

Facciata di Palazzo Marino verso Piazza della Scala

# Diagnosi energetica di un edificio storico: Palazzo Marino a Milano

*Il migliore intervento di riqualificazione energetica è stato individuato a fronte di un'analisi multicriterio che ha previsto il confronto dei vari scenari proposti, tenendo conto di tutti i fattori: energetici, ambientali ed economico-finanziari*

*L. Bandolin, S. De Toni, L. Mazzarella \**

**P**ALAZZO MARINO, sede del Comune di Milano, è stato oggetto nel 2015 di una diagnosi energetica, per individuare e analizzare le potenziali ottimizzazioni a livello energetico dell'edificio (Bandolin e De Toni, 2016). Trattandosi di un edificio storico, la diagnosi energetica non ha preso in considerazione possibili interventi sull'involucro, che, per non impattare sull'aspetto architettonico, si sarebbero dovuti limitare alla sostituzione delle finestre, sempre con telai in legno e della forma originale, e all'isolamento del sottotetto, operazioni già effettuate. Si è deciso quindi di concentrarsi sulla parte impiantistica e nello specifico sulla generazione; questo aspetto risulta particolarmente interessante dato che l'impianto di climatizzazione del palazzo è stato aggiunto in un secondo momento

e ha subito varie modifiche nel corso del tempo. Nel Box 1 è riportata una breve descrizione dell'edificio e dell'impianto.

Per studiare correttamente il risparmio energetico conseguibile per ognuno dei possibili scenari adottabili è stata implementata una simulazione dinamica delle prestazioni energetiche dell'edificio. In particolare, per evitare un'eccessiva pesantezza nel calcolo, il modello è stato calibrato sui primi due piani, che risultano più interessanti da un punto di vista architettonico e strutturale; i risultati ottenuti sono stati poi estesi all'intero edificio, in modo da considerare il consumo e i carichi totali ed essere così in grado di apportare migliorie al sistema di generazione. Ogni alternativa proposta è stata analizzata sotto gli aspetti energetico,

ambientale ed economico. In seguito, è stata svolta un'analisi multicriterio per confrontare gli scenari e trovare l'intervento migliore.

## **Analisi delle prestazioni dell'edificio: modello e calibrazione**

Per analizzare la prestazione energetica dell'edificio è stato realizzato un modello dell'involucro edilizio in TRNBuild, un componente di TRNSYS, noto software tecnico-scientifico che, insieme a Simulation Studio, permette la simulazione dinamica del sistema fabbricato-impianto.

## PALAZZO MARINO

L'edificio, attualmente sede dell'Amministrazione Comunale, si affaccia a Nord-Ovest su Piazza della Scala, a Sud-Ovest su Via Marino, a Sud-Est su Piazza San Fedele e a Nord-Est su Via Case Rotte. Costruito nel XVI secolo, presenta due cortili interni e si sviluppa su sei piani:

- piano interrato;
- piano terreno;
- piano primo ammezzato;
- piano primo;
- piano secondo;
- piano terzo.

Le caratteristiche dell'edificio e dell'impianto sono state rilevate a seguito di sopralluoghi e sono state integrate con i dati tecnici reperiti. Il piano interrato presenta due zone climatizzate: la prima comprende lo spogliatoio dei Vigili Urbani e la Copisteria, la seconda i locali in cui sono allocate le unità di trattamento aria dello spogliatoio, della copisteria e della Sala Consiliare, in Figura 4, e dalla sottocentrale termica e dagli archivi. Al piano terreno si trovano le sale più rilevanti dell'intero edificio: al centro la Sala Alessi, in Figura 5, uno spazio utilizzato per ospitare convegni e mostre durante il corso dell'anno; sul lato che si affaccia verso Piazza della Scala la portineria, la sala stampa, la Sala degli Arazzi, la Sala Trinità e la Sala Resurrezione e verso Piazza San Fedele la Sala e l'Antisala dei Matrimoni, note anche come Sala verde e Sala gialla, la Sala dell'Urbanistica e la Sala Consiliare, dove si tengono le riunioni del Consiglio Comunale. Le altezze delle zone sono disuniformi e molte sale occupano anche il primo piano ammezzato e addirittura il primo piano. I restanti piani sono occupati dall'appartamento del Sindaco e dagli uffici del Comune. In Figura 6 sono riportate le piante del piano interrato e del piano terra.



Figura 5 – Sala Alessi

L'impianto di climatizzazione dell'edificio ha subito nel corso degli anni molti

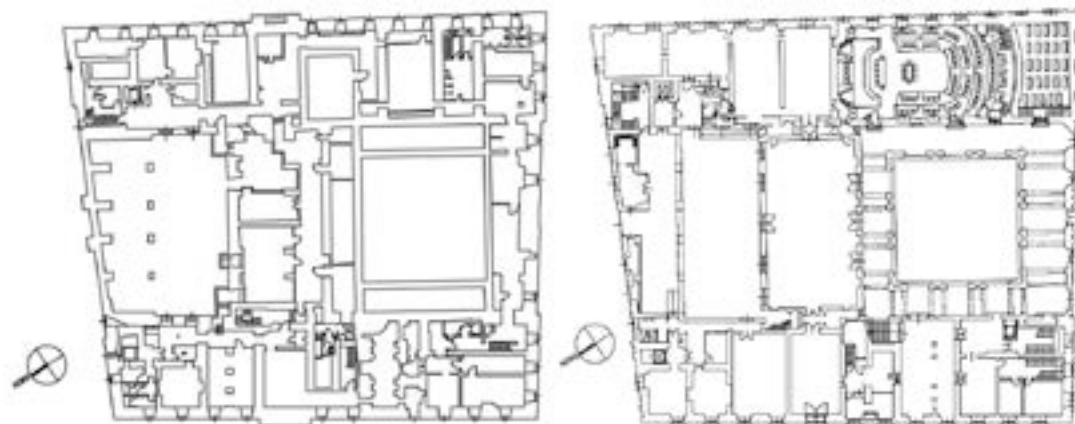


Figura 6 – Planimetrie del piano interrato e del piano terra



Figura 4 – Sala Consiliare

interventi di modifica, fino a giungere all'attuale configurazione. Per la climatizzazione invernale Palazzo Marino è allacciato alla rete di teleriscaldamento comunale alimentata dalla centrale sita in Via Silvio Pellico e gestita dall'azienda A2A Calore & Servizi. Lo scambiatore di calore, che permette il trasferimento di energia dall'acqua del teleriscaldamento a quella del circuito dell'edificio, è allocato nella sottocentrale termica del piano interrato, dalla quale partono i circuiti che alimentano i terminali di immissione in ambiente. Le zone dell'edificio sono dotate per la maggior parte di ventilconvettori, ad eccezione della Sala Consiliare, dello spogliatoio dei Vigili Urbani e della Copisteria, che presentano un'unità di trattamento aria singolarmente dedicata, e del terzo piano, servito da un impianto misto fan coil e UTA. Per la climatizzazione estiva l'edificio è dotato di due gruppi frigoriferi, che si trovano sul tetto della struttura e che alimentano la rete di distribuzione di acqua refrigerata sia di Palazzo Marino sia di un altro edificio situato in Via Marino 7.

Inizialmente l'edificio è stato suddiviso in tre macroaree caratterizzate dalla tipologia di impianto:

ventilconvettori, unità di trattamento aria e assenza di qualsiasi sistema di climatizzazione; successivamente, per ogni macroarea è stata considerata la

destinazione d'uso dei locali, ricavando un'ulteriore suddivisione e infine, si è tenuto conto dei diversi orientamenti, individuando così la ripartizione finale in diverse zone termiche, cioè porzioni di edificio che condividono determinate caratteristiche, come tipologia di impianto e destinazione d'uso. Per ogni zona termica sono stati quindi determinati i seguenti parametri:

- pacchetto strutturale e caratteristiche geometriche dei componenti opachi;
- caratteristiche strutturali e geometriche dei componenti trasparenti;
- ponti termici;
- infiltrazioni di aria dovute alla permeabilità dei serramenti;



### ENERGY DIAGNOSIS OF A HISTORIC BUILDING: PALAZZO MARINO IN MILAN

Palazzo Marino, headquarters of the Municipality of Milan, in 2015 has been the subject of an energy diagnosis to identify and analyze potential energy optimizations of the building. The energy diagnosis has concerned only the plants, especially those related to generation. In order to correctly study the energy savings achievable for each of the possible adoptable scenarios, a dynamic simulation of the energy performance of the building has been implemented. Each proposed alternative has been analyzed under the energy, environmental and economic aspects. Afterwards, a multi-criteria analysis was carried out to compare the scenarios and find the best intervention. This case study demonstrates the importance of submitting to the person in charge of the intervention scenarios evaluated according to criteria that agree with its sensitivity and its expectations, clarifying every aspect involved in the analysis.

Keywords: Palazzo Marino, energy diagnosis, historic building, retrofit

BOX 1

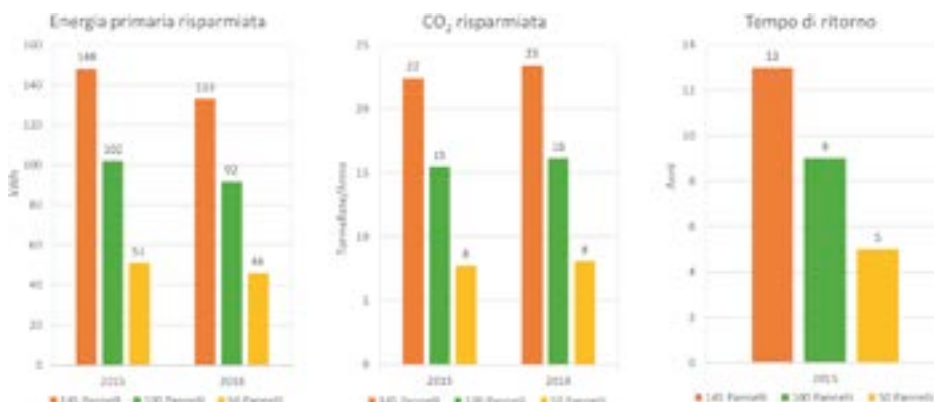
- carichi interni dovuti alla presenza di persone, apparecchiature elettroniche e luci;
- schedule dell'impianto di climatizzazione e temperature di set point.

È stato poi modellato in Simulation Studio l'impianto di climatizzazione nella sua configurazione reale a servizio dei vari piani. La simulazione è stata concentrata sugli aspetti di emissione e regolazione, cui fa riferimento la maggior parte delle informazioni reperite; non avendo dati relativi alla distribuzione, è stato deciso di trattare questo aspetto separatamente, facendo riferimento alla normativa di settore. Sono stati quindi inseriti zona per zona i moduli di calcolo (TYPE) specifici per la simulazione dei ventilconvettori, o delle unità di trattamento aria, e dei loro sistemi di controllo, per ottenere una rappresentazione globale zona per zona del sistema fabbricato-impianto e del suo comportamento.

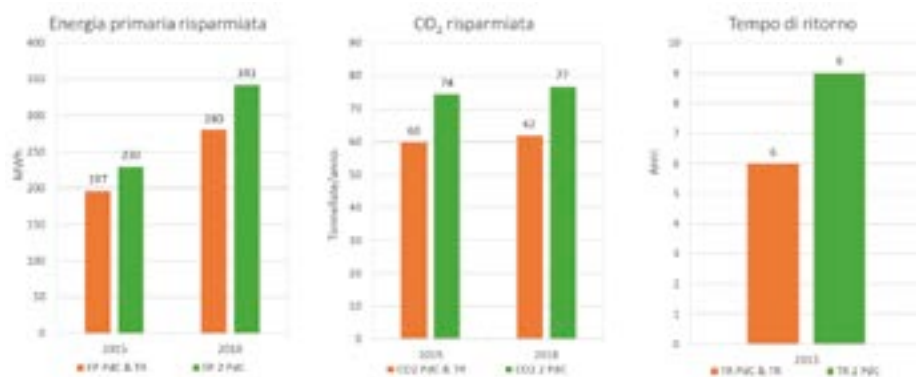
La calibrazione del modello è stata effettuata valutando contemporaneamente due aspetti: l'andamento della temperatura nelle zone termiche e lo scostamento tra i consumi energetici dichiarati dal modello e quelli reali letti a contatore. Per quanto riguarda il primo aspetto, non avendo a disposizione alcun dato sull'andamento reale delle temperature, è stato deciso di considerare come set point di riferimento i valori proposti dalla normativa, cioè 20 °C durante la stagione di riscaldamento e 26 °C durante il periodo di raffrescamento; zona per zona è stato quindi verificato che la temperatura si mantenesse vicina al set point, indagando e giustificando opportunamente le eventuali anomalie. La calibrazione sui consumi è stata effettuata solo per il periodo invernale, poiché le letture a contatore, fornite da A2A Calore & Servizi, riguardano il solo periodo di riscaldamento; tali letture sono state corrette sulla base dei gradi giorno effettivi, in modo da rendere significativo il confronto. Al dato sul consumo calcolato con TRNSYS sono state aggiunte le perdite termiche di distribuzione calcolate secondo la normativa e il valore così ricavato è stato infine confrontato con il consumo reale dei primi due piani. Lo scostamento tra il consumo simulato e il consumo reale è pari al 5%; questo risultato, insieme al buon andamento delle temperature nelle zone, ha confermato la validità del modello realizzato.

## Analisi degli interventi migliorativi

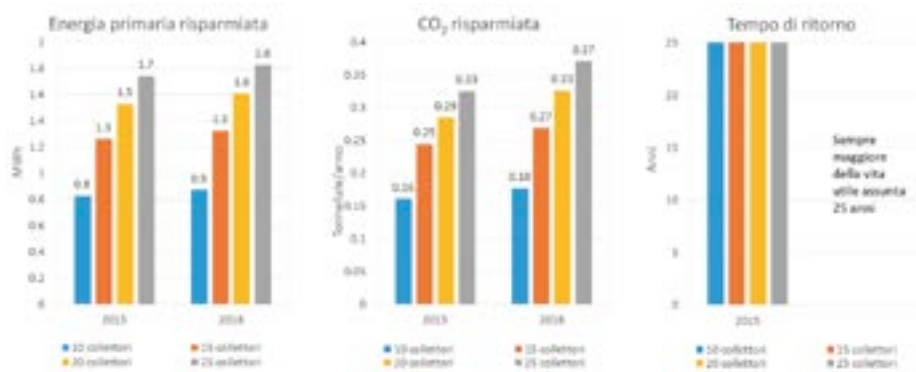
Prima di affrontare lo studio dei miglioramenti possibili sui sistemi di generazione, è stato necessario approfondire l'analisi dei dati relativi ai consumi energetici misurati. Infatti, mentre il riscaldamento è soddisfatto con il teleriscaldamento, per il quale si ha la contabilizzazione alla sottostazione di scambio, il raffrescamento è ottenuto con due gruppi frigoriferi aria-acqua, posti sul tetto dell'edificio, che però servono non solo Palazzo Marino ma anche le utenze di Via Marino 7, sfruttando per i collegamenti le tubazioni del teleriscaldamento.



**Figura 1** – Soluzione 1: energia primaria non rinnovabile e CO<sub>2</sub> risparmiate con l'installazione di 50, 100 o 150 pannelli fotovoltaici a parziale copertura del fabbisogno elettrico, rispettivamente per 86, 171 e 248 m<sup>2</sup>. I risultati sono basati su valori del fattore di conversione in energia primaria pari per l'energia elettrica a 2,17 (valore 2015) e 1,95 (valore 2018) e per la CO<sub>2</sub> a 329 g<sub>CO2</sub>/kWh<sub>el</sub> (valore 2015) e 343 g<sub>CO2</sub>/kWh<sub>el</sub> (valore 2018) [1,2]. Il tempo di ritorno è stato calcolato su una vita utile di 20 anni e su un tasso di attualizzazione del 2%



**Figura 2** – Soluzioni 2 e 3: energia primaria non rinnovabile e CO<sub>2</sub> risparmiate con l'installazione di una pompa di calore di potenzialità pari alla potenza frigorifera necessaria in estate e integrata in inverno dal teleriscaldamento, e di due pompe di calore in grado di coprire tutto il fabbisogno invernale. I risultati sono basati su valori del fattore di conversione in energia primaria pari per l'energia elettrica a 2,17 (valore 2015) e 1,95 (valore 2018), per il gas naturale a 1 (valore 2015) e 1,05 (valore 2018), e per la CO<sub>2</sub> a 329 g<sub>CO2</sub>/kWh<sub>el</sub> per il vettore elettrico e 200 g<sub>CO2</sub>/kWh per il gas naturale (valori 2015) e a 343 g<sub>CO2</sub>/kWh<sub>el</sub> e 203 g<sub>CO2</sub>/kWh (valori 2018). Il tempo di ritorno è stato calcolato su una vita utile di 20 anni e su un tasso di attualizzazione del 2% e con l'ipotesi di utilizzare il Conto Termico 2012 per le pompe di calore



**Figura 3** – Soluzione 4: energia primaria non rinnovabile e CO<sub>2</sub> risparmiate con l'installazione di collettori solari termici per il post-riscaldamento della sala Consiliare in numero di 10, 15, 20 e 25, per rispettivamente 17, 26, 34 e 43 m<sup>2</sup>, con frazione solare corrispondente a 0,41, 0,62, 0,67 e 0,82. I risultati sono basati su valori del fattore di conversione in energia primaria pari per il gas metano a 1 (valore 2015) e 1,05 (valore 2018) e per la CO<sub>2</sub> a 329 g<sub>CO2</sub>/kWh (valore 2015) e 343 g<sub>CO2</sub>/kWh (valore 2017). Il risparmio di combustibile è stato valutato rispetto al caso di una caldaia a gas dedicata al post-riscaldamento estivo. Il tempo di ritorno è stato calcolato su una vita utile di 25 anni e su un tasso di attualizzazione del 2%, sfruttando la detrazione fiscale dall'Ires del 65% del costo di investimento

Quindi, nel funzionamento estivo, per verificare il dimensionamento delle macchine attualmente in esercizio, è stato necessario aggiungere alla richiesta di potenza frigorifera fornita dalla simulazione, relativa solo a Palazzo Marino, anche la stima di quella richiesta dalle altre utenze. A partire dai carichi e dai consumi totali dei generatori è stato infine possibile valutare il dimensionamento delle macchine attualmente in funzione e formulare quattro proposte di intervento:

1. installazione di moduli fotovoltaici a parziale copertura del fabbisogno elettrico del palazzo, in particolare dei gruppi frigoriferi in estate;
2. sostituzione dei gruppi frigoriferi con una pompa di calore invertibile, integrata in inverno dal teleriscaldamento;
3. sostituzione dei gruppi frigoriferi con una pompa di calore invertibile, integrata in inverno da una seconda pompa di calore;
4. installazione di pannelli solari

termici, integrati da una caldaia ausiliaria, per effettuare il post riscaldamento estivo nell'unità di trattamento aria della Sala Consiliare.

L'analisi delle richieste di potenza ha dimostrato che gli attuali gruppi frigoriferi risultano essere surdimensionati e di questo se ne terrà conto nella loro sostituzione con pompa di calore invertibile.

Le prime tre proposte di efficientamento prevedono la sostituzione parziale o totale dei sistemi di generazione o approvvigionamento attuali. Il quarto intervento andrebbe invece a risolvere una criticità individuata durante i sopralluoghi: la batteria di post-riscaldamento dell'unità di trattamento aria della Sala Consiliare non può essere utilizzata in estate a causa della commutazione dell'impianto di teleriscaldamento in impianto di teleraffrescamento. Infatti, mentre d'inverno tramite le tubazioni di adduzione all'edificio arriva l'acqua calda prodotta dalla centrale termica esterna e distante dall'edificio, d'estate si ha l'inversione del servizio: la centrale frigorifera di Palazzo Marino fornisce acqua refrigerata agli altri edifici comunali tramite la rete di teleriscaldamento, quindi non è possibile post-riscaldare l'aria per il controllo dell'umidità relativa non essendo presente alcun generatore termico in situ, a meno che non si impieghi una batteria elettrica. La soluzione solare termica permetterebbe di sfruttare pienamente le potenzialità

dell'UTA e di garantire un comfort termoigrometrico maggiore almeno nella sala Sala Consiliare, che presenta il maggior carico termico latente. Poiché attualmente non esiste un sistema di generazione per il post-riscaldamento, è stato effettuato un confronto tra la soluzione con impianto solare termico proposto e una caldaia a gas che serva esclusivamente per il post-riscaldamento.

Ogni scenario di intervento proposto è stato valutato sotto molteplici punti di vista: l'analisi energetica ha quantificato il risparmio di energia primaria e il contributo di energia rinnovabile che ogni soluzione offre, il calcolo della riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> ha evidenziato l'effetto positivo che gli interventi avrebbero sull'ambiente e l'analisi economico-finanziaria ha permesso di valutare il risparmio monetario che deriva dalle nuove configurazioni di impianto e di verificare se queste si ripagano entro il termine di vita utile degli impianti, tramite il calcolo del tempo di ritorno. Nel seguito vengono riportati i risultati relativi ai vari scenari calcolati con due diversi set di valori per i fattori di conversione in energia primaria: quelli in vigore fino al giugno del 2015 e quelli successivamente imposti dal nuovo decreto requisiti minimi (MiSE, 2015). Il calcolo economico è stato lasciato invariato ed è quindi riferito al 2015. I risultati sono riportati nelle Figure da 1 a 3.

# Call for papers

**AiCARR Journal è sempre alla ricerca di articoli e relazioni di progetti significativi nei vari settori di interesse dell'Associazione, da pubblicare sulle pagine della rivista.**

## ***Temi di interesse***

**Verranno considerati articoli o abstract su climatizzazione ambientale attiva e passiva, refrigerazione, sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili ai fini della climatizzazione ambientale e della refrigerazione.**

## ***Come partecipare***

**Le proposte possono essere inviate alla redazione: [redazione.aicarrjournal@quine.it](mailto:redazione.aicarrjournal@quine.it). L'accettazione dell'articolo sottoposto è comunque subordinata all'esito positivo del processo di revisione da parte di esperti del settore, specificatamente individuati nel Comitato Scientifico della rivista.**

## Scelta dell'intervento migliore

Per individuare l'intervento complessivamente più vantaggioso è stata effettuata un'analisi multicriterio che tiene conto di tutti i fattori considerati, cioè l'aspetto energetico, la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e l'analisi economico-finanziaria, rappresentati dai tre indicatori riportati nelle Figure da 1 a 3. Gli indicatori sono stati adimensionalizzati in una scala tra 0 e 1,1 e pesati per il confronto, utilizzando come fattore di peso rispettivamente 0,25, 0,25 e 0,5, cioè dando maggior peso all'aspetto economico. Come mostrato in Tabella 1, l'indagine ha riguardato i set di risultati relativi ai valori dei fattori di conversione in energia primaria relativi al 2015 e al 2018. È stata esclusa la soluzione 4 perché il tempo di ritorno del capitale non è ammissibile. È evidente che la soluzione con pompa di calore invertibile integrata dal teleriscaldamento è l'alternativa migliore, sia con i fattori di conversione in vigore fino al 2015 che con quelli del 2018.

Se però si dà maggior peso all'aspetto ambientale, cambiando i pesi in 0,25, 0,5 e 0,25, i risultati cambiano significativamente, come mostrato in Tabella 2. La soluzione con due pompe di calore risulta la migliore utilizzando per i fattori i valori del 2015, mentre con i valori dei fattori del 2018 le cose restano praticamente inalterate e la pompa di calore invertibile integrata dal teleriscaldamento resta la migliore soluzione, anche se di poco.

## Conclusioni

Le conclusioni che si possono trarre dalle analisi condotte sono principalmente due: l'impatto significativo introdotto dai nuovi fattori di conversione in energia primaria non rinnovabile, in particolare sull'energia elettrica da rete, e la estrema sensibilità dell'analisi multicriterio rispetto ai pesi adottati. Ciò dimostra come occorra sottoporre al decisore dell'intervento scenari valutati secondo criteri che concordino con le sue sensibilità e le sue attese, chiarendo ed evidenziando le ipotesi adottate sui pesi nei vari casi. ■

\* Lucia Bandolin, Vertiv

Susanna De Toni, Wood plc

Livio Mazzarella, Politecnico di Milano

– Vice Presidente di AiCARR per

i Rapporti Internazionali

**Tabella 1** – Valori dell'indice ponderato I.P. per le soluzioni ipotizzate. I pesi sono 0,25 per l'indicatore energetico e per quello ambientale e 0,5 per quello economico-finanziario

Soluzione	Criterio			Indicatore			I.P.
	Risparmio di energia primaria [MWh]	Riduzione di emissioni di CO <sub>2</sub> [ton/anno]	TR [anni]	Energetico <sub>i</sub>	Ambientale	Economico-finanziario	
<b>2015</b>							
1 (PV 145)	148,09	22,45	13	0,52	0,29	0,46	0,43
1 (PV 100)	102,13	15,48	9	0,36	0,20	0,67	0,47
1 (PV 50)	51,06	7,74	5	0,18	0,10	1,20	0,67
2 - 3	196,53	59,89	6	0,70	0,76	1,00	0,87
4	229,56	74,44	9	0,81	0,95	0,67	0,77
<b>2018</b>							
1 (PV 145)	133,08	23,41	13	0,47	0,30	0,46	0,42
1 (PV 100)	91,78	16,14	9	0,33	0,21	0,67	0,47
1 (PV 50)	45,88	8,07	5	0,16	0,10	1,20	0,67
2 - 3	280,26	61,83	6	0,99	0,79	1,00	0,95
4	342,77	61,83	9	1,21	0,79	0,67	0,83

**Tabella 2** – Valori dell'indice ponderato IV per le soluzioni ipotizzate. I pesi sono 0,25 per l'indicatore energetico e per quello economico-finanziario e 0,5 per quello ambientale

Soluzione	Criterio			Indicatore			I.V.
	Risparmio di energia primaria [MWh]	Riduzione di emissioni di CO <sub>2</sub> [ton/anno]	TR [anni]	Energetico <sub>i</sub>	Ambientale	Economico-finanziario	
<b>2015</b>							
1 (PV 145)	148,09	22,45	13	0,52	0,29	0,46	0,39
1 (PV 100)	102,13	15,48	9	0,36	0,20	0,67	0,36
1 (PV 50)	51,06	7,74	5	0,18	0,10	1,20	0,39
2 - 3	196,53	59,89	6	0,70	0,76	1,00	0,81
4	229,56	74,44	9	0,81	0,95	0,67	0,84
<b>2018</b>							
1 (PV 145)	133,08	23,41	13	0,47	0,30	0,46	0,38
1 (PV 100)	91,78	16,14	9	0,33	0,21	0,67	0,35
1 (PV 50)	45,88	8,07	5	0,16	0,10	1,20	0,39
2 - 3	280,26	61,83	6	0,99	0,79	1,00	0,89
4	342,77	61,83	9	1,21	0,79	0,67	0,86

## BIBLIOGRAFIA

- Bandolin L., De Toni S. 2016. Audit Energetico di Palazzo Marino. Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica, Politecnico di Milano, Milano.
- MiSE. 2015. Decreto Interministeriale 26 giugno 2015. Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici. S.O. n. 39 alla Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.162 del 15.07.2015. Roma: Poligrafico dello Stato.

## WEBGRAFIA

- [1] [http://www.isprambiente.gov.it/files2018/pubblicazioni/rapporti/R\\_280\\_18\\_Emissioni\\_Settore\\_Elettrico.pdf](http://www.isprambiente.gov.it/files2018/pubblicazioni/rapporti/R_280_18_Emissioni_Settore_Elettrico.pdf)
- [2] [http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/emission\\_trading/Tabella\\_coefficienti\\_standard\\_nazionali\\_2013\\_2015\\_v1.pdf](http://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/emission_trading/Tabella_coefficienti_standard_nazionali_2013_2015_v1.pdf)