

REGIONE TOSCANA

BANDI RS - PR FESR 2021-2027, Azione 1.1.4

BANDO N. 2: Progetti di R&S per MPMI e Midcap



Green, Utility, Accessibility, Resilience, Digital Integration, Ability, Nature, Sustainability.

CUPST: 27717.29122023.043000716

Deliverable D1.4

All. file Scheda_Esperto_Locale.xlsx

Rapporto analisi AHP sui coefficienti di ponderazione SRI

Versione 2.1

Data: 6/02/2026

Autori	
Emanuele Salerno	CNR-ISTI

Approvato	
Simone Bemi	BM Srl Società Benefit

Tabella acronimi e abbreviazioni

ACS	Acqua calda sanitaria (vedi DHV)
AHP	Analysis of the Hierarchical Process
APE	Attestato di prestazione energetica (vedi EPC)
BACS	Buiding automation and control systems (sistemi di automazione e controllo di edifici)
CHP	Control of combined heat and power plant
DHW	Domestic hot water (= ACS)
DSM	Demand side management
EED	Energy efficiency directive (direttiva efficienza energetica, 2012/27/UE)
EPBD	Energy performance of buildings directive (direttiva prestazione energetica degli edifici, 2010/31/UE, 2018/844/UE, 2024/1275/UE)
EPC	Energy performance certificate (=APE)
EV	Electric vehicle (veicolo elettrico)
HVAC	Riscaldamento, ventilazione e aria condizionata
IAQ	Indoor Air Quality
MV	Mechanical ventilation (ventilazione meccanica)
M&C	Monitoring and control (monitoraggio e controllo)
NZEB	Near-Zero-Emission Building (edificio a emissioni quasi zero)
SRI	Smart readiness indicator (indice di predisposizione all'intelligenza)
SRT	Smart ready technologies (tecnologie predisposte all'intelligenza)
TABS	Thermally activated building structures (Strutture di edificio attivate termicamente)
TES	Thermal Energy Storage for building heating (excluding TABS)
TBS	Technical building systems (sistemi tecnologici di edificio)
VMC	Ventilazione meccanica controllata
ZEB	Zero-Emission Building (edificio a emissioni zero, o casa passiva)

1. Introduzione

Il presente documento riporta i risultati dell'analisi secondo la procedura Analysis of the Hierarchical Process (AHP) condotta con l'aiuto dei partner di progetto e stakeholder esterni sui coefficienti di ponderazione più adeguati per i criteri SRI che il gruppo di supporto tecnico ha giudicato non basabili su dati scientifici oggettivi e ha quindi concluso che dovessero essere pesati in ugual misura [1]. Quanto di interesse del progetto GUARDIANS sull'SRI è riportato in dettaglio in [2].

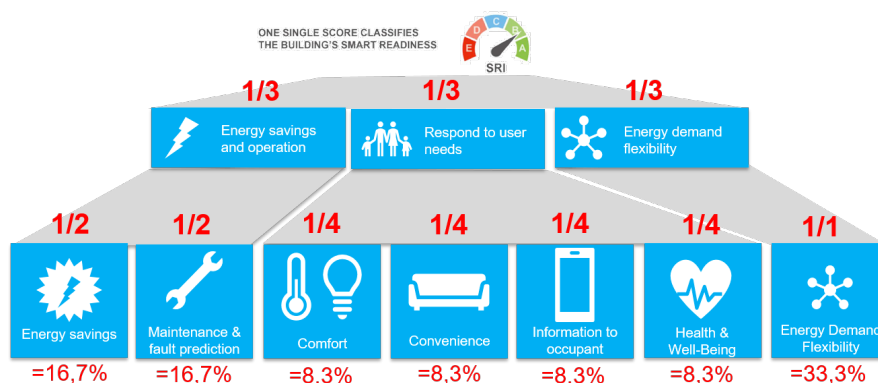


Figura 1 (da [1, p. 118]): Fattori di ponderazione attualmente attribuiti alle tre funzionalità chiave e ai sette criteri d'impatto.

Come si vede da Fig. 1, le tre funzionalità chiave pesano tutte 1/3, i due criteri d'impatto sotto Risparmio Energetico e Funzionamento pesano entrambi 1/2, i quattro criteri sotto la funzionalità Risposta ai Bisogni degli Occupanti pesano tutti 1/4, e l'unico criterio sotto Flessibilità della Domanda Energetica pesa 1. A proposito di quest'ultima scelta, è già stato osservato [3] che essa comporta che il criterio di flessibilità energetica pesi da solo 1/3 della valutazione finale, cosa che a prima vista non appare adeguata, anche alla luce del fatto che le tecnologie di comunicazione della rete di distribuzione da e verso le utenze non sono ancora completamente mature.

Per quanto riguarda i domini tecnologici, in Fig. 2 sono riquadrate in verde le caselle i cui pesi dipendono da bilanci energetici, ossia: a) da valori standard dipendenti dalla zona climatica in cui insiste l'edificio da valutare (tra quelle stabilite in [1]); b) da valori climatici dipendenti più puntualmente da misure e statistiche condotte nell'arco dell'anno, come per il sistema dei gradi-giorno che definisce le zone climatiche in vigore in Italia; c) da bilanci energetici specifici del particolare edificio soggetto a valutazione, normalmente desumibili dall'attestato APE. Dalla stessa figura si vedono caselle, riquadrate in arancione, ai cui corrispondenti elementi sono stati attribuiti pesi fissi, decisi a seguito delle procedure di consultazione adottate dal gruppo di supporto tecnico. Le rimanenti caselle, riquadrate in giallo, contengono per ogni criterio d'impatto pesi uniformemente distribuiti su tutti i domini tecnologici rilevanti per il criterio d'impatto cui si riferiscono.

Il programma del progetto GUARDIANS non prevede di valutare la bontà della gerarchia di criteri stabilita dal regolamento delegato 2020/2155/EU, né di proporre modifiche sui pesi fissi o dipendenti da bilanci energetici, né di valutare la rilevanza dei domini tecnologici ai fini dei criteri d'impatto che li sottendono. In altre parole, rispetto alla Fig. 2, non si prende qui in considerazione il contenuto delle caselle riquadrate in verde o in arancione, né possibili valori per le caselle ombreggiate in grigio. Tuttavia, pur in assenza di dati "scientifici", ci proponiamo

di valutare l'adeguatezza dei coefficienti di ponderazione indicati in Fig. 1 e di quelli riquadrati in giallo in Fig. 2, sulla base della sensibilità dei partner di progetto e di professionisti legati alla filiera edilizia attivi nell'ambito territoriale Toscano costiero.

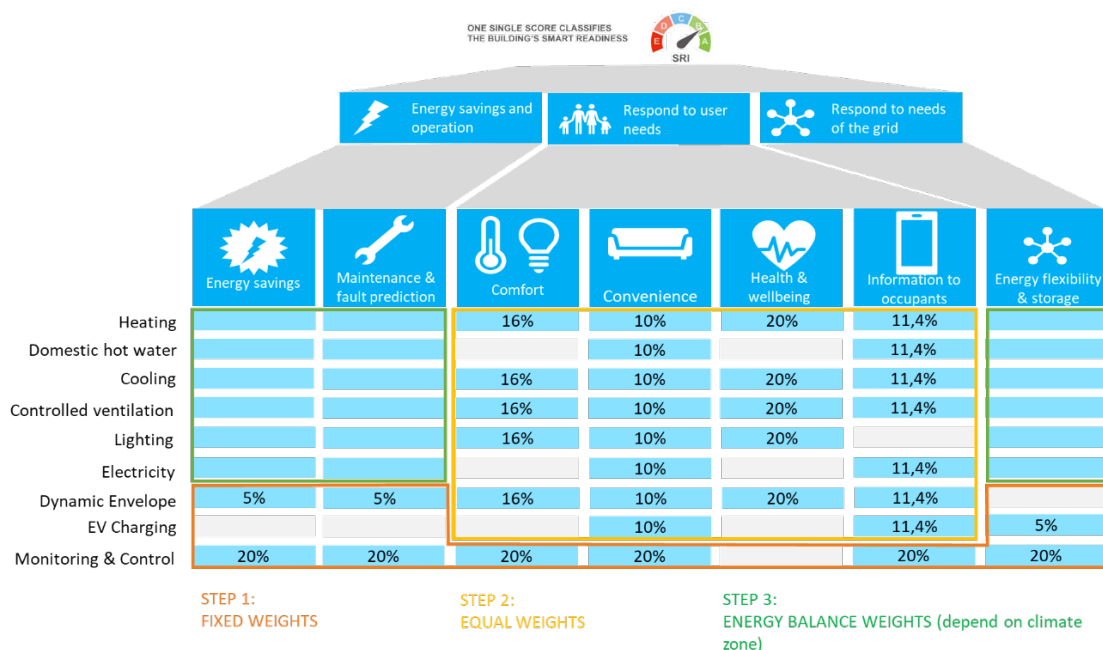


Figura 2 (da [1. p. 119]): Fattori di ponderazione dei domini tecnologici nei confronti dei criteri d'impatto

La procedura prevista dal programma GUARDIANS consiste nel metodo AHP [4] basato essenzialmente su confronti a due a due dei diversi elementi da valutare e dal calcolo dell'autovettore dominante di una matrice reciproca positiva derivata da tali confronti. Questa tecnica, come si vedrà al Paragrafo 2, consente di tenere conto di giudizi sia quantitativi e oggettivi sia qualitativi e soggettivi, e permette di valutare l'autoconsistenza dei giudizi formulati e di cumulare i risultati prodotti da parte di diversi valutatori (da qui in poi, "giudici") anche di orientamento e formazione diversi. Un altro vantaggio offerto dalla procedura AHP è l'assenza di interazione tra i diversi giudici. Questo permette di evitare bias dovuti a possibili influenze eccessive da parte di giudici particolarmente autorevoli o seguiti.

Il nostro programma prevede dunque di prendere contatto con diversi stakeholder tra progettisti, installatori, manutentori e amministratori, quindi tenere una serie di seminari di introduzione all'SRI e chiedere i contributi dei partecipanti per mezzo della compilazione di una scheda di valutazione AHP da cui si possono ricavare le classifiche ordinali e cardinali dei vari elementi a confronto.

Al Paragrafo 2 si trova una descrizione essenziale del metodo AHP. Al Paragrafo 3, viene invece specificato come quei concetti sono applicati al nostro caso, con la descrizione delle schede di valutazione contenute in un file Excel specificamente approntato per essere sottoposto ai giudici. Al Paragrafo 4 sono riportati i risultati cumulativi ottenuti insieme a brevi osservazioni che saranno maggiormente sviluppate nel paragrafo conclusivo. Le appendici riportano i codici Matlab usati per il calcolo delle classifiche AHP e per la valutazione della consistenza dei giudizi ricevuti. In allegato al presente documento viene fornito il file Excel con le schede di valutazione sottoposte ai giudici.

2. L'essenziale sull'Analysis of the Hierarchical Process

Supponiamo di voler assumere una decisione sulla base di una gerarchia di criteri con un qualsiasi numero di livelli. Per essere concreti, supponiamo che la decisione finale si basi su M criteri e che ognuno di essi sottenda un certo numero N_{ji} di "sottocriteri", con j che va da 1 a M e i che assume valore massimo N_j per ogni j . In Figura 3 è mostrata graficamente questa semplice gerarchia, limitata a due soli livelli. Ciò è sufficiente per i nostri fini; una trattazione completa si può trovare in [4] e nei riferimenti ivi contenuti.

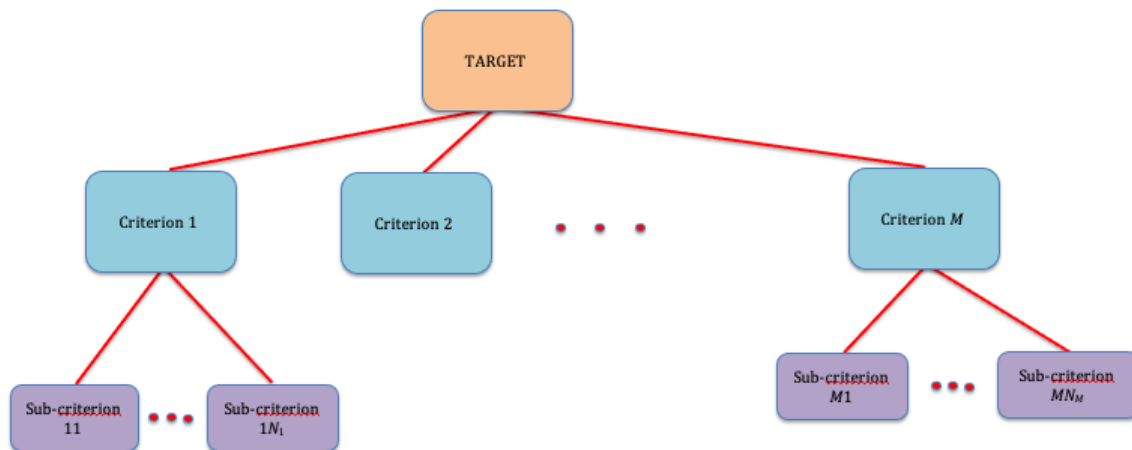


Figura 3: Gerarchia di criteri a due livelli

Stabilire direttamente una classifica di importanza dei sottocriteri e dei criteri nei confronti della decisione finale (in figura, il "Target") può non essere semplice, specie se questi sono in numero notevole. La soluzione descritta in [4], Analysis of the Hierarchical Process (AHP), si basa su una valutazione da parte di un giudice fatta confrontando gli elementi a due a due. Per scendere ancora più nel particolare, supponiamo di avere tre criteri con tre sottocriteri ciascuno.

Per quanto riguarda ognuno dei criteri, al giudice vengono poste le seguenti domande:

1. Ai fini del target, il criterio 1 è più o meno importante del criterio 2?
2. Ai fini del target, il criterio 1 è più o meno importante del criterio 3?
3. Ai fini del target, il criterio 2 è più o meno importante del criterio 3?

Per ognuna di tali domande, nei casi in cui il primo criterio sia giudicato di uguale o maggiore importanza del secondo, il giudice ha a disposizione una scala di nove interi per indicare "di quanto" è più importante:

I valori 1, 3, 5, 7 e 9 hanno il seguente significato:

- 1: I due criteri hanno uguale importanza
- 3: Il primo criterio è poco più importante del secondo
- 5: Il primo criterio è moderatamente più importante del secondo
- 7: Il primo criterio è abbastanza più importante del secondo
- 9: Il primo criterio è molto più importante del secondo

Il giudice ha anche la possibilità di proporre i valori 2, 4, 6 e 8 nel caso voglia esprimere un livello intermedio tra due dei valori sopra specificati.

Nel caso in cui il primo criterio sia invece giudicato meno importante del secondo, il giudice proporrà valori reciproci rispetto a quelli sopra specificati:

1/3: Il primo criterio è poco meno importante del secondo

1/5: Il primo criterio è moderatamente meno importante del secondo

1/7: Il primo criterio è abbastanza meno importante del secondo

1/9: Il primo criterio è molto meno importante del secondo

Anche in questo caso, è possibile ricorrere ai valori intermedi 1/2, 1/4, 1/6, 1/8.

In generale, se i criteri da confrontare sono N, al giudice saranno poste $N(N-1)/2$ domande. I giudizi espressi possono essere raccolti in una matrice quadrata, detta “matrice di giudizio” i cui elementi diagonali sono tutti 1 (in quanto rappresentano i confronti di ogni criterio con sé stesso) e ogni elemento nel triangolo inferiore è il reciproco del corrispondente elemento nel triangolo superiore (se il criterio 1 confrontato con il criterio 2 vale p.es. 5, il criterio 2 confrontato con il criterio 1 varrà ovviamente 1/5). Nell’esempio qui sotto, l’elemento (i,j) della matrice rappresenta il giudizio dato sul confronto tra il criterio i e il criterio j.

$$\begin{array}{l} \text{c. 1} \quad \text{c. 2} \quad \text{c. 3} \\ \text{criterio 1} \left[\begin{array}{ccc} 1 & 1/2 & 3 \end{array} \right. \\ \text{criterio 2} \left[\begin{array}{ccc} 2 & 1 & 5 \end{array} \right. \\ \text{criterio 3} \left[\begin{array}{ccc} 1/3 & 1/5 & 1 \end{array} \right] \end{array}$$

Quindi, il valore 3 assegnato all’elemento (1,3) significa che il criterio 1 è poco più importante del criterio 3. Corrispondentemente, il criterio 3 sarà poco meno importante del criterio 1, e quindi l’elemento (3,1) sarà il reciproco dell’elemento (1,3), cioè 1/3.

Matrici di questo tipo sono dette “reciproche positive”, e hanno sicuramente un autovalore reale non minore del numero delle loro righe e colonne. Nel caso dell’esempio, abbiamo autovalore $\lambda_{max} = 3.0037$. Come vedremo, questa proprietà delle matrici reciproche positive servirà per valutare la non contraddittorietà dei giudizi espressi.

Una volta ottenuta la matrice, l’autovalore associato a λ_{max} (normalizzato a somma 1) riporterà la classifica dei criteri analizzati in valori percentuali. Nel caso dell’esempio,

$$v = \begin{bmatrix} 0.31 \\ 0.58 \\ 0.11 \end{bmatrix}$$

rappresenta una classifica cardinale di importanza dei tre criteri. Come si rileva anche dagli elementi della matrice, il criterio 2 è più importante del criterio 1 e del criterio 3, e il criterio 1 è più importante del criterio 3. In più, abbiamo anche in che percentuale ogni criterio influisce sul valore attribuito al target. Se dunque ogni criterio riceve un “punteggio” (qualunque cosa ciò voglia dire) dai livelli inferiori della gerarchia, lo trasmette al target moltiplicato per la sua percentuale, o “peso”, o “coefficiente di ponderazione”. Continuando con l’esempio, se il criterio 1 riceve un punteggio, diciamo, $p_1 = 100$, il criterio 2 riceve $p_2 = 70$ e il criterio 3 riceve $p_3 = 200$, il valore attribuito al target sarà

$$t = p_1 \cdot v_1 + p_2 \cdot v_2 + p_3 \cdot v_3 = 100 \cdot 0.31 + 70 \cdot 0.58 + 200 \cdot 0.11 = 93.6$$

La stessa procedura si segue per ogni gruppo di sottocriteri per arrivare al punteggio da attribuire ad ogni criterio. Il tutto si riassume in una tabella detta "di decisione", che nel caso preso ad esempio di tre criteri ognuno con tre sottocriteri è strutturata come segue:

$t = p_1 v_1 + p_2 v_2 + p_3 v_3$								
v_1			v_2			v_3		
$p_1 = p_{11}v_{11} + p_{12}v_{12} + p_{13}v_{13}$			$p_2 = p_{21}v_{21} + p_{22}v_{22} + p_{23}v_{23}$			$p_3 = p_{31}v_{31} + p_{32}v_{32} + p_{33}v_{33}$		
v_{11}	v_{12}	v_{13}	v_{21}	v_{22}	v_{23}	v_{31}	v_{32}	v_{33}
p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{31}	p_{32}	p_{33}

Nell'ultima riga appaiono i punteggi ottenuti dai nove sottocriteri, nella penultima i relativi pesi basati sui giudizi di importanza dei sottocriteri, nella terza i punteggi ottenuti dai tre criteri combinando i precedenti pesi e punteggi, e nella seconda i pesi ottenuti per i criteri in base ai giudizi formulati dai giudici. Infine, nella prima riga, appare il valore del target ottenuto combinando i punteggi e i pesi dei criteri. Questo tipo di gerarchia si può generalizzare a piacere, con un qualunque numero di livelli e un qualunque numero di criteri e sottocriteri per ogni livello.

Torniamo alla matrice di giudizio introdotta sopra. Abbiamo detto che, se l'ordine di una matrice reciproca positiva è N, essa ammetterà sempre un autovalore massimo reale λ_{max} maggiore o uguale a N. I giudizi umani sono spesso soggettivi e qualitativi, per cui un certo grado di contraddittorietà o inconsistenza è tollerato. Tradotto nella procedura qui descritta, più λ_{max} è maggiore di N più i giudizi espressi sono inconsistenti. L'indice di consistenza

$$ci = \frac{\lambda_{max} - N}{N - 1}$$

e il rapporto di consistenza

$$cr = \frac{ci}{ri(N)}$$

indicano quantitativamente il grado di consistenza dei giudizi mappati in una matrice del tipo visto. Il fattore a denominatore $ri(N)$ (detto *random index*) cresce con N e rappresenta il valore assunto dall'indice di consistenza di una matrice reciproca positiva casuale di ordine N. Valori di $ri(N)$ ottenuti statisticamente per N compreso da 3 a 15 sono tabellati in [5]. In [4], si suggerisce che, per avere un grado accettabile di inconsistenza, si debba ottenere $cr \leq 0.1$. Per N=2, si ha sempre $cr = 0$; qualunque sia il rapporto di importanza tra soli due elementi, esso non può infatti risultare contraddittorio con nessun altro.

La procedura AHP si presta anche a fornire un risultato cumulativo nel caso in cui più giudici abbiano fornito le loro valutazioni: si può dimostrare [4] che in presenza di classifiche cardinali l'unica stima valida per un giudizio congiunto è la media geometrica, ossia, rispetto a k classifiche, la radice k-esima del loro prodotto elemento per elemento. Questo criterio può essere applicato sia alle classifiche sia direttamente alle matrici di giudizio [5]. Nel nostro caso abbiamo valutato che trovare matrici di giudizio "medie" ci potrebbe consentire di calcolare una sorta di inconsistenza media tra tutti i giudizi, ma non di negoziare eventuali correzioni

con i singoli giudici. La nostra scelta è stata dunque di valutare l'inconsistenza delle singole matrici, eventualmente apportare le necessarie correzioni, con o senza la collaborazione dei singoli giudici, e infine fare la media geometrica tra le classifiche ottenute.

Come visto, la procedura AHP ha il vantaggio di consentire un'analisi del grado di consistenza di ogni giudizio, oltre che il grado di accordo tra i giudici quando questi sono più di uno. Nel nostro caso, avendo scelto giudici di formazione e orientamento diversi, un certo grado di disaccordo è prevedibile e accettabile, senza dover sospettare che qualcuno di essi voglia influenzare in qualche modo il risultato finale. Come accennato, un ulteriore vantaggio di questa procedura rispetto a quelle che prevedono riunioni tra i giudici, tipo focus group o consensus meeting, è l'assenza del rischio che qualche partecipante particolarmente autorevole possa influenzare i giudizi degli altri.

3. Scheda di valutazione

I seminari tenuti per partner e stakeholder sono stati tesi a informare sulla struttura e i criteri di base dell'SRI, in quanto si tratta di un argomento ancora poco conosciuto. La sperimentazione ufficiale in Italia è infatti partita solo nel mese di marzo del 2025. Per lo stesso motivo, la categoria degli utenti finali è stata esclusa dal novero degli stakeholder, limitando gli inviti ad architetti, geometri, ingegneri, progettisti, installatori e manutentori di sistemi tecnologici per l'edilizia, nonché amministratori di condominio, agenti immobiliari e tecnici di enti di gestione e regolamentazione. Per non influenzare troppo i giudizi personali, sono stati forniti pochi dettagli e pochissimi commenti specifici riguardo ai fattori di ponderazione adottati dalla Commissione Europea.

Solo un accenno è stato dato alla procedura AHP, riguardante esclusivamente il meccanismo di confronto tra coppie di elementi della gerarchia. Si è anche tentato di evitare che il singolo giudice dovesse eseguire calcoli o compilare le matrici di giudizio in autonomia. A questo scopo, è stato approntato un foglio Excel che richiede di indicare esclusivamente, per ogni confronto, quale dei due elementi confrontati sia più importante e di quanto, secondo la scala di valutazione 1-9 introdotta al paragrafo precedente. Il giudice può solo agire sulle caselle non protette del foglio, inserendo le sue scelte esclusivamente attraverso appositi menu a tendina. Una pagina nascosta serve a inserire le valutazioni ricevute (o i loro reciproci) nelle corrette posizioni delle matrici di giudizio. I calcoli degli autovettori, dei rapporti di consistenza e di altri indici relativi [6] sono poi stati eseguiti con l'aiuto di procedure Matlab appositamente sviluppate e qui riportate alle appendici 1 e 2.

3.1 Pagina di presentazione

La prima pagina del foglio è dedicata a una presentazione dell'iniziativa. Una sua parte è mostrata in Fig. 4



Figura 4: Parte iniziale della pagina di presentazione del foglio Excel.

Prima di proseguire, la preghiamo di inserire il suo nominativo, l'ente/associazione/ordine professionale/collegio di appartenenza, il ruolo ricoperto (tecnico, progettista, installatore, amministratore, ecc.) il numero telefonico e l'e-mail

Per le informazioni sulla riservatezza dei dati la preghiamo di prendere visione della scheda "Informativa Privacy" ed esprimere il suo consenso esplicito al trattamento dei dati.

Nome	
Cognome	
Ente	
Ruolo	
Telefono	
e-mail	

Screenshot

Figura 5: Pagina di presentazione: identificativo e recapiti del giudice.

Dopo la descrizione dell'iniziativa di GUARDIANS e di quello che si chiede ai giudici, le prime caselle editabili riguardano l'identificazione del compilatore e i suoi recapiti (Fig. 5).

Una volta terminata l'indagine, tutte le schede saranno anonimizzate per esigenze di privacy. Saranno mantenuti solo i ruoli professionali indicati, per eventuali successive operazioni statistiche sui dati acquisiti.

3.2 Pagina Informativa Privacy

All'informativa privacy ex art. 13 del regolamento UE/679/2016 è dedicata la successiva pagina del foglio, riprodotta parzialmente in Fig. 6, nella cui unica casella editabile il giudice esprime il suo consenso al trattamento dei dati.

Informativa ex art. 13 Reg. UE/679/2016	
Gentile partecipante,	Consenso al trattamento dei dati
Le forniamo l'informativa, per la quale le chiediamo di esprimere il suo consenso utilizzando il menu a discesa nella casella qui accanto.	
La informiamo che i dati personali che accompagnano il questionario da lei fornito nell'ambito dello studio sull'indice Smart Readiness Indicator (SRI) promosso dal progetto GUARDIANS (Regione Toscana CUPST: 27717.29122023.043000716) sono trattati nel rispetto della normativa europea (Reg. UE 679/2016) e nazionale (d.lgs 196/2003 e ss.mm.ii.).	
A tal fine La informiamo che:	
a) Il Titolare del trattamento dei dati è il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) con sede	

Figura 6: Parte iniziale della pagina Informativa Privacy.

3.3 Pagine di giudizi

Segue poi una pagina di istruzioni per la compilazione e tre pagine di giudizi sui fattori di ponderazione, una dedicata alle funzionalità chiave, una ai criteri d'impatto e una ai domini tecnologici.

3.3.1 Pagina Funzionalità Chiave

In questa pagina al giudice è richiesto di confrontare a due a due, ai fini del valore dell'SRI, le tre funzionalità chiave previste dalla gerarchia: Risparmio Energetico e Funzionamento,



Risposta alle Esigenze degli Occupanti e Risposta alle Esigenze della Rete. Tre funzionalità chiave comportano tre confronti a due a due.

Funzionalità chiave		Partecipante	0
Ai fini della loro importanza ai fini dell'SRI, si chiede di confrontare l'importanza delle seguenti tre funzionalità chiave			
Funzionalità chiave	Significato		
Risparmio energetico e funzionamento	In che modo la gestione intelligente degli impianti tecnologici influisce sul risparmio energetico.		
Risposta alle esigenze degli occupanti	In che modo la presenza di impianti intelligenti può facilitare la gestione dell'immobile da parte degli occupanti e migliorare il loro comfort e benessere.		
Risposta alle esigenze della rete	In che modo l'intelligenza dell'edificio è in grado di gestire il consumo, la produzione e l'accumulo di energia in dipendenza dalle condizioni della rete di distribuzione primaria.		

Tabella di confronto tra funzionalità chiave: Alla colonna "A o B", indicare quale delle due funzionalità indicate è più importante ai fini dell'SRI; Alla colonna "Scala", indicare in che misura l'elemento scelto è più importante dell'altro.

		Funzionalità a confronto		Funzionalità + importante (*)	
i	j	A	B	A o B	Scala
1	2	Risparmio energetico e funzionamento	Risposta alle esigenze degli occupanti		
1	3	Risparmio energetico e funzionamento	Risposta alle esigenze della rete		
2	3	Risposta alle esigenze degli occupanti	Risposta alle esigenze della rete		

(*) Se gli elementi a confronto sono ugualmente importanti inserire indifferentemente A o B

Figura 7: Confronti tra funzionalità chiave.

In Fig. 7 è mostrata la pagina con le caselle editabili dal giudice riquadrate in rosso. Nella prima colonna editabile bisogna specificare quale delle due funzionalità a confronto è più importante ai fini dell'SRI (A o B), e nella seconda colonna editabile va scelto dal relativo menu a tendina un valore preso dalla scala 1-9 qui introdotta al Paragrafo 2. Nel caso in cui la funzionalità giudicata più importante sia la B, le formule nascoste inseriranno il reciproco del valore di scala nel corrispondente elemento della matrice di giudizio. Come si vede, le funzionalità sono elencate e descritte, e il giudice deve solo operare per ogni confronto due scelte da menu a tendina.

3.3.2 Pagina Criteri d'Impatto

Abbiamo due criteri d'impatto sotto la funzionalità Risparmio Energetico e Funzionamento e quattro criteri d'impatto sotto la funzionalità Risposta alle Esigenze degli Occupanti. Sotto la funzionalità Risposta alle esigenze della rete c'è un solo criterio, quindi per quello non è necessario nessun confronto.

La lista e le descrizioni dei criteri d'impatto sono mostrate in Fig. 8. La Fig. 9 riporta l'unico confronto necessario tra i due criteri ai fini di Risparmio Energetico e Funzionamento, mentre la Fig. 10 riporta i sei confronti necessari per i quattro criteri sottostanti la funzionalità Risposta alle esigenze degli occupanti. Anche qui, al giudice si richiede di operare due scelte per ogni confronto proposto.

Criteri d'impatto	
Partecipante 0 Ai fini delle due funzionalità chiave indicate, si chiede di confrontare l'importanza dei seguenti sei criteri d'impatto [Funzionalità 3] esclusa perché sottende un solo criterio]	
Criterio d'impatto	Significato
Risparmio energetico	Quanto l'intelligenza dei sistemi tecnologici di edificio (TBS) contribuisce a un minore consumo di energia, con conseguente minore quota di emissioni inquinanti e climalteranti.
Manutenzione e predizione dei guasti	Quanto l'intelligenza dei TBS consente di rilevare automaticamente i guasti e programmare la manutenzione ordinaria.
Comfort	Quanto i TBS sono in grado di migliorare il comfort di base degli occupanti, in termini di appropriata illuminazione, ventilazione, temperatura degli ambienti, quota di irraggiamento, umidità relativa, rumore.
Comodità	Facilità di interazione con i TBS da parte degli occupanti.
Informazione agli occupanti	Accessibilità e completezza delle informazioni fornite agli occupanti sullo stato e il funzionamento dell'edificio.
Salute e benessere	Quanto i TBS sono in grado di contribuire al benessere e la salute degli occupanti, p.es. purificazione dell'aria, presenza di sensoristica ambiente dialogante con i TBS.

Figura 8: Pagina Criteri d'impatto: lista e descrizioni

RISPARMIO ENERGETICO E FUNZIONAMENTO					
Tabella di confronto tra criteri d'impatto: Alla colonna "A o B", indicare quale dei due criteri indicati è più importante ai fini della funzionalità "risparmio energetico e funzionamento"; Alla colonna "Scala", indicare in che misura l'elemento scelto è più importante dell'altro.					
		Criteri a confronto		Indicatore + importante (*)	
i	j	A	B	A o B	Scala
1	2	Risparmio energetico	Manutenzione e predizione dei guasti		
(*) Se gli elementi a confronto sono ugualmente importanti inserire indifferentemente A o B					

Figura 9: Pagina Criteri d'Impatto: confronto tra i due criteri ai fini di Risparmio Energetico e Funzionamento.

RISPOSTA ALLE ESIGENZE DEGLI OCCUPANTI					
Tabella di confronto tra criteri d'impatto: Alla colonna "A o B", indicare quale dei due criteri indicati è più importante ai fini della funzionalità "Risposta alle esigenze degli occupanti"; Alla colonna "Scala", indicare in che misura l'elemento scelto è più importante dell'altro.					
		Criteri a confronto		Indicatore + importante (*)	
i	j	A	B	A o B	Scala
1	2	Comfort	Comodità		
1	3	Comfort	Informazione agli occupanti		
1	4	Comfort	Salute e benessere		
2	3	Comodità	Informazione agli occupanti		
2	4	Comodità	Salute e benessere		
3	4	Informazione agli occupanti	Salute e benessere		
(*) Se gli elementi a confronto sono ugualmente importanti inserire indifferentemente A o B					

Figura 10: Pagina Criteri d'Impatto: confronto tra i quattro criteri ai fini di Risposta alle Esigenze degli occupanti.

3.3.3 Pagina Domini Tecnologici

Gli otto domini tecnologici presi in considerazione dalla nostra indagine (al nono dominio, "Monitoraggio e Controllo," viene assegnato, dove attivo, un coefficiente di ponderazione fisso al 20%, vedi Fig. 2) non sono tutti attivi sotto ogni criterio d'impatto. Come mostrato in Fig. 2, siamo interessati solo ai quattro criteri sotto Risposta alle Esigenze degli Occupanti: Comfort, con 5 domini attivi, che richiedono 10 confronti; Comodità, con 8 domini attivi e

quindi 28 confronti; Salute e Benessere, con 5 domini attivi e quindi 10 confronti; Informazione agli Occupanti, con 7 domini attivi e quindi 21 confronti. Dalla stessa figura vediamo anche che, come anticipato, sotto tutti i criteri meno Salute e Benessere c'è anche il dominio Monitoraggio e Controllo, con il 20% di peso. Questo vuol dire che gli autovettori calcolati per tutti meno che per Salute e Benessere dovranno essere normalizzati a somma 0.8, invece che a somma 1 come detto al Paragrafo 2. La Figura 11 riporta la lista e le descrizioni dei domini tecnologici, mentre le figure 12-15 riportano i confronti necessari per i quattro criteri d'impatto interessati.

Domini tecnologici		Partecipante	0
Ai fini dei criteri d'impatto indicati, si chiede di confrontare l'importanza dei seguenti domini tecnologici			
Dominio tecnologico	Significato		
Riscaldamento	Impianti di riscaldamento di qualunque tipo, con o senza controllo intelligente.		
Acqua calda sanitaria	Impianti di produzione acqua calda sanitaria, eventualmente integrati agli impianti di riscaldamento.		
Raffrescamento	Impianti di raffrescamento, eventualmente integrati agli impianti di riscaldamento.		
Ventilazione controllata	Impianti di ventilazione meccanica, con o senza controllo intelligente.		
Illuminazione	Impianti di illuminazione, con o senza controllo intelligente.		
Elettricità	Impianti di produzione e accumulo di energia elettrica e integrazione con la fornitura di energia primaria.		
Involucro architettonico dinamico	Impianti meccanici di regolazione del soleggiamento integrati nell'involucro architettonico.		
Ricarica veicoli elettrici	Impianti di ricarica di veicoli elettrici con energia autoprodotta e/o prelevata dalla rete primaria.		

Figura 11: Pagina Domini Tecnologici: Lista e descrizioni dei domini tecnologici

COMFORT					
Tabella di confronto tra domini tecnologici: Alla colonna "A o B", indicare quale dei due domini indicati è più importante ai fini del criterio "Comfort"; Alla colonna "Scala", indicare in che misura l'elemento scelto è più importante dell'altro.					
Domini tecnologici a confronto				Indicatore + importante (*)	
i	j	A	B	A o B	Scala
1	2	Riscaldamento	Raffrescamento		
1	3	Riscaldamento	Ventilazione controllata		
1	4	Riscaldamento	Illuminazione		
1	5	Riscaldamento	Involucro architettonico dinamico		
2	3	Raffrescamento	Ventilazione controllata		
2	4	Raffrescamento	Illuminazione		
2	5	Raffrescamento	Involucro architettonico dinamico		
3	4	Ventilazione controllata	Illuminazione		
3	5	Ventilazione controllata	Involucro architettonico dinamico		
4	5	Illuminazione	Involucro architettonico dinamico		
(*) Se gli indicatori a confronto sono ugualmente importanti inserire indifferentemente A o B					

Figura 12: Pagina Domini Tecnologici: Confronti tra i cinque domini ai fini di Comfort

Tabella di confronto tra domini tecnologici: Alla colonna "A o B", indicare quale dei due domini indicati è più importante ai fini del criterio "Comodità"; Alla colonna "Scala", indicare in che misura l'elemento scelto è più importante dell'altro.

		Domini tecnologici a confronto		Indicatore + importante (*)	
i	j	A	B	A o B	Scala
1	2	Riscaldamento	Acqua calda sanitaria		
1	3	Riscaldamento	Raffrescamento		
1	4	Riscaldamento	Ventilazione controllata		
1	5	Riscaldamento	Illuminazione		
1	6	Riscaldamento	Elettricità		
1	7	Riscaldamento	Involucro architettonico		
1	8	Riscaldamento	Ricarica veicoli elettrici		
2	3	Acqua calda sanitaria	Raffrescamento		
2	4	Acqua calda sanitaria	Ventilazione controllata		
2	5	Acqua calda sanitaria	Illuminazione		
2	6	Acqua calda sanitaria	Elettricità		
2	7	Acqua calda sanitaria	Involucro architettonico		
2	8	Acqua calda sanitaria	Ricarica veicoli elettrici		
3	4	Raffrescamento	Ventilazione controllata		
3	5	Raffrescamento	Illuminazione		
3	6	Raffrescamento	Elettricità		
3	7	Raffrescamento	Involucro architettonico		
3	8	Raffrescamento	Ricarica veicoli elettrici		
4	5	Ventilazione controllata	Illuminazione		
4	6	Ventilazione controllata	Elettricità		
4	7	Ventilazione controllata	Involucro architettonico		
4	8	Ventilazione controllata	Ricarica veicoli elettrici		
5	6	Illuminazione	Elettricità		
5	7	Illuminazione	Involucro architettonico		
5	8	Illuminazione	Ricarica veicoli elettrici		
6	7	Elettricità	Involucro architettonico		
6	8	Elettricità	Ricarica veicoli elettrici		
7	8	Involucro architettonico	Ricarica veicoli elettrici		

(*) Se gli indicatori a confronto sono ugualmente importanti inserire indifferentemente A o B

Figura 13: Pagina Domini Tecnologici: Confronti tra gli otto domini ai fini di Comodità

SALUTE E BENESSERE

Tabella di confronto tra domini tecnologici: Alla colonna "A o B", indicare quale dei due domini indicati è più importante ai fini del criterio "Salute e benessere"; Alla colonna "Scala", indicare in che misura l'elemento scelto è più importante dell'altro.

		Domini tecnologici a confronto		Indicatore + importante (*)	
i	j	A	B	A o B	Scala
1	2	Riscaldamento	Raffrescamento		
1	3	Riscaldamento	Ventilazione controllata		
1	4	Riscaldamento	Illuminazione		
1	5	Riscaldamento	Involucro architettonico		
2	3	Raffrescamento	Ventilazione controllata		
2	4	Raffrescamento	Illuminazione		
2	5	Raffrescamento	Involucro architettonico		
3	4	Ventilazione controllata	Illuminazione		
3	5	Ventilazione controllata	Involucro architettonico		
4	5	Illuminazione	Involucro architettonico		

(*) Se gli indicatori a confronto sono ugualmente importanti inserire indifferentemente A o B

Figura 14: Pagina Domini Tecnologici: Confronti tra i cinque domini ai fini di Salute e Benessere.

INFORMAZIONE AGLI OCCUPANTI					
Tabella di confronto tra domini tecnologici: Alla colonna "A o B", indicare quale dei due domini indicati è più importante ai fini del criterio "Informazione agli occupanti"; Alla colonna "Scala", indicare in che misura l'elemento scelto è più importante dell'altro.					
Domini tecnologici a confronto				Indicatore + importante (*)	
i	j	A	B	A o B	Scala
1	2	Riscaldamento	Acqua calda sanitaria		
1	3	Riscaldamento	Raffrescamento		
1	4	Riscaldamento	Ventilazione controllata		
1	5	Riscaldamento	Elettricità		
1	6	Riscaldamento	Involucro architettonico		
1	7	Riscaldamento	Ricarica veicoli elettrici		
2	3	Acqua calda sanitaria	Raffrescamento		
2	4	Acqua calda sanitaria	Ventilazione controllata		
2	5	Acqua calda sanitaria	Elettricità		
2	6	Acqua calda sanitaria	Involucro architettonico		
2	7	Acqua calda sanitaria	Ricarica veicoli elettrici		
3	4	Raffrescamento	Ventilazione controllata		
3	5	Raffrescamento	Elettricità		
3	6	Raffrescamento	Involucro architettonico		
3	7	Raffrescamento	Ricarica veicoli elettrici		
4	5	Ventilazione controllata	Elettricità		
4	6	Ventilazione controllata	Involucro architettonico		
4	7	Ventilazione controllata	Ricarica veicoli elettrici		
5	6	Elettricità	Involucro architettonico		
5	7	Elettricità	Ricarica veicoli elettrici		
6	7	Involucro architettonico	Ricarica veicoli elettrici		

(*) Se gli indicatori a confronto sono ugualmente importanti inserire indifferentemente A o B

Figura 15: Pagina Domini Tecnologici: Confronti tra i sette domini ai fini di Informazione agli Occupanti.

3.4 Pagine nascoste

Due pagine nascoste (Elementi-menu e Matrici) contengono, rispettivamente, una i nomi degli elementi inclusi nei menu a tendina e l'altra le formule che a partire dalle risposte del giudice costruiscono le sette matrici di giudizio necessarie all'analisi dei dati forniti dai compilatori. La pagina Matrici contiene anche tutte le indicazioni per verificare visivamente la correttezza dei valori inseriti. Questi ultimi possono essere prelevati e trasferiti in un codice Matlab che calcola tutti gli autovalori e autovettori dominanti e tutti i relativi rapporti di consistenza cr . Nel caso di valori di cr eccessivi, un altro codice Matlab valuta tutti gli indicatori che consentono di individuare i gruppi di giudizi poco consistenti [6] per arrivare eventualmente a piccole modifiche delle matrici al fine di rientrare in valori tollerati della consistenza senza alterare significativamente le classifiche risultanti. Matrici che richiedano modifiche sostanziali dovranno essere escluse dai dati da elaborare o riconsiderate radicalmente interpellando i giudici che le hanno formulate.

4. Risultati

Su 31 giudici che hanno risposto al nostro invito, i contributi utilizzati per la nostra valutazione sono stati 26. La composizione del gruppo dei giudici include ingegneri, architetti, progettisti di impianti tecnologici, tecnici installatori e manutentori, un agente immobiliare, un amministratore di condominio, tutti operanti, tra l'altro, in Toscana costiera e con sedi nelle province di Lucca, Pisa, Livorno e Grosseto. A parte i liberi professionisti, diversi giudici fanno riferimento ai partner GUARDIANS o a aziende a loro collegate, e una parte consistente è formata da tecnici comunali del settore smart city. Ovviamente, i punti di vista dei diversi giudici nei confronti delle importanze relative dei criteri SRI sono molto diversi, e così le opinioni espresse, che comunque hanno mostrato una notevole variabilità anche all'interno di categorie da noi considerate omogenee.

Nella maggior parte dei casi, le matrici prelevate dalle schede di valutazione hanno avuto bisogno di piccoli aggiustamenti per ridurre l'inconsistenza. Questi aggiustamenti sono stati presi in accordo con i giudici e apportati in modo che le classifiche ordinali non subissero inversioni di posizione e quelle cardinali variassero entro ristretti limiti percentuali. Questa esigenza ci ha portato ad aumentare la soglia di tolleranza rispetto all'inconsistenza dei giudizi: sono state accettate matrici con $cr \leq 0.15$, invece che $cr \leq 0.1$ come suggerito in [4]. In pratica, nei casi in cui fossero necessari aggiustamenti di lieve entità, si è preferito piuttosto aderire alle intenzioni dei valutatori che rientrare nella tolleranza del 10% al costo di dover negoziare, e magari forzare, nuove valutazioni. Per quanto riguarda i cinque contributi con inconsistenze maggiori, si è preferito rimuoverli dalla base dei giudizi piuttosto che dover negoziare singolarmente le varie scelte, con il rischio di influenzare i giudizi originali.

Nei seguenti sottoparagrafi sono riportate le classifiche cardinali ottenute da ogni singolo giudizio per le funzionalità chiave, i criteri d'impatto e i domini tecnologici sottostanti, come si è accennato, senza provare a imporre pesi non nulli a quelli che sono stati giudicati ininfluenti dal gruppo di supporto tecnologico della Commissione.

4.1 Funzionalità chiave

In Tab. I, sono riportate le classifiche derivanti dai 26 giudizi considerati riguardo a Risparmio Energetico e Funzionamento (ref), Risposta alle Esigenze degli Occupanti (reo), e Risposta alle Esigenze della Rete (rer). La Fig. 16 mostra gli istogrammi delle percentuali ottenute dalle tre funzionalità.

Come si vede, la maggior parte dei giudici attribuisce peso minore del 20% alla funzionalità risposta alle esigenze della rete, mentre valori maggiori del 60% sono generalmente attribuiti alla funzionalità risparmio energetico e funzionamento.

Tabella I: Classifiche sulle funzionalità chiave

Giudice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ref	0.44	0.47	0.69	0.74	0.06	0.55	0.43	0.47	0.67	0.47	0.10	0.74	0.50
reo	0.49	0.47	0.23	0.21	0.74	0.37	0.14	0.47	0.23	0.47	0.70	0.21	0.09
rer	0.08	0.05	0.08	0.06	0.19	0.08	0.43	0.05	0.10	0.06	0.20	0.06	0.41

Segue Tabella I

Giudice	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
ref	0.33	0.63	0.64	0.20	0.63	0.70	0.10	0.68	0.69	0.67	0.70	0.63	0.72
reo	0.26	0.29	0.29	0.06	0.29	0.20	0.60	0.24	0.15	0.17	0.23	0.19	0.21
rer	0.41	0.08	0.07	0.74	0.08	0.10	0.29	0.08	0.16	0.17	0.80	0.17	0.07

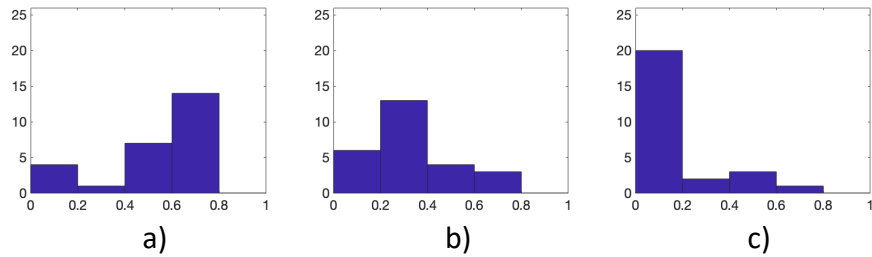


Figura 16: Istogrammi percentuali funzionalità chiave: a) Risparmio energetico e funzionamento; b) Risposta alle esigenze degli occupanti; c) Risposta alle esigenze della rete.

La media geometrica dei valori ottenuti per ogni funzionalità, riscalata a somma 1, è

$$v_{fc} = \begin{bmatrix} 0.54 \\ 0.31 \\ 0.15 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Risparmio energetico e funzionamento} \\ \text{Risposta alle esigenze degli occupanti} \\ \text{Risposta alle esigenze della rete} \end{array}$$

Il che indica che, per i nostri giudici, il contributo delle tecnologie intelligenti alla prestazione energetica dell'edificio è preponderante rispetto al contributo dato alle esigenze degli occupanti e, ancor di più, alle esigenze della rete, a riprova del fatto che la distribuzione uniforme dei pesi è fuori dalle valutazioni dei nostri professionisti.

4.2 Criteri d'impatto

4.2.1 Risparmio Energetico e Funzionamento

Sotto Risparmio energetico e Funzionamento si deve fare un unico confronto tra i criteri Risparmio Energetico (re) e Manutenzione e Predizione dei Guasti (mpg). I risultati dai 26 giudici sono riassunti in Tab. II.

Tabella II: Classifiche sui criteri d'impatto - Risparmio energetico e funzionamento

Giudice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
re	0.88	0.50	0.88	0.13	0.13	0.75	0.67	0.5	0.25	0.88	0.83	0.88	0.5
mpg	0.13	0.50	0.13	0.88	0.88	0.25	0.33	0.5	0.75	0.13	0.17	0.13	0.5

Segue Tabella II

Giudice	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
re	0.67	0.83	0.88	0.50	0.13	0.75	0.14	0.17	0.80	0.17	0.17	0.80	0.86
mpg	0.33	0.17	0.12	0.50	0.87	0.25	0.86	0.83	0.20	0.83	0.83	0.20	0.14

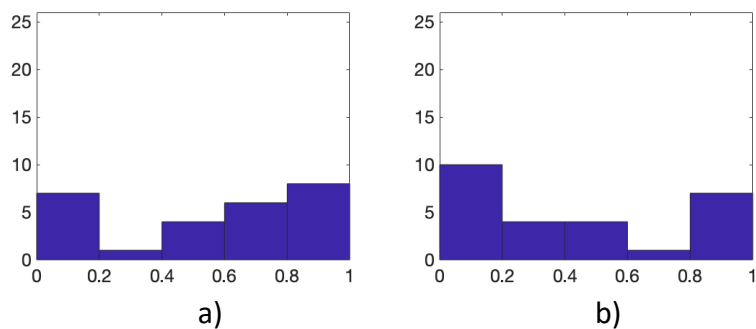


Figura 17: Istogrammi percentuali funzionalità risparmio energetico e funzionamento: a) Risparmio energetico; b) manutenzione e predizione guasti.

Analogamente a quanto fatto sopra, in Fig. 17 sono riportati gli istogrammi per i due criteri. Si osserva che i due istogrammi appaiono presso a poco complementari: mentre la maggior parte dei giudici assegna valori maggiori del 40% al risparmio energetico la maggioranza delle attribuzioni per il criterio manutenzione ricade al disotto del 40%.

La media geometrica normalizzata a somma 1 risulta

$$v_{ref} = \begin{bmatrix} 0.57 \\ 0.43 \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{Risparmio energetico} \\ \text{Manutenzione e predizione dei guasti} \end{array}$$

Che conferma la preferenza dei giudici nel loro insieme per l'aspetto risparmio energetico piuttosto che per la manutenzione.

4.2.2 Risposta alle Esigenze degli Occupanti

I quattro criteri sotto questa funzionalità chiave sono Comfort (com), Comodità (con), Informazione agli Occupanti (inf) e Salute e Benessere (hw). Analogamente a quanto fatto sopra, Tab. III riporta i punteggi ottenuti da tutti i giudici, e Fig. 18 i relativi istogrammi.

In generale, i giudizi sono molto variabili su tutti i criteri, segno del fatto che le opinioni dei giudici sono molto varie visto che tutte le valutazioni richieste sono puramente soggettive.

Tabella III: Classifiche sui criteri d'impatto - Risposta alle esigenze degli occupanti

Giudice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
com	0.54	0.29	0.22	0.06	0.30	0.27	0.55	0.29	0.24	0.62	0.36	0.27	0.39
con	0.04	0.14	0.09	0.06	0.04	0.15	0.20	0.14	0.10	0.19	0.39	0.04	0.39
inf	0.31	0.29	0.04	0.42	0.10	0.06	0.08	0.29	0.05	0.12	0.09	0.08	0.07
hw	0.11	0.29	0.65	0.47	0.56	0.52	0.17	0.29	0.61	0.07	0.16	0.61	0.15

Segue Tabella III

Giudice	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
com	0.28	0.62	0.58	0.05	0.31	0.43	0.27	0.09	0.09	0.46	0.07	0.17	0.09
con	0.20	0.19	0.29	0.27	0.53	0.40	0.05	0.11	0.15	0.11	0.13	0.30	0.05
inf	0.14	0.12	0.06	0.63	0.11	0.05	0.08	0.13	0.10	0.05	0.18	0.44	0.22
hw	0.39	0.07	0.07	0.05	0.05	0.12	0.60	0.66	0.65	0.38	0.62	0.09	0.64

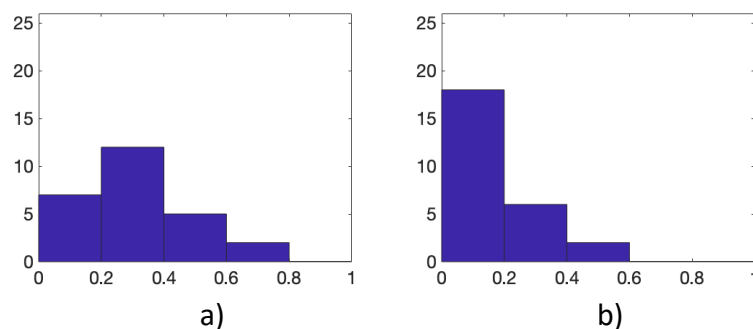


Figura 18: Istogrammi percentuali funzionalità risposta alle esigenze degli occupanti: a) Comfort; b) Comodità.

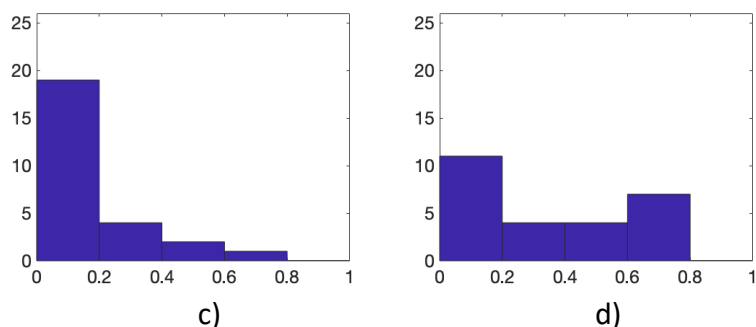


Figura 18 (continua): Istogrammi percentuali funzionalità risposta alle esigenze degli occupanti: c) Informazione agli occupanti; d) Salute e benessere.

La suddivisione del peso in parti uguali non risulta comunque dal vettore media geometrica, che, sempre normalizzato a somma 1, è

$$v_{reo} = \begin{bmatrix} 0.32 \\ 0.18 \\ 0.16 \\ 0.33 \end{bmatrix}$$

Comfort
Comodità
Informazione agli occupanti
Salute e benessere

dove la prevalenza dei pesi è assegnata a comfort e salute e benessere. La grande diversità di opinioni che si osserva dagli istogrammi potrebbe però in questo caso anche giustificare la scelta di attribuire pesi uguali ai quattro criteri.

4.3 Domini Tecnologici

I domini tecnologici di nostro interesse sono otto: riscaldamento, acqua calda sanitaria, raffrescamento, ventilazione controllata, illuminazione, elettricità, involucro architettonico dinamico, e ricarica veicoli elettrici. Non tutti sono attivi nei confronti di ogni criterio d'impatto. Inoltre, ricordiamo (Fig. 2) che, tranne nei confronti del criterio Salute e Benessere, la somma dei relativi valori deve essere 0.8 invece che 1 per la presenza del dominio Monitoraggio e Controllo, cui è stato assegnato peso fisso 0.2.

4.3.1 Comfort

Nei confronti del criterio Comfort abbiamo cinque domini tecnologici attivi: Riscaldamento (hea), Raffrescamento (raf), Ventilazione controllata (ven), Illuminazione (ill) e Involucro Architettonico Dinamico (iad). I pesi ottenuti sono riportati in Tab. IV e i relativi istogrammi in Fig. 19.

Mentre abbiamo un istogramma pressoché uniforme, entro il 60%, per il riscaldamento, abbiamo valutazioni nello stesso range per il raffrescamento e l'illuminazione, e valori per la maggior parte inferiori per ventilazione e involucro architettonico.

Tabella IV: Classifiche sui domini tecnologici - Comfort

Giudice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
hea	0.40	0.22	0.33	0.57	0.12	0.45	0.39	0.22	0.41	0.42	0.23	0.27	0.48
raf	0.10	0.22	0.33	0.06	0.57	0.33	0.23	0.22	0.29	0.36	0.25	0.37	0.21
ven	0.08	0.22	0.11	0.06	0.07	0.04	0.05	0.22	0.16	0.12	0.37	0.06	0.05
ill	0.38	0.11	0.03	0.09	0.21	0.14	0.23	0.11	0.09	0.05	0.04	0.27	0.12
iad	0.03	0.22	0.21	0.22	0.03	0.04	0.10	0.22	0.06	0.06	0.10	0.04	0.14

Segue Tabella IV

Giudice	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
hea	0.34	0.40	0.44	0.20	0.36	0.46	0.09	0.19	0.11	0.20	0.07	0.19	0.13
raf	0.34	0.34	0.19	0.20	0.36	0.29	0.10	0.20	0.25	0.12	0.06	0.22	0.07
ven	0.13	0.16	0.05	0.20	0.08	0.14	0.04	0.05	0.07	0.15	0.19	0.13	0.05
ill	0.06	0.04	0.29	0.20	0.16	0.03	0.51	0.49	0.50	0.49	0.51	0.33	0.43
iad	0.13	0.05	0.03	0.20	0.04	0.07	0.26	0.08	0.07	0.05	0.17	0.14	0.31

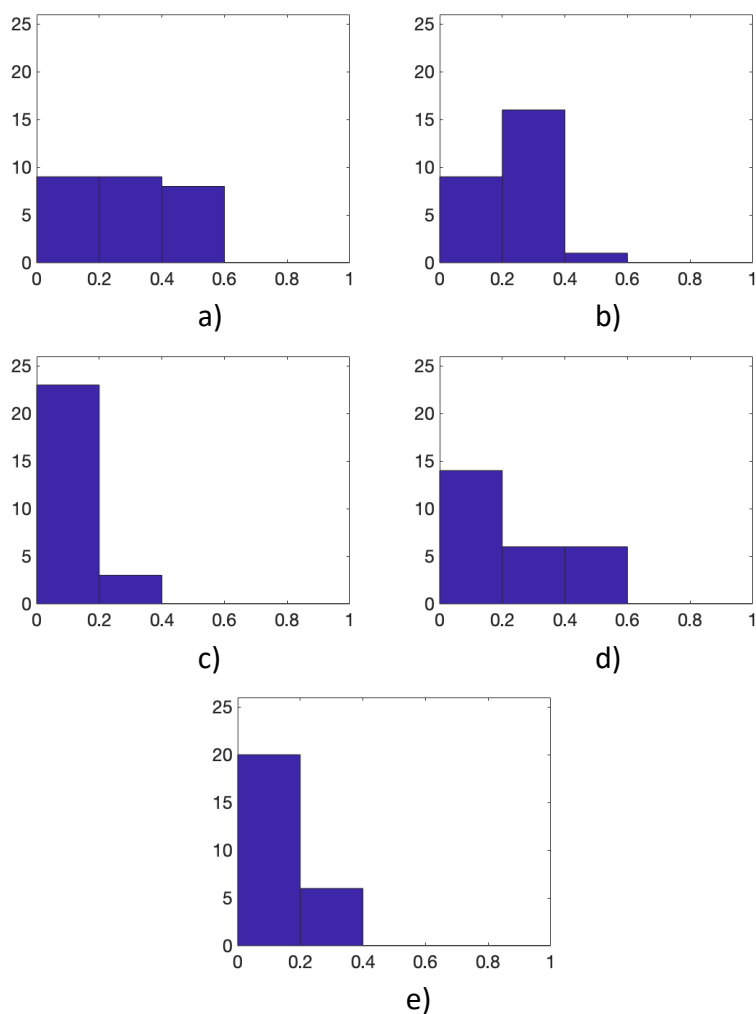


Figura 19: Istogrammi percentuali criterio d'impatto comfort: a) Riscaldamento; b) Raffrescamento; c) Ventilazione meccanica; d) Illuminazione; e) Involucro architettonico dinamico.

Il vettore media geometrica risultante, riportato come detto a somma 0.8, è

$$v_{com} = \begin{bmatrix} 0.26 \\ 0.21 \\ 0.10 \\ 0.16 \\ 0.09 \end{bmatrix}$$

Riscaldamento
Raffrescamento
Ventilazione controllata
Illuminazione
Involucro architettonico dinamico

4.3.2 Comodità

I domini tecnologici attivi nei confronti della comodità (ovvero, dell'importanza della facilità d'uso dei sistemi di controllo dei diversi domini tecnologici) sono tutti e otto quelli qui considerati, cui Fig. 2 attribuisce pesi uguali pari al 10%. Le classifiche risultanti sono riportate in Tab. V, con, nell'ordine, Riscaldamento (hea), Acqua Calda (acs), Raffrescamento (raf), Ventilazione controllata (ven), Illuminazione (ill), Elettricità (ele), Involucro dinamico (iad), e Carica veicoli elettrici (rve). I relativi istogrammi sono mostrati alla Fig. 20.

Tabella V: Classifiche sui domini tecnologici - Comodità

Giudice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
hea	0.29	0.16	0.04	0.26	0.25	0.39	0.24	0.16	0.34	0.22	0.16	0.19	0.24
acs	0.29	0.12	0.14	0.26	0.05	0.11	0.10	0.12	0.04	0.35	0.11	0.11	0.25
raf	0.05	0.16	0.04	0.19	0.30	0.15	0.24	0.16	0.27	0.16	0.26	0.27	0.06
ven	0.05	0.15	0.04	0.10	0.08	0.03	0.04	0.15	0.14	0.07	0.17	0.10	0.03
ill	0.20	0.07	0.36	0.09	0.24	0.19	0.15	0.08	0.10	0.07	0.18	0.12	0.14
ele	0.06	0.07	0.02	0.03	0.02	0.06	0.15	0.08	0.02	0.10	0.03	0.14	0.19
iad	0.03	0.20	0.20	0.04	0.03	0.02	0.04	0.20	0.07	0.03	0.05	0.04	0.07
rve	0.02	0.07	0.15	0.03	0.05	0.05	0.03	0.06	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02

Segue Tabella V

Giudice	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
hea	0.19	0.22	0.29	0.25	0.18	0.28	0.06	0.21	0.17	0.14	0.04	0.08	0.06
acs	0.33	0.36	0.03	0.25	0.07	0.29	0.24	0.19	0.16	0.17	0.21	0.22	0.28
raf	0.16	0.15	0.30	0.02	0.14	0.18	0.06	0.06	0.06	0.05	0.08	0.07	0.06
ven	0.11	0.07	0.05	0.09	0.05	0.10	0.03	0.10	0.06	0.06	0.09	0.07	0.03
ill	0.03	0.07	0.05	0.25	0.25	0.02	0.19	0.08	0.13	0.24	0.23	0.21	0.18
ele	0.08	0.10	0.05	0.07	0.22	0.02	0.31	0.29	0.31	0.26	0.27	0.28	0.28
iad	0.06	0.03	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.05	0.09	0.06	0.06	0.06	0.09
rve	0.04	0.02	0.21	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02

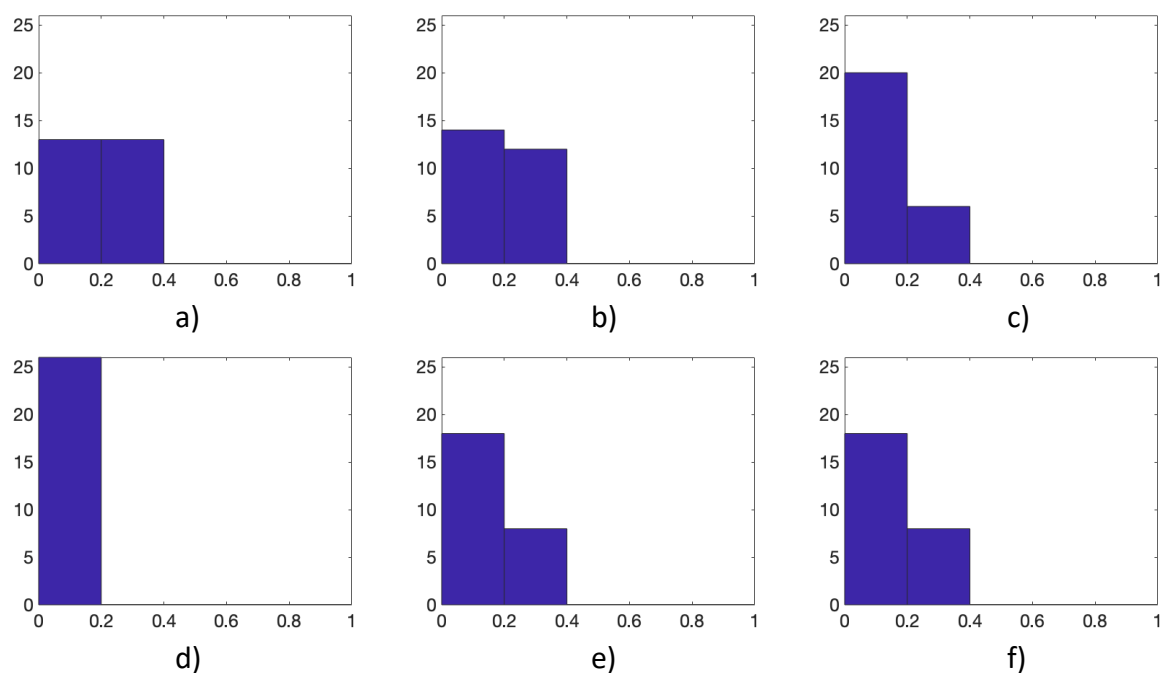


Figura 20: Istogrammi percentuali criterio d'impatto Comodità: a) Riscaldamento; b) Acqua calda sanitaria; c) Raffrescamento; d) Ventilazione meccanica; e) Illuminazione; f) Elettricità.

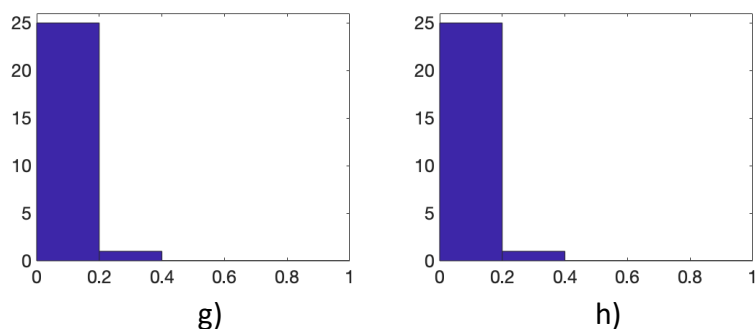


Figura 20 (continua): Istogrammi percentuali criterio d'impatto Comodità: g) Involucro architettonico dinamico; h) Ricarica veicoli elettrici.

Vediamo che la valutazione più bassa è attribuita alla ventilazione meccanica controllata, che ottiene pesi mai superiori al 20%. Nei confronti della facilità d'uso, riscaldamento e acqua calda sanitaria ottengono invece le valutazioni maggiori. Involucro architettonico e ricarica veicoli ottengono comunque pesi molto bassi.

La classifica risultante, anche questa normalizzata a somma 0.8, è

$v_{con} =$	0.17	Riscaldamento
	0.15	Acqua calda sanitaria
	0.11	Raffrescamento
	0.07	Ventilazione controllata
	0.12	Illuminazione
	0.09	Elettricità
	0.06	Involucro architettonico dinamico
	0.03	Ricarica veicoli elettrici

che esprime l'importanza della facilità d'uso dei sistemi di riscaldamento, acqua calda, raffrescamento e illuminazione, gli unici con peso maggiore del 10%.

4.3.3 Salute e Benessere

I domini attivi sotto Salute e Benessere sono Riscaldamento (hea), Raffrescamento (raf), Ventilazione Controllata (ven), Illuminazione (ill) e Involucro Dinamico (iad). La Tab. VI riporta le classifiche individuali risultanti, e la Fig. 21 i relativi istogrammi.

Tabella VI: Classifiche sui domini tecnologici - Salute e benessere

Giudice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
hea	0.52	0.05	0.28	0.56	0.23	0.51	0.40	0.05	0.27	0.41	0.27	0.31	0.35
raf	0.17	0.05	0.28	0.11	0.38	0.24	0.24	0.05	0.12	0.28	0.23	0.34	0.32
ven	0.10	0.40	0.12	0.13	0.30	0.03	0.09	0.40	0.47	0.22	0.30	0.13	0.06
ill	0.18	0.05	0.03	0.07	0.06	0.17	0.12	0.05	0.09	0.04	0.09	0.17	0.13
iad	0.03	0.45	0.28	0.14	0.03	0.05	0.14	0.45	0.05	0.04	0.11	0.05	0.13

Segue Tabella VI

Giudice	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
hea	0.34	0.41	0.60	0.31	0.14	0.45	0.12	0.18	0.23	0.23	0.15	0.19	0.26
raf	0.37	0.28	0.13	0.09	0.13	0.27	0.18	0.18	0.20	0.20	0.11	0.22	0.19
ven	0.15	0.22	0.19	0.15	0.33	0.17	0.19	0.19	0.16	0.31	0.27	0.24	0.31
ill	0.06	0.04	0.04	0.42	0.33	0.03	0.35	0.35	0.35	0.20	0.20	0.28	0.14
iad	0.09	0.04	0.04	0.03	0.06	0.08	0.16	0.16	0.09	0.06	0.27	0.08	0.10

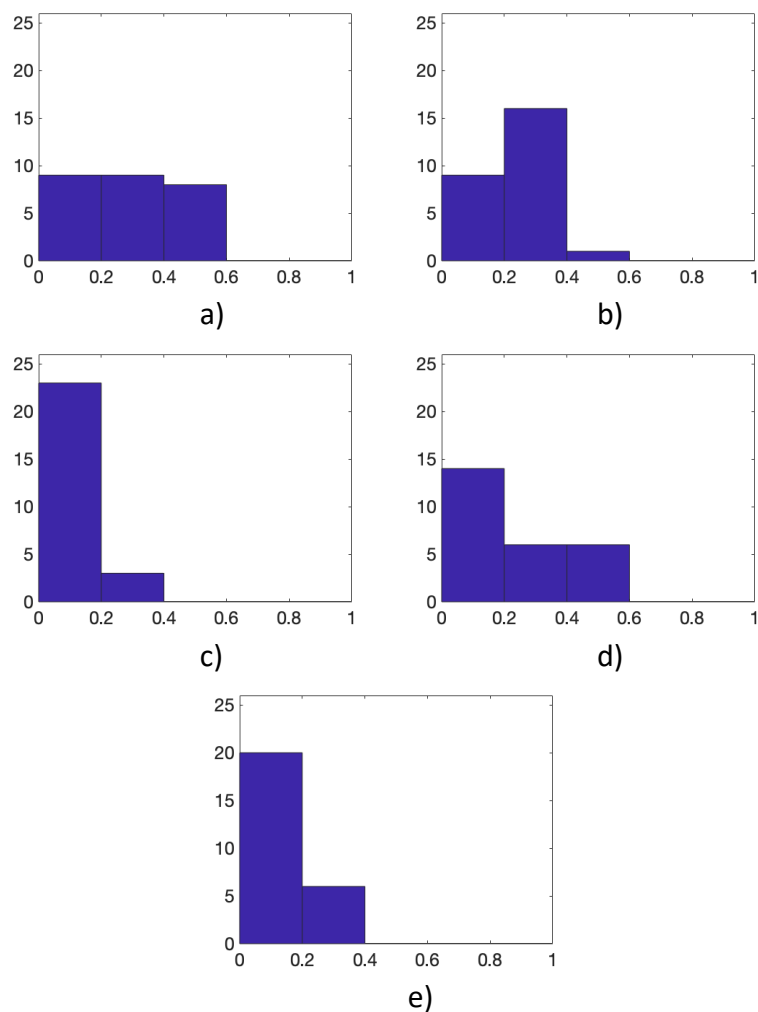


Figura 21: Istogrammi percentuali criterio d’impatto Salute e benessere: a) Riscaldamento; b) Raffrescamento; c) Ventilazione meccanica; d) Illuminazione; e) Involucro architettonico dinamico.

Il dominio che raggiunge le valutazioni più elevate da parte di più giudici nei confronti del criterio Salute e benessere è il riscaldamento, seguito da illuminazione e raffrescamento. I rimanenti due domini ottengono tutti punteggi entro il 40%. La classifica risultante, normalizzata stavolta a somma 1, in quanto questi cinque sono gli unici domini attivi rispetto a salute e benessere, è

$$v_{hw} = \begin{bmatrix} 0.31 \\ 0.22 \\ 0.23 \\ 0.14 \\ 0.10 \end{bmatrix}$$

<i>Riscaldamento</i>
<i>Raffrescamento</i>
<i>Ventilazione controllata</i>
<i>Illuminazione</i>
<i>Involucro architettonico dinamico</i>

Si nota che questa classifica altera il peso uniforme al 20% attribuito dallo schema di calcolo “standard” a spese circa in ugual misura dell’illuminazione e dell’involucro dinamico, a vantaggio di riscaldamento, raffrescamento e ventilazione.

4.3.4 Informazione agli occupanti

Da Fig. 2, sotto Informazione agli occupanti sono attivi sette domini tecnologici, vale a dire tutti meno l'illuminazione. In Tab. VII, sono riportate le classifiche per giudice su riscaldamento (hea), acqua calda (acs), raffrescamento (raf), ventilazione (ven), elettricità (ele), involucro dinamico (inv) e ricarica veicoli elettrici (rve). I relativi istogrammi sono riportati in Fig. 22.

Tabella VII: classifiche sui domini tecnologici - Informazione agli occupanti

Giudice	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
hea	0.31	0.09	0.14	0.30	0.37	0.29	0.24	0.09	0.25	0.20	0.21	0.13	0.19
acs	0.34	0.03	0.14	0.29	0.05	0.10	0.15	0.03	0.02	0.19	0.03	0.16	0.21
raf	0.13	0.09	0.14	0.18	0.27	0.12	0.24	0.09	0.10	0.20	0.11	0.15	0.19
ven	0.08	0.39	0.14	0.10	0.19	0.03	0.05	0.39	0.03	0.20	0.15	0.13	0.07
ele	0.05	0.02	0.14	0.07	0.02	0.37	0.24	0.02	0.40	0.15	0.23	0.26	0.25
iad	0.02	0.35	0.14	0.05	0.07	0.02	0.03	0.35	0.06	0.03	0.06	0.05	0.06
rve	0.08	0.02	0.14	0.03	0.02	0.08	0.03	0.02	0.14	0.04	0.19	0.13	0.02

Segue Tabella VII

Giudice	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
hea	0.20	0.23	0.23	0.03	0.19	0.29	0.15	0.23	0.20	0.14	0.11	0.15	0.14
acs	0.03	0.20	0.03	0.03	0.12	0.22	0.19	0.19	0.26	0.22	0.20	0.18	0.22
raf	0.20	0.19	0.23	0.03	0.19	0.18	0.16	0.22	0.14	0.12	0.15	0.12	0.14
ven	0.19	0.16	0.04	0.03	0.08	0.12	0.11	0.16	0.13	0.16	0.18	0.16	0.08
ele	0.12	0.15	0.23	0.36	0.35	0.05	0.31	0.12	0.18	0.27	0.26	0.30	0.30
iad	0.18	0.03	0.02	0.16	0.05	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05	0.07	0.06	0.07
rve	0.07	0.04	0.22	0.36	0.03	0.06	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04

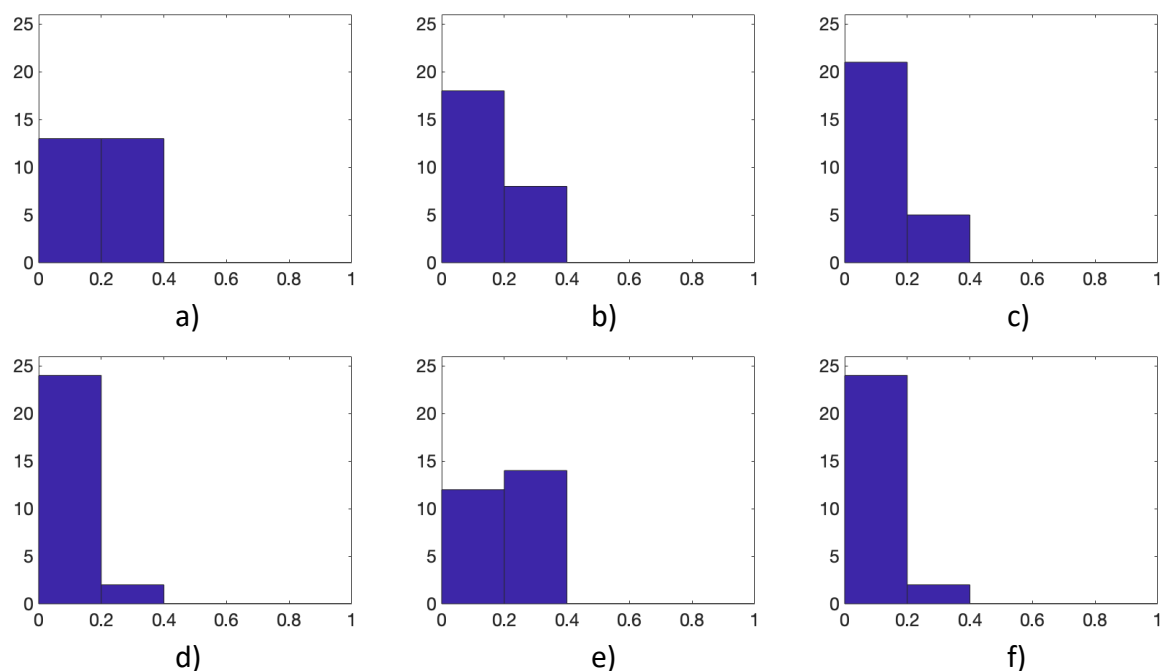


Figura 22: Istogrammi percentuali criterio d'impatto Informazione agli occupanti: a) Riscaldamento; b) Acqua calda sanitaria; c) Raffrescamento; d) Ventilazione meccanica; e) Elettricità; f) Involucro architettonico dinamico.

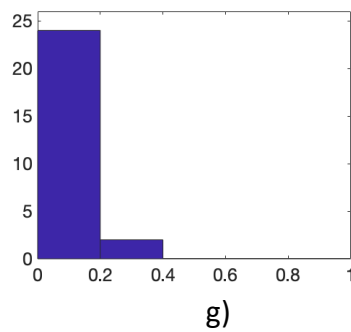


Figura 22 (continua): Istogrammi percentuali criterio d'impatto Informazione agli occupanti:
g) Ricarica veicoli elettrici.

Dunque, ai fini dell'informazione agli occupanti, tutti i domini ottengono giudizi concentrati entro il 40%, ma ventilazione, involucro architettonico e ricarica veicoli sono considerati solo da pochi giudici meritevoli di un peso maggiore del 20%. L'elettricità ottiene ben 14 giudizi superiori al 20%, e ciò risulterà in un peso alto nella media geometrica tra tutti i giudizi, che (di nuovo normalizzata a somma 0.8) è

$$v_{inf} = \begin{bmatrix} 0.18 \\ 0.11 \\ 0.14 \\ 0.11 \\ 0.15 \\ 0.06 \\ 0.06 \end{bmatrix}$$

<i>Riscaldamento</i>
<i>Acqua calda sanitaria</i>
<i>Raffrescamento</i>
<i>Ventilazione controllata</i>
<i>Elettricità</i>
<i>Involucro architettonico dinamico</i>
<i>Ricarica veicoli elettrici</i>

Dove riscaldamento, raffrescamento ed elettricità sono considerati di notevole peso anche per quanto riguarda l'informazione agli occupanti.

5. Discussione

La Tabella VIII, di struttura uguale a quella mostrata in Fig. 2, raccoglie in valori percentuali i risultati prodotti dal gruppo dei giudici e riportati al paragrafo precedente. Le caselle ombreggiate in giallo sono quelle contenenti pesi dipendenti da bilanci energetici, mentre le caselle in grigio denotano domini tecnologici non applicabili al criterio d'impatto di interesse. I numeri in grassetto sono quelli risultanti dalla nostra indagine, mentre gli altri sono quelli fissi già stabiliti dalla versione corrente dello schema di calcolo.

Tabella VIII: Pesi percentuali attribuiti dai giudici a funzionalità, criteri e domini tecnologici

	Risparmio energetico e funzionamento		Risposta alle esigenze degli occupanti				Risposta alle esigenze della rete
	54		31				15
	Risparmio energetico	Manutenzione e predizione guasti	Comfort	Comodità	Informazione agli occupanti	Salute e benessere	Flessibilità energetica
	57	43	32	18	16	33	100
Riscaldamento			25	17	18	31	
Acqua calda sanitaria				15	11		
Raffrescamento			21	11	14	22	
Ventilazione controllata			9	7	11	23	
Illuminazione			16	12		14	
Elettricità				9	15		
Ricarica veicoli elettrici				5	6		
Involucro architettonico dinamico	5	5	9	3	5	10	
Monitoraggio e controllo	20	20	20	20	20		20

Come si vede, i pesi stabiliti dal gruppo dei nostri giudici sono lontani dai pesi “uguali” dello schema di calcolo standard. La motivazione della “mancanza di dati scientifici” su cui è basata quella scelta [1] non sembra dunque sufficiente a rendere conto del risultato qui riportato. C'è però da ammettere che questo risultato è ottenuto da un gruppo relativamente ristretto di giudici di orientamento e formazione diversi, e può manifestare notevoli polarizzazioni e produrre risultati difficilmente riproducibili allargando la loro platea o ricorrendo a un numero uguale di giudici per ogni provenienza professionale. A parte che quest'ultima scelta potrebbe comunque essere opinabile, dalle tabelle riportate ai paragrafi precedenti si rileva una notevole variabilità anche all'interno delle opinioni di ogni singola categoria interpellata.

C'è da considerare che i giudici da noi interpellati non sono scelti a caso tra la popolazione ma hanno tutti in qualche modo a che fare professionalmente con la filiera dell'edilizia, alcuni di loro in particolare con la progettazione e l'installazione di sistemi tecnologici di edificio, e tutti sono stati messi al corrente sia dello spirito e del meccanismo di SRI sia delle basi del metodo di valutazione AHP. Il fatto che il gruppo sia piuttosto eterogeneo potrebbe essere una garanzia contro la possibile prevalenza di uno o l'altro punto di vista, salvo che la sua composizione potrebbe non essere bilanciata, con conseguente potenziale instabilità dei risultati. In questo senso, un'ulteriore indagine potrebbe derivare dall'approccio proposto in [7]; la sua applicazione sarà possibilmente presa in considerazione se sarà disponibile una base più larga di giudici. Quanto al bilanciamento del gruppo giudici, bisognerebbe prima di tutto

stabilire un criterio su cui fondarlo, ma questo è al momento fuori dalle possibilità del progetto GUARDIANS.

Un'altra obiezione possibile è che l'indagine condotta ha validità solo nell'ambito locale da cui provengono tutti i giudici. Questo è vero, e infatti l'obiettivo dell'indagine è proprio quello di valutare l'adeguatezza dei pesi standard nell'ambito territoriale della Toscana costiera. È anche naturale che operatori provenienti da diverse località abbiano opinioni diverse sui pesi da attribuire ai vari elementi della gerarchia SRI. Tanto per fare un esempio, un giudice attivo in una zona di montagna probabilmente attribuirà poca importanza al dominio tecnologico Raffrescamento, come un giudice attivo in un comune italiano in zona climatica A (0-600 gradi giorno) valuterà molto poco l'importanza del dominio Riscaldamento. La difficoltà nell'implementazione della certificazione SRI consisterà forse nel trovare un sistema di pesi che possa rispecchiare bene non solo le diverse realtà climatiche, ma anche realtà di tipo sociale, quali disponibilità di tecnologie mature (p.es. smart grid), presenza in zona di progettisti e installatori qualificati, ecc.

D'altra parte, i criteri d'impatto di cui ci siamo occupati principalmente, quelli relativi alla risposta alle esigenze degli occupanti, difficilmente potranno ricevere valutazioni oggettive e indipendenti dal contesto in cui si trovano gli edifici: si tratta di uno dei motivi per cui il solo indice SRI non garantisce la comparabilità dei risultati tra edifici diversi. Persa la comparabilità a favore della "trasparenza" [1], e abbandonato il requisito della scientificità delle scelte, ci si trova con una ragione in più per cercare di pesare in modo il più possibile adeguato ogni livello della gerarchia. Alla fine, l'adeguatezza delle scelte sulla risposta alle esigenze degli occupanti dovrebbe essere giudicata proprio dagli occupanti. Non è escluso che un'indagine specifica rivolta al pubblico generale possa essere condotta in un futuro. Nel nostro caso, rivolgerci ai soli professionisti del settore è una scelta che risponde all'esigenza di avere giudici consapevoli, pur da diversi punti di vista, delle tecnologie che stanno dietro ai vari servizi intelligenti e dei benefici che possono portare all'efficienza degli edifici e alla qualità della vita dei loro occupanti, oltre che essere un minimo alfabetizzati rispetto alla procedura AHP.

Riferimenti

- [1] S. Verbeke, D. Aerts, G. Reynders, Y. Ma and P. Waide, *Final report on the technical support to the development of a smart readiness indicator for buildings*, 2020, ISBN 978-92-76-19197-1, doi 10.2833/41100.
- [2] Progetto GUARDIANS, Deliverable 1.1, Rapporto sullo schema di calcolo SRI, marzo 2025.
- [3] L. Canale, M. De Monaco, B. Di Pietra, G. Puglisi, G. Ficco, I. Bertini, M. Dell'Isola, "Estimating the smart readiness indicator in the italian residential building stock in different scenarios", *Energies*, Vol. 14, p. 6442, 2021.
- [4] T. L. Saaty, "On the measurement of intangibles. A principal eigenvector approach to relative measurement derived from paired comparisons", *Notices of the American Mathematical Society*, vol. 60, pp. 192–208, 2013, doi: 10.1090/noti944.
- [5] E. Salerno, *Integration of Analysis of the Hierarchical Process and Dempster-Shafer Theory for cooperative evaluation tasks*, ISTI-CNR, Working Paper 421098, 2020.
- [6] K. Kulakowski, "Notes on order preservation and consistency in AHP", *Eur. J. Op. Res.*, Vol. 245, pp. 333–337, 2015.
- [7] E. Salerno, "Identifying Value-Increasing Actions for Cultural Heritage Assets through Sensitivity Analysis of Multicriteria Evaluation Results", *Sustainability*, vol. 12, Paper no. 9238, 2020, doi: 10.3390/su12219238.

Appendice 1: Listato Matlab per il calcolo dei pesi di funzionalità, criteri e domini tecnologici

```
% Valutazione fattori di ponderazione SRI
%
% Afc(3x3) = matrice di giudizio funzionalità chiave
% lfc = autovalore massimo funzionalità chiave
% vfc = autovettore dominante funzionalità chiave (norm a somme 1)
% crfc = consistency ratio funzionalità chiave
% warning(1) = warning funzionalita chiave
%
% Aref(2x2) = matrice di giudizio risparmio energetico e funzionamento
% lref = autovalore massimo risparmio energetico e funzionamento
% vref = autovettore dominante risparmio energetico e funzionamento (norm a
somme 1)
% crref = consistency ratio risparmio energetico e funzionamento
% warning(2) = warning risparmio energetico e funzionamento (sempre 0)
%
% Areo(4x4) = matrice di giudizio risp esigenze occupanti
% lreo = autovalore massimo risp esigenze occupanti
% vreo = autovettore dominante risp esigenze occupanti (norm a somme 1)
% crreo = consistency ratio risp esigenze occupanti
% warning(3) = warning risposta alle esigenze degli occupanti
%
% Acom(5x5) = matrice di giudizio Comfort
% lcom = autovalore massimo Comfort
% vcom = autovettore dominante Comfort (norm a somme 1)
% crcom = consistency ratio Comfort
% warning(4) = warning comfort
%
% Acon(8x8) = matrice di giudizio Comodita
% lcon = autovalore massimo Comodita
% vcon = autovettore dominante Comodita (norm a somme 1)
% crcon = consistency ratio Comodita
% warning(5) = warning comodita
%
% Ahw(5x5) = matrice di giudizio Salute e benessere
% lhw = autovalore massimo Salute e benessere
% vhw = autovettore dominante Salute e benessere (norm a somme 1)
% crhw = consistency ratio Salute e benessere
% warning(6) = warning salute e benessere
%
% Ainf(7x7) = matrice di giudizio Informazione agli occupanti
% linf = autovalore massimo Informazione agli occupanti
% vinf = autovettore dominante Informazione agli occupanti (norm a somme 1)
% crinf = consistency ratio Informazione agli occupanti
% warning(7) = warning informazione agli occupanti
```

```
% Valori Random Index da Salerno (2020) (con 1 in prima posizione per
% poter considerare insieme matrici di dimensione 2)
```

```
ri=[1
0.4900000000000000
0.8300000000000000
1.0400000000000000
1.1700000000000000
1.2600000000000000
1.3200000000000000
1.3700000000000000
```



```

1.4000000000000000
1.4300000000000000
1.4500000000000000
1.4700000000000000
1.4800000000000000
1.4900000000000000];

% Valutazione funzionalita chiave (3):
    % Efficienza energetica
    % Esigenze degli occupanti
    % Esigenze della rete

[vfc,lfc]=eigs(Afc,1);
crfc=(lfc-size(Afc,1))/(size(Afc,1)-1)/ri(size(Afc,1)-1);
vfc=vfc/sum(vfc);
if crfc>0.1
    warning(1)=crfc;
else
    warning(1)=0;
end

% Valutazione criteri d'impatto
    % Risparmio energetico e funzionamento (2):
    % Risparmio energetico
    % Manutenzione e predizione dei guasti

[vref,lref]=eigs(Aref,1);
vref=vref/sum(vref);

    % Risposta alle esigenze degli occupanti (4):
    % Comfort
    % Comodita
    % Informazione agli occupanti
    % Salute e benessere

[vreo,lreo]=eigs(Areo,1);
crreo=(lreo-size(Areo,1))/(size(Areo,1)-1)/ri(size(Areo,1)-1);
vreo=vreo/sum(vreo);
if crreo>0.1
    warning(3)=crreo;
else
    warning(3)=0;
end

% Valutazione domini tecnologici
    % Comfort (5):
    % Riscaldamento
    % Raffrescamento
    % Ventilazione controllata
    % Illuminazione
    % Involucro architettonico dinamico

[vcom,lcom]=eigs(Acom,1);
crcom=(lcom-size(Acom,1))/(size(Acom,1)-1)/ri(size(Acom,1)-1);
vcom=vcom/sum(vcom);
if crcom>0.1
    warning(4)=crcom;
else
    warning(4)=0;
end

    % Comodita (8):

```



```

        % Riscaldamento
        % Acqua calda sanitaria
        % Raffrescamento
        % Ventilazione controllata
        % Illuminazione
        % Elettricità
        % Involucro architettonico dinamico
        % Ricarica veicoli elettrici

[vcon,lcon]=eigs(Acon,1);
crcon=(lcon-size(Acon,1))/(size(Acon,1)-1)/ri(size(Acon,1)-1);
vcon=vcon/sum(vcon);
if crcon>0.1
    warning(5)=crcon;
else
    warning(5)=0;
end

% Salute e benessere (5):
    % Riscaldamento
    % Raffrescamento
    % Ventilazione controllata
    % Illuminazione
    % Involucro architettonico dinamico

[vhw,lhw]=eigs(Ahw,1);
crhw=(lhw-size(Ahw,1))/(size(Ahw,1)-1)/ri(size(Ahw,1)-1);
vhw=vhw/sum(vhw);
if crhw>0.1
    warning(6)=crhw;
else
    warning(6)=0;
end

% Informazione agli occupanti (7):
    % Riscaldamento
    % Acqua calda sanitaria
    % Raffrescamento
    % Ventilazione controllata
    % Elettricità
    % Involucro architettonico dinamico
    % Ricarica veicoli elettrici

[vinf,linf]=eigs(Ainf,1);
crinf=(linf-size(Ainf,1))/(size(Ainf,1)-1)/ri(size(Ainf,1)-1);
vinf=vinf/sum(vinf);
if crinf>0.1
    warning(7)=crinf;
else
    warning(7)=0;
end

% Output risultati

% Funzionalità chiave
%
disp('FUNZIONALITÀ CHIAVE:')
disp(' ')
disp('Risparmio energetico e funzionamento')
disp(vfc(1));
disp('Risposta alle esigenze degli occupanti')
disp(vfc(2));

```



```

disp('Risposta alle esigenze della rete')
disp(vfc(3));
if warning(1)>0.1
    disp(['Warning!',num2str(warning(1))])
end
disp(' ')
disp(' ')

% Criteri d'impatto
%
disp("CRITERI D'IMPATTO:")
disp(' ')
disp('Risparmio energetico e funzionamento:')
disp('Risparmio energetico')
disp(vref(1));
disp('Manutenzione e predizione dei guasti')
disp(vref(2));
if warning(2)>0.1
    disp(['Warning!',num2str(warning(2))])
end
disp(' ')
disp('Risposta alle esigenze degli occupanti:')
disp('Comfort')
disp(vreo(1));
disp('Comodita')
disp(vreo(2));
disp('Informazione agli occupanti')
disp(vreo(3));
disp('Salute e benessere')
disp(vreo(4));
if warning(3)>0.1
    disp(['Warning!',num2str(warning(3))])
end
disp(' ')
disp(' ')

% Domini tecnologici
%
disp("DOMINI TECNOLOGICI:")
disp(' ')
disp('Comfort:')
disp('Riscaldamento')
disp(vcom(1));
disp('Raffrescamento')
disp(vcom(2));
disp('Ventilazione controllata')
disp(vcom(3));
disp('Illuminazione')
disp(vcom(4));
disp('Involucro architettonico dinamico')
disp(vcom(5));
if warning(4)>0.1
    disp(['Warning!',num2str(warning(4))])
end
disp(' ')
disp('Comodita:')
disp('Riscaldamento')
disp(vcon(1));
disp('Acqua calda sanitaria')
disp(vcon(2));
disp('Raffrescamento')
disp(vcon(3));

```

```

disp('Ventilazione controllata')
disp(vcon(4));
disp('Illuminazione')
disp(vcon(5));
disp('Elettricità')
disp(vcon(6));
disp('Involucro architettonico dinamico')
disp(vcon(7));
disp('Ricarica veicoli elettrici')
disp(vcon(8));
if warning(5)>0.1
    disp(['Warning!', num2str(warning(5))])
end
disp(' ')
disp('Salute e benessere:')
disp('Riscaldamento')
disp(vhw(1));
disp('Raffrescamento')
disp(vhw(2));
disp('Ventilazione controllata')
disp(vhw(3));
disp('Illuminazione')
disp(vhw(4));
disp('Involucro architettonico dinamico')
disp(vhw(5));
if warning(6)>0.1
    disp(['Warning!', num2str(warning(6))])
end
disp(' ')
disp('Informazione agli occupanti:')
disp('Riscaldamento')
disp(vinf(1));
disp('Acqua calda sanitaria')
disp(vinf(2));
disp('Raffrescamento')
disp(vinf(3));
disp('Ventilazione controllata')
disp(vinf(4));
disp('Elettricità')
disp(vinf(5));
disp('Involucro architettonico dinamico')
disp(vinf(6));
disp('Ricarica veicoli elettrici')
disp(vinf(7));
if warning(7)>0.1
    disp(['Warning!', num2str(warning(7))])
end
disp(' ')
disp(' ')

```

Appendice 2: Funzione Matlab per i criteri POP e POIP di consistenza dei giudizi AHP

```
function [verif_POIP, numPOIP, verif_POP, numPOP, E]=POIPlab(A,w)
% VERIFICA CRITERIO POIP PER MATRICE RECIPROCA CON AUTOVETTORE
% PRINCIPALE w (Kulakowski 2016)

%This code computes the local error matrix for a judgement matrix. The two
final
%values of ind locate the element with the maximum error. The code also checks
%the Preservation of Order Preference (POP) and the Preservation of Order of
%Intensity of Preference (POIP) conditions for consistency of a judgement
matrix
%[13]. The zeros in the last column of vector numel locate either the elements
%that do not satisfy the POP condition or the pairs of elements that do not
satisfy
%the POIP condition.

% A --> matrice di giudizio positiva reciproca
% (la sua struttura si intende gia' verificata)
% w --> autovettore principale di A (calcolato in precedenza)

N=size(A,1);

verif_POIP=[];
for i=1:N
    for j=1:N
        if(A(i,j)>1)
            for k=1:N
                for l=1:N
                    if(A(k,l)>A(i,j))
                        if(w(k)/w(l)>w(i)/w(j))
                            verif_POIP=[verif_POIP; i j k l 1];
                        else
                            verif_POIP=[verif_POIP; i j k l 0];
                        end
                    end
                end
            end
        end
    end
end
numPOIP=numel(find(~verif_POIP))

% VERIFICA CRITERIO POP PER MATRICE RECIPROCA CON AUTOVETTORE
% PRINCIPALE w (Kulakowski 2016)

verif_POP=[];
for i=1:N
    for j=1:N
        if(A(i,j)>1)
            if(w(i)>w(j))
                verif_POP=[verif_POP; i j 1];
            else
                verif_POP=[verif_POP; i j 0];
            end
        end
    end
end
numPOP=numel(find(~verif_POP))

% CALCOLO DELLA MATRICE DELL'ERRORE LOCALE PER MATRICE RECIPROCA
```



```

% CON AUTOVETTORE PRINCIPALE w (Kulakowski 2016)

E=zeros(N);
for i=1:N
    for j=1:N
        E(i,j)=A(i,j)*w(j)/w(i);
    end
end
E-1
[m ind]=max(abs(E-1));
[m ind2]=max(m);
ind1=ind(ind2);
disp('ind1, ind2')
disp([ind1,ind2])

```