



POLITECNICO  
DI TORINO

# Tesi meritoria

---

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
ARCHITETTURA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE

*Abstract*

**Analisi dei consumi energetici reali attraverso lo  
strumento della firma energetica: il caso della sede del  
Castello del Valentino**

*Relatore*

Prof. Ing. Alfonso Capozzoli

*Co-relatore*

Ing. Giovanni Carioni

*Candidato*

Cristina Crosasso

Sessione di laurea luglio 2016

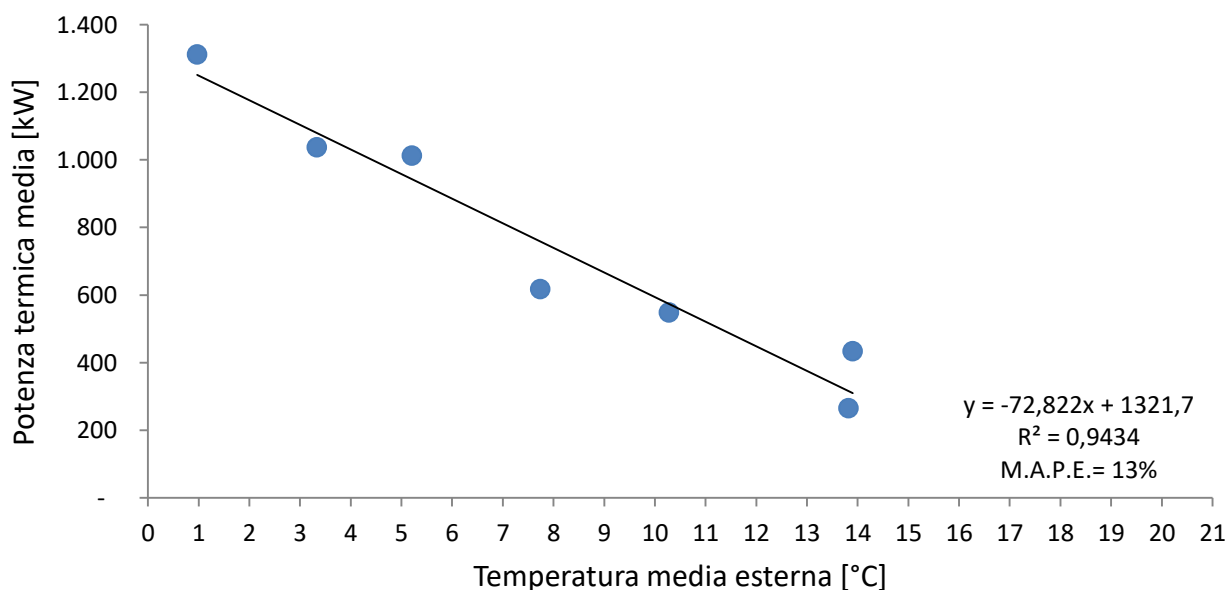
---

L'elaborato di tesi ha l'obiettivo di applicare e sperimentare un metodo efficace per condurre diagnosi energetiche preliminari sulla base di dati di consumo reale di un edificio per la stagione di riscaldamento invernale. Nello specifico la tesi analizza le potenzialità dello strumento della firma energetica applicandolo al Castello del Valentino.

La firma energetica permette di analizzare i consumi energetici di un edificio correlandoli con le temperature medie esterne, fornendo in questo modo una valutazione del comportamento energetico del sistema edificio al variare della forzante climatica esterna. La firma energetica, se opportunamente interpretata, può fornire utili indicazioni rispetto a possibili anomalie nella gestione degli impianti e l'eventuale sovradimensionamento dei sistemi di generazione; inoltre, essa consente di verificare l'efficacia d'interventi di retrofit effettuati, attraverso la quantificazione del risparmio ottenuto isolandolo dagli effetti imputabili alle variazioni climatiche nel tempo.

La firma energetica è costruita partendo da dati reali di consumo di gas metano per il riscaldamento invernale, desunti da letture ad intervalli regolari del contatore. Attraverso l'analisi delle fatture del gas metano è stato possibile recuperare i dati riguardanti i consumi mensili per il Castello del Valentino che hanno consentito la costruzione di firme energetiche relative a diverse stagioni. Ogni firma energetica è stata costruita riportando in ascissa le temperature medie esterne mensili sulle 24 ore, e sulle ordinate la potenza termica media erogata nelle 14 ore di funzionamento dell'impianto per ogni mese di riscaldamento. In figura è mostrato un esempio di firma energetica: si osserva come la retta di regressione lineare costruita dai dati monitorati, mostra il comportamento dell'edificio in termini di potenza termica media al variare della temperatura esterna.

### Firma energetica d'esempio



Nello specifico la pendenza della retta è assimilabile al coefficiente di scambio termico dell'edificio  $H_{tot}$  [W/K], ed è dovuta a effetti proporzionali alla temperatura esterna come le dispersioni dell'involucro edilizio e/o perdite proporzionali dell'impianto. Descrive in questo modo la risposta dell'involucro edilizio ai cambiamenti climatici.

Per valutare la qualità della regressione si è analizzato il coefficiente di determinazione  $R^2$  e l'indice Mean Absolute Percentage Error (MAPE).

Per la raccolta dei dati è stata fondamentale l'interazione attiva con il personale del Politecnico di Torino, il quale ha fornito informazioni riguardanti i consumi, le temperature esterne e gli interventi di retrofit effettuati negli anni, permettendo così un'analisi della loro efficacia dal punto di vista energetico.

In particolare nella tesi sono stati elaborati i dati di consumo riguardanti le stagioni di riscaldamento dal 2001/2002 al 2014/2015. Sono state individuate tre firme energetiche di riferimento, ognuna comprensiva di tutte le stagioni caratterizzate dalle medesime condizioni al contorno perché comprese tra due consecutivi interventi di retrofit. In questo modo il campione di riferimento è costituito da un numero di letture superiore alla singola stagione, diminuendo di conseguenza l'effetto di eventuali outliers.

Sono state messe a confronto le tre firme energetiche di riferimento per evidenziare quali siano stati negli anni gli effetti delle azioni di retrofit, trattandosi d'interventi riguardanti sia l'involucro edilizio, sia gli impianti di generazione.

E' stato possibile verificare come tra il primo e il secondo periodo, interessati da interventi riguardanti alcune parti dell'involucro edilizio, il miglioramento della prestazione energetica del complesso non sia risultato rilevante. Mentre tra il secondo e il terzo periodo, a seguito d'interventi effettuati sugli impianti, la prestazione energetica del complesso è sensibilmente migliorata.

L'utilizzo della firma energetica ha permesso inoltre di individuare alcune possibili cause di consumo eccessivo, riconducibili ad esempio all'azione diretta dell'utente a livello di sottosistema di regolazione.

L'analisi delle firme energetiche ha consentito di avanzare alcune proposte per migliorare il comportamento energetico del complesso del Castello del Valentino, tenendo sempre in considerazione la natura e la complessità del bene per il quale è necessario valutare accuratamente ogni possibile intervento.

Oltre all'analisi effettuata attraverso la firma energetica è stato costruito un modello fisico energetico di prima approssimazione, individuando le variabili di input del modello nel modo più dettagliato possibile. Questo modello potrà essere utilizzato per future ricerche atte a verificare future strategie e misure di riqualificazione energetica per il Castello del Valentino.