

Analisi energetica e proposte di riqualificazione del patrimonio edilizio residenziale della città di Roma

Energy analysis for retrofitting proposals in Rome residential sector

LIVIO DE SANTOLI¹, FRANCESCO MANCINI¹, MARCO CECCONI²

1 - Dipartimento di Fisica Tecnica, Università La Sapienza di Roma

2 - CITERA, Università La Sapienza di Roma

RIASSUNTO

I consumi energetici dell'edilizia residenziale rappresentano una componente significativa dei consumi energetici globali della città di Roma e pertanto risulta di grande interesse uno studio che ne individui l'entità e proponga delle soluzioni indirizzate ad un miglioramento dell'efficienza energetica globale.

L'attività di ricerca svolta si riferisce ai fabbisogni energetici collegati al riscaldamento invernale ed è divisa in due parti, una analitica e l'altra propositiva.

La prima ha lo scopo di stimare l'attuale fabbisogno energetico delle abitazioni romane in relazione alle loro caratteristiche costruttive ed impiantistiche, suddividendo i consumi per epoca di costruzione. I risultati delle simulazioni effettuate sono stati confrontati con i reali consumi energetici forniti dai gestori delle reti di distribuzione dell'energia.

La seconda ha l'obiettivo di valutare l'effetto di una serie di interventi di riqualificazione energetica con un'analisi costi/benefici finalizzata a stabilire una scala di priorità tra i diversi interventi, al fine di indirizzare eventuali investimenti nella direzione della maggiore convenienza energetica.

ABSTRACT

The energy consumption in residential buildings is relevant of the global energy demand of the city of Rome and, therefore, a study to evaluate its entity and to propose improvement actions is of great interest.

The research activity relates to the heating energy demand and it involves two main aims.

The first is related to characterize the real estate as a function of age, heating systems and architecture typology.

The second the effect of different interventions on the buildings energy demand. A cost/benefit analysis has been carried out to determine the feasibility of the different solutions.

1. ANALISI DEL FABBISOGNO ENERGETICO ATTUALE

Il fabbisogno energetico di climatizzazione invernale di un edificio dipende da diversi fattori: dal clima, dalle caratteristiche architettoniche e termiche dell'involucro, dalla tipologia di impianto termico, dagli apporti gratuiti (solari e interni) nonché da parametri assai imprevedibili come il comportamento più o meno virtuoso degli occupanti.

Data la vastità del patrimonio edilizio della città di Roma, appare chiara l'impossibilità di valutare analiticamente i consumi energetici di ogni singolo edificio, per cui l'obiettivo della presente ricerca è di stimare i fabbisogni energetici globali del settore edilizio residenziale, elaborando opportunamente i dati aggregati disponibili. In particolare è necessario giungere ad una stima delle superfici disperdenti complessive di tutti gli edifici, ai quali andranno assegnati i parametri riguardanti le prestazioni termiche dell'involucro e degli impianti a seconda dell'epoca di costruzione. Una volta ottenuti questi dati è possibile elaborarli opportunamente per ottenere un fabbisogno energetico complessivo. Il procedimento seguito è illustrato in Figura 1.

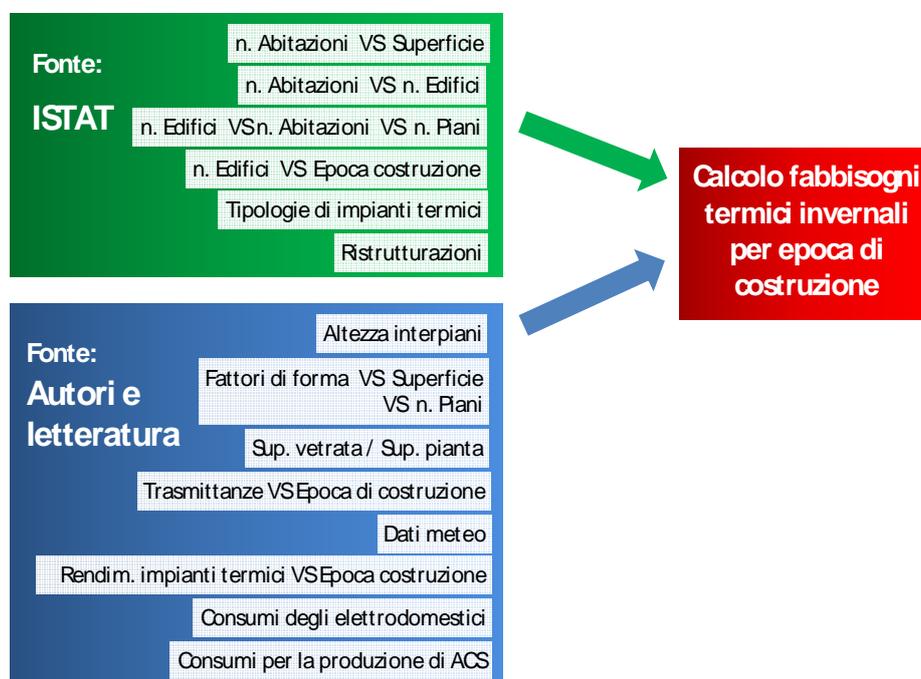


Figura 1 – Fonti dei dati e metodologia di elaborazione

I dati riguardanti l'attuale parco edilizio della città di Roma sono stati acquisiti dal Censimento ISTAT 2001 [1] che è ad oggi il più recente. Dai dati del censimento è stata dapprima ricavata la superficie media per ciascun appartamento, ipotizzata costante. A

partire da tale dato e da quelli riguardanti il numero di abitazioni e di piani per edificio, nonché quello riguardante il numero di edifici per epoca di costruzione, sono state ricavate le superfici in pianta complessive di tutti gli edifici di Roma divise per epoca di costruzione.

Uno studio delle caratteristiche morfologiche [2] ha consentito di associare ad ogni edificio un fattore di forma e successivamente di calcolare le superfici disperdenti, siano esse verticali o orizzontali, opache o trasparenti (Tabella I).

Tabella I - Dettaglio delle superfici disperdenti per epoca di costruzione

Epoca di costruzione	Superficie totale in pianta [m ²]	Superficie disperdente totale [m ²]	Superficie disperdente vetrata [m ²]	Superficie disperdente opaca vertic. [m ²]	Superficie disperdente opaca orizz. [m ²]
prima del 1919	5.700.000	6.940.000	850.000	3.290.000	1.400.000
1919-45	9.240.000	11.260.000	1.390.000	5.340.000	2.260.000
1946-61	20.340.000	24.790.000	3.050.000	11.760.000	4.990.000
1962-71	21.200.000	25.840.000	3.180.000	12.260.000	5.200.000
1972-81	17.990.000	21.920.000	2.700.000	10.400.000	4.410.000
1982-91	10.840.000	13.210.000	1.630.000	6.270.000	2.660.000
dopo il 1991	5.280.000	6.430.000	790.000	3.050.000	1.290.000
TOTALE	90.600.000	110.390.000	13.590.000	52.390.000	22.210.000

Una volta note tutte le caratteristiche geometriche degli involucri, a ciascuno porzione dell'involucro edilizio è stata associata la trasmittanza termica in base all'epoca di costruzione, ipotizzando per gli edifici caratteristiche costruttive omogenee, in funzione dell'epoca e della tipologia. I valori medi utilizzati per lo studio [3] sono riportati in Tabella II.

Tabella II - Trasmittanze termiche associate agli edifici per epoca di costruzione

Epoca di costruzione	Pareti opache verticali [W/m ² K]	Solai di copertura [W/m ² K]	Pavimenti a terra [W/m ² K]	Chiusure trasparenti [W/m ² K]
prima del 1919	1,30	2,00	1,15	5,00
1919-45	1,20	1,30	1,20	5,00
1946-61	1,20	1,30	1,20	5,00
1962-71	1,20	1,30	1,20	5,00
1972-81	1,00	1,10	0,90	5,00
1982-91	1,00	0,90	0,60	5,00
dopo il 1991	0,80	0,80	0,60	3,00

Un procedimento analogo è stato seguito per gli impianti termici, per i quali sono stati fissati i rendimenti di produzione, di emissione, di distribuzione e di regolazione in relazione all'epoca di costruzione. I valori sono riportati nelle Tabelle III, IV, V e VI.

Tabella III - Rendimento di produzione degli impianti termici

Epoca di costruzione	Impianti centralizzati		Impianti autonomi		Rendimento medio ponderato
	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	
prima del 1919	62,0%	49,3%	85,0%	50,7%	73,7%
1919-45	62,0%	52,7%	85,0%	47,3%	72,9%
1946-61	62,0%	55,3%	85,0%	44,7%	72,3%
1962-71	65,0%	53,8%	85,0%	46,2%	74,2%
1972-81	76,5%	56,6%	85,0%	43,4%	80,2%
1982-91	80,5%	68,8%	85,0%	31,2%	81,9%
dopo il 1991	85,0%	87,2%	85,0%	12,8%	85,0%

Tabella IV - Rendimento di emissione degli impianti termici

Epoca di costruzione	Impianti centralizzati		Impianti autonomi		Rendimento medio ponderato
	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	
Ogni epoca	96,0%	52,6%	96,4%	47%	96,0%

Tabella V - Rendimento di distribuzione degli impianti termici

Epoca di costruzione	Impianti centralizzati		Impianti autonomi		Rendimento medio ponderato
	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	
prima del 1919	89,0%	52,6%	96,0%	47,4%	92,3%
1919-45	89,0%	52,6%	96,0%	47,4%	92,3%
1946-61	89,0%	52,6%	96,0%	47,4%	92,3%
1962-71	89,0%	52,6%	96,0%	47,4%	92,3%
1972-81	90,5%	52,6%	96,5%	47,4%	93,3%
1982-91	92,0%	52,6%	97,0%	47,4%	94,4%
dopo il 1991	96,0%	52,6%	99,0%	47,4%	97,4%

Tabella VI - Rendimento di regolazione degli impianti termici

Epoca di costruzione	Impianti centralizzati		Impianti autonomi		Rendimento medio ponderato
	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	
Ogni epoca	88,0%	52,6%	93,0%	47,4%	90,4%

Il passo successivo è stato il calcolo dei fabbisogni energetici di climatizzazione invernale per i sette macro-edifici appena definiti, relativi alle sette epoche di costruzione. L'elaborazione è condotta attraverso utilizzando la metodologia prevista

in [4]. Attraverso tali elaborazioni si sono ottenuti i fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione invernale, suddivisi per epoca di costruzione (Tabella VII).

Tabella VII - Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale

Epoca di costruzione	Distribuzione percentuale sul parco edifici	Distribuzione superfici in pianta	Fabbisogno complessivo attuale	Fabbisogno specifico EP _{Cl}
	[%]	[m ²]	[GWh/anno]	[kWh/m ² anno]
prima del 1919	6,3%	5.700.000	613	107,5
1919-45	10,2%	9.240.000	903	97,8
1946-61	22,5%	20.340.000	2.005	98,6
1962-71	23,4%	21.200.000	2.035	96,0
1972-81	19,9%	17.990.000	1.377	76,6
1982-91	12,0%	10.840.000	741	68,4
dopo il 1991	5,8%	5.280.000	233	44,1
TOTALE	100,0%	90.600.000	7.907	87,3

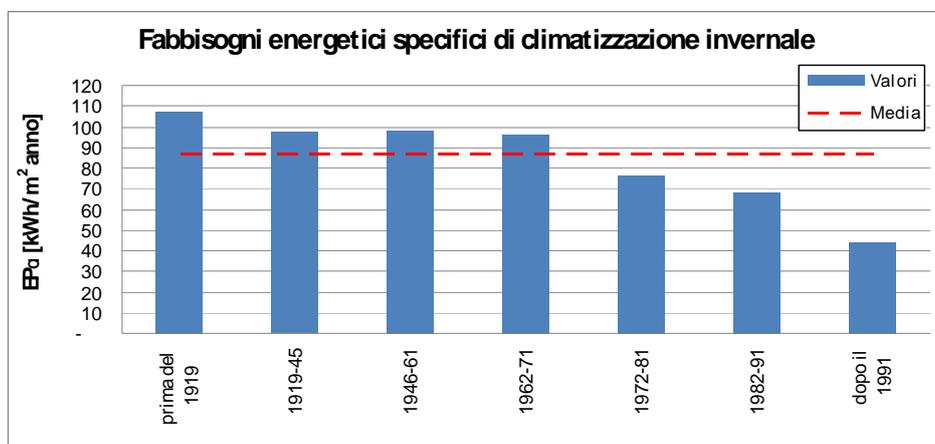


Figura 2 - Fabbisogni energetici specifici di climatizzazione invernale

Dai calcoli risulta che a Roma il fabbisogno specifico medio di climatizzazione invernale è pari a 87 kWh/m²anno. Le prestazioni peggiori sono, in proporzione, quelle degli edifici realizzati prima del 1919 (108 kWh/m²anno); vi è poi una sostanziale omogeneità tra il 1919 ed il 1971 (circa 98 kWh/ m²anno), mentre è presente un sensibile miglioramento dagli anni '70 in poi quando sono state emanate le prime leggi sul contenimento dei consumi energetici. Dal 1991, con la Legge 10, i fabbisogni energetici si riducono di più della metà rispetto a quelli degli anni '60.

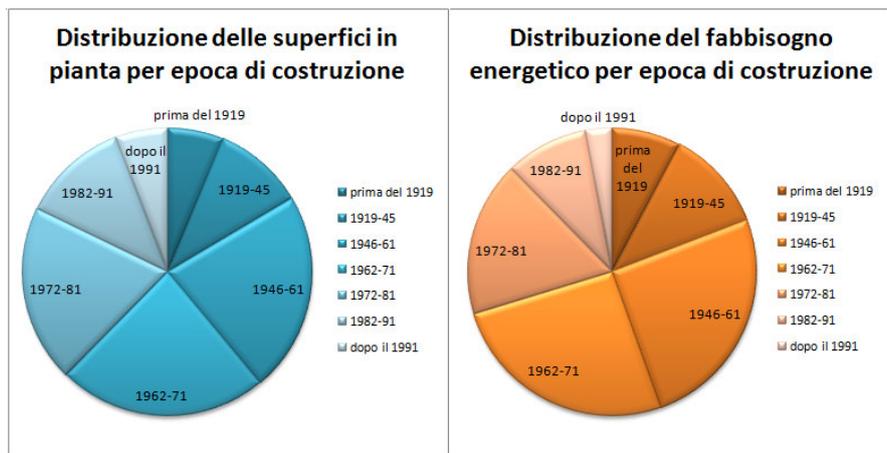


Figura 3 – Distribuzione per epoca delle superfici in pianta e del fabbisogno energetico complessivo

Guardando i dati cumulativi ed i grafici in Figura3, si nota che le abitazioni antecedenti agli anni '70 rappresentano circa il 60% del totale ma sono responsabili di oltre il 70% dei consumi complessivi. Da ciò appaiono chiare le possibilità di efficientamento energetico del patrimonio edilizio romano.

2. VALIDAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI

Al fine di valutare l'affidabilità del metodo di calcolo utilizzato si è confrontato il fabbisogno calcolato con quello effettivo, utilizzando i dati di consumo di gas naturale nel settore residenziale dal 1997 al 2004.

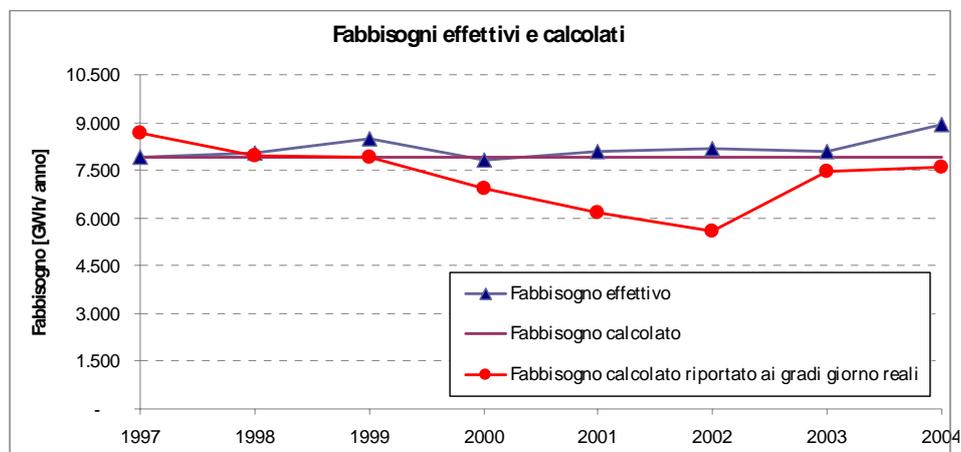


Figura 4 - Confronto tra fabbisogni effettivi e calcolati

A partire da questi, depurati dai consumi per acqua calda sanitaria e per usi di cottura, considerando che gli impianti a gas sono il 75,4% del totale [1] si è ottenuto il fabbisogno energetico per il riscaldamento del settore residenziale.

Sulla base dei dati climatici reali del Comune di Roma, nel periodo 1997-2004, è stata poi effettuata una comparazione tra i dati stimati e i dati reali.

Si può notare che vi è una sensibile differenza tra il fabbisogno effettivo e quello calcolato riportato ai gradi giorno reali. Ciò significa che il fabbisogno effettivo non ha forti legami con l'andamento climatico, ma rimane piuttosto costante su un valore elevato. Da ciò si deduce che la maggior parte degli impianti di riscaldamento installati non possiede logiche di controllo dipendenti dalle condizioni climatiche esterne o microclimatiche interne. Il controllo degli impianti rappresenta quindi una possibilità concreta di riduzione dei consumi termici.

3. VALUTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Sono stati individuati possibili interventi di efficientamento energetico, valutandone contestualmente gli effetti sui fabbisogni energetici del parco edilizio. L'obiettivo è di stilare una classifica di convenienza economico/energetica dei possibili interventi che permetterà di ottimizzare la resa di eventuali investimenti in questo settore.

Gli interventi di efficientamento presi in considerazione sono i seguenti:

1. intervento sull'involucro con riduzione delle trasmittanze delle superfici disperdenti fino ai limiti di legge, così come previsto per il 2010 dal DL311;
2. intervento sugli impianti con sostituzione dei generatori di calori esistenti con caldaie a condensazione e installazione di valvole termostatiche sui radiatori, con incremento dei rendimenti di produzione e di regolazione che per tutti gli edifici riqualificati raggiungono valori rispettivamente del 90% e del 94%.

A questo punto si è proceduto a calcolare gli effetti energetici degli interventi. Il primo passo è stata l'applicazione delle migliorie singolarmente e separatamente per ciascuna epoca; in seguito, sono state raggruppate e valutate in modo cumulativo. In questo modo è stato possibile valutare sia l'effetto di interventi singoli che di gruppi di interventi.

I risultati sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella IX - Riduzione della trasmittanza delle pareti opache verticali

Epoca	EP _{CI}	Variazione EP _{CI}	Investimento totale	Risparmio complessivo annuale	
	[kWh/m ² anno]	[%]		[GWh/anno]	[M€anno]
prima del 1919	105,4	-2,00%	231	158	13,5
1919-45	94,9	-2,93%	374	232	19,8
1946-61	92,2	-6,50%	823	514	44,0
1962-71	89,6	-6,60%	858	522	44,7
1972-81	73,6	-3,91%	728	309	26,4
1982-91	66,8	-2,28%	439	180	15,4
dopo 1991	43,8	-0,71%	214	56	4,8
TOT	65,5	-24,93%	3.667	1'971	168,7

Tabella X - Riduzione della trasmittanza delle coperture

Epoca	EP _{CI}	Variazione EP _{CI}	Investimento totale	Risparmio complessivo annuale	
	[kWh/m ² anno]	[%]		[GWh/anno]	[M€anno]
prima del 1919	105,9	-1,47%	70	116	10,0
1919-45	96,4	-1,41%	113	111	9,5
1946-61	95,5	-3,12%	249	247	21,1
1962-71	92,9	-3,17%	260	251	21,4
1972-81	75,1	-1,96%	220	155	13,3
1982-91	67,8	-0,85%	133	67	5,8
dopo 1991	44,0	-0,32%	65	25	2,2
TOT	76,5	-12,30%	1.110	972	83,2

Tabella XI - Riduzione della trasmittanza dei pavimenti (su terreno o locali non riscaldati)

Epoca	EP _{CI}	Variazione EP _{CI}	Investimento totale	Risparmio complessivo annuale	
	[kWh/m ² anno]	[%]		[GWh/anno]	[M€anno]
prima del 1919	106,7	-0,78%	70	62	5,3
1919-45	96,4	-1,37%	113	108	9,3
1946-61	95,6	-3,04%	249	240	20,5
1962-71	93,0	-3,08%	260	244	20,8
1972-81	75,4	-1,54%	220	122	10,4
1982-91	68,1	-0,40%	133	32	2,7
dopo 1991	44,0	-0,18%	65	14	1,2
TOT	78,2	-10,39%	1.110	821	70,3

Tabella XII - Effetto dell'intervento di riduzione della trasmittanza degli infissi

Epoca	EP _{CI}	Variazione EP _{CI}	Investimento totale	Risparmio complessivo annuale	
	[kWh/m ² anno]	[%]		[GWh/anno]	[M€anno]
prima del 1919	105,8	-1,58%	342	125	10,7
1919-45	95,2	-2,59%	554	205	17,5
1946-61	92,9	-5,75%	1.221	455	38,9
1962-71	90,4	-5,84%	1.272	461	39,5
1972-81	73,1	-4,53%	1.079	358	30,7
1982-91	66,5	-2,65%	651	209	17,9
dopo 1991	44,0	-0,28%	317	22	1,9
TOT	67,0	-23,22%	5.436	1.836	157,1

Tabella XIII - Effetto dell'intervento di sostituzione dei generatori di calore esistenti con caldaie a condensazione

Epoca	EP _{CI}	Variazione EP _{CI} [%]	Investimento totale [M€]	Risparmio complessivo annuale	
	[kWh/m ² anno]			[GWh/anno]	[M€anno]
prima del 1919	106,1	-1,34%	117	106	9,0
1919-45	95,6	-2,17%	190	172	14,7
1946-61	93,6	-4,99%	418	395	33,8
1962-71	91,6	-4,51%	436	356	30,5
1972-81	75,1	-1,90%	370	150	12,8
1982-91	67,8	-0,84%	223	67	5,7
dopo 1991	44,0	-0,16%	109	13	1,1
TOT	73,4	-15,91%	1.863	1.258	107,7

Tabella XIV - Effetto dell'intervento di installazione di valvole termostatiche sui radiatori

Epoca	EP _{CI}	Variazione EP _{CI} [%]	Investimento totale [M€]	Risparmio complessivo annuale	
	[kWh/m ² anno]			[GWh/anno]	[M€anno]
prima del 1919	107,2	-0,30%	13	24	2,0
1919-45	97,3	-0,44%	21	35	3,0
1946-61	97,6	-0,98%	47	77	6,6
1962-71	95,0	-0,99%	49	79	6,7
1972-81	76,0	-0,67%	42	53	4,6
1982-91	68,1	-0,36%	25	29	2,5
dopo 1991	44,0	-0,11%	12	9	0,8
TOT	83,9	-3,86%	209	306	26,1

Tabella XV - Effetto dell'intervento cumulativo sull'involucro edilizio

Epoca	EP _{CI}	Variazione EP _{CI} [%]	Investimento totale [M€]	Risparmio complessivo annuale	
	[kWh/m ² anno]			[GWh/anno]	[M€anno]
prima del 1919	101,3	-5,82%	712	460	39,4
1919-45	89,7	-8,26%	1.155	653	55,9
1946-61	80,5	-18,35%	2.543	1.451	124,2
1962-71	78,1	-18,62%	2.650	1.472	126,0
1972-81	67,5	-11,89%	2.248	940	80,4
1982-91	64,2	-6,15%	1.356	486	41,6
dopo 1991	43,4	-1,48%	660	117	10,0
TOT	25,7	-70,56%	11.324	5.579	477,5

Tabella XVI - Effetto dell'intervento cumulativo sull'impianto

Epoca	EP _{CI}	Variazione EP _{CI}	Investimento totale	Risparmio complessivo annuale	
	[kWh/m ² anno]			[%]	[M€]
prima del 1919	105,7	-1,65%	130	131	11,2
1919-45	95,3	-2,53%	211	200	17,1
1946-61	92,9	-5,78%	465	457	39,1
1962-71	90,9	-5,33%	485	421	36,0
1972-81	74,6	-2,50%	411	198	16,9
1982-91	67,6	-1,17%	248	93	7,9
dopo 1991	44,0	-0,27%	121	21	1,8
TOT	70,5	-19,23%	2.072	1.520	130,1

Tabella XVII - Effetto cumulativo di tutti gli interventi

Epoca	EP _{CI}	Variazione EP _{CI}	Investimento totale	Risparmio complessivo annuale	
	[kWh/m ² anno]			[%]	[M€]
prima del 1919	100,8	-6,23%	842	493	42,2
1919-45	89,0	-8,96%	1.366	709	60,7
1946-61	78,9	-19,95%	3.008	1.577	135,0
1962-71	76,7	-20,09%	3.135	1.589	136,0
1972-81	66,8	-12,68%	2.660	1.003	85,8
1982-91	63,9	-6,55%	1.604	518	44,3
dopo 1991	43,4	-1,61%	781	128	10,9
TOT	20,9	-76,07%	13.396	6.015	514,8

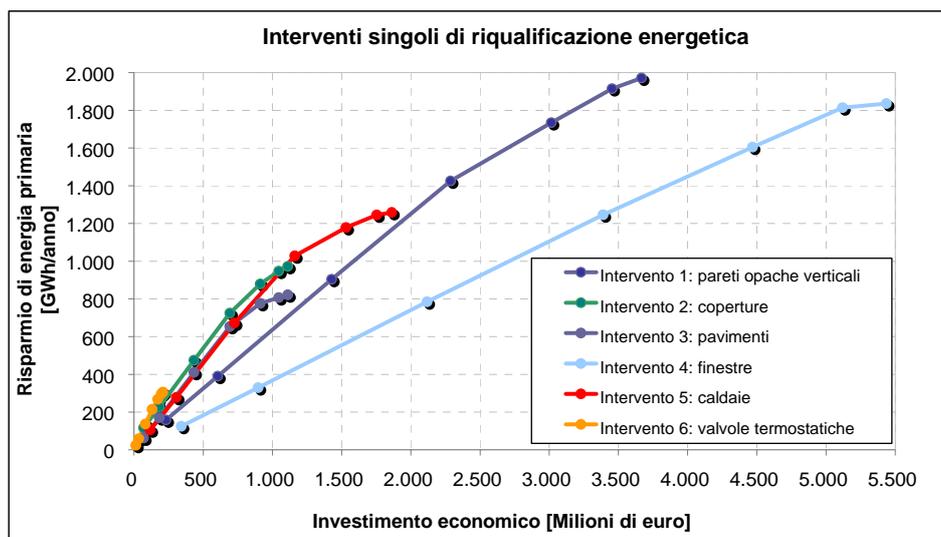


Figura 5 - Risparmio energetico conseguente ai singoli interventi di riqualificazione energetica

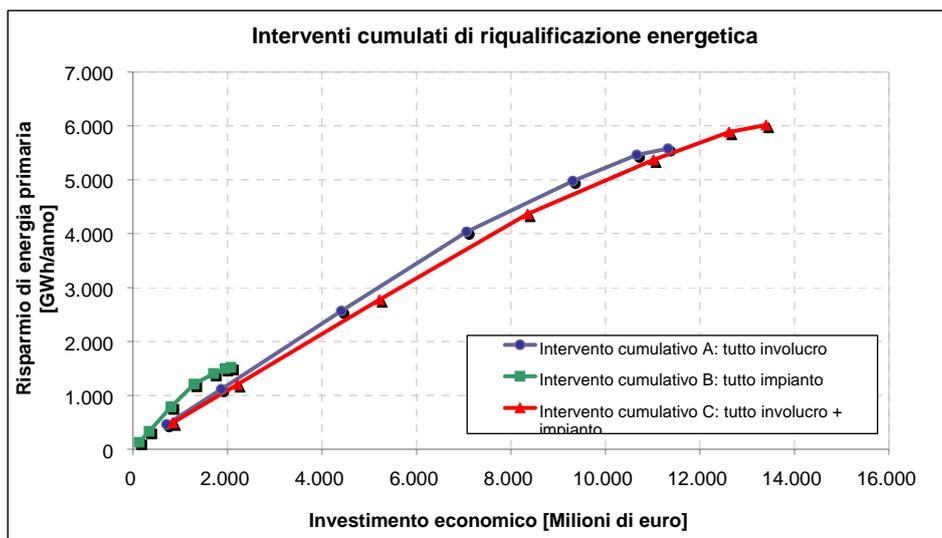


Figura 6 - Risparmio energetico conseguente ai diversi interventi cumulati di riqualificazione energetica

L'effetto degli interventi singoli (Tabelle IX-XIV) è illustrato in Figura 5. Gli investimenti maggiormente convenienti sono quelli che presentano maggiori benefici energetici a parità di investimento, quindi, per ogni livello di investimento, la curva più alta rappresenta l'intervento migliore. Nell'ordine, l'intervento più conveniente è l'installazione di valvole termostatiche, seguito dalla coibentazione delle coperture e dalla sostituzione delle caldaie. La sostituzione delle finestre è sempre l'investimento meno redditizio.

Tabella XVIII – Graduatoria di convenienza economico-energetica dei diversi investimenti singoli e cumulati

Intervento	Indice di convenienza [kWh risparmiato/€speso]	Tempo di ritorno [anni]
Valvole termostatiche	1,46	8
Coperture	0,88	13
Solai a terra	0,74	16
TUTTO IMPIANTO	0,73	16
Caldaie	0,68	17
Pareti opache verticali	0,54	22
TUTTO INVOLUCRO	0,49	24
TUTTO INVOLUCRO + IMPIANTO	0,45	26
Finestre	0,34	35

L'effetto degli interventi cumulativi (Tabelle XV-XVII) è graficato in Figura 6. In linea generale, come prevedibile, gli investimenti cumulati sono meno efficaci della

somma degli interventi singoli. Si può concludere che l'investimento cumulato più conveniente è l'ammodernamento degli impianti. Se si effettuano tutti gli interventi possibili, l'efficienza dell'investimento non è molto elevata, ma i risultati sono evidenti: si può raggiungere una riduzione del fabbisogno energetico superiore al 76% a fronte di un investimento di quasi 14 miliardi di euro.

E' interessante notare la grande differenza di redditività tra l'investimento migliore ed il peggiore. Ciò mette in luce l'importanza di un'attenta pianificazione degli interventi di riqualificazione energetica al fine di ottimizzare gli investimenti economici.

CONCLUSIONI

E' stata effettuata una stima del fabbisogno energetico per il riscaldamento invernale di un enorme patrimonio edilizio, quale quello della città di Roma.

I risultati ottenuti mostrano le enormi possibilità di riqualificazione energetica, conseguenza del fatto che gran parte degli edifici sono stati costruiti prima degli anni '70, senza alcuna limitazione legislativa ai consumi energetici.

Il confronto tra i dati di consumo stimati e reali ha evidenziato una grossa carenza dei sistemi di regolazione degli impianti che si traduce in una quasi costanza dei consumi, a prescindere dalle condizioni climatiche esterne.

Le stime economiche effettuate mostrano, altresì, come siano necessarie somme ingenti per la riqualificazione e come il tempo di ritorno dell'investimento, in alcuni casi sia piuttosto lungo, tale da scoraggiare un investimento privato.

Nell'ottica di un sostegno pubblico agli interventi la graduatoria effettuata risulta estremamente utile ai fini di una corretta pianificazione e di un corretto indirizzamento delle risorse.

BIBLIOGRAFIA

- [1] "14° Censimento Generale della Popolazione e delle abitazioni", ISTAT
- [2] De Santoli L., Di Matteo U., 2003 "Building Energy and Environment performance System (Beeps): a programme for building energy certification in Italy". Building services engineering research & technology, vol. 24,2; p. 61-68
- [3] De Santoli L., Biondi F., Mancini F., 2003. "Applicazione GIS per la certificazione energetica degli edifici". 58° Congresso Nazionale ATI, 9-12 Settembre 2003, Padova – San Martino di Castrozza
- [4] De Santoli L., Brunello P., 1997. "Caratterizzazione energetica dell' involucro edilizio e gradi-giorno modificati. CDA, Condizionamento dell'Aria Riscaldamento Refrigerazione
- [5] De Santoli L., Mancini F., 2007 "Raffrescamento estivo - Verifica di una procedura semplificata per la valutazione dei fabbisogni energetici", CDA aprile 2007