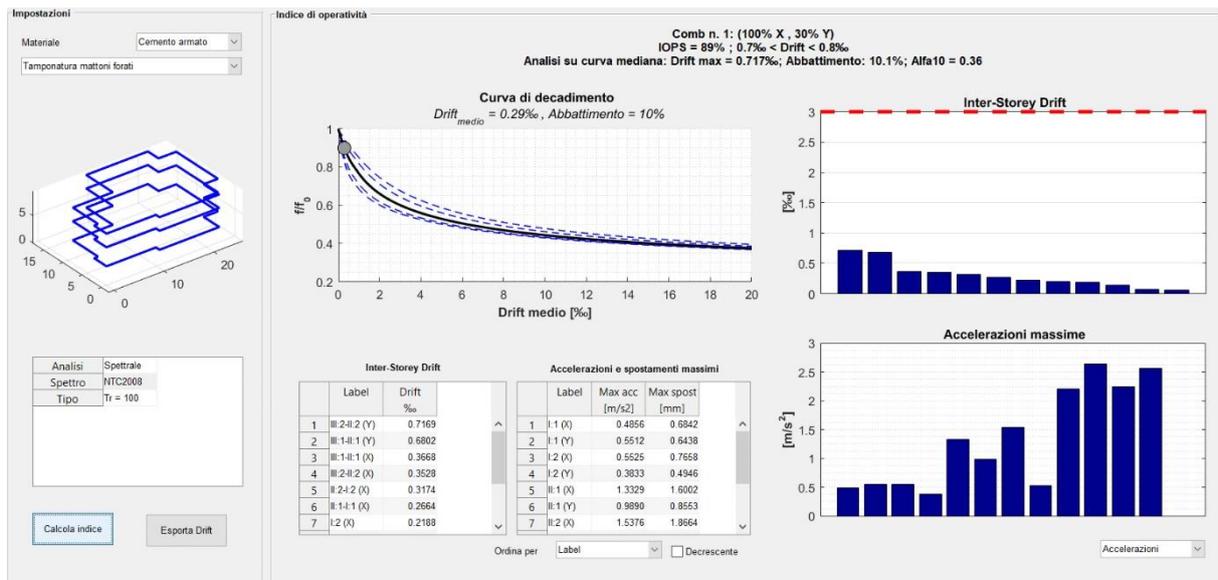


Figura 2-48 Scheda riassuntiva dei risultati SMAV

### 2.3.5 Curve di fragilità

Alla luce delle incertezze emerse dai dati acquisiti e dalla modellazione numerica si ritiene più significativo adottare curve di fragilità già reperibili in letteratura per strutture tipologicamente simili a quella in esame (Irregolare, 3 elevazioni, non progettata per azioni sismiche). Nella fattispecie le curve contenute nel lavoro Borzi et al., 2008 (Borzi B., Pinho R., Crowley H. Simplified pushover-based vulnerability analysis for large-scale assessment of RC buildings. Engineering Structures, 30, 804-820, 2008). Si riportano di seguito le curve adottabili.

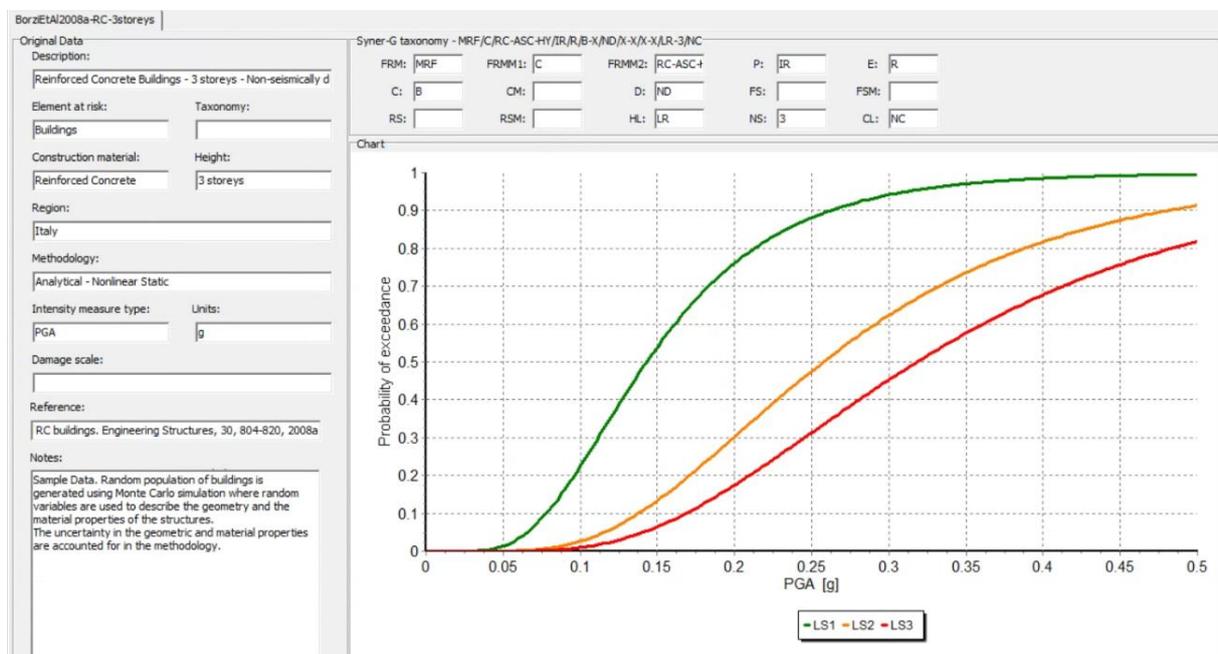


Figura 2-49 Curve di fragilità ES3