



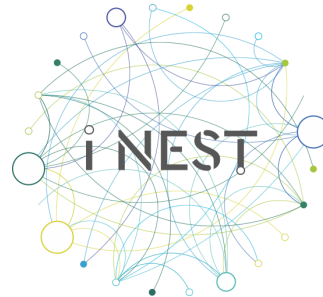
I

U

A

V

Università Iuav
di Venezia



PNRR iNEST - INTERCONNECTED NORD-EST INNOVATION ECOSYSTEM

Spoke 4. City, Architecture, Sustainable design
Activity 2.3. Heritage, recovery, conservation

Lo stato dell'arte delle ricerche multirischio
sul contesto monumentale e paesaggistico di Venezia e la sua laguna

Pierpaolo Campostrini - Enrico Rinaldi

CORILA



In Italia, l'evoluzione dell'ambiente costruito non può prescindere dal **patrimonio architettonico diffuso** che ne costituisce una parte importante e partecipa alla costruzione fondamentale degli **asset sociali, territoriali ed economici** delle regioni.

Tale patrimonio è da sempre soggetto a **rischi** dovuti ad **eventi naturali** (sisma, inondazione), ad **azioni antropiche** (incendi, incidenti industriali, *sprawling* urbano) e a fenomeni di **degrado** dovuti al trascorrere del tempo.

Negli ultimi decenni, i rischi sono aumentati a causa dei **cambiamenti climatici**, accentuati dalla conformazione idrogeologica e dall'elevata densità abitativa, produttiva e infrastrutturale del territorio italiano, che lo rendono estremamente fragile e vulnerabile.

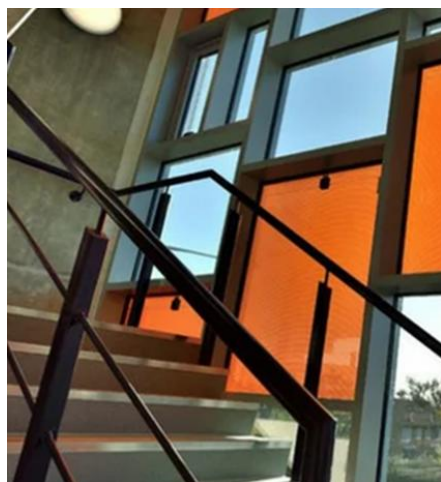
In molte aree urbane è urgente mitigare il fenomeno delle **isole di calore**, che causa **crescenti disagi** soprattutto nelle fasce più fragili della popolazione, e genera **sprechi energetici ed emissioni di CO2 in atmosfera**.





L'attività 2.3 del Progetto PNRR-iNEST ha implementato una **metodologia integrata** di *conoscenza, analisi del rischio, valutazione di metodologie, tecnologie, tecniche e materiali (MTTM)* per la conservazione e il miglioramento/adequamento del patrimonio architettonico e urbano.

Il sistema potrà suggerire azioni di prevenzione per **ridurre la vulnerabilità, migliorare la resilienza, le prestazioni energetiche** e la fruizione di edifici, considerando anche la fase dell'emergenza, e la possibilità di utilizzare materiali naturali e/o riciclati.

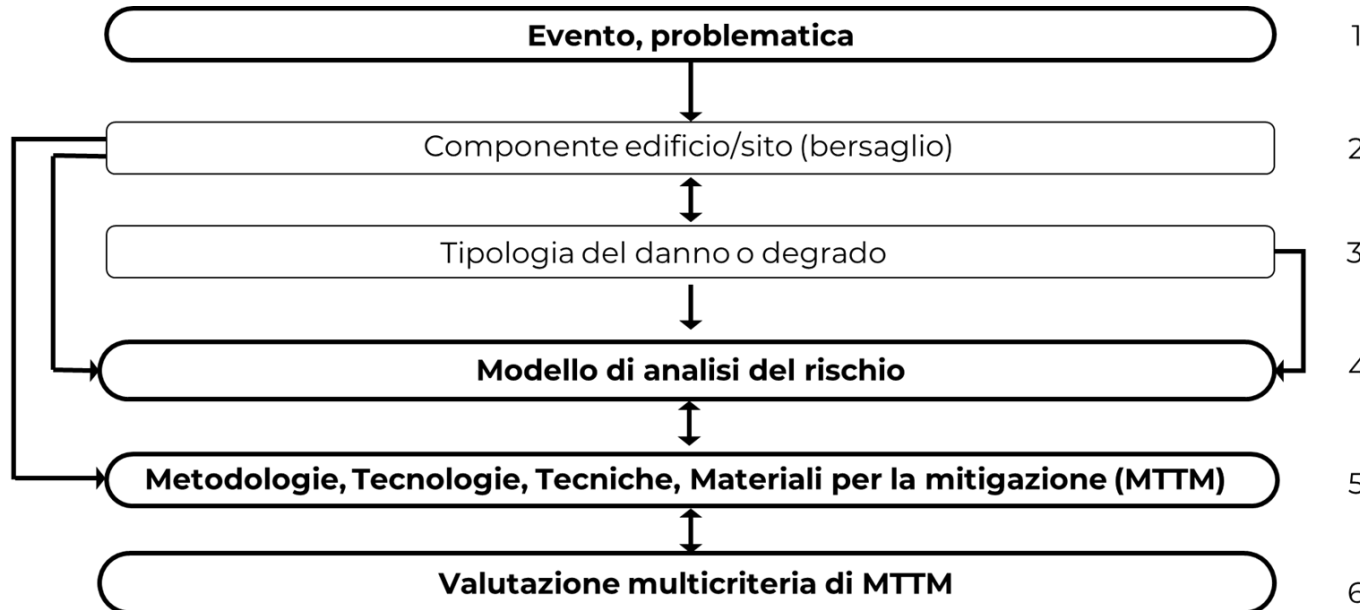


Nella pianificazione degli interventi è inoltre essenziale considerare, oltre alle caratteristiche architettoniche, anche gli **aspetti sociali, economici e culturali del bene e del contesto** in cui è inserito.

Le nuove sfide della **transizione energetica e sostenibilità ambientale** devono considerare anche i temi della **sostenibilità e dell'inclusione sociale**, nell'evoluzione degli scenari sociali, economici, antropologici



Metodologia integrata per i «macro-eventi» e i danni e degrading



La **metodologia integrata** considera i **macro-eventi** (*terremoto, incendio, inondazione, isole di calore urbane - efficientamento energetico degli edifici*), e le azioni che provocano **danni e degrading** localizzati.

Un **modello di analisi multirischio** individua **pericolosità, vulnerabilità ed esposizione** di edifici e siti.

Pericolosità e vulnerabilità vengono correlate con le necessarie azioni di mitigazione individuando le **metodologie, tecnologie, tecniche e materiali (MTTM)** più appropriate.

La valutazione delle **opzioni di intervento** può essere supportata da strumenti di aiuto alla decisione come l'**analisi multicriteria**.



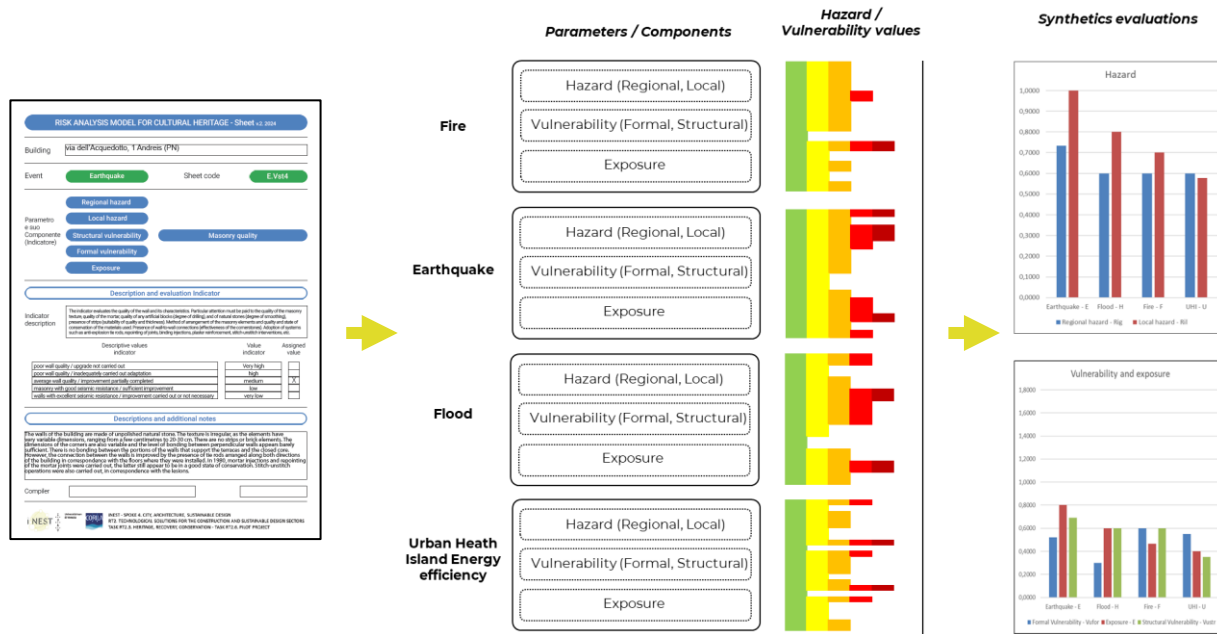
Modello di analisi multirischio

Il **modello di analisi multirischio** si basa su parametri e indicatori che individuano:

- la **pericolosità** del sito a scala regionale e locale;
- la **vulnerabilità** dell'edificio e dei suoi componenti;
- l'**esposizione** dei fruitori, attività produttive, ecc.

L'implementazione del modello è costituita da:

- le **schede di rilevazione**, in cui si descrivono le caratteristiche di pericolosità e vulnerabilità, rilevate da analisi dell'edificio e del sito, utilizzo di mappe, modelli, ecc.;
- una **piattaforma di elaborazione** delle informazioni (implementata in EXCEL), in cui sono calcolate *pericolosità e vulnerabilità relative* (dipendenti dagli impatti degli eventi prevedibili nel sito); sono fornite inoltre *valutazioni di sintesi*, per tipologia di evento.



Modello di analisi multirischio. Chiesa di Santa Maria dei Miracoli a Venezia



FIRE



EARTHQUAKE



FLOOD



SANTA MARIA DEI MIRACOLI, VENICE F.Vfo. 2

FIRE

Regional Risk: ...
Local Risk: ...
Formal Vulnerability: ...
Functional Vulnerability: ...
Structural Vulnerability: ...

2. FURNISHINGS, COATINGS, OBJECTS, NON-STRUCTURAL ELEMENTS

In the following indicator we want to quantify the risk of damage to the contents of the building, objects, non-structural elements, etc. and their degree of resistance.

Elements with low fire resistance: High
Elements with medium fire resistance: Medium
Elements with high fire resistance: Low
Elements with very high fire resistance: Very Low

DESCRIPTION

The building is a church, with a series of furnishings, objects and non-structural elements with low resistance to fire. These have the disadvantage of being damaged by fire. Among the aforementioned objects we first have the non-structural walls of masonry, masonry and with different decorative finishes of various kinds, entrance internal vaults, etc. ...

SANTA MARIA DEI MIRACOLI, VENICE T.Vfo. 3

EARTHQUAKE

Regional Risk: ...
Local Risk: ...
Formal Vulnerability: ...
Functional Vulnerability: ...
Structural Vulnerability: ...

3. HEIGHT CONFIGURATION

The following indicator enables the building to be evaluated in terms of its height configuration in order to assess its seismic response.

Not suitable configuration to counter the seismic hazard: High
Slightly suitable configuration to counter the seismic hazard: Medium
Fully suitable configuration to counter the seismic hazard: Low
Very suitable configuration to counter the seismic hazard: Very Low

DESCRIPTION

The building is a church with a dome structure, with all the supporting structures at the periphery. The configuration allows a better response to seismic action.

SANTA MARIA DEI MIRACOLI, VENICE A.Vfo. 2

FLOOD

Regional Risk: ...
Local Risk: ...
Formal Vulnerability: ...
Functional Vulnerability: ...
Structural Vulnerability: ...

2. DISTRIBUTION TYPE

In the following indicator we want to quantify the risk of damage to the contents of the building, objects, non-structural elements, etc. and their degree of resistance.

Distribution index that makes evacuation very practical: High
Distribution index that makes evacuation practical: Medium
Distribution index that makes evacuation not very practical: Low
Distribution index that makes evacuation not practical: Very Low

DESCRIPTION

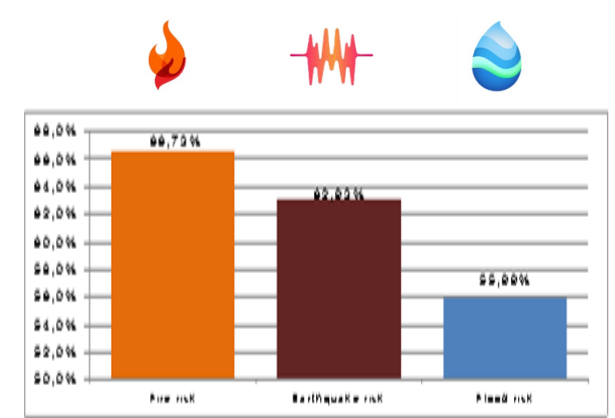
The church is a rectangular form and is surrounded on three sides by "water" and on the west long side by the "San Marco" area (single nave) with three aisles. The primary nave is on the high side, joined to the ground floor by a single nave staircase. The access (and/or egress) may occur through the staircase and side aisles, in particular there are three. There is, indeed, a plan staircase, which stands on the short south side of the factory and reaches the square in front of the San Marco and has also access doors that stand on the long east side of the facade in the church.

The height of the church makes the evacuation very difficult for people and items of all kinds, are easy to access. Considering the immediate sector of the church we can observe how the access routes are not optimal for the presence of narrow streets. ...

Taking into account the two different types of escape, it was assigned an average value.

Schede di valutazione

Parameter (General)	General weight	General Normalized	Component (Local)	Local weight	Local weight Normalized	Risk weight Normalized	Local Value	Num. Value	Norm. Value	Graphic Norm. Value	Local Weighted Value Normalized	Risk Weighted Value Normalized
Probability (Pg)	-	-	Seismic conditions	0.5176	1.0000	1.0000	100	1	1	1	0.4000	0.4000
Regional hazard (Rg)	0.3387	1.0000	Geological conditions	0.4732	0.4732	0.7028	high	4	0.4	0.4	0.3719	0.3719
Local hazard (Rl)	0.2324	0.7028	Conditions of the architectural-urban context	1	1.0000	1.0000	high	4	0.4	0.4	0.3660	0.3660
Vulnerability (Vc Structural)	0.2544	0.8333	Links between structural elements	0.1276	0.8333	0.8476	medium	3	0.6	0.6	0.4923	0.3987
Vulnerability (Vc Functional)	0.2789	1.0000	Additional non-structural elements	0.867	0.8333	0.8476	high	4	0.4	0.4	0.3719	0.3719
Vulnerability (Vc Distributional)	0.3324	1.0000	Structural typology	0.1847	0.8333	0.8476	medium	3	0.6	0.6	0.4923	0.3987
			Wall typology	0.6883	0.8333	0.8476	high	4	0.4	0.4	0.3719	0.3719
			Roof	0.0943	0.8333	0.8476	medium	3	0.6	0.6	0.4923	0.3987
			Furnishings, coatings, objects, non-structural elements	0.1474	0.7916	0.6076	medium	3	0.6	0.6	0.4923	0.3987
			Objects of cultural importance contained in the building	0.2021	0.7916	0.6076	high	4	0.4	0.4	0.3719	0.3719
			Building fire prevention system	0.3395	0.8754	0.5151	very high	5	1	1	0.2875	0.2875
			Fire-fighting equipment	0.3989	1.0000	0.5944	high	4	0.4	0.4	0.3719	0.3719
			Functional typology	0.3389	0.8333	0.8476	medium	3	0.6	0.6	0.4923	0.3987
			Staff for emergency intervention	0.4211	1.0000	1.0000	high	4	0.4	0.4	0.3719	0.3719
			Use of materials of the building	0.1209	0.8333	0.8476	medium	3	0.6	0.6	0.4923	0.3987



Indicatori sintetici di rischio

Metodologie, Tecnologie, Tecniche, Materiali (MTTM) e criteri di valutazione

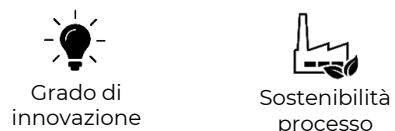
Applicabilità e impatti sull'edificio e sul sito



Costi e logistica di cantiere



Sostenibilità del processo produttivo



Nella ricerca sono state individuate **Metodologie, Tecnologie, Tecniche e Materiali (MTTM)** tradizionali e innovative per la mitigazione/miglioramento.

Le loro **prestazioni** sono state valutate con opportuni **criteri**.

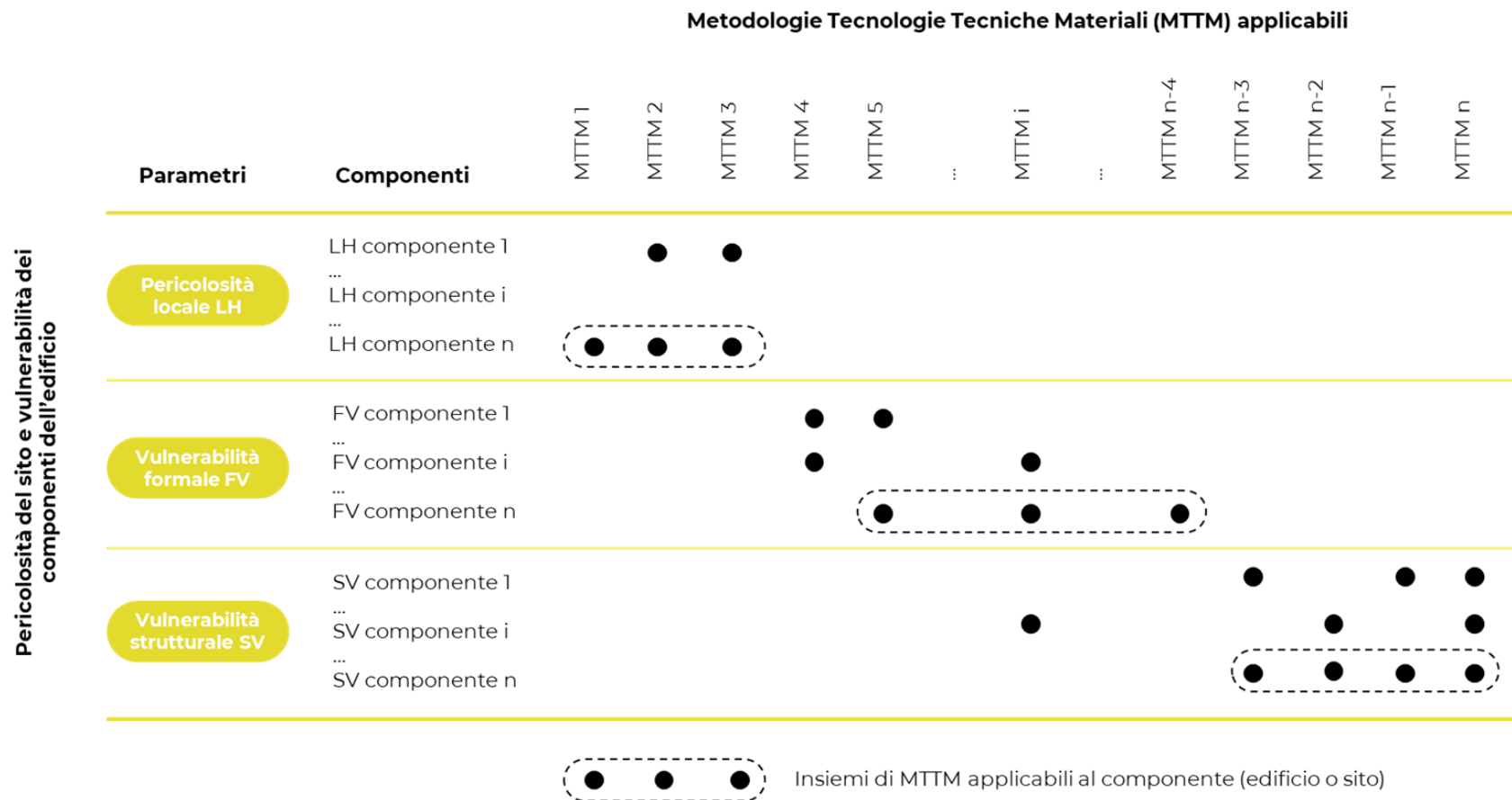
- **applicabilità e impatti sull'edificio e sul sito,**
- **costi e logistica di cantiere,**
- **sostenibilità del processo produttivo.**

Le **MTTM** per il **patrimonio architettonico storico** dovranno dare particolare attenzione ad alcuni aspetti: **vincoli di salvaguardia, eccessivo impatto** sull'edificio, **necessità di reversibilità**.

Ai criteri possono essere assegnati **pesi** che esprimono il punto di vista dell'utilizzatore/progettista, per cui **un criterio può essere più importante di un altro** (ad esempio, il costo potrebbe essere più importante del tempo di esecuzione).

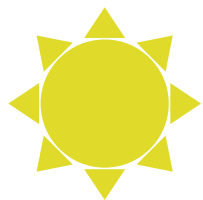


Analisi del rischio e opzioni di intervento (MTTM)



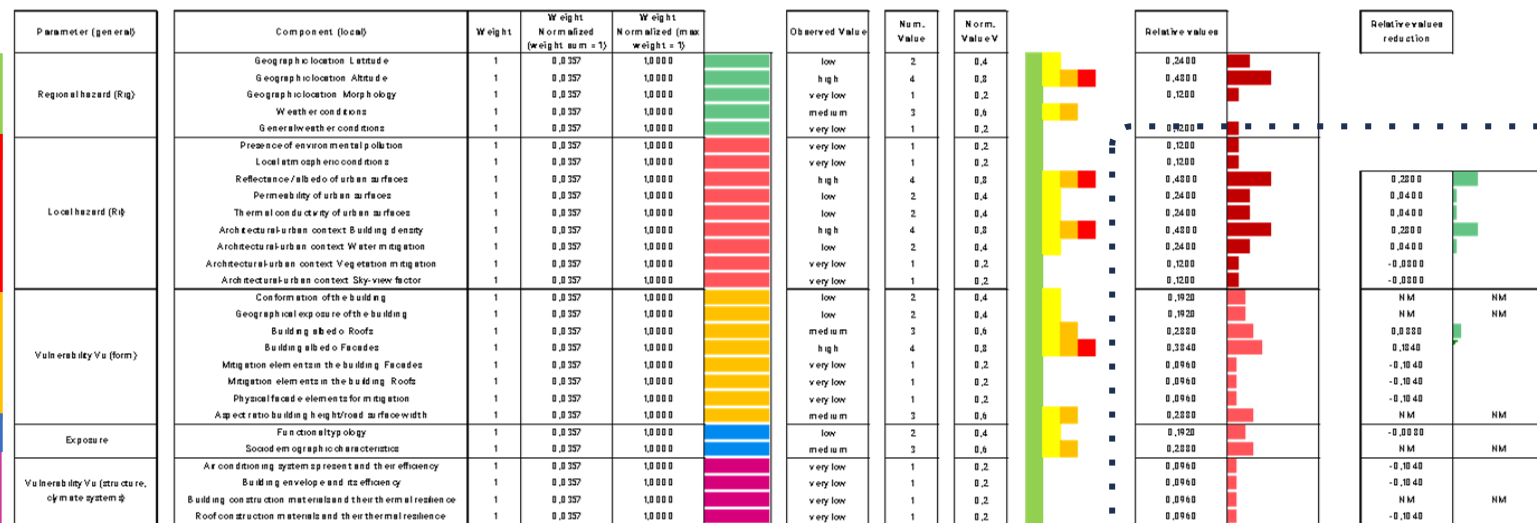
- Gli **indicatori** del modello di rischio vengono correlati a determinate **opzioni di intervento (MTTM)**.
- In questo modo si individuano quali **insiemi di opzioni** possono mitigare, adattare e/o migliorare le **pericolosità** e le **vulnerabilità** dell'edificio o del sito.
- Con **analisi multicriteria** può essere effettuato un **preliminare screening delle opzioni di intervento** ottenendo una selezione di quelle **più promettenti**, che possono **orientare il progettista** nella progettazione del cantiere.

Metodologia integrata: dall'analisi del rischio alle opzioni di intervento (MTTM)



Isole Urbane di Calore ed efficientamento energetico

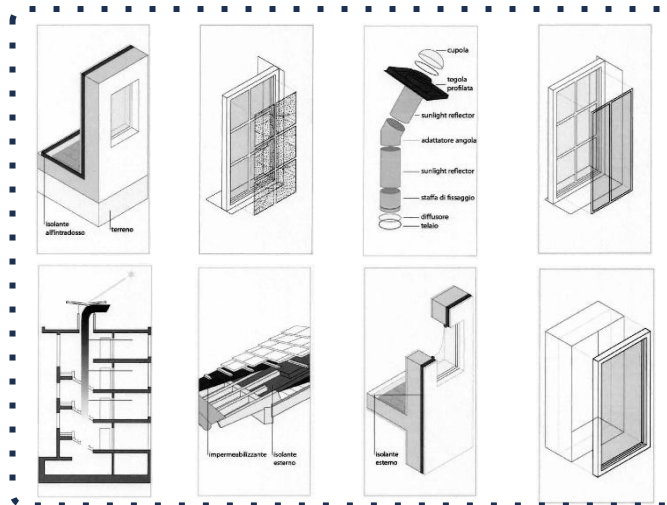
Pericolosità regionale
Pericolosità locale
Vulnerabilità formale
Esposizione
Vulnerabilità strutturale e impiantistica



Sistemi di climatizzazione per gli edifici storici



Fonte: MIC. Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. 2015



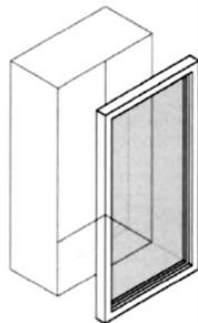
Tecnologie Metodologie Tecniche Materiali
e loro «performances» (riduzione della vulnerabilità / pericolosità)

Vulnerabilità / pericolosità
Domanda di «riduzione della vulnerabilità e pericolosità» dei componenti dell'edificio/sito

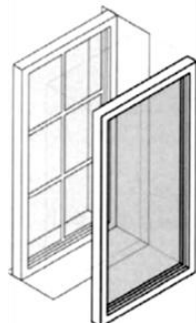


Un esempio di applicazione della metodologia.
 Efficientamento energetico dei serramenti negli edifici storici.
 Valutazione delle **opzioni di intervento** (MTTM)

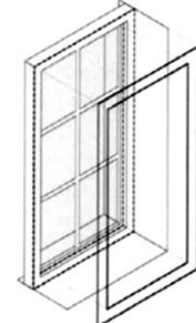
L'edificio campione, sottoposto a vincolo di tutela ex D.Lgs 42/2004, è caratterizzato da **originari infissi lignei a doppia anta, privi di vetrocamera.**



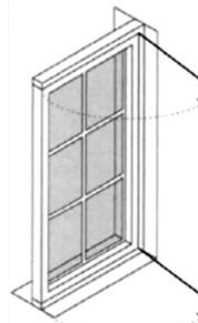
In. 7. Sostituzione dei serramenti con modelli ad alta prestazione energetica



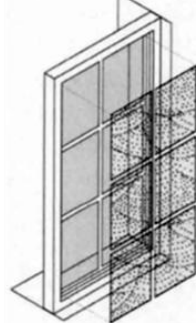
In. 9. Messa in opera, sul lato interno delle ante mobili, di una seconda anta vetrata



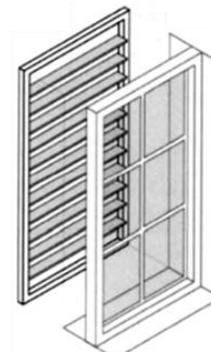
In. 11. Isolamento e tenuta all'aria del telaio



In. 13. Meccanizzazione del serramento esistente o del nuovo serramento



In. 19. Applicazione al vetro di pellicole a controllo solare



In. 20. Installazione di schermi interni

In.07

Sostituzione del serramento con modelli ad alta prestazione energetica

CS.02	M.05
	M.06
	M.09

Principio di funzionamento
 Nel bilancio energetico di un involucro il serramento rappresenta un punto critico per le sue caratteristiche costruttive e funzionali, in quanto deve bilanciare le esigenze di isolamento termico, controllo solare, contatto visivo, comfort microclimatico e acustico e sicurezza degli utenti. La misura prevede la sostituzione delle finestre esistenti con serramenti ad alta prestazione energetica. Ai fini di un'ottimizzazione energetica, è necessario progettare un sistema di vetrazione che bilanci le prestazioni d'isolamento termico e controllo solare e in seguito scegliere le caratteristiche del telaio in relazione alle esigenze estetiche, al costo, alla prestazione termica, alla tenuta all'aria.

Applicabilità
 La sostituzione completa delle finestre necessita innanzi tutto di una valutazione del valore intrinseco del serramento esistente. Se il serramento può essere considerato come elemento di pregio che contribuisce al valore dell'edificio, sarà necessario operare scelte meno incisive.

Vantaggi / Svantaggi / Rischi
 La sostituzione della finestra comporta:
 • una riduzione del carico termico legato ai serramenti tra il 40% e l'80% a seconda del tipo di vetro che viene sostituito;
 • un controllo del guadagno solare legato ai serramenti fino al 70% in caso di uno di vetri basso emissivi o selettivi;
 • una riduzione delle infiltrazioni d'aria fino al 94% con un serramento ad alta tenuta.
 L'installazione corretta di un nuovo serramento garantisce la tenuta all'aria evitando infiltrazioni indesiderate. Occorre tuttavia evitare che l'ermeticità dei nuovi componenti possa pregiudicare la ventilazione dei locali, che deve essere comunque garantita eventualmente attraverso ventilazione meccanica controllata o manuale. La mancanza di ricambi d'aria potrebbe portare alla formazione di condensa superficiale, causa di discomfort termico e di degrado delle pareti.

Sinergie e Interazioni
 La scelta del tipo di serramento da inserire necessita di una valutazione attenta delle prestazioni in essere del serramento esistente, delle variabili climatiche locali, della posizione del serramento, della funzione dell'edificio e delle tecniche di posa in opera. È necessario considerare la compatibilità dimensionale e materica della finestra rispetto al vano murario e alla stratigrafia della parete esterna. È opportuno posare il serramento in continuità dell'isolamento termico e dell'intercapedine della parete, se presente; coibentare il cassonetto e il vano termosifone sotto finestra, se presenti. Sarà inoltre opportuno valutare il funzionamento energetico della muratura esistente, per far sì che il comportamento della nuova finestra assecondi e non contrasti quello delle altre parti dell'edificio. I vantaggi portati dalla sostituzione dell'infisso sono fortemente influenzati dal tipo di telaio (fisso/mobile; taglio termico; tenuta all'aria) e dal tipo di vetro (vetri selettivi, vetri energetici, vetri camera, ecc.).

Riferimenti normativi
 D.lgs 311/2006, Valori limite della trasmittanza termica "U" delle "chiusure trasparenti comprensive degli infissi" di serramenti completi e dei vetri.
 UNI EN 14353-1:2018 - Finestre e porte - Norme di prodotto, caratteristiche prestazionali.
 UNI EN ISO 10077, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica.

unità tecnologica

chiusure trasparenti

adeguamento superficiale

compatibilità reversibilità invariabilità

B M A B M A B M A

azioni: isolare captare distribuire / scambiare accumulare dissipare

Fonte:
 MIC. Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale. 2015



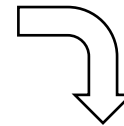
Valutazione multicriteria delle Opzioni di intervento. Criteri di **applicabilità e impatti**



	Applicabilità e impatti / Applicability and impacts				
	Efficacia / Efficacy	Applicabilità / Applicability	Reversibilità / Reversibility	Impatto formale e costruttivo sulla fabbrica / Formal and constructive impact on the factory	Durabilità dell'intervento / Durability of the intervention
In. 07. Sostituzione dei serramenti con modelli ad alta prestazione energetica / Replacement of windows with high energy performance models	****	***	*** / ****	***	****
In. 09. Messa in opera, sul lato interno delle ante mobili, di una seconda anta vetrata / Installation of a second glass door on the inside of the mobile doors	**** / ****	****	**** / ****	**** / ****	**** / ****
In. 11. Isolamento e tenuta all'aria del telaio / Frame insulation and airtightness	****	****	****	****	*** / ****
In. 13. Meccanizzazione del serramento esistente o del nuovo serramento / Mechanization of existing or new window frames	****	**** / ****	**** / ****	**** / ****	****
In. 19. Applicazione al vetro di pellicole a controllo solare / Application of solar control films to glass	**** / ****	****	**** / ****	****	*** / ****
In. 20. Installazione di schermi interni / Installation of internal screens	*** / ****	****	***	**** / ****	****

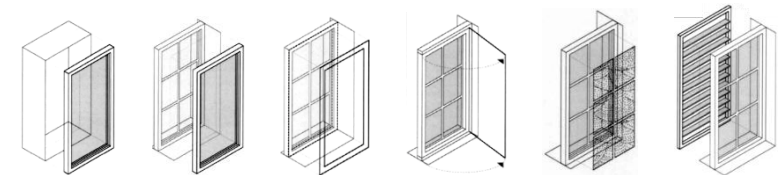
I **pesi (W)** assegnati ai criteri “applicabilità e impatti” considerano come prioritari:

- **Efficacia**
- **minimizzazione dell’impatto sulla fabbrica**
- **massimizzazione della durabilità dell’intervento.**



Matrice Applicabilità e impatti

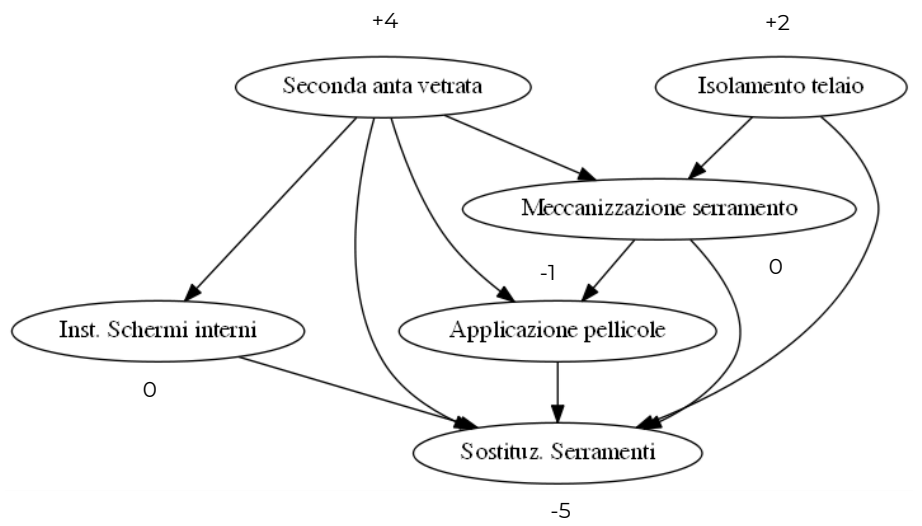
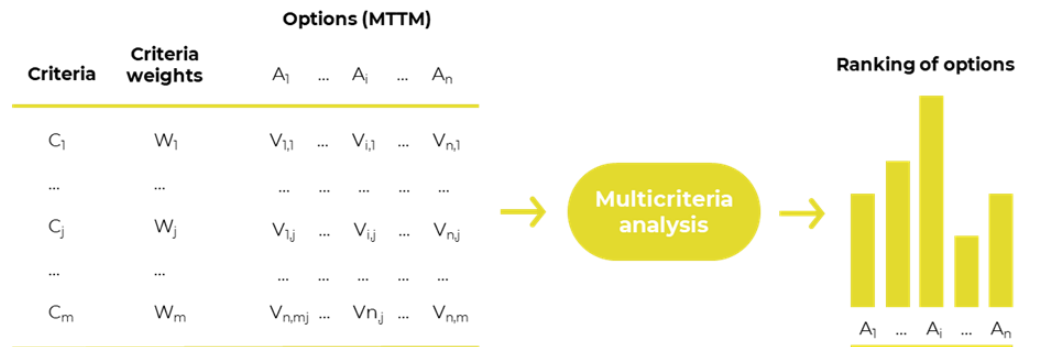
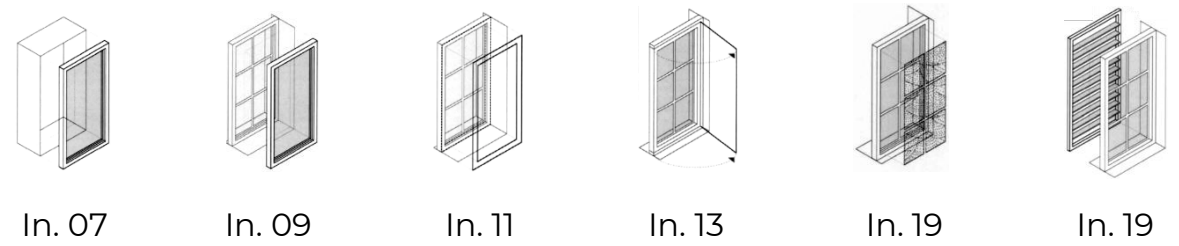
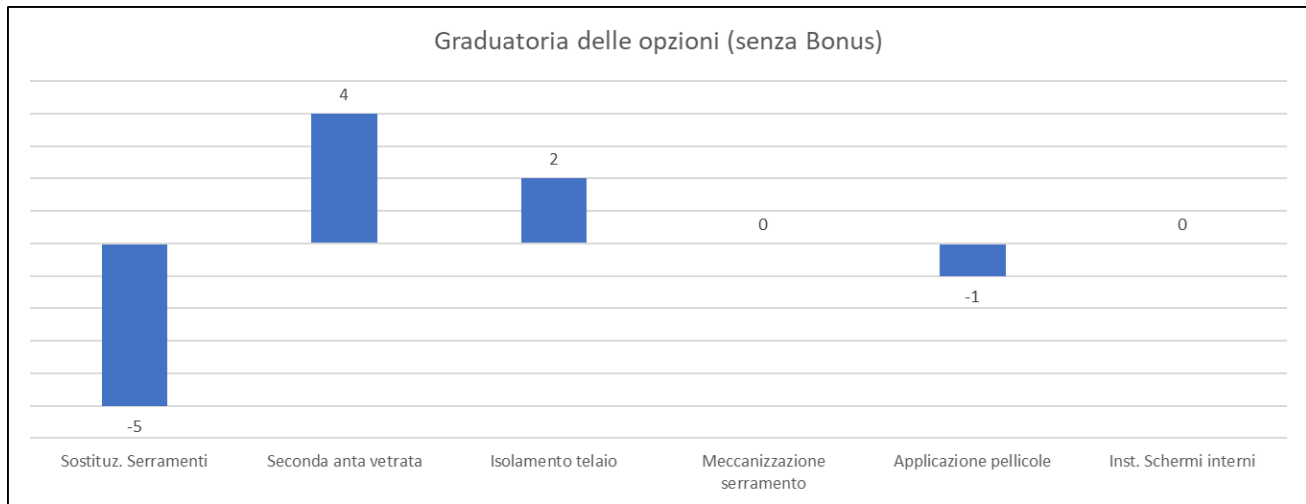
	Sostituz. Serramenti	Seconda anta vetrata	Isolamento telaio	Meccanizzazioni	Applicazione pellicole	Inst. Schermi interni	w
Efficacia	4,00	4,50	4,00	4,00	4,50	3,50	5,00
Applicabilità	3,00	4,00	5,00	4,50	4,00	4,00	3,00
Reversibilità	3,50	4,50	5,00	4,50	4,50	4,00	2,00
Impatto sulla fabbrica	3,00	4,50	5,00	4,50	4,00	4,50	4,00
Durabilità	4,00	4,50	3,50	4,00	3,50	5,00	4,00



In. 07 In. 09 In. 11 In. 13 In. 19 In. 19



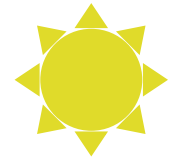
Criteri di **applicabilità e impatti.** Metodologia multicriteria ELECTRE. Graduatoria delle opzioni



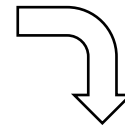


Valutazione multicriteria delle Opzioni di intervento. Criteri di **logistica di cantiere e costi**

Messa in opera. Logistica di cantiere e costi / Implementation. Construction site logistics and costs



	Costo monetario / Monetary cost	Complessità del cantiere / Complexity of the construction site	Disponibilità sul mercato (temporale) / Availability on the market (temporal)	Tempo di esecuzione / Execution time	Costi di manutenzione dell'intervento / Maintenance costs of the intervention	Necessità di interventi integrativi / Need for integrative interventions	Limitazione dell'uso dell'edificio / Restriction of use of the building
In. 07. Sostituzione dei serramenti con modelli ad alta prestazione energetica / Replacement of windows with high energy performance models	***	***	***	*** / ****	****	***	*** / ****
In. 09. Messa in opera, sul lato interno delle ante mobili, di una seconda anta vetrata / Installation of a second glass door on the inside of the mobile doors	***	***	***	***	***	***	**** / ****
In. 11. Isolamento e tenuta all'aria del telaio / Frame insulation and airtightness	****	****	****	****	** / ***	** / ****	****
In. 13. Meccanizzazione del serramento esistente o del nuovo serramento / Mechanization of existing or new window frames	***	*** / ****	***	****	***	***	****
In. 19. Applicazione al vetro di pellicole a controllo solare / Application of solar control films to glass	*** / ****	** / ***	***	****	***	***	****
In. 20. Installazione di schermi interni / Installation of internal screens	**** / ****	**** / ****	***	*** / ****	***	***	*** / ****

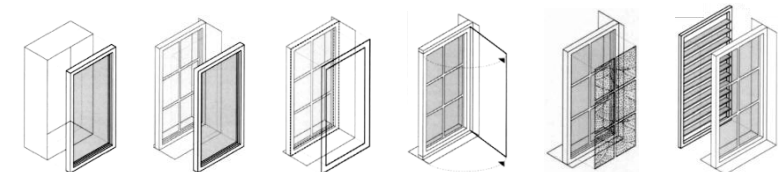


I pesi (W) assegnati ai criteri “logistica di cantiere e costi” considerano come prioritari:

- **Minimizzazione dei costi di esecuzione**
- **Minimizzazione della limitazione d'uso dell'edificio**
- **Minimizzazione dei costi di manutenzione futuri**

Matrice Logistica di cantiere e costi

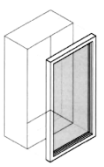
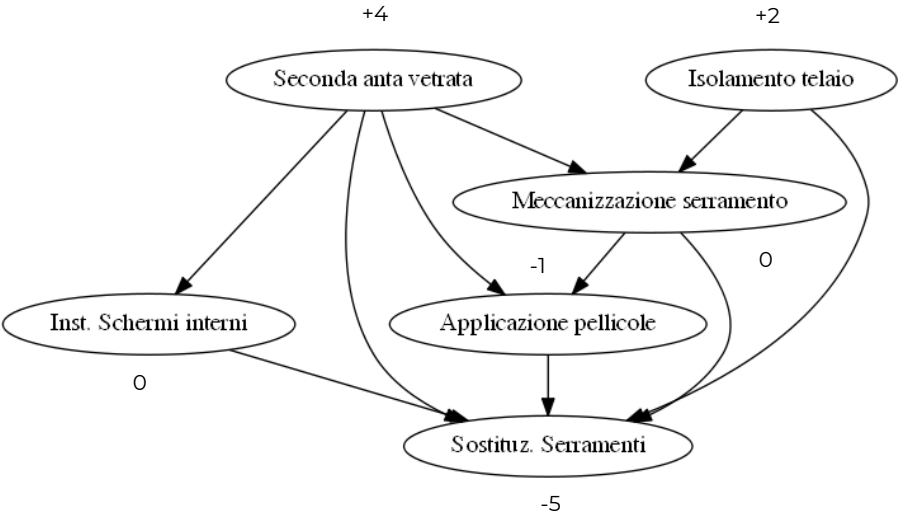
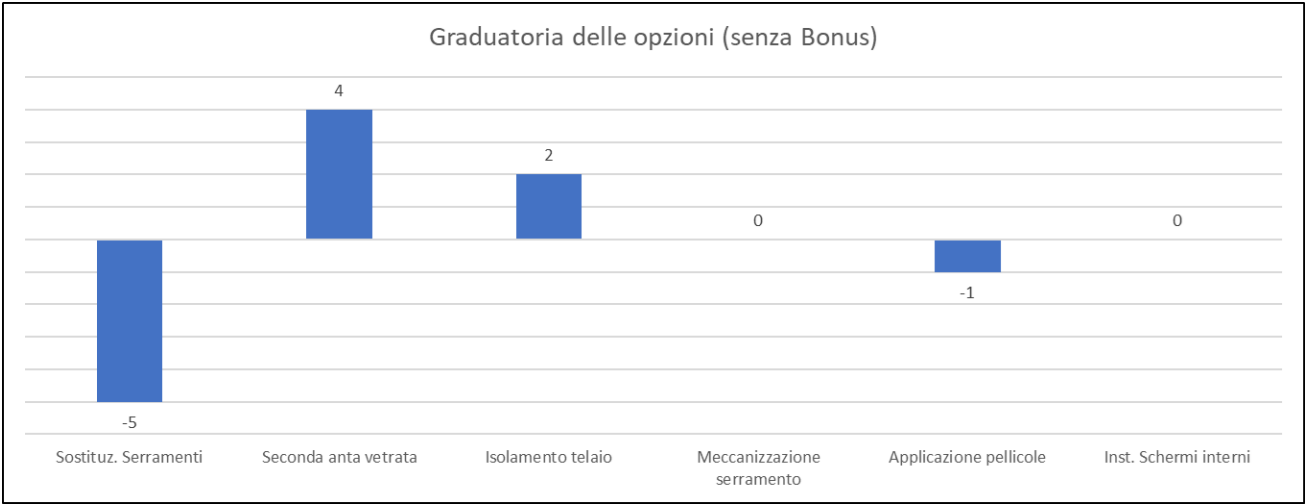
	Sostituz. Serramenti	Seconda anta vetrata	Isolamento telaio	Meccanizzazioni	Applicazione pellicole	Inst. Schermi interni	W
Costo monetario	3,00	3,00	5,00	3,00	3,50	4,50	4,00
Complessità del cantiere	3,00	3,00	5,00	3,50	2,50	4,50	3,00
Disponibilità	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Tempo di esecuzione	3,50	3,00	5,00	4,00	4,00	3,50	2,00
Costi manutenzione	4,00	3,00	2,50	3,00	3,00	3,00	4,00
Interventi integrativi	3,00	3,00	3,50	3,00	3,00	3,00	4,00
Limitazione uso	3,50	4,50	4,00	4,00	4,00	3,50	5,00



In. 07 In. 09 In. 11 In. 13 In. 19 In. 19



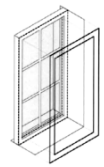
Criteri di **logistica di cantiere e costi.** Metodologia multicriteria ELECTRE. Graduatoria delle opzioni



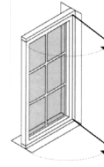
In. 07



In. 09



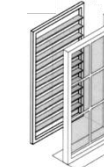
In. 11



In. 13



In. 19



In. 19

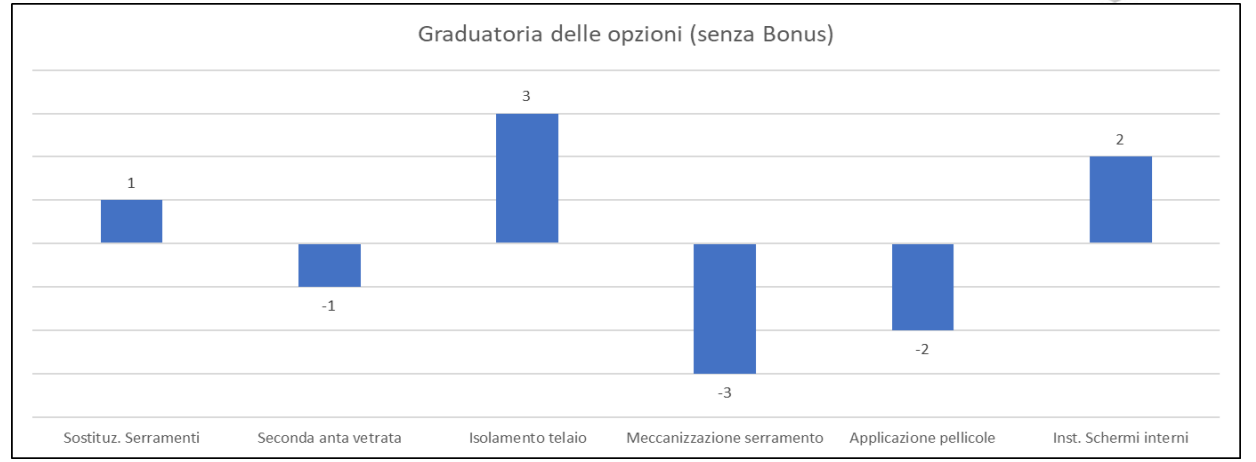
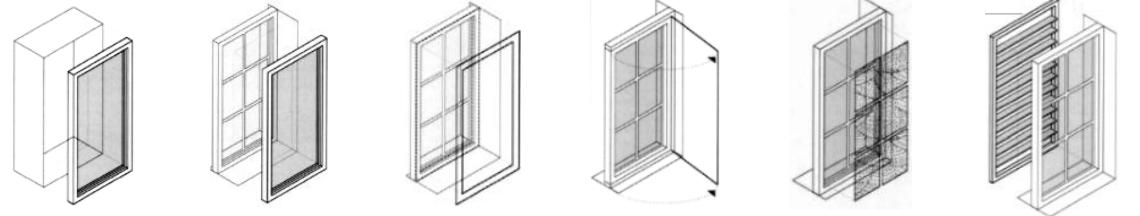
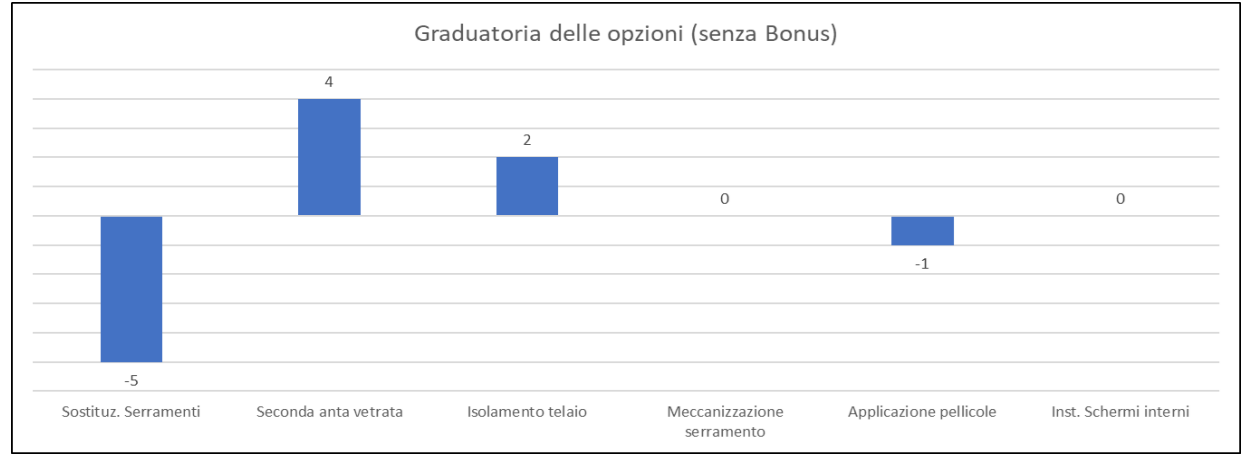


Performances delle opzioni. Confronto tra le due tipologie di criteri.

- alcune opzioni appaiono **“abbastanza” preferibili** per entrambe le tipologie di criteri (**“isolamento telaio”, “installazione di schermi interni”**)
- per altre opzioni c’è un **disaccordo**, anche molto evidente (**“sostituzione serramenti”, “seconda anta vetrata”**)
- altre opzioni sono decisamente **“meno preferibili”** per entrambe le tipologie di criteri (**“meccanizzazione serramento”, “applicazione pellicole”**).

Matrice Applicabilità e impatti

Matrice Logistica di cantiere e costi





Conclusioni e sviluppi futuri

È stata sviluppata nel **Progetto iNEST** una metodologia per analizzare i rischi e individuare soluzioni su misura per **adeguamento, miglioramento e mitigazione** degli edifici e siti storici.

Gli strumenti sono **adattabili su scala edilizia, urbana e territoriale**.

È un modello **replicabile, scalabile e flessibile**, pensato per le sfide della **transizione ecologica** e della **salvaguardia e valorizzazione sostenibile** del patrimonio.

La metodologia può favorire la **collaborazione tra enti, progettisti e comunità locali**.

La metodologia può rendere **più efficiente la filiera di cantiere**, ad esempio favorendo **l'integrazione tra più interventi** (es. efficientamento **energetico** e **sismico**).

Gli strumenti saranno **testati su ulteriori casi studio** e ulteriormente potenziati.

Verranno sviluppati ulteriori tool per **valutare il valore** dei beni storici, valutare il rischio e gli interventi per **edifici speciali** (es. chiese), integrare altri eventi (naturali o antropici).

Riferimenti

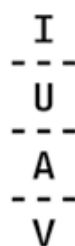


corila.it

Pierpaolo Campostrini
Chiara Dall'Angelo
Enrico Rinaldi

Consorzio iNEST
Sede. c/o Area Ricerca e rapporti con
le imprese Via Martiri della Libertà 8,
35137 Padova (PD)

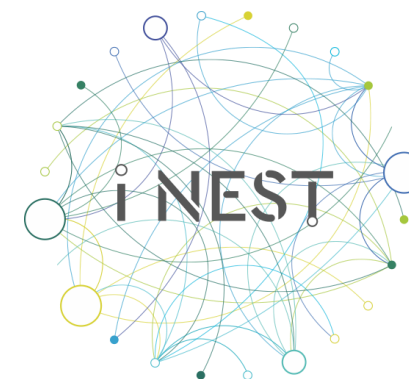
e-mail: coordinamento.pnrr@unipd.it
CF: 92315730280



Università IUAV
di Venezia

Lorenzo Fabian (coordinatore Spoke 4)
Paolo Faccio
Sara Di Resta
Laura Rappa

iuav.it



www.consorzioinest.it