

STUDIO PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA SU LARGA E PICCOLA SCALA E INTERVENTI REALIZZATI

Centro interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente
CITERA

Facoltà di Architettura Valle Giulia



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Francesco Mancini

francesco.mancini@ingegneria.it

VALUTAZIONE DEL FABBISOGNO ENERGETICO DI CLIMATIZZAZIONE INVERNALE PER L'EDILIZIA RESIDENZIALE DEL COMUNE DI ROMA

Centro interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente
CITERA

Facoltà di Architettura Valle Giulia



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Prof. Francesco Mancini

Prof. Livio de Santoli

Ing. Marco Cecconi

OBIETTIVI

1. Studio dei fabbisogni energetici di climatizzazione invernale del **parco edilizio residenziale** di una grande città come **Roma**.
2. Possibili azioni di **riqualificazione energetica** valutandone costi e benefici.
3. Ottimizzare un eventuale **investimento** pubblico o privato indirizzandolo **verso gli interventi più convenienti**.

LINEE GUIDA DELLA METODOLOGIA

L'idea è di calcolare i fabbisogni energetici di climatizzazione invernale a partire da un'elaborazione dei dati statistici disponibili sul parco edilizio residenziale.

L'elaborazione dei dati aggregati deve permettere di ottenere risultati sufficientemente dettagliati da poter indirizzare le azioni di riqualificazione energetica.

Fonte dei dati



I dati statistici sul patrimonio edilizio provengono dal Censimento ISTAT 2001. Tali dati aggregati sono stati incrociati con informazioni tratte dalla letteratura, da precedenti studi degli autori nonché con i dati climatici della zona.

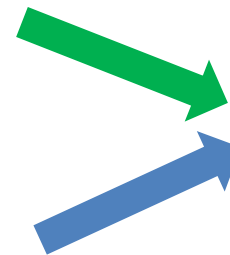
In base all'epoca di costruzione sono state associate specifiche caratteristiche dell'involucro e degli impianti.

In base alle superfici in pianta ed al numero di piani sono stati associati specifici fattori di forma.

Fonte dei dati



Per ogni epoca di costruzione è stato ricavato un modello di edificio, rappresentativo delle caratteristiche termiche medie per il periodo.



Calcolo fabbisogni termici invernali per epoca di costruzione

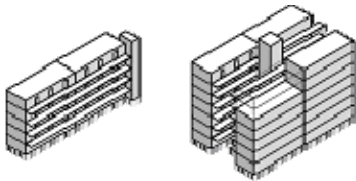
Metodo dei gradi-giorno modificati

I diversi modelli di edificio sono stati inseriti in un software di calcolo per valutarne i fabbisogni energetici.

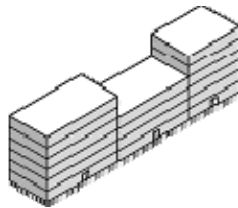
FONTE DEI DATI: TIPOLOGIE EDILIZIE



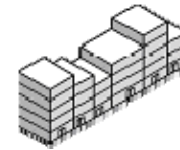
Casa isolata mono o bifamiliare



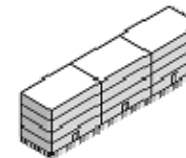
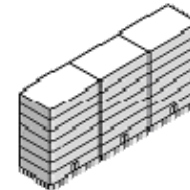
Edificio plurifamiliare servito da ballatoi



Edificio plurifamiliare storico



Edificio storico di abitazioni
multipiano accorpate



Edificio plurifamiliare

FONTE DEI DATI: TIPOLOGIE EDILIZIE

imp.	mq	120	240	360	480	600	720	960	1200	1440	1680	1920	2160	2400	2640	3120	3600	4080	4560	4800	5280	5760	6240	
Vol	mc	360	720	1080	1440	1800	2160	2880	3600	4320	5040	5760	6480	7200	7920	9360	10800	12240	13680	14400	15840	17280	18720	
N/Abitaz.	120	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	26	30	34	38	40	44	48	52	
	100					6			12					24			36			48			62	
	80		3		6		9	12	15	18	21		27	30		39	45		57	60		72	78	
	60		2	4	6	8	10	12	16	20	24	28	36	40	44	52	60	68	76	80	88	96	104	
N/Piani																								
1		Tipo 1a																						
2			Tipo 1b																					
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
11																								
12																								
13																								
14																								
15																								

FONTE DEI DATI: TIPOLOGIE EDILIZIE

sup.	mq	120	240	360	480	600	720	960	1200	1440	1680	1920	2160	2400	2640	3120	3600	4080	4560	4800	5280	5760	6240				
Vol	mc	360	720	1080	1440	1800	2160	2880	3600	4320	5040	5760	6480	7200	7920	9360	10800	12240	13680	14400	15840	17280	18720				
NAbitab.	120	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	26	30	34	36	40	44	48	52				
	100					6			12					24			36			48			62				
	80		3		6		9	12	15	18	21		24	30		36	45		54	60		72	78				
	60		2	4	6	8	10	12	16	20	24	28	32	36	40	44	52	60	66	76	80	88	96	104			
NPlani																											
1		0.9-1				0.8-0.9																					
2		0.8-0.9	0.6-0.7			0.5-0.6																					
3			0.6-0.7			0.4-0.5																					
4				0.5-0.6			0.4-0.5																				
5															0.3-0.4												
6												0.3-0.4															
7																											
8																											
9																						0.2-0.3					
10																											
11																											
12																											
13																											
14																											
15																											

IPOTESI DEGLI AUTORI

1. Ogni edificio è composto da un numero variabile di appartamenti di metratura costante pari a 88.2 m^2 (media ponderata delle superfici);
2. I dati ISTAT non definiti sono stati assegnati arbitrariamente (es. la classe di superficie “ 150m^2 o più” è stata considerata pari a 180m^2);
3. Il fattore di forma degli edifici è stato valutato sulla base della superficie in pianta e del numero di piani fuori terra attraverso lo studio BEEPS;
4. L'altezza di interpiano è stata fissata a 3m e il rapporto “sup. vetrata/sup. pianta” è stato fissato a 0.15;
5. I valori delle trasmittanze termiche e dei rendimenti termici degli impianti sono frutto di una media tra le tipologie edilizie ed impiantistiche più comuni per ciascuna epoca.

PARCO EDILIZIO RESIDENZIALE ATTUALE

Dettaglio sulle superfici disperdenti

Epoca di costruzione	Superficie totale in pianta [milioni m ²]	Superficie disperdente totale [milioni m ²]	Superficie disperdente vetrata [milioni m ²]	Superficie disperdente opaca vertic. [milioni m ²]	Superficie disperdente opaca orizz. [milioni m ²]
prima del 1919	5,70	6,94	0,85	3,29	1,40
1919-45	9,24	11,26	1,39	5,34	2,26
1946-61	20,34	24,79	3,05	11,76	4,99
1962-71	21,20	25,84	3,18	12,26	5,20
1972-81	17,99	21,92	2,70	10,40	4,41
1982-91	10,84	13,21	1,63	6,27	2,66
dopo il 1991	5,28	6,43	0,79	3,05	1,29
TOTALE	90,60	110,39	13,59	52,39	22,21

PARCO EDILIZIO RESIDENZIALE ATTUALE

Dettaglio sulle trasmittanze termiche

Epoca di costruzione	Trasmittanza pareti opache verticali [W/m ² K]	Trasmittanza solai di copertura [W/m ² K]	Trasmittanza pavimenti a terra [W/m ² K]	Trasmittanza 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

PARCO EDILIZIO RESIDENZIALE ATTUALE

Dettaglio sugli impianti (1/2)

Rendimento
di produzione

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%

Rendimento
di emissione

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%

PARCO EDILIZIO RESIDENZIALE ATTUALE

Dettaglio sugli impianti (2/2)

Rendimento
di distribuzione

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%

Rendimento
di regolazione

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%

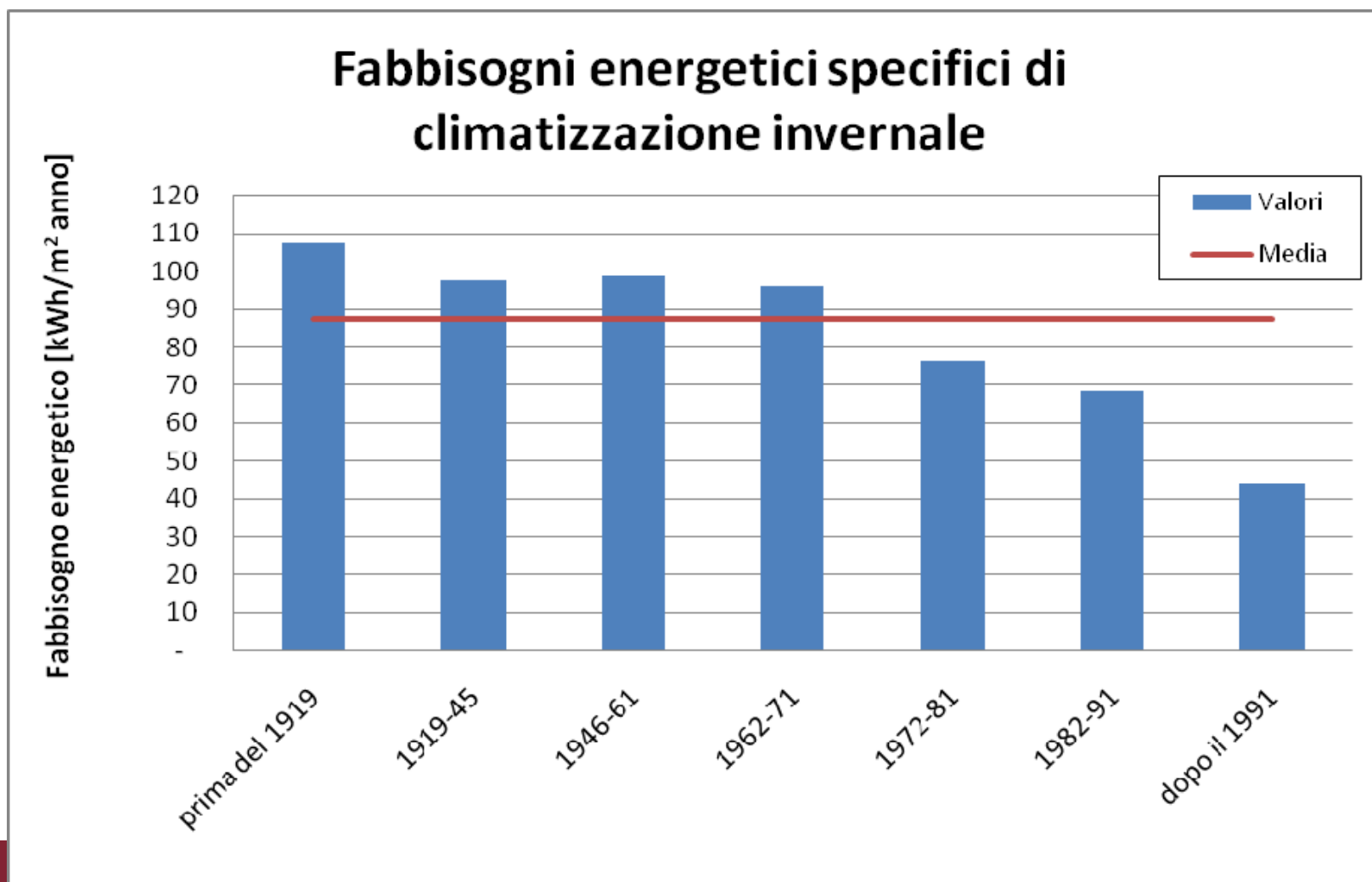
PARCO EDILIZIO RESIDENZIALE ATTUALE

Risultati del calcolo sui fabbisogni energetici (1/4)

Epoca di costruzione	Distribuzione percentuale sul parco edifici [%]	Distribuzione superfici in pianta [milioni m ²]	Fabbisogno complessivo attuale [GWh/anno]	Fabbisogno specifico [kWh/m ² anno]
prima del 1919	6,3%	5,70	613	107,5
1919-45	10,2%	9,24	903	97,8
1946-61	22,5%	20,34	2'005	98,6
1962-71	23,4%	21,20	2'035	96,0
1972-81	19,9%	17,99	1'377	76,6
1982-91	12,0%	10,84	741	68,4
dopo il 1991	5,8%	5,28	233	44,1
TOTALE	100,0%	90,60	7'907	87,3

PARCO EDILIZIO RESIDENZIALE ATTUALE

Risultati del calcolo sui fabbisogni energetici (2/4)

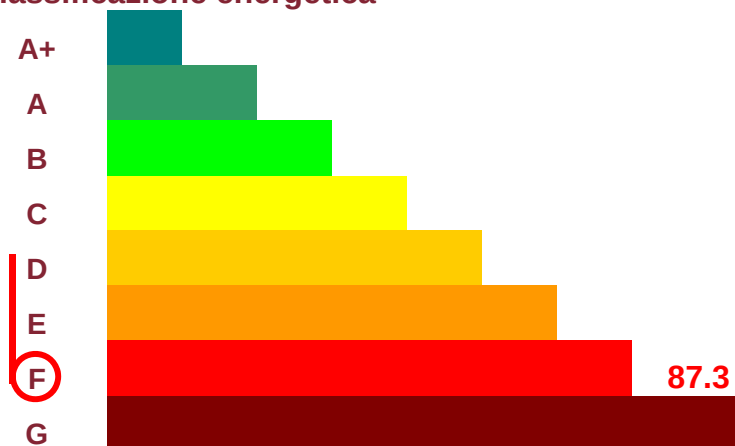


PARCO EDILIZIO RESIDENZIALE ATTUALE

Risultati del calcolo sui fabbisogni energetici (3/4)

Classificazione energetica calcolata secondo il nuovo DM 26/06/2009.

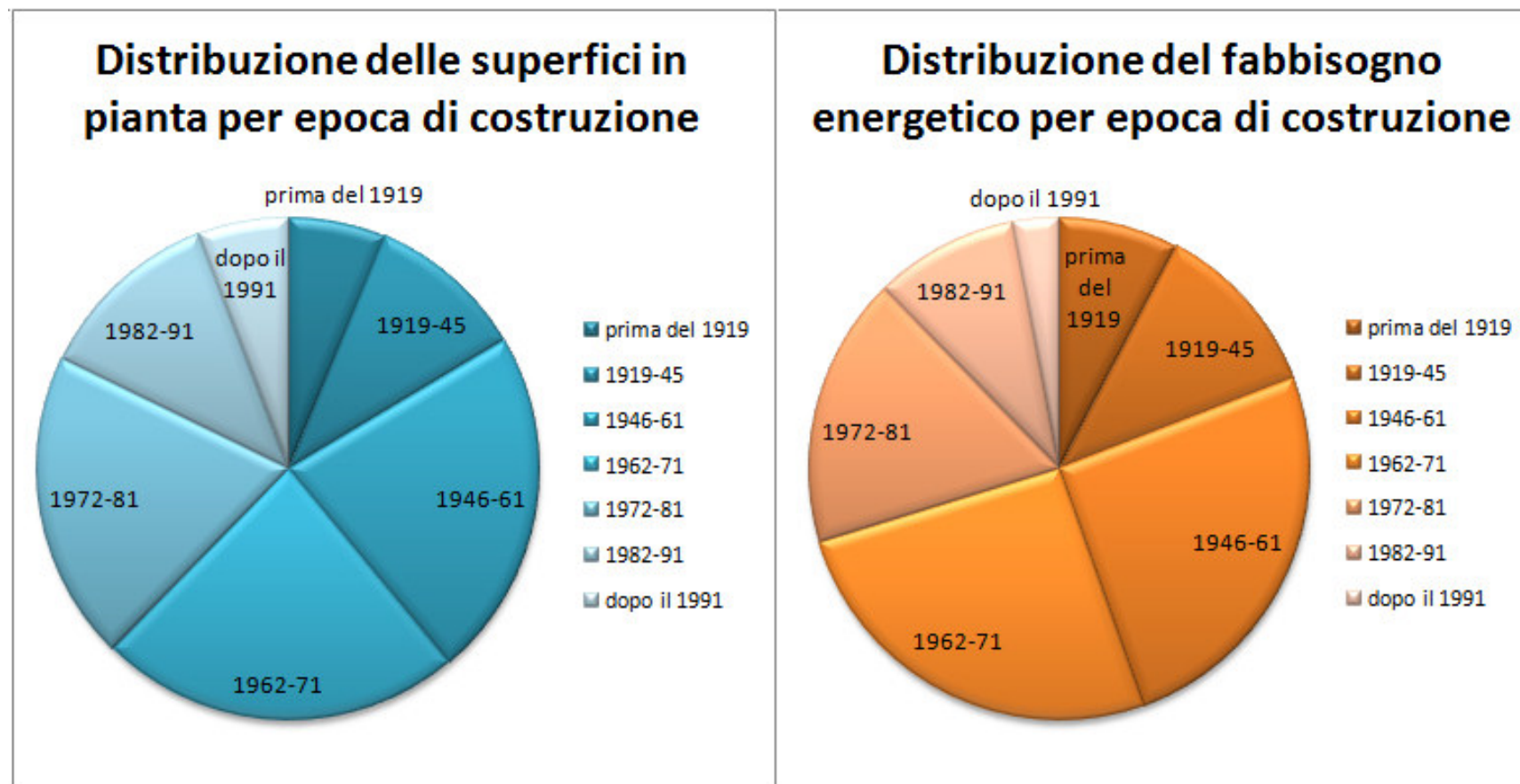
Classificazione energetica



Epoca di costruzione	STATO ATTUALE	
	EP _i [kWh/m ² anno]	Classe energetica
prima del 1919	108	F
1919-45	98	F
1946-61	99	F
1962-71	96	F
1972-81	77	F
1982-91	68	E
dopo il 1991	44	D
Media	87	F

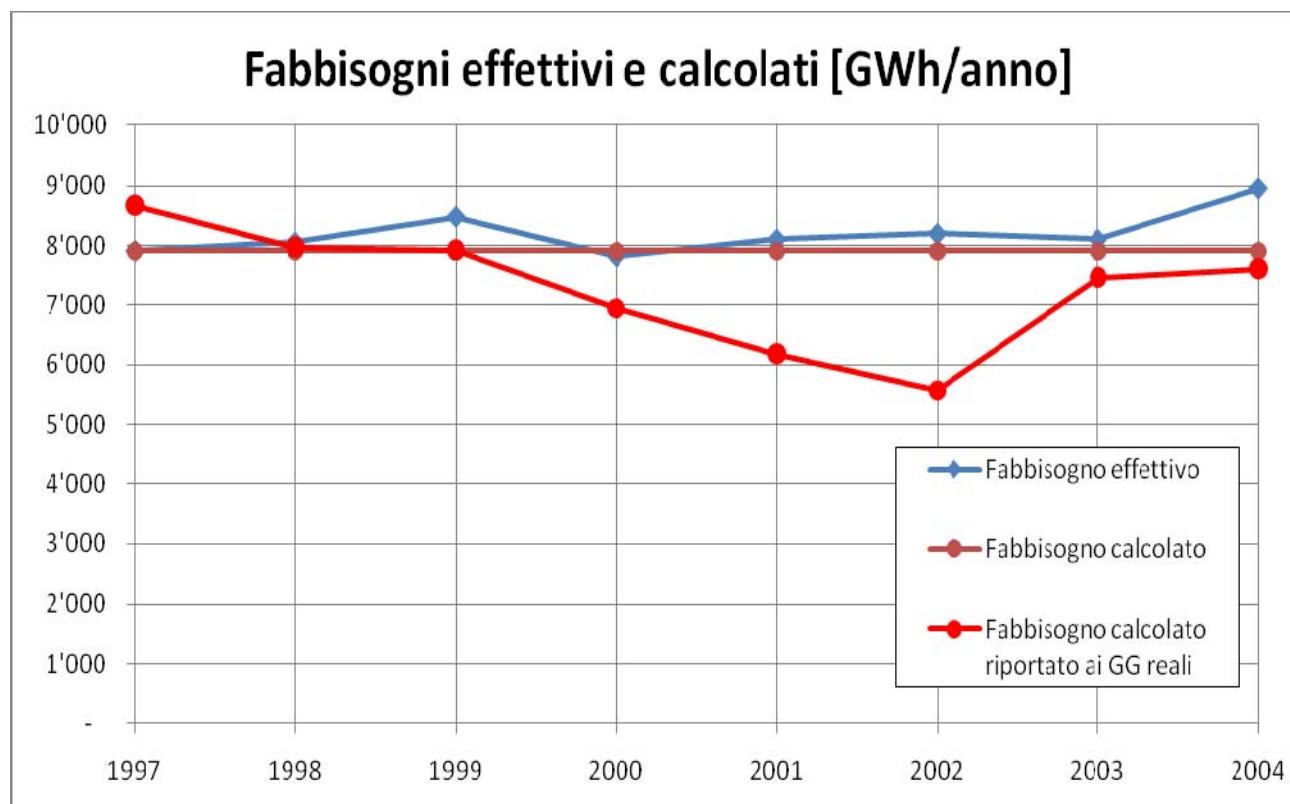
PARCO EDILIZIO RESIDENZIALE ATTUALE

Risultati del calcolo sui fabbisogni energetici (4/4)



VALIDAZIONE DEL METODO DI CALCOLO

Confronto coi consumi effettivi ITALGAS



Scarto medio del 5% rispetto ai consumi reali.

I consumi energetici di Roma sono debolmente legati all'andamento climatico

OBIETTIVO 2:

Individuazione delle possibili azioni di
riqualificazione energetica.

Valutazione di costi e benefici.

Individuazione degli interventi
di riqualificazione più efficaci
e più convenienti.

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

1. Riduzione delle trasmittanze delle superfici disperdenti fino ai limiti di legge (pareti opache verticali, solai di copertura, pavimenti su terra, chiusure trasparenti);
2. Sostituzione dei generatori di calore esistenti con caldaie a condensazione;
3. Installazione di valvole termostatiche sui radiatori.

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi sull'involucro edilizio

Trasmittanze termiche dopo l'intervento

I valori di trasmittanza scelti rispettano i vincoli del Dlgs 311/06 per l'anno 2010.

Epoca di costruzione	Trasmittanza pareti opache verticali	Trasmittanza solai di copertura	Trasmittanza pavimenti a terra	Trasmittanza chiusure trasparenti
	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[W/m ² K]
prima del 1919	0,36	0,32	0,36	2,40
1919-45	0,36	0,32	0,36	2,40
1946-61	0,36	0,32	0,36	2,40
1962-71	0,36	0,32	0,36	2,40
1972-81	0,36	0,32	0,36	2,40
1982-91	0,36	0,32	0,36	2,40
dopo il 1991	0,36	0,32	0,36	2,40

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi sugli impianti

Rendimento
di produzione

Epoca di costruzione	Impianti centralizzati		Impianti autonomi		Rendimento medio ponderato
	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	
prima del 1919	90,0%	49,3%	90,0%	50,7%	90,0%
1919-45	90,0%	52,7%	90,0%	47,3%	90,0%
1946-61	90,0%	55,3%	90,0%	44,7%	90,0%
1962-71	90,0%	53,8%	90,0%	46,2%	90,0%
1972-81	90,0%	56,6%	90,0%	43,4%	90,0%
1982-91	90,0%	68,8%	90,0%	31,2%	90,0%
dopo il 1991	90,0%	87,2%	90,0%	12,8%	90,0%

Rendimento
di regolazione

Epoca di costruzione	Impianti centralizzati		Impianti autonomi		Rendimento medio ponderato
	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	Rendimento	Percentuale sul parco edifici	
Ogni epoca	94,0%	52,6%	94,0%	47,4%	94,0%

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi singoli (1/6): PARETI OPACHE VERTICALI

Epoca di costr.	Fabbisogno specifico dopo l'intervento	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Costo specifico di intervento	Investim. totale	Risparmio complessivo annuale			Tempo di ritorno investim.
	[kWh/m ² anno]	[%]	[€/m ²]	[milioni di €]	[GWh/anno]	[TEP/anno]	[M€/anno]	[anni]
prima 1919	79,8	-25.8%	70	231	158	12'038	13,5	17
1919-45	72,7	-25.6%	70	374	232	17'626	19,8	19
1946-61	73,3	-25.6%	70	823	514	39'132	44,0	19
1962-71	71,4	-25.6%	70	858	522	39'710	44,7	19
1972-81	59,4	-22.4%	70	728	309	23'505	26,4	28
1982-91	51,7	-24.3%	70	439	180	13'723	15,4	28
dopo 1991	33,4	-24.2%	70	214	56	4'287	4,8	44
TOT	65,5	-24,93%		3'667	1'971	150'020	168,7	22

Risultati complessivi:

Variazione fabbisogni: -24.9%

Investimento: 3.7 miliardi di euro

Tempo di ritorno: 22 anni

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi singoli (2/6): COPERTURE

Epoca di costr.	Fabbisogno specifico dopo l'intervento	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Costo specifico di intervento	Investim. totale	Risparmio complessivo annuale			Tempo di ritorno investim.
	[kWh/m²anno]	[%]			[GWh/anno]	[TEP/anno]	[M€/anno]	
prima 1919	87,1	-19.0%	50	70	116	8'855	10,0	7
1919-45	85,7	-12.3%	50	113	111	8'464	9,5	12
1946-61	86,4	-12.3%	50	249	247	18'790	21,1	12
1962-71	84,2	-12.3%	50	260	251	19'068	21,4	12
1972-81	67,9	-11.2%	50	220	155	11'791	13,3	17
1982-91	62,2	-9.1%	50	133	67	5'119	5,8	23
dopo 1991	39,3	-10.9%	50	65	25	1'925	2,2	30
TOT	76,5	-12,30%		1'110	972	74'011	83,2	13

Risultati complessivi:

Variazione fabbisogni: -12.3%
Investimento: 1.1 miliardi di euro
Tempo di ritorno: 13 anni

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi singoli (3/6): SOLAI AL PIANO TERRENO

Epoca di costr.	Fabbisogno specifico dopo l'intervento	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Costo specifico di intervento	Investim. totale	Risparmio complessivo annuale			Tempo di ritorno investim.
	[kWh/m ² anno]	[%]			[GWh/anno]	[TEP/anno]	[M€/anno]	
prima 1919	96,6	-10.1%	50	70	62	4'724	5,3	13
1919-45	86,1	-12.0%	50	113	108	8'230	9,3	12
1946-61	86,8	-12.0%	50	249	240	18'272	20,5	12
1962-71	84,5	-12.0%	50	260	244	18'541	20,8	12
1972-81	69,8	-8.8%	50	220	122	9'260	10,4	21
1982-91	65,4	-4.3%	50	133	32	2'403	2,7	49
dopo 1991	41,4	-6.2%	50	65	14	1'092	1,2	53
TOT	78,2	-10,39%		1'110	821	62'522	70,3	16

Risultati complessivi:

Variazione fabbisogni: -10.4%
Investimento: 1.1 miliardi di euro
Tempo di ritorno: 16 anni

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi singoli (4/6): FINESTRE

Epoca di costr.	Fabbisogno specifico dopo l'intervento	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Costo specifico di intervento	Investim. totale	Risparmio complessivo annuale			Tempo di ritorno investim.
	[kWh/m ² anno]	[%]			[GWh/anno]	[TEP/anno]	[M€/anno]	
prima 1919	85,6	-20.4%	400	342	125	9'514	10,7	32
1919-45	75,6	-22.7%	400	554	205	15'589	17,5	32
1946-61	76,2	-22.7%	400	1'221	455	34'609	38,9	31
1962-71	74,2	-22.7%	400	1'272	461	35'120	39,5	32
1972-81	56,6	-26.0%	400	1'079	358	27'285	30,7	35
1982-91	49,1	-28.2%	400	651	209	15'929	17,9	36
dopo 1991	39,9	-9.4%	400	317	22	1'670	1,9	169
TOT	67,0	-23,22%		5'436	1'836	139'716	157,1	35

Risultati complessivi:

Variazione fabbisogni: -23.2%
Investimento: 5.4 miliardi di euro
Tempo di ritorno: 35 anni

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi singoli (5/6): GENERATORI DI CALORE

Epoca di costr.	Fabbisogno specifico dopo l'intervento	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Costo specifico di intervento	Investim. Totale	Risparmio complessivo annuale			Tempo di ritorno investim.
	[kWh/m ² anno]	[%]	[€/kW]	[milioni di €]	[GWh/anno]	[TEP/anno]	[M€/anno]	[anni]
prima 1919	89,0	-17.3%	100	117	106	8'047	9,0	13
1919-45	79,2	-19.0%	100	190	172	13'069	14,7	13
1946-61	79,2	-19.7%	100	418	395	30'032	33,8	12
1962-71	79,2	-17.5%	100	436	356	27'114	30,5	14
1972-81	68,2	-10.9%	100	370	150	11'428	12,8	29
1982-91	62,2	-9.0%	100	223	67	5'075	5,7	39
dopo 1991	41,6	-5.6%	100	109	13	984	1,1	98
TOT	73,4	-15,91%		1'863	1'258	95'749	107,7	17

Risultati complessivi:

Variazione fabbisogni: -15.9%
Investimento: 1.9 miliardi di euro
Tempo di ritorno: 17 anni

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi singoli (6/6): VALVOLE TERMOSTATICHE

Epoca di costr.	Fabbisogno specifico dopo l'intervento	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Costo specifico di intervento	Investim. totale	Risparmio complessivo annuale			Tempo di ritorno investim.
	[kWh/m ² anno]	[%]	[€/m ³]	[milioni di €]	[GWh/anno]	[TEP/anno]	[M€/anno]	[anni]
prima 1919	103,4	-3.9%	0,77	13	24	1'802	2,0	6
1919-45	94,0	-3.9%	0,77	21	35	2'656	3,0	7
1946-61	94,8	-3.9%	0,77	47	77	5'897	6,6	7
1962-71	92,3	-3.9%	0,77	49	79	5'984	6,7	7
1972-81	73,6	-3.9%	0,77	42	53	4'050	4,6	9
1982-91	65,7	-3.9%	0,77	25	29	2'180	2,5	10
dopo 1991	42,4	-3.9%	0,77	12	9	685	0,8	16
TOT	83,9	-3,86%		209	306	23'254	26,1	8

Risultati complessivi:

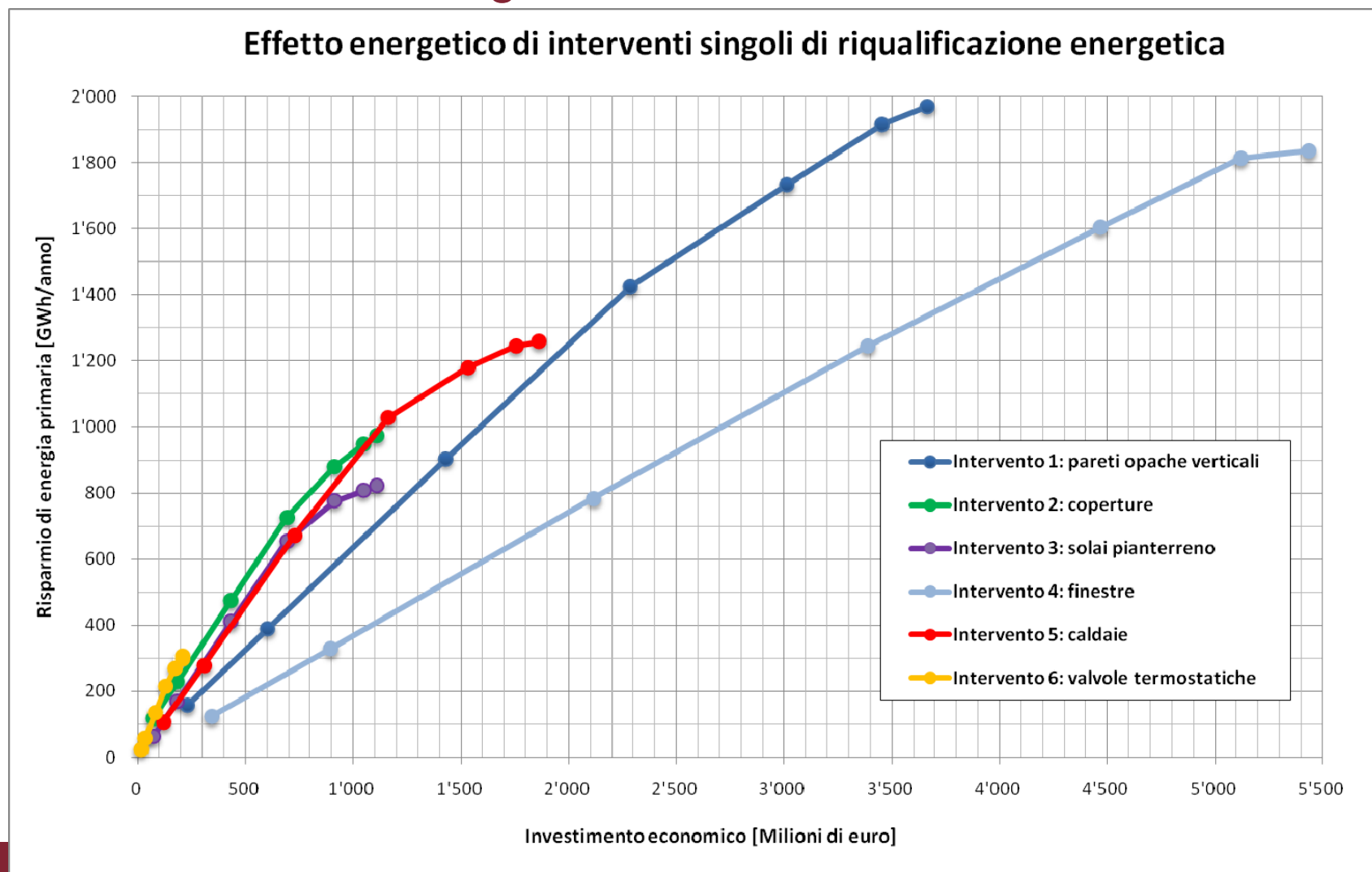
Variazione fabbisogni: -3.9%

Investimento: 0.2 miliardi di euro

Tempo di ritorno: 8 anni

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi singoli: GRAFICO RIASSUNTIVO



INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi cumulati (1/3): TUTTO L'INVOLUCRO

Epoca di costr.	Fabbisogno specifico dopo l'intervento	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Investim. totale	Risparmio complessivo annuale			Tempo di ritorno investim.
	[kWh/m ² anno]	[%]		[GWh/anno]	[TEP/anno]	[M€/anno]	
prima 1919	26,8	-75.1%	712	460	35'025	39,4	18
1919-45	27,0	-72.3%	1'155	653	49'736	55,9	21
1946-61	27,3	-72.3%	2'543	1'451	110'420	124,2	20
1962-71	26,5	-72.3%	2'650	1'472	112'051	126,0	21
1972-81	24,3	-68.3%	2'248	940	71'538	80,4	28
1982-91	23,5	-65.6%	1'356	486	36'997	41,6	33
dopo 1991	22,0	-50.2%	660	117	8'893	10,0	66
TOT	25,7	-70,56%	11'324	5'579	424'659	477,5	24

Risultati complessivi:

Variazione fabbisogni: -70.6%
Investimento: 11.3 miliardi di euro
Tempo di ritorno: 24 anni

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi cumulati (2/3): TUTTO L'IMPIANTO TERMICO

Epoca di costr.	Fabbisogno specifico dopo l'intervento	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Investim. totale	Risparmio complessivo annuale			Tempo di ritorno investim.
	[kWh/m²anno]	[%]		[GWh/anno]	[TEP/anno]	[M€/anno]	
prima 1919	84,6	-21.3%	130	131	9'945	11,2	12
1919-45	76,1	-22.1%	211	200	15'221	17,1	12
1946-61	76,1	-22.8%	465	457	34'769	39,1	12
1962-71	76,1	-20.7%	485	421	32'050	36,0	13
1972-81	65,6	-14.3%	411	198	15'036	16,9	24
1982-91	59,8	-12.5%	248	93	7'059	7,9	31
dopo 1991	40,0	-9.2%	121	21	1'631	1,8	66
TOT	70,5	-19,23%	2'072	1'520	115'710	130,1	16

Risultati complessivi:

Variazione fabbisogni: -19.2%
Investimento: 2.1 miliardi di euro
Tempo di ritorno: 16 anni

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi cumulati (3/3): INVOLUCRO + IMPIANTO

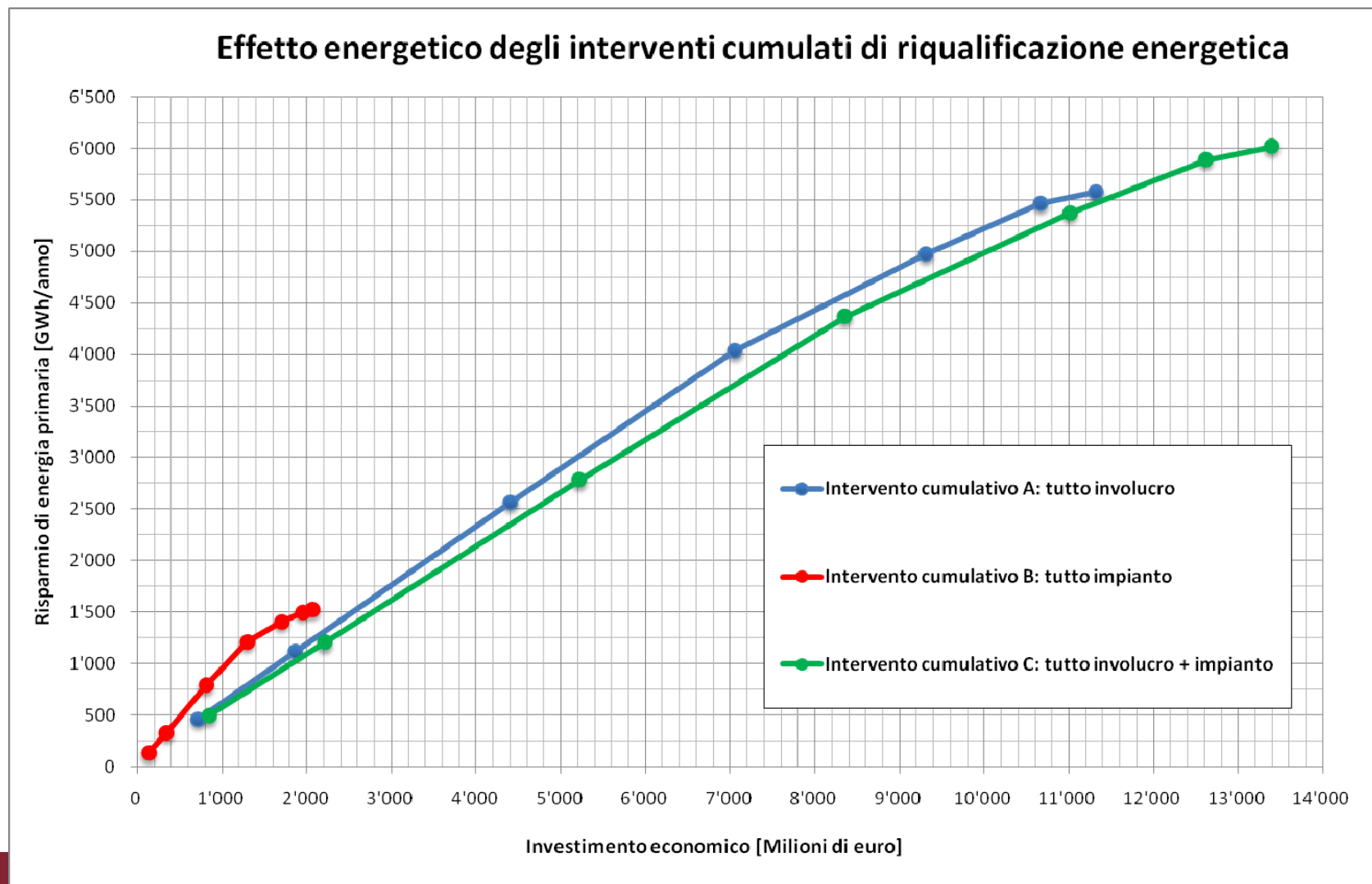
Epoca di costr.	Fabbisogno specifico dopo l'intervento	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Investim. totale	Risparmio complessivo annuale			Tempo di ritorno investim.
	[kWh/m²anno]	[%]		[GWh/anno]	[TEP/anno]	[M€/anno]	
prima 1919	21,0	-80.4%	842	493	37'499	42,2	20
1919-45	21,0	-78.5%	1'366	709	53'945	60,7	23
1946-61	21,0	-78.6%	3'008	1'577	120'034	135,0	22
1962-71	21,0	-78.1%	3'135	1'589	120'913	136,0	23
1972-81	20,8	-72.8%	2'660	1'003	76'311	85,8	31
1982-91	20,6	-69.9%	1'604	518	39'427	44,3	36
dopo 1991	19,9	-54.8%	781	128	9'706	10,9	72
TOT	20,9	-76,07%	13'396	6'015	457'835	514,8	26

Risultati complessivi:

Variazione fabbisogni: -76.1%
Investimento: 13.4 miliardi di euro
Tempo di ritorno: 26 anni

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Interventi cumulati: GRAFICO RIASSUNTIVO



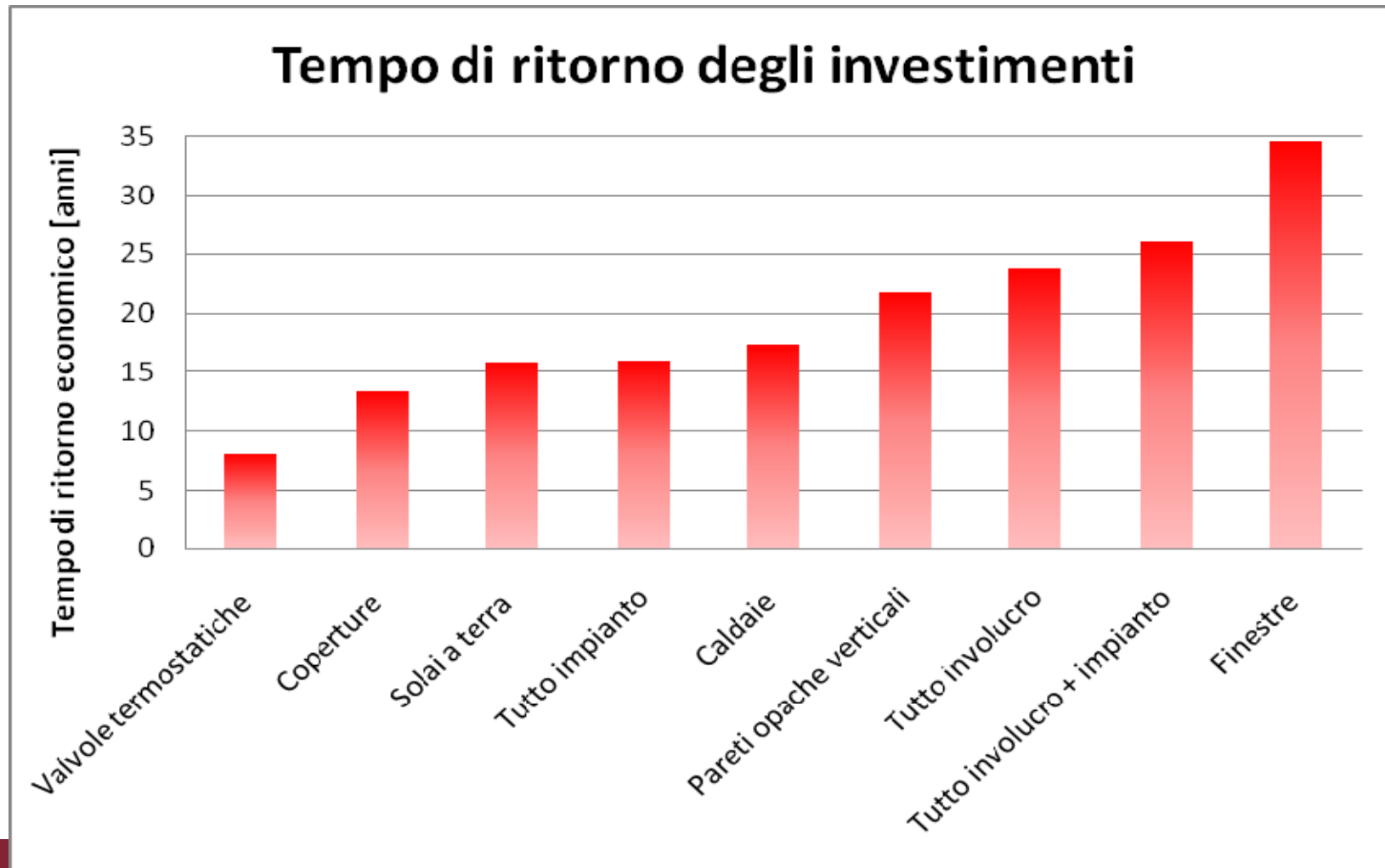
INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Classifica degli interventi per convenienza economica (1/2)

Intervento	Indice di convenienza [kWh risparmiato/€ speso]	Tempo di ritorno [anni]
Valvole termostatiche	1,46	8
Coperture	0,88	13
Solai a pianterreno	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

INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Classifica degli interventi per convenienza economica (2/2)

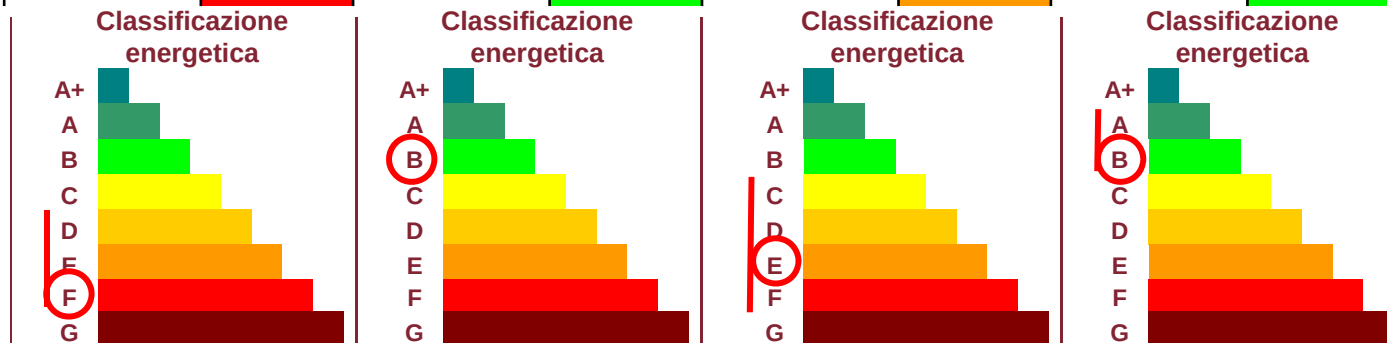


INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Effetto degli interventi sulla classificazione energetica

Epoca di costr.	Stato attuale		Con riqualificazione					
	EP _i [kWh/m ² anno]	Classe energetic a	Involucro EP _i [kWh/m ² anno]	Classe energetic a	Impianto EP _i [kWh/m ² anno]	Classe energetic a	Tutto EP _i [kWh/m ² anno]	Classe energetic a
prima del 1919	108	F	27	B	85	F	21	B
1919-45	98	F	27	B	76	F	21	B
1946-61	99	F	27	B	76	F	21	B
1962-71	96	F	27	B	76	F	21	B
1972-81	77	F	24	B	66	E	21	B
1982-91	68	E	24	B	60	E	21	B
dopo il 1991	44	D	22	B	40	C	20	A
Totale	87	F	26	B	70	E	21	B

Classificazione energetica calcolata secondo il nuovo DM 26/06/2009.



CONCLUSIONI

1. Gli interventi di riqualificazione energetica del parco edilizio esistente possono portare all'abbattimento del 75% degli attuali fabbisogni per la climatizzazione invernale;
2. I differenti interventi hanno tempi di ritorno sensibilmente diversi perciò ogni investimento dovrebbe essere attentamente pianificato.
3. L'intervento più efficace ed economico è l'introduzione di valvole termostatiche sui radiatori, il meno conveniente è la sostituzione dei serramenti.

SCENARI FUTURI

Percentuale di intervento sugli edifici al 2020					
Scenari	Infissi	Pareti opache e solai disperdenti	Generatori di calore	Valvole termostatiche	Rete di distribuzione
Nessun intervento	0%	0%	0%	0%	0%
Evoluzione tendenziale	18%	8%	27%	7%	7%
Interventi aggiuntivi per Kyoto	2%	12%	44%	78%	4%
TOTALE	20%	20%	70%	85%	10%

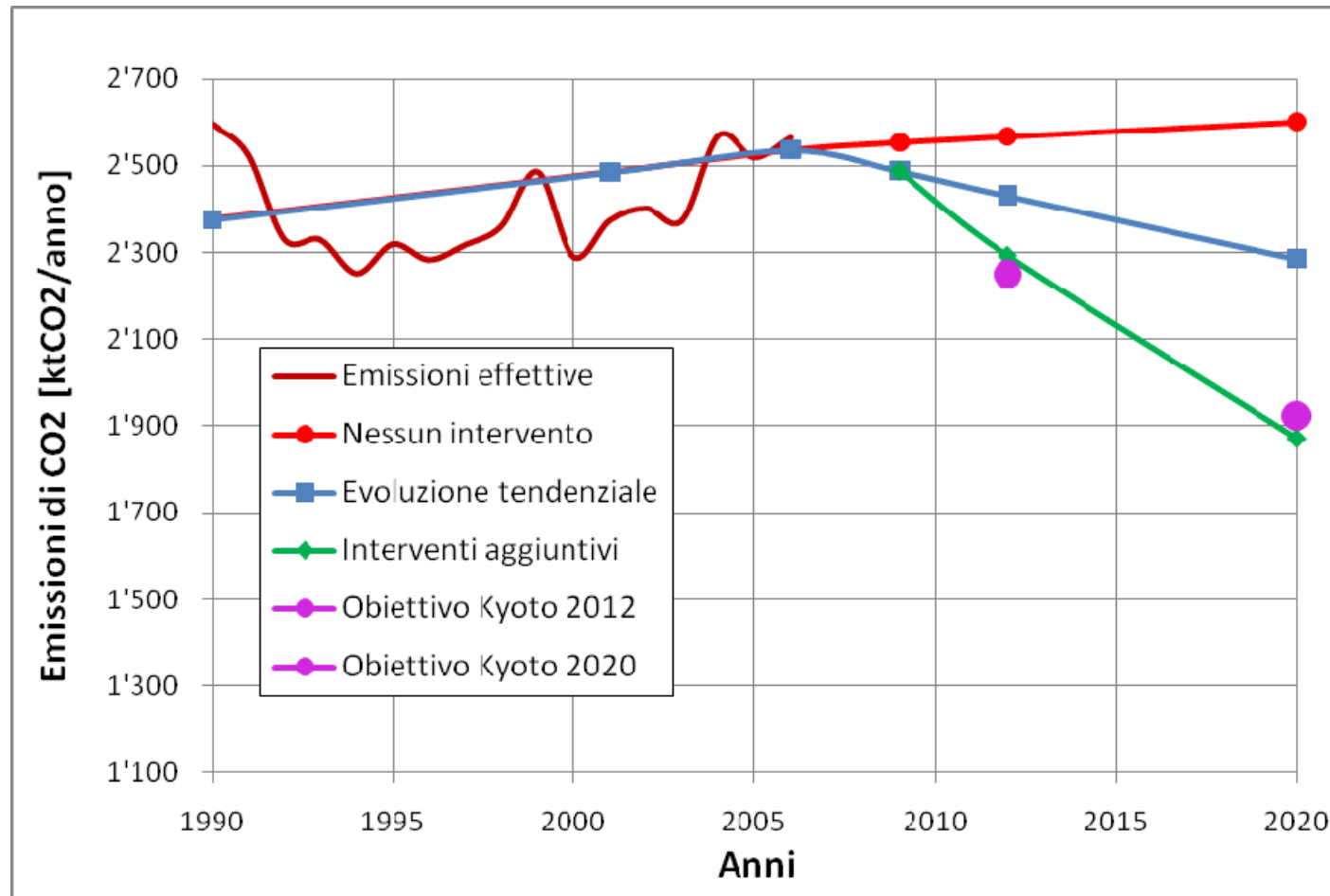
SCENARI FUTURI

Anno	Superficie totale in pianta [Mmq]	S C E N A R I								
		Nessun intervento			Evoluzione tendenziale			Interventi aggiuntivi		
		[GWh]	[kWh/m²]	[ktCO ₂]	[GWh]	[kWh/m²]	[ktCO ₂]	[GWh]	[kWh/m²]	[ktCO ₂]
1990	80	10'245	129	2'376	10'245	129	2'376	10'245	129	2'376
2001	86	10'718	125	2'486	10'718	125	2'486	10'718	125	2'486
2006	89	10'937	120	2'536	10'937	120	2'536	10'937	120	2'536
2009	91	11'013	121	2'554	10'731	118	2'489	10'731	118	2'489
2012	93	11'071	119	2'567	10'485	113	2'431	9'888	107	2'293
2020	98	11'218	115	2'602	9'856	101	2'286	8'068	82	1'871

SCENARI FUTURI

SCENARI	Variaz. emissioni dopo interventi al 2020 rispetto al 1990 [%]	Emissioni evitate [ktCO ₂]	Investimento totale [M€]	Investimento medio al metro di sup. in pianta [€/m ²]	Investimento medio pro-capite [€/persona]	Tempo di ritorno investimento [anni]	Indice di convenienza investimento [kWh/€]
Nessun intervento	+8.1%	0	0	0	0	0	0
Evoluzione tendenziale	-6.7%	1'960	2'216	22.6	813	17.6	0.69
Interventi aggiuntivi	-19.6%	2'594	2'371	24.2	870	14.2	0.86
TOTALE (Tendenziale + interventi)	-26.3%	4'554	4'587	46.9	1'683	15.6	0.78

SCENARI FUTURI



EFFICIENCY PLANT EQUIPMENT FOR THE CAPITAL SCHOOLS

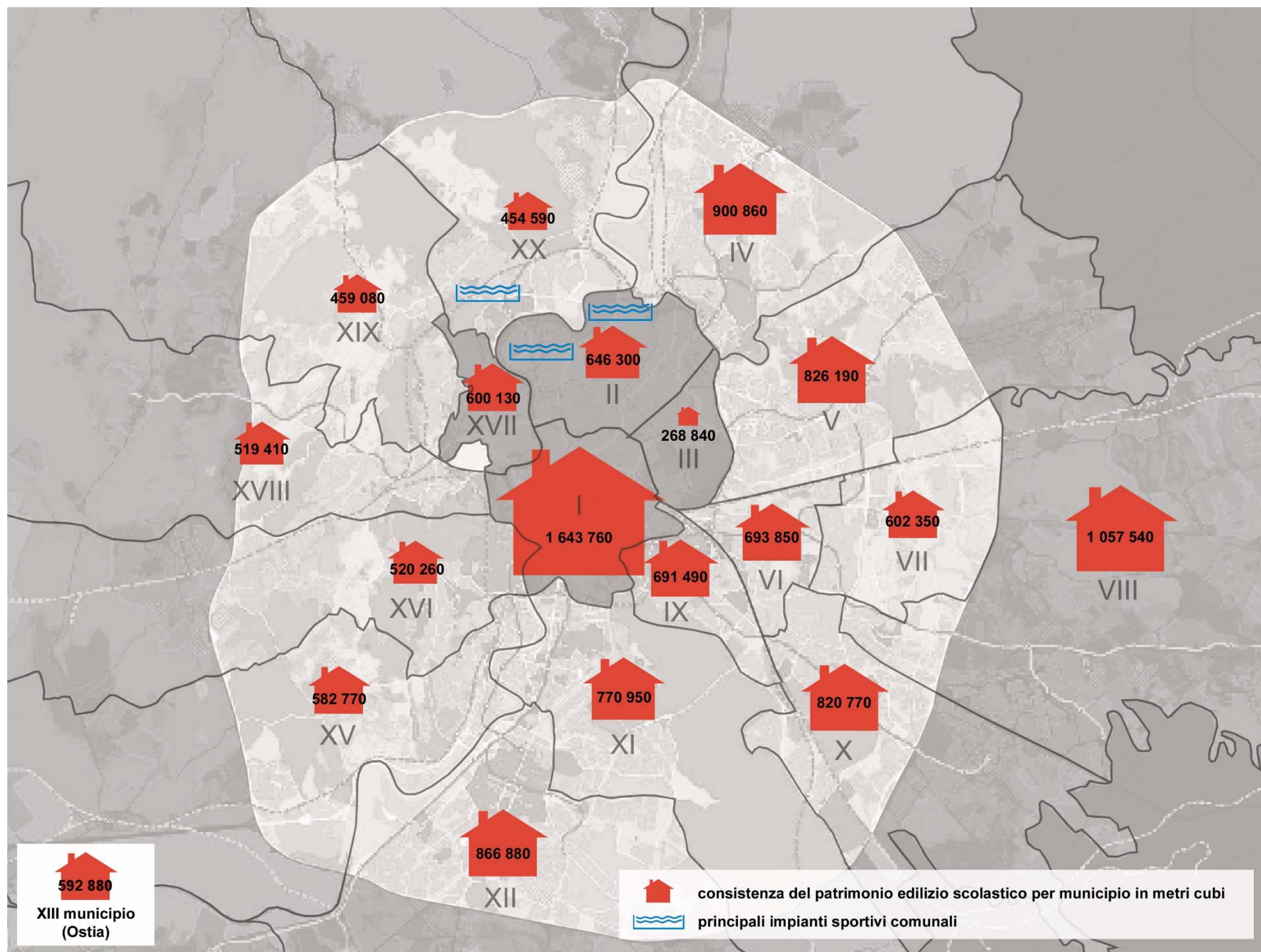
Centro interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente
CITERA

Facoltà di Architettura Valle Giulia



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Prof. Francesco Mancini

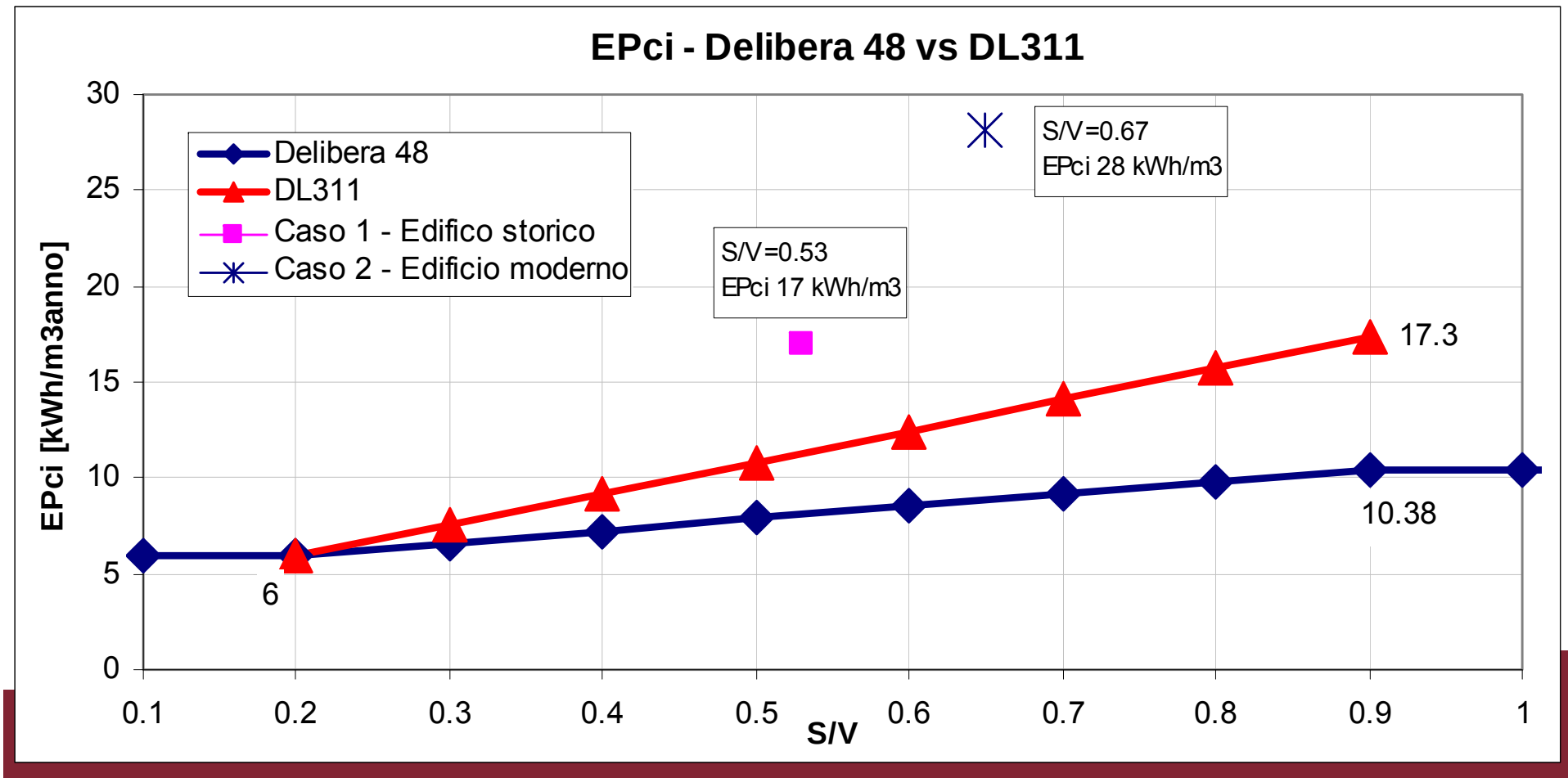


L'EDILIZIA SCOLASTICA A ROMA

Municipio	nr. edifici	%	nr. Aule	%	Volume mc	%	Volum e medio	Superficie media edificio	Consumi termici kWh	Consumi elettrici kWh
1	69	5,3	1.801	9,5	1.643.763	12,2	23.823	5.956	12.853.836	2.709.954
2	53	4,1	880	4,7	646.304	4,8	12.194	3.049	9.873.236	2.081.559
3	13	1,0	346	1,8	268.839	2,0	20.680	5.170	2.421.737	510.571
4	83	6,4	1.333	7,1	900.863	6,7	10.854	2.713	15.461.861	3.259.799
5	111	8,6	1.328	7,0	826.188	6,1	7.443	1.861	20.677.910	4.359.491
6	52	4,0	1.031	5,5	693.852	5,1	13.343	3.336	9.686.949	2.042.284
7	74	5,7	1.133	6,0	602.351	4,5	8.140	2.035	13.785.273	2.906.327
8	111	8,6	1.290	6,8	1.057.542	7,8	9.527	2.382	20.677.910	4.359.491
9	37	2,9	826	4,4	691.495	5,1	18.689	4.672	6.892.637	1.453.164
10	96	7,4	1.255	6,6	820.768	6,1	8.550	2.137	17.883.598	3.770.370
11	77	5,9	763	4,0	770.953	5,7	10.012	2.503	14.344.136	3.024.151
12	96	7,4	1.141	6,0	866.884	6,4	9.030	2.258	17.883.598	3.770.370
13	91	7,0	1.176	6,2	592.884	4,4	6.515	1.629	16.952.160	3.573.997
15	57	4,4	858	4,5	582.766	4,3	10.224	2.556	10.618.386	2.238.657
16	50	3,9	674	3,6	520.256	3,8	10.405	2.601	9.314.374	1.963.735
17	27	2,1	747	4,0	600.133	4,4	22.227	5.557	5.029.762	1.060.417
18	75	5,8	726	3,8	519.415	3,8	6.926	1.731	13.971.561	2.945.602
19	55	4,2	805	4,3	459.079	3,4	8.347	2.087	10.245.811	2.160.108
20	69	5,3	779	4,1	454.590	3,4	6.588	1.647	12.853.836	2.709.954
totale	1.296	100,0	18.892	100,0	13.518.925	100,0	10.431	2.608	241.428.571	50.900.000

I CONSUMI ENERGETICI DELL'EDILIZIA SCOLASTICA

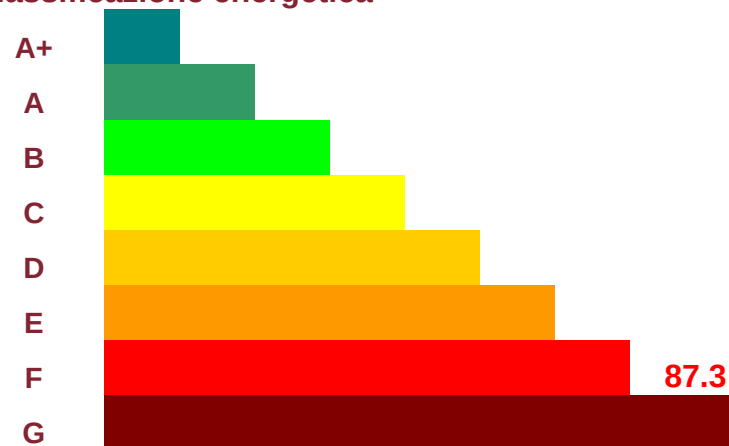
	Volume	Superficie	Consumi termici			Consumi elettrici		
	[mc]	[mq]	[kWh]	[kWh/mc]	[kWh/mq]	[kWh]	[kWh/mc]	[kWh/mq]
Comune di Roma	13.518.925	3.379.731	241.428.571	17,86	71,43	50.900.000	3,77	15,06
Provincia di Roma	1.115.848	278.962	19.927.438	17,86	71,43	4.201.270	3,77	15,06
Totale	14.634.773	3.658.693	261.356.009	17,86	71,43	55.101.270	3,77	15,06



I CONSUMI ENERGETICI DELL'EDILIZIA RESIDENZIALE

Classificazione energetica
calcolata secondo il DM
26/06/2009.

Classificazione energetica



Epoca di costruzione	STATO ATTUALE	
	EP _i [kWh/m ² anno]	Classe energetica
prima del 1919	108	F
1919-45	98	F
1946-61	99	F
1962-71	96	F
1972-81	77	F
1982-91	68	E
dopo il 1991	44	D
Media	87	F

Consumi elettrici

3100 kWh/abitazione*anno

35 kWh/m²*anno

ANALISI DEL PATRIMONIO EDILIZIO SCOLASTICO

Tipologie

Fino agli anni '50, pochi edifici di grandi volumetrie

Successivamente, crescita dell'urbanizzazione, maggiore diffusione degli edifici, di volumetria inferiore.

Periodo di costruzione

Anni '60, 40÷60 nuovi edifici l'anno

1976, 96 nuovi edifici

Nuovo picco metà degli anni '80

Dagli Anni '90 a oggi, stasi demografica, poche nuove realizzazioni

Tipizzazione delle realizzazioni per gruppi omogenei conseguente all'epoca di costruzione

Leggi sul risparmio energetico

Legge 373/76; Legge 10/91, D.P.R. 412/93, D.Lgs 192/05, D.Lgs 311/06

L.R. Lazio n. 6/2008 – **Delibera Roma n. 48/2006**

ANALISI DEL PATRIMONIO EDILIZIO SCOLASTICO

Edifici precedenti la seconda guerra mondiale

- edifici le cui strutture hanno caratteristiche generalmente di pregio, mantenute in maniera discreta
- punti di debolezza principalmente nel sistema degli infissi e in alcuni casi delle coperture
- a livello impiantistico problemi di integrazione tra le strutture storiche e le dotazioni necessarie al funzionamento ordinario

Edifici costruiti tra gli anni '50 e gli anni '80

- Isolamento termico e acustico non in linea con le esigenze di comfort ambientale e di gestione energetica
- Degrado del sistema delle chiusure verticali (pareti perimetrali ed infissi) e delle coperture.

IPOTESI DI RIQUALIFICAZIONE – 2 CASI STUDIO

Edilizia storica e premoderna: il caso del Primo Municipio Scuola Materna ed Elementare “Madonna dell’Orto - Regina Margherita” (1885-88)

- Una delle prime strutture scolastiche della Roma post-unitaria, come edificio dedicato all’istruzione elementare e media con la prima sezione di Giardino d’infanzia.
- Edificio improntato ai criteri igienici e pedagogici più innovativi per l’epoca che diviene il riferimento dell’edilizia scolastica romana successiva (regolamento tecnico per la realizzazione degli edifici scolastici nel Regno d’Italia - 1888)
- Superficie 6.000 mq
- Volume 30.000 mc



Edilizia storica e premoderna: il caso del Primo Municipio

Scuola Materna ed Elementare “Madonna dell’Orto - Regina Margherita” (1885-88)

Sintesi delle soluzioni progettuali per la riduzione dei consumi termici

	Fabbisogno specifico	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Costo specifico di intervento	Investimento	Risparmio	R/I	Tempo di ritorno
	[kWh/mc]	[kWh/mc]	[%]		[€]	[kWh]	[kWh/€]	[anni]
STATO ATTUALE	17.03	-	-	-	-	-	-	-
Interventi singoli								
cappotto interno, intonaci	12.0	-5.0	-30%	70 [€/mq]	639,920	253,725	0.40	30.8
vetri, infissi ed oscuramenti	11.7	-5.3	-31%	400 [€/mq]	658,320	268,920	0.41	29.9
isolamento coperture	14.7	-2.3	-14%	80 [€/mq]	204,374	118,291	0.58	21.1
valvole termostatiche	16.3	-0.7	-4%	0,77 [€/mc]	23,288	36,519	1.57	7.8
sostituzione caldaia	15.0	-2.0	-12%	70 [€/kW]	56,456	100,963	1.79	6.8
INTERV. CUMULATIVO	4.1	-12.9	-76%		1,559,776	652,738	0.42	29.1

Sintesi delle soluzioni progettuali per la riduzione dei consumi elettrici

STATO ATTUALE	3.77	-	-	-	-	-	-	-
Interventi singoli								
Impianto fotovoltaico	0.0	3.77	-100%	5000 [€/kW]	385,000	100,000	0.26	7.7
• 37 kWp								

Edilizia Moderna e contemporanea: il caso dell'Ottavo Municipio L'Istituto Comprensivo di Scuola dell'Infanzia, Primaria e Secondaria di 1° Grado di Via dell'Archeologia (1980)

- Quartiere Tor Bella Monaca - Costruito negli anni '80 all'interno del piano di edilizia economica e popolare di questa area periferica.
- Scuola elementare, scuola media e asilo nido
- Caratteristiche architettoniche e costruttive secondo DM 18/12/1975
- Riferimento normativo di base per la costruzione delle nuove scuole dagli anni '70 fino ad oggi (circa il 60% del patrimonio scolastico comunale).
- Superficie 8.300 mq
- Volume 25.000 mc



Edilizia Moderna e contemporanea: il caso dell'Ottavo Municipio

L'Istituto Comprensivo di Scuola dell'Infanzia, Primaria e Secondaria di 1° Grado di Via dell'Archeologia (1980)

Sintesi delle soluzioni progettuali per la riduzione dei consumi termici

	Fabbisogno specifico	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Variazione fabbisogno dopo l'intervento	Costo specifico di intervento	Investimento	Risparmio	R/I	Tempo di ritorno
	[kWh/mc]	[kWh/mc]	[%]		[€]	[kWh]	[kWh/€]	[anni]
STATO ATTUALE	28.15	-	-	-	-	-	-	-
Interventi singoli								
cappotto interno, intonaci	21.6	-6.6	-23%	100 [€/mq]	475,904	196,700	0.41	29.5
vetri, infissi ed oscuramenti	19.6	-8.6	-31%	400 [€/mq]	532,204	257,569	0.48	25.2
isolamento coperture	19.7	-8.5	-30%	80 [€/mq]	410,367	253,262	0.62	19.8
isolamento solaio a terra	22.3	-5.8	-21%	80 [€/mq]	410,367	173,779	0.42	28.8
valvole termostatiche	26.7	-1.5	-5%	0,77 [€/mc]	20,677	44,383	2.15	5.7
sostituzione caldaia	25.4	-2.8	-10%	70 [€/kW]	41,941	82,674	1.97	6.2
INTERV. CUMULATIVO	1.6	-26.5	-94%		1,874,684	794,876	0.42	28.8

Sintesi delle soluzioni progettuali per la riduzione dei consumi elettrici

STATO ATTUALE	3.77	-	-	-	-	-	-	-
Interventi singoli								
Impianto fotovoltaico	2.3	-1.5	-40%	5000 [€/kW]	185,000	48,000	0.26	7.7
• 17 kWp								

CONCLUSIONI

Consumi termici

- interventi sui sistemi impiantistici, con installazione di caldaie a condensazione e di valvole termostatiche per la regolazione dei terminali di impianto.
- riduzione di circa il 15% dei consumi termici
- investimento stimabile in circa 2 €/m³ di edificio servito
- tempi di ritorno di 6-8 anni
- 1° Municipio – 3,3 M€
- 8° Municipio – 2,0 M€

Intero patrimonio edilizio

- Riduzione dei consumi termici di circa 40.000 MWh
- Minori emissioni per circa 10.000 tonnellate CO₂
- Investimento stimabile in circa 30 milioni di Euro.

2-3 €/kgCO₂ evitata

CONCLUSIONI

Consumi termici

- consistente riduzione (dal 40% al 100% per i due casi esaminati, in ragione della diversa disponibilità di superfici) con impianti fotovoltaici
- intervento riproducibile ovunque, grazie all'intrinseca modularità degli impianti fotovoltaici
- investimento stimabile in circa 5000 €/kW
- tempi di ritorno di 8 anni

Intero patrimonio edilizio (-50% consumi)

- Riduzione dei consumi elettrici di circa 28.000 MWh
- Minori emissioni per circa 12.000 tonnellate CO₂
- Investimento stimabile in circa 100 milioni di Euro.

8 €/kgCO₂ evitata

ANALISI COMPARATA DI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA PER LA FACOLTÀ DI ARCHITETTURA DI ROMA “VALLE GIULIA”

Centro interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente
CITERA

Facoltà di Architettura Valle Giulia



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Prof. Francesco Mancini
Prof. Gianfranco Caruso
Arch. Alessandro Ceci

SOMMARIO

- La Facoltà di Architettura di Roma “Valle Giulia”
- Caratterizzazione energetica del sistema edificio-impianto
- Proposte progettuali
- Analisi costi-benefici
- Conclusioni

LA FACOLTA' DI ARCHITETTURA DI ROMA

“VALLE GIULIA”

L'oggetto di studio è rappresentato dalla Facoltà di Architettura “Valle Giulia”, realizzata nel 1958 su progetto di Del Debbio come ampliamento della sede originaria.

L'obiettivo della ricerca è individuare una serie gerarchica d'interventi tecnologici, impiantistici e gestionali, volti ad incrementare la qualità prestazionale ed energetica della costruzione:

1. Caratterizzazione energetica del sistema edificio-impianto allo STATO ATTUALE, con procedure volte ad acquisire informazioni sulle prestazioni degli impianti e dell'involucro edilizio.
2. Verifica prestazionale-energetica di alcune PROPOSTE PROGETTUALI effettuate sia sull' involucro che sul sistema impianto
3. Analisi COSTI-BENEFICI con determinazione delle priorità d'intervento

CARATTERIZZAZIONE ENERGETICA DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO

Raccolta di tutti i dati di input riguardanti l'involucro e gli impianti al fine di determinare i consumi termici attuali dell'edificio.



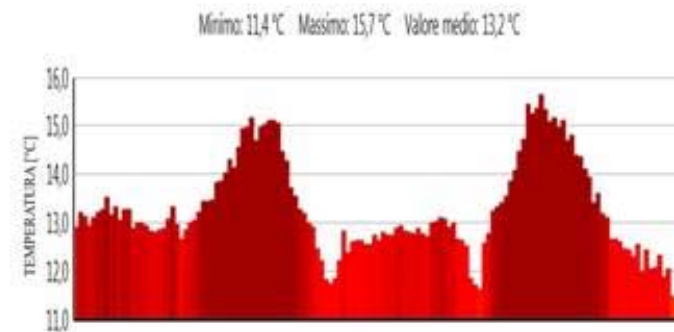
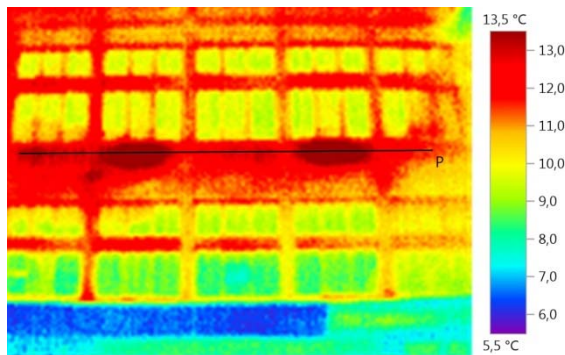
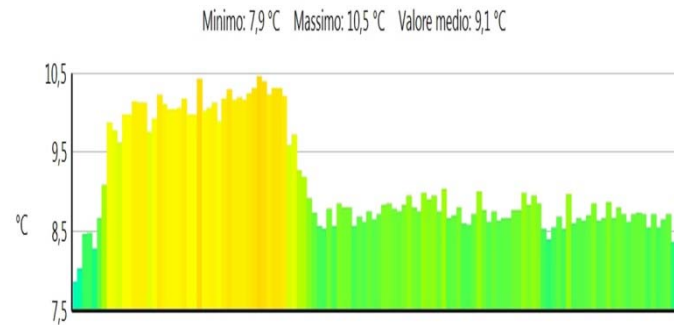
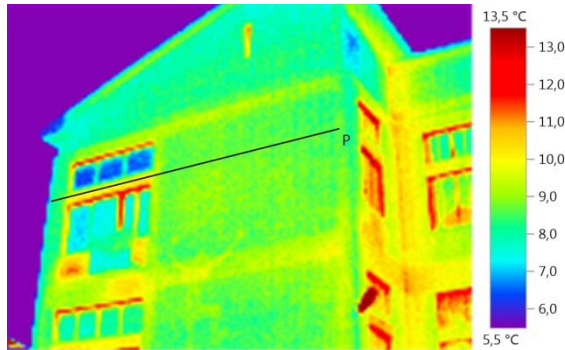
INVOLUCRO OPACO

Per individuare un **abaco delle pareti perimetrali verticali** che costituiscono l'involucro opaco si sono attuate indagini non distruttive.

I dati resi dalle tabelle della UNI 11300 e dalla raccomandazione CTI 03/2003 sono stati elaborati e modificati attraverso varie tipologie di analisi:

- 1. INDAGINE A VISTA** sugli spessori murari ha consentito di determinare i vari rivestimenti e la tipologia della struttura muraria.
- 2. RICERCA DELLE FONTI STORICHE** ha permesso di risalire al periodo di realizzazione dell'edificio e di dedurre l'assenza di isolamenti termici, resi obbligatori con la legge 373/76
- 3. ANALISI TERMOGRAFICHE** attraverso le quali è stato possibile individuare le discontinuità di materiale presenti nell'involucro opaco

INVOLUCRO OPACO



Le analisi termografiche hanno permesso di identificare le dispersioni dovute ai ponti termici e di individuare aree critiche dell'involucro come il sottofinestra, in cui sono posizionati i radiatori

INVOLUCRO TRASPARENTE

Attraverso un'**ANALISI A VISTA** è stato possibile individuare la tipologia degli infissi e dei vetri.

I serramenti e i vetri attuali sono di due tipi:

- a. in **alluminio** senza taglio termico e vetri camera 4-6-4 mm, con trasmittanza media pari a **4,16 W/(m² K)**;
- b. in **ferrofinestra** con vetro singolo di spessore 4 mm, con trasmittanza media di **6,15 W/(m² K)**.

I sistemi di oscuramento, se presenti, sono tutti posti all'interno: le tipologie prevalenti sono le tende e le veneziane.

SISTEMA IMPIANTISTICO

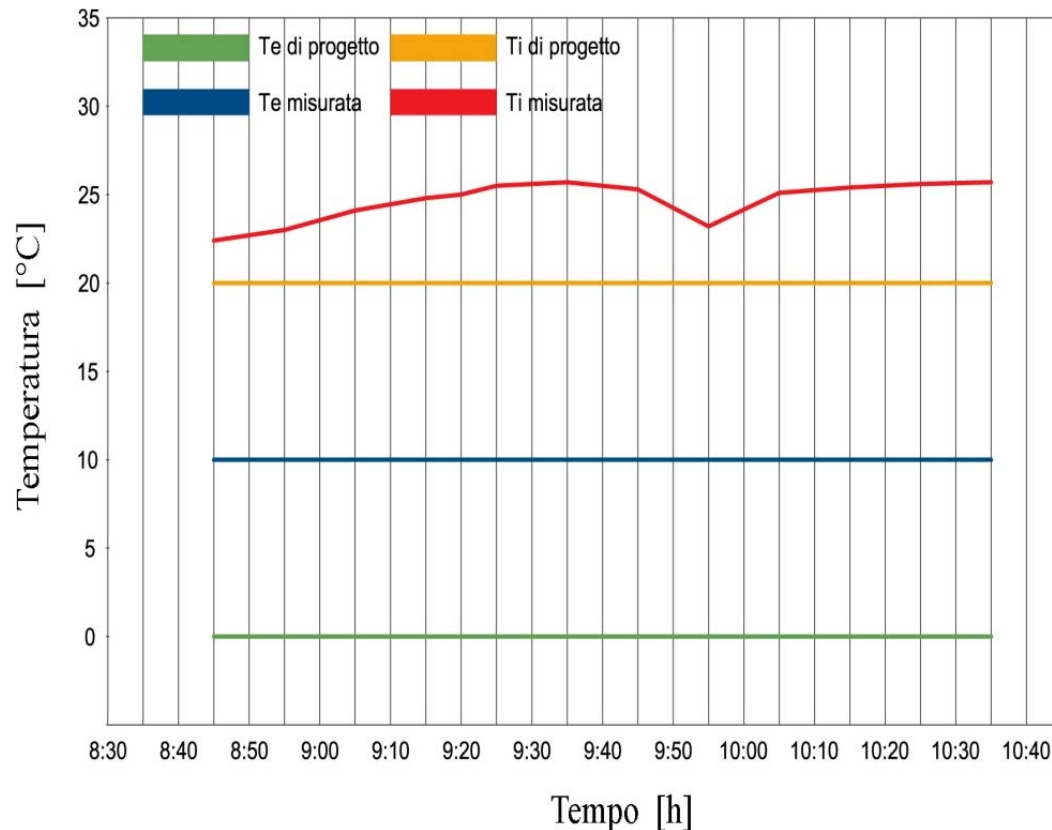


La **CENTRALE TERMICA** è costituita da due caldaie ad alto rendimento ($> 90\%$) funzionanti in parallelo di recente installazione.



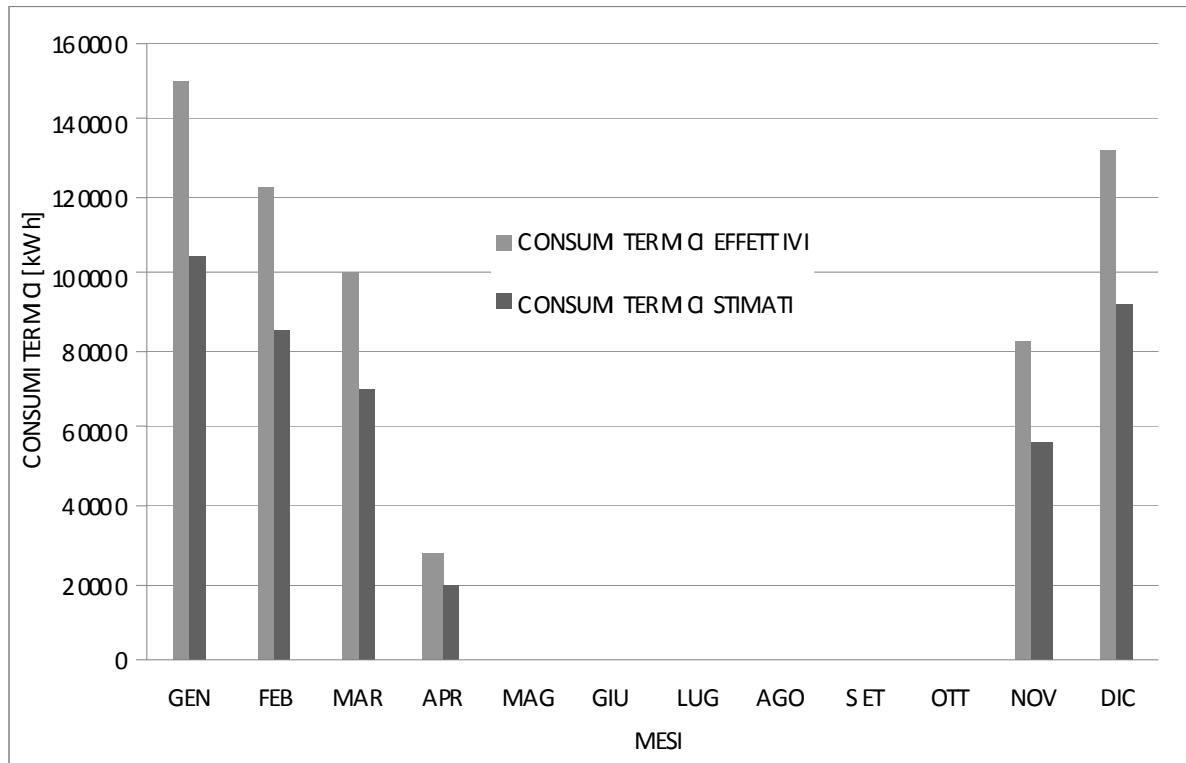
Sono presenti **DISPOSITIVI DI REGOLAZIONE non funzionanti (impostati su manuale)** per la regolazione della temperatura dell'acqua calda di mandata attraverso premiscelazione, in funzione della temperatura esterna.

SISTEMA IMPIANTISTICO



La presenza dei dispositivi di regolazione danneggiati ha dato lo stimolo ad effettuare un'indagine sul campo volta a evidenziare come l'andamento della temperatura interna alle aule vari in funzione degli apporti gratuiti. Risultano necessari dispositivi di regolazione, in grado di consentire l'utilizzazione degli apporti gratuiti.

VERIFICA DEL MODELLO ENERGETICO



Sono stati confrontati i consumi termici della facoltà degli ultimi quattro anni con quelli valutati a calcolo in condizioni di progetto.

I consumi energetici stimati risultano inferiori di circa il 25% rispetto a quelli reali.

PROPOSTE PROGETTUALI: INVOLUCRO OPACO

Le proposte progettuali sull'involucro opaco ipotizzate sono di due tipi:

- a) **Insufflaggio di materiale isolante all'interno dell'intercapedine.** Il materiale scelto è una resina poliuretanica con conducibilità $\lambda = 0,038$ W/(m K).
- b) **Pannelli isolanti in polistirene espanso con $R = 1,1$ mqK/W, per realizzare un cappotto interno**

Ove possibile i due interventi sono stati accoppiati

PROPOSTE PROGETTUALI: INVOLUCRO OPACO

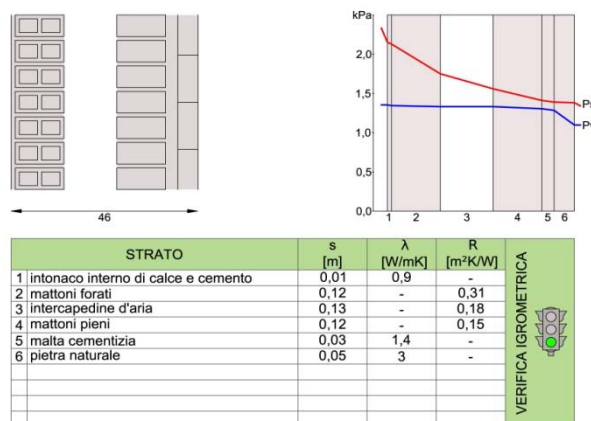
Di tutte le pareti perimetrali verticali individuate nella fase di definizione dello stato attuale sono state effettuate le verifiche igrometriche ed è stata valutata la trasmittanza.

1. **INTERVENTO DI ISOLAMENTO IN INTERCAPEDINE:** tende a diminuire maggiormente le dispersioni rispetto all'intervento di isolamento a cappotto interno ma a peggiorare i ponti termici
2. **INTERVENTO DI ISOLAMENTO A CAPPOTTO INTERNO:** questa soluzione risulta essere problematica da un punto di vista igrometrico, poiché si hanno numerosi casi di condensa interstiziale. Per alcune pareti perimetrali è stato quindi necessario inserire uno strato di barriera al vapore.

PROPOSTE PROGETTUALI: INVOLUCRO OPACO

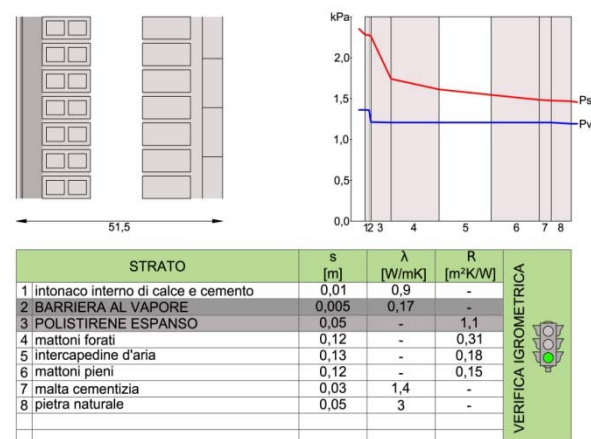
stato attuale

P.P.V.2 - $U = 1,164 \text{ W/m}^2\text{K}$



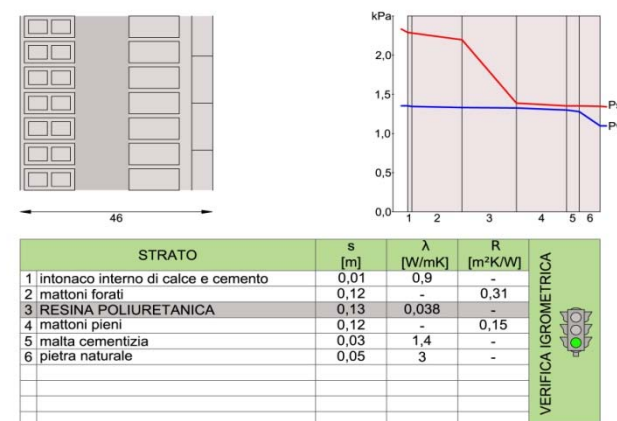
cappotto interno

P.P.V.2 - $U = 0,503 \text{ W/m}^2\text{K}$



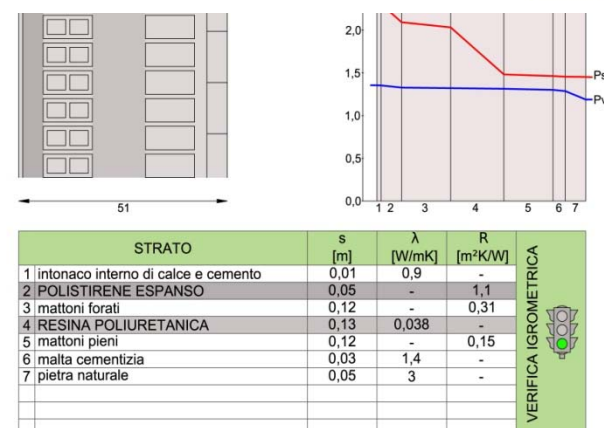
intercapedine

P.P.V.2 - $U = 0,244 \text{ W/m}^2\text{K}$



Intercapedine e
cappotto interno

P.P.V.2 - $U = 0,192 \text{ W/m}^2\text{K}$



PROPOSTE PROGETTUALI: INVOLUCRO TRASPARENTE

1. Per i **SERRAMENTI ORIGINALI** è ipotizzata la sostituzione dei vetri, allargando la sede di alloggiamento del vetro stesso, o sostituendo il telaio con un nuovo ferrofinestra con vetro camera di spessore 4-12-4 mm, con lastre esterne selettive e $U = 2,61 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. **Per queste finestre si sono comunque previste tende interne.**
2. Per le **FINESTRE** delle aule e in generale per quelle **NON ORIGINALI** per le quali non si è riconosciuto un valore storico, si è prevista la sostituzione sia del vetro che dell'infisso con uno in alluminio a taglio termico e vetri camera 4-12-4 mm, con $U = 1,85 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. **I sistemi di oscuramento, in questo caso, sono stati ipotizzati esterni, più efficaci da un punto di vista energetico.**

PROPOSTE PROGETTUALI: SISTEMA IMPIANTISTICO

In ciascun radiatore, in sostituzione della valvola manuale, è stata ipotizzata l'installazione di **VALVOLE TERMOSTATICHE A LIQUIDO CON GUSCIO ANTISTRAPPO**, che regolano automaticamente l'afflusso di acqua calda in base alla temperatura scelta ed impostata su una apposita manopola graduata.

I principali vantaggi delle valvole termostatiche sono:

- a. recupero degli apporti gratuiti, siano essi apporti solari o apporti interni quali apparecchiature o persone;
- b. bilanciamento automatico dei flussi energetici dell'impianto;
- c. controllo delle temperature di funzionamento dell'impianto.

Questo ultimo effetto risulta ulteriormente vantaggioso in presenza di caldaia a condensazione: abbassando la temperatura di ritorno dell'acqua, anche la caldaia aumenta il suo rendimento.

PROPOSTE PROGETTUALI: SISTEMA IMPIANTISTICO

Installazione di **CALDAIE A CONDENSAZIONE**

La quota di energia teoricamente recuperabile tramite la condensazione dei fumi è molto consistente, pari a circa il **11%**, dovuta al calore latente di condensazione, cui va aggiunto un ulteriore 6-7% legato al recupero di calore sensibile dei fumi, per un totale massimo teorico di 16-17 punti percentuali.

La tipologia di **caldaia** scelta è quella **modulare**.

Da un punto di vista metodologico è stato possibile ipotizzare **l'installazione di un diverso numero di moduli, in funzione della potenza necessaria, calcolata a partire dagli interventi ipotizzati.**

ANALISI COSTI-BENEFICI: intercapedine

Gli INVESTIMENTI necessari a realizzare le proposte progettuali sono stati valutati redigendo un computo metrico estimativo, adoperando i **prezzari regionali del Lazio**.

1 INTERCAPEDINE

A ISOLAMENTO TERMICO IN INTECAPEDINE	€ mq	27,74
di pareti esterne eseguito mediante insufflaggio di materiale isolante realizzato con resina poliuretanica:		

	mq	€
Livello 0	192,9	5351,04
Livello 1	112,9	3131,84
Livello 2	146	4050,04
Livello 3	180,1	4995,97

TOTALE PARZIALE	631,9	17528,90
------------------------	--------------	-----------------

TOTALE	631,9	17528,90
---------------	--------------	-----------------

ANALISI COSTI-BENEFICI: cappotto interno

2 CAPPOTTO INTERNO

B SPICCONATURA DI INTONACO A VIVO DI MURO	€ mq	6,66
di spessore fino a 3 cm, compresi l'onere di esecuzione anche a piccole zone, la spazzolatura delle superfici, il tiro in discesa dei materiali, il trasporto, l'accatastamento nell'ambiente di cantiere		
	mq	€
Livello 0	455,1	3030,96
Livello 1	399,3	2659,33
Livello 2	562,3	3744,91
Livello 3	911,3	6069,25
TOTALE PARZIALE	2328	15504,48

ISOLAMENTO TERMICO A CAPPOTTO DI PARETI INTERNE	€ mq	28,1
già preparate, eseguito mediante pannelli preassemblati di materiale isolante in polistirene espanso, ancorati alla struttura portante con malta adesiva speciale		
Livello 0	455,1	12788,31
Livello 1	399,3	11220,33
Livello 2	562,3	15800,63
Livello 3	911,3	25607,53
TOTALE PARZIALE	2328	65416,8

ANALISI COSTI-BENEFICI: cappotto interno

D BARRIERA AL VAPORE	€ mq	8,26
costituita da un manto impermeabile prefabbricato a base di bitumi polimero plastomeri con armatura e accoppiato a una lamina di alluminio		
	mq	€
Livello 0	135	1115,1
Livello 1	0	0
Livello 2	0	0
Livello 3	0	0
TOTALE PARZIALE	135	1115,1
E INTONACO CIVILE	€ mq	21,25
con malta calce sabbia e cemento, formato da un primo strato di rinzafo, da un secondo strato tirato in piano con regolo e frattazzato, rifinito e lisciato		
	mq	€
Livello 0	455,1	9670,87
Livello 1	399,3	8485,12
Livello 2	562,3	11948,87
Livello 3	911,3	19365,12
TOTALE PARZIALE	2328	49470
TOTALE	7119	131506,38

74

ANALISI COSTI-BENEFICI: vetri, infissi ed oscuramenti

3 VETRI, INFISSI ED OSCURAMENTI

F SMONTAGGIO DI INFISSI		€ mq	16,01
in profilato di ferro o alluminio calcolato sulla superficie, inclusa l'eventuale parte vetrata, compresi telaio, controtelaio, smuratura delle grappe o dei tasselli di tenuta			
		mq	€
Livello 0		157,3	2518,37
Livello 1		230,62	3692,22
Livello 2		287,47	4602,39
Livello 3		12	192,12
TOTALE PARZIALE		687,39	11005,11
G VETRATE TERMOACUSTICHE ISOLANTI		€ mq	48,6
in profilato di ferro o alluminio calcolato sulla superficie, inclusa l'eventuale parte vetrata, compresi telaio, controtelaio, smuratura delle grappe o dei tasselli di tenuta			
		mq	€
Livello 0		116,71	5672,10
Livello 1		173,38	8426,26
Livello 2		214,44	10421,78
Livello 3		8,76	425,73
TOTALE PARZIALE		513,29	24945,89

ANALISI COSTI-BENEFICI: vetri, infissi ed oscuramenti

H	INFISSI IN LAMIERA DI ACCIAIO ZINCATO	€ mq	105,97
	per finestra ad uno o più battenti, fissi od apribili, con o senza sopraluce fisso o apribile. Sono compresi: i fermavetro, il gocciolatoio, le staffe, le cerniere, le cremonesi, tutti gli accessori e le opere murarie		
		mq	€
	Livello 0	38,24	4052,29
	Livello 1	7,75	821,26
	Livello 2	11,68	1237,72
	TOTALE PARZIALE	57,67	6111,28
I	INFISSI IN ALLUMINIO A TAGLIO TERMICO	€ mq	354
	e a giunto aperto per finestra o portafinestra, rifinito con le parti in vista satinare. Sono compresi: guarnizioni in dutral, gli apparecchi di manovra, i fermavetro, i pezzi speciali, le cerniere, le squadrette, le maniglie, il controtelaio e le opere murarie		
		mq	€
	Livello 0	2,35	831,9
	Livello 1	49,49	17519,46
	Livello 2	61,35	21717,9
	Livello 3	3,24	1146,96
	TOTALE PARZIALE	116,43	41216,22
L	SCHERMI FRANGISOLE	€ mq	69,15
	dati in opera compresi telai guida, mensole in acciaio zincato, aste di manovra, attacchi, viti, bulloni, giunti e opere murarie		
		mq	€
	Livello 0	157,3	10877,29
	Livello 1	230,62	15947,37
	Livello 2	287,47	19878,55
	Livello 3	12	829,8
	TOTALE PARZIALE	687,39	47533,018

10

ANALISI COSTI-BENEFICI: valvole termostatiche

4 VALVOLE TERMOSTATICHE

M VALVOLA DI REGOLAZIONE CON TESTA TERMOSTATICA	€ cad	111,27
antimanomissione e sonda di temperatura a distanza. Valvola di regolazione temperatura costituita da corpo valvola con attacchi ad angolo o dritti, testa termostatica di azionamento, otturatore con scala graduata di regolazione, sonda di temperatura a distanza		

	num.	€
Livello 0	27	3004,29
Livello 1	23	2559,21
Livello 2	23	2559,21

TOTALE PARZIALE	73	8122,71
------------------------	-----------	----------------

ANALISI COSTI-BENEFICI: caldaia a condensazione

5 CALDAIA A CONDENSAZIONE

N RIMOZIONE DI CALDAIA	€ cad	446,74
pressurizzata, compreso ogni onere per il taglio e la chiusura delle tubazioni di adduzione e scarico		

	num.	€
TOTALE PARZIALE	1	446,74

O CALDAIA MODULARE A CONDENSAZIONE	€ cad	6333,33
generatori termici modulari per riscaldamento, premiscelati a condensazione, installati a batteria. Completo di circuito idraulico primario e dispositivi di sicurezza e controllo.		

	num.	€
TOTALE PARZIALE	5	31666,65

TOTALE	32113,39
---------------	-----------------

78

ANALISI COSTI-BENEFICI

I BENEFICI ENERGETICI sono stati stimati sottraendo i CONSUMI calcolati per ogni intervento con quelli dello stato attuale.

Tale analisi è stata effettuata anche COMBINANDO TRA LORO GLI INTERVENTI BASE e applicando i cinque INTERVENTI BASE AI SINGOLI PIANI dell'edificio.

Noti gli investimenti e i risparmi energetici degli interventi base e di quelli combinati, è stato possibile realizzare grafici che evidenziano gli interventi più efficaci.

ANALISI COSTI-BENEFICI

Per ogni intervento si è determinato il **RAPPORTO TRA IL RISPARMIO E L'INVESTIMENTO**, ovvero il coefficiente angolare della retta che passa per l'origine e per il punto di coordinate (R;I).

Nei grafici che seguono è possibile pertanto ricavare la CONVENIENZA di un intervento rispetto alle altre soluzioni.

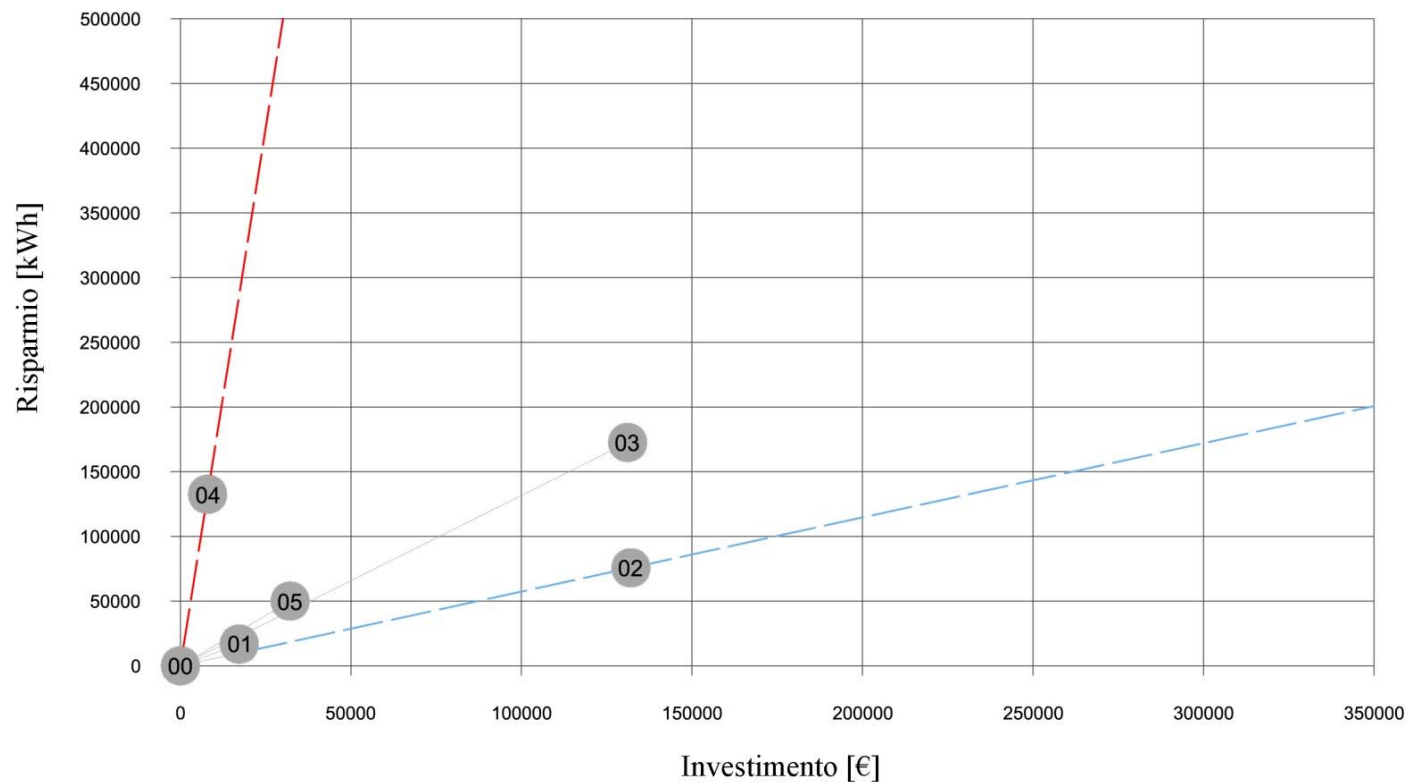
Le rette che tendono maggiormente all'asse delle ordinate (RISPARMIO) individuano le proposte progettuali più efficaci, rispetto a quelle che tendono verso l'asse delle ascisse (INVESTIMENTO).

In questo modo è stato possibile determinare una scala degli interventi che hanno maggiori benefici energetici e minori costi di realizzazione. Si è cioè realizzato un quadro di interventi possibili da scegliere in funzione delle eventuali disponibilità economiche della Facoltà.

ANALISI COSTI-BENEFICI: INTERVENTI SINGOLI

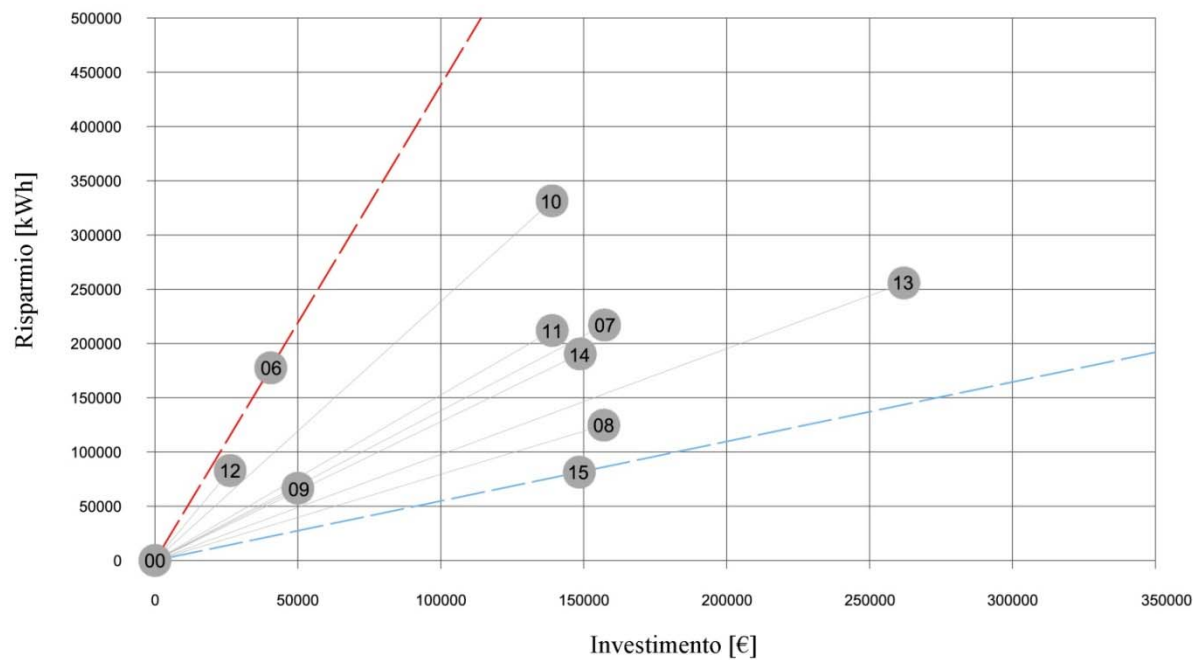
	Intervento	Epci [kWh/mc]	Volume lordo [mc]	Consumi [kWh]	Investimento [€]	Risparmio [kWh]	R/I [kWh/€]
0	stato attuale	33,5	12716	425986	0	0	-
interventi singoli							
1	intercapedine	32,2	12716	409455	17529	16531	0,94
2	cappotto interno	27,5	12716	349690	131506	76296	0,58
3	vetri, infissi ed oscuramenti	19,9	12716	253048	130812	172938	1,32
4	valvole termostatiche	23,1	12716	293739	8123	132246	16,28
5	caldaia a condensazione	29,6	12716	376394	32113	49592	1,54

ANALISI COSTI-BENEFICI: INTERVENTI SINGOLI



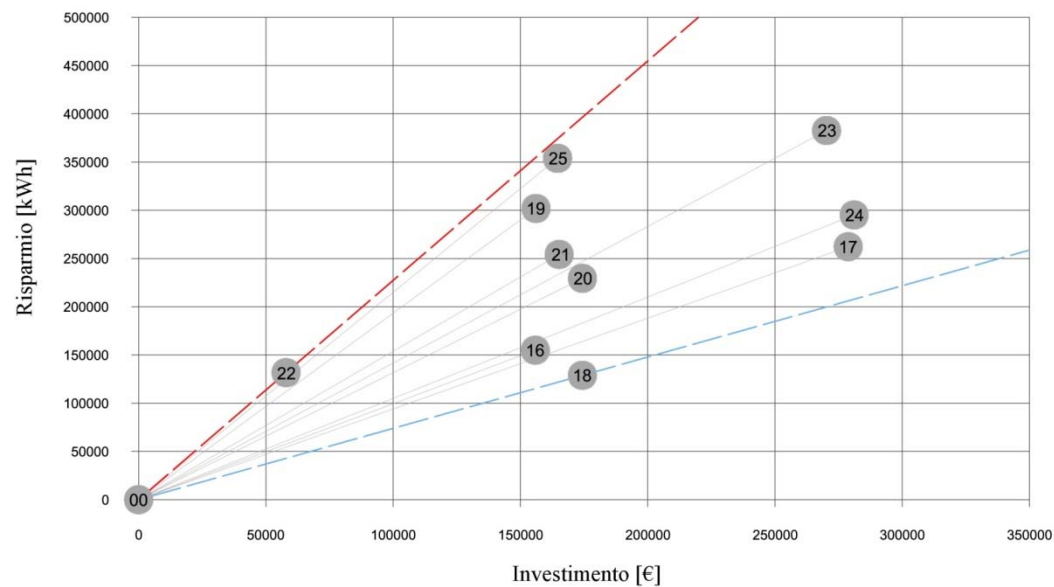
0	stato attuale
1	intercapedine
2	cappotto interno
3	vetri, infissi ed oscuramenti
4	valvole termostatiche
5	caldaia a condensazione

ANALISI COSTI-BENEFICI: COMBINAZIONE DI DUE INTERVENTI



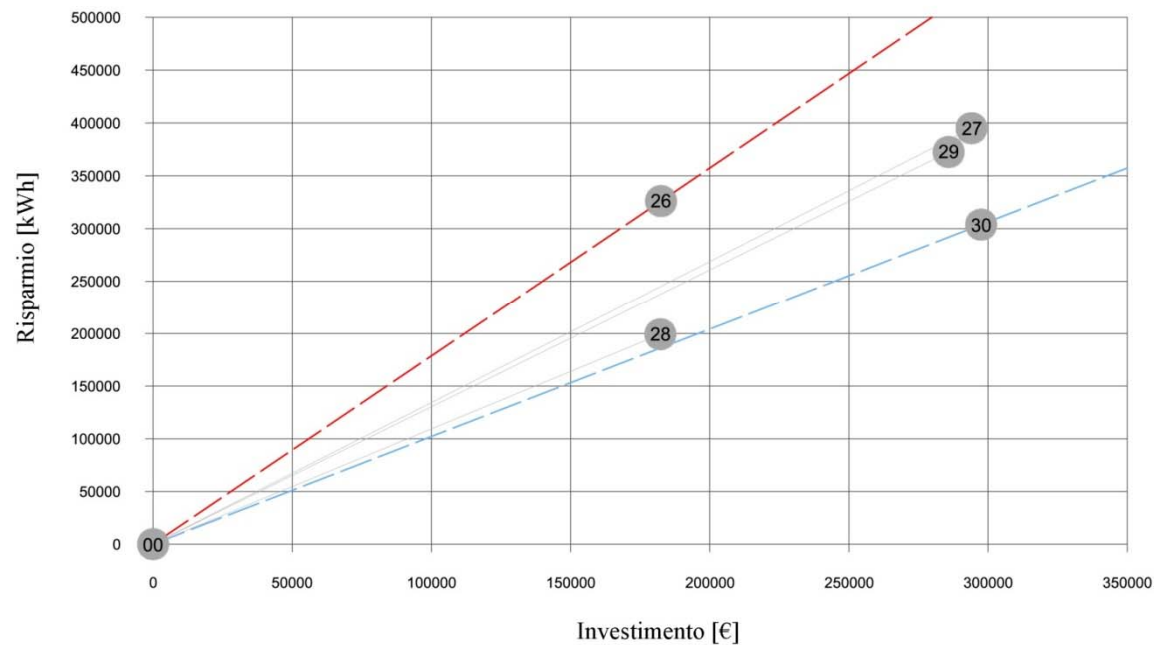
6	caldaia - valvole
7	caldaia - infissi
8	caldaia - cappotto
9	caldaia - intercapedine
10	valvole - infissi
11	valvole - cappotto
12	valvole - intercapedine
13	infissi - cappotto
14	infissi - intercapedine
15	cappotto - intercapedine

ANALISI COSTI-BENEFICI: COMBINAZIONE DI TRE INTERVENTI



16	cappotto - intercapedine - valvole
17	cappotto - intercapedine - infissi
18	cappotto - intercapedine - caldaia
19	intercapedine - infissi - valvole
20	intercapedine - infissi - caldaia
21	valvole - caldaia - cappotto
22	valvole - caldaia - intercapedine
23	cappotto - infissi - valvole
24	cappotto - infissi - caldaia
25	infissi - valvole - caldaia

ANALISI COSTI-BENEFICI: COMBINAZIONE DI QUATTRO INTERVENTI



26	intercapedine - infissi - caldaia - valvole
27	cappotto - infissi - caldaia - valvole
28	cappotto - intercapedine - caldaia - valvole
29	cappotto - intercapedine - infissi - valvole
30	cappotto - intercapedine - infissi - caldaia

CONCLUSIONI

- ❑ Riguardo all'involucro, la proposta più efficace è la sostituzione dei vetri, degli infissi e degli schermi, mentre la meno conveniente è quella dell'isolamento a cappotto interno.
- ❑ E' stato dimostrato come in generale siano PIÙ CONVENIENTI GLI INTERVENTI IMPIANTISTICI. In particolare l'intervento relativo alle valvole termostatiche, dato anche l'elevato indice di affollamento delle aule, consente di ottenere un elevato valore del rapporto risparmio-investimento, pari 16,28: si ha, quindi, un altro ordine di grandezza rispetto a tutti gli altri interventi, anche combinati fra loro.
- ❑ Oltre ai risultati ottenuti, la ricerca ha consentito di realizzare uno strumento, che permetterà di valutare gli effetti energetici e la convenienza delle future proposte progettuali rispetto allo stato attuale e agli interventi già proposti.

STUDIO DI INTERVENTI REALIZZATI

Centro interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente
CITERA

Facoltà di Architettura Valle Giulia



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Prof. Francesco Mancini

Interventi realizzati

Abitazione Viterbo

- Impianto termico autonomo
- Piano intermedio – $S = 125 \text{ m}^2$
- Muratura a cassa vuota – Intercapedine 25 cm
- Infissi in legno vetro singolo
- $\text{EP}_{\text{ci}} = 127.3 \text{ kWh/m}^2$ – **Classe F** - $\eta_{\text{ms}} = 0,60$



- **Infissi PVC** - 30 m^2 – 10.500 €
- $\text{EP}_{\text{ci}} = 76.4 \text{ kWh/m}^2$ – **Classe E** - $\eta_{\text{ms}} = 0,57$
- **Risparmio stimato = 500 €/anno**
- **TR = 21 anni** – 7 anni con 65% detr.

- **Insufflaggio schiuma pareti verticali** - 100 m^2 – 4500 €
- $\text{EP}_{\text{ci}} = 71.7 \text{ kWh/m}^2$ – **Classe E** - $\eta_{\text{ms}} = 0,58$
- **Risparmio stimato = 550 €/anno**
- **TR = 8 anni** – 3 anni con 65% detr.

- Isolamento pareti verticali + Sostituzione finestre
- $\text{EP}_{\text{ci}} = 30.4 \text{ kWh/m}^2$ – **Classe C** - $\eta_{\text{ms}} = 0,44$
- **Risparmio stimato = 950 €/anno (non è la somma dei risparmi singoli!)**
- **TR = 16 anni** – 6 anni con 65% detr.
- **Risparmio reale = ??? Abitazione ancora non abitata**

Intervento incompiuto

- **+ Cald. a condensazione + Valv. Termostatiche**
- $\text{EP}_{\text{ci}} = 15.2 \text{ kWh/m}^2$ - **Classe A** - $\eta_{\text{ms}} = 0,878$

- **+ Pompa di calore**
- $\text{EP}_{\text{ci}} = 9.0 \text{ kWh/m}^2$ - **Classe A+** - $\eta_{\text{ms}} = 1,486$

Interventi realizzati

Abitazione Viterbo

- Impianto termico centralizzato
- Piano inferiore – $S = 110 \text{ m}^2$
- Muratura a cassa vuota – Intercapedine 10-20 cm
- Infissi in legno vetro singolo
- $EP_{ci} = 152.7 \text{ kWh/m}^2$ – **Classe F**



- **Infissi PVC** - 20 m^2 – 7.000 €
- $EP_{ci} = 127.8 \text{ kWh/m}^2$ – **Classe F**
- **Risparmio stimato = 220 €/anno**
- **TR = 31 anni** – 10 anni con 65% detr.

- **Riemp. intercap. polistirolo da imball.** - 100 m^2 – 1500 €
- $EP_{ci} = 102.7 \text{ kWh/m}^2$ – **Classe E**
- **Risparmio stimato = 440 €/anno**
- **TR = 3,5 anni** – 1,2 anni con 65% detr.

- Isolamento pareti verticali + Sostituzione finestre
- $EP_{ci} = 76.5 \text{ kWh/m}^2$ – **Classe D**
- **Risparmio stimato = 660 €/anno**
- **TR = 13 anni** – 4,5 anni con 65% detr.
- **Risparmio reale = Difficilmente valutabile – Impianto centralizzato**

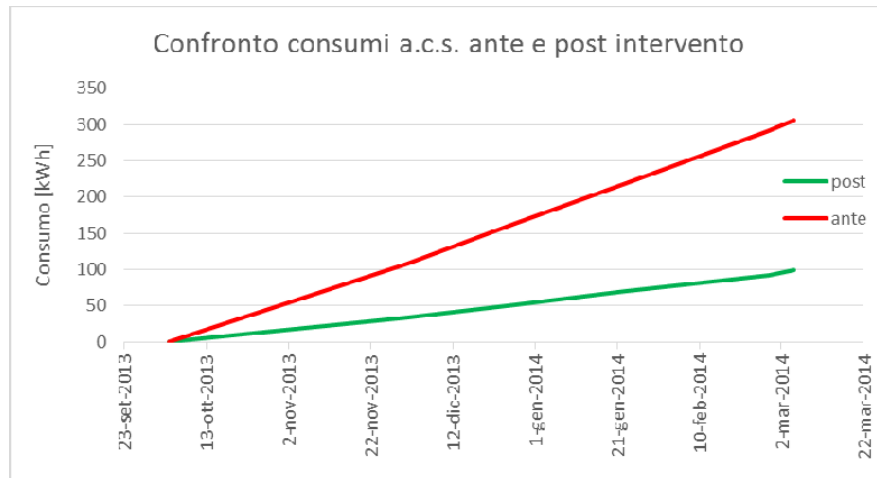
Intervento incompiuto

- **Isolamento pavimento su garages**
- **Installazione valvole termostatiche**

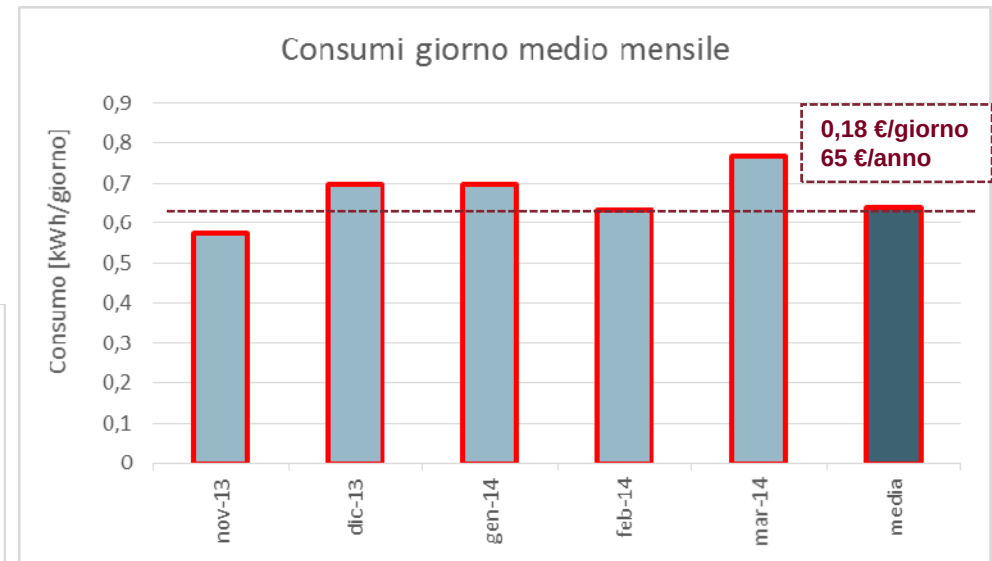
- **Sostituzione caldaia**
- **Integrazione con pompe di calore**

Interventi realizzati Abitazione Viterbo

- Impianto termico centralizzato
- Piano inferiore – S= 110 m²
- Scaldabagno elettrico



- Scaldabagno a pompa di calore – 900 €
- **Risparmio stimato = 1800 kWh_{el}/anno – 500 €/anno ???**
- TR = 2 anni – 0,5 anni con 65% detr. ????
- **Risparmio reale = 130 €/anno**
- TR = 7 anni – 2,5 anni con 65% detr. ????



**Attenzione al modello di calcolo
normato e ai dati di letteratura
quando si hanno dati reali
Attenzione ai pannelli solari termici**

Interventi realizzati

Abitazione Formello

- Impianto termico autonomo
- Piano superiore – $S = 163 \text{ m}^2$
- $\text{EP}_{\text{ci}} = 97.0 \text{ kWh/m}^2$ – **Classe F**

- **Isolamento terrazzo copertura** - 160 m^2 – 12.000 €
- $\text{EP}_{\text{ci}} = 46,0 \text{ kWh/m}^2$ – **Classe F**
- **Risparmio stimato = 670 €/anno**
- **TR = 18 anni – 8 anni con 55% detr.**



Interventi realizzati

Abitazione Capitignano

- Impianto termico autonomo
- Copertura – $S = 150 \text{ m}^2$
- $\text{EP}_{\text{ci}} = 600.0 \text{ kWh/m}^2$

- **Isolamento terrazzo copertura** - 160 m^2 – 95.000 € ???
- $\text{EP}_{\text{ci}} = 500,0 \text{ kWh/m}^2$
- **Risparmio stimato = 1600 €/anno**
- **TR = 60 anni**
- **Il risparmio energetico non è significativo, ma l'intervento può comunque beneficiare delle detrazioni**

