

Università degli Studi di Udine

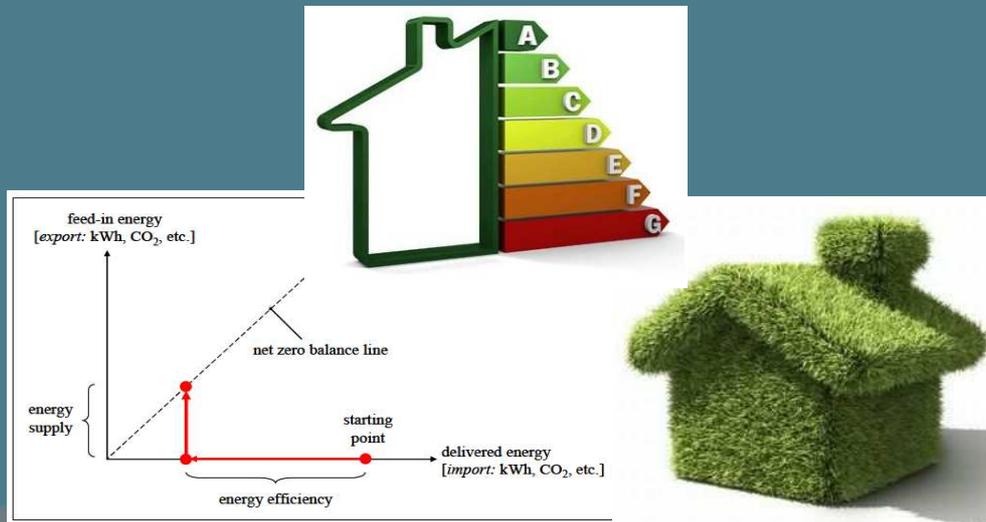
Facoltà di Ingegneria

***SCENARI PROGETTUALI ED ECONOMICI PER EDIFICI
RESIDENZIALI AD ENERGIA ZERO***

O. Saro C. Garna e M. D'Antoni

SCOPO:

Effettuare una valutazione progettuale ed economica in merito agli interventi volti a far raggiungere ad un edificio residenziale lo status di Zero Energy Building



Effettuare una valutazione progettuale ed economica in merito agli interventi volti a far raggiungere ad un edificio residenziale lo status di Zero Energy Building

IL RISPARMIO ENERGETICO

Cambiamento climatico
(effetto serra)



**Protocollo
di Kyoto**



Ridurre le emissioni di CO2
associate agli edifici

SCENARIO ENERGETICO:

- *La nostra dipendenza dalle importazioni è in aumento*
- *La domanda globale di energia è in crescita*
- *Le riserve energetiche sono concentrate in pochi paesi*



LA SOLUZIONE AL PROBLEMA STA NELLA SPINTA INDIVIDUALE
VERSO IL RISPARMIO ENERGETICO E L'IMPIEGO DI FONTI
RINNOVABILI

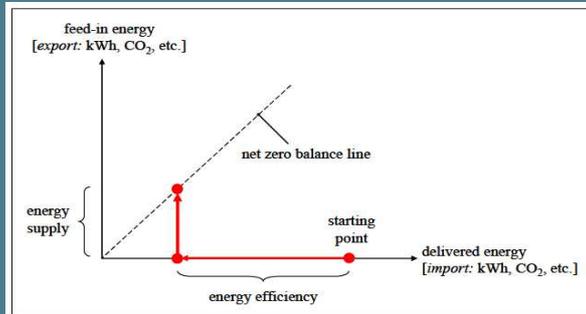
Il cambiamento climatico ha indotto i governi ad approvare il protocollo di Kyoto, nel quale si impegnano a ridurre le emissioni di CO2, anche quelle associate agli edifici. -> Lo scenario energetico non è roseo: la nostra dipendenza dalle importazioni è in aumento, la domanda globale di energia è in crescita, le riserve energetiche sono concentrate in pochi paesi. → La soluzione al problema sta nella spinta individuale verso il risparmio energetico e l'impiego di fonti rinnovabili.

CRITERI PER LA DEFINIZIONE DI UNO ZEB:

EPBD 2010/31



Entro il 2020 tutti i nuovi edifici dovranno essere nearly zero energy buildings



Delivered energy:

Rete → Edificio

Feed-in energy:

Edificio → Rete

$$|export| - |import| \geq 0$$

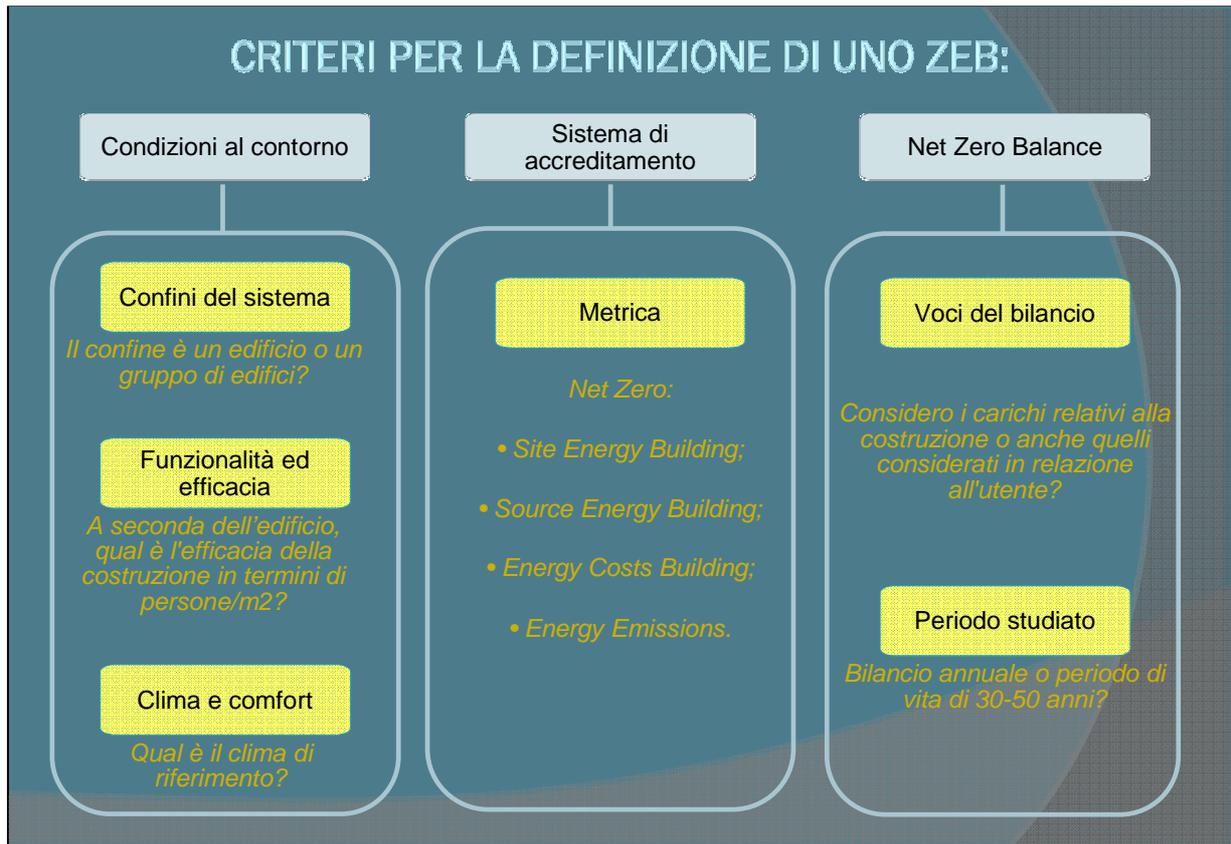
IL PROBLEMA:

Le definizioni non sono ancora standardizzate, perciò vi è una pluralità di approcci nella definizione di ciò che sia o meno uno ZEB.

La direttiva dell'EPBD, (EU Directive on Energy Performance of Buildings), precisa che entro la fine del 2020 tutti i nuovi edifici dovranno essere nearly zero energy buildings ("edifici a quasi zero energia"). Ma cosa si intende per edifici a zero energia?

→ I rami del grafico rappresentano l'energia richiesta e quella prodotta, la bisettrice rappresenta i NZEB, edifici nei quali viene prodotta tanta energia quanta ne viene sfruttata.

→ Esiste però un problema legato alle definizioni, che non sono ancora standardizzate, perciò vi è una pluralità di approcci nella definizione di ciò che sia o meno uno ZEB e questo atteggiamento induce i progettisti a manipolare le definizioni commerciali a seconda del campo di applicazione



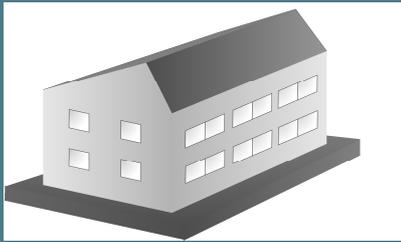
Diventa necessario quindi unificare i criteri per la definizione di uno ZEB.

→ Andranno definiti i confini del sistema, la funzionalità e l'efficacia dell'edificio in funzione del clima e del confort di riferimento.

→ Per il sistema di accreditamento, va definita la metrica, in quanto potremmo parlare di Net Zero Site Energy Building, se si produce come minimo tanta energia quanta è necessaria in un anno, assumendo come confini del sistema l'edificio, Net Zero Source Energy Building, che assume come confini del sistema la fonte di produzione di energia, Net Zero Energy Costs Building, il cui bilancio viene operato sui costi dell'energia ed infine il Net Zero Energy Emissions, in cui il bilancio viene effettuato sulle emissioni.

→ Infine andranno definiti i termini compresi nel bilancio e il periodo considerato. Il vero problema è definizione delle procedure che permettano di chiarire queste incertezze.

L'EDIFICIO DI RIFERIMENTO:



- Riferimento IEA
- Unifamiliare
- Zone: Udine e Roma
- Superficie calpestabile: 140 mq
- Volume interno netto: 485,4 mc

INTERVENTI REALIZZATI:

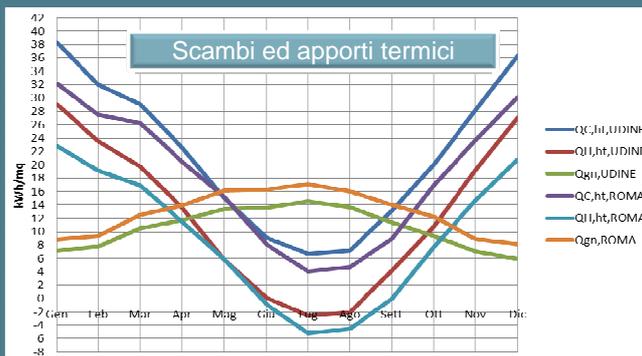
Modifica agli impianti e sostituzione dello strato isolante

Elemento	Edificio: STRATO	100 kWh/mq annuo			30 kWh/mq annuo	
		λ [W/mK]	d [cm]	U_{tot} [W/m ² K]	d [cm]	U_{tot} [W/m ² K]
Parete	Rivestimento	0,700	0,3	0,500	-	0,154
	Cappotto in EPS	0,040	6,0		24,0	
	Laterizio modulare	0,700	21,0		-	
	Intonaco interno	0,600	1,5		-	
Copertura	Tavolato in legno	0,081	1,5	0,414	-	0,135
	Lana di roccia	0,036	6,0		24,0	
	Tavolato in legno	0,081	1,5		-	
	Cartongesso	0,211	2,5		-	
Solaio controterra	Cls getto	1,330	15,0	0,451	-	0,153
	Isolamento in XPS	0,037	6,0		-	
	Massetto di pavim. Pavimento in legno	1,400 0,150	6,0 1,5		- -	

Per la valutazione energetica ed economica si sono analizzati dei casi di riferimento considerando un edificio (IEA building) che è una villetta unifamiliare, che è stata collocata in due differenti zone, Udine e Roma, per aiutarci a capire come e quanto le condizioni climatiche influenzino i risultati. Essa possiede una superficie calpestabile di 140 mq e un volume interno netto di 485,4 mc.

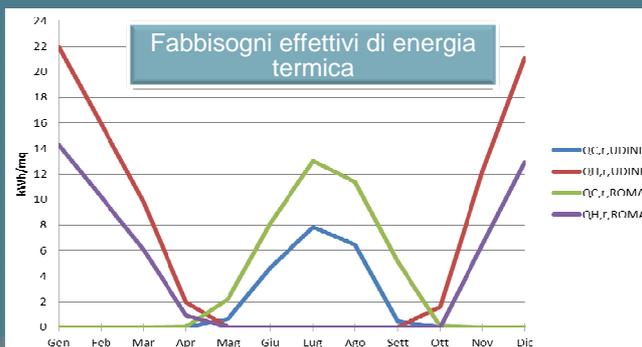
→ Sono state ipotizzati diversi interventi, che prevedono la modifica degli impianti e la sostituzione dello strato isolante. L'IEA fornisce tutte le misure e gli spessori utili per poter analizzare le prestazioni della villetta e dalle tabelle in basso possiamo notare che per portare l'edificio da 100 a 30 kWh/mq annuo è sufficiente sostituire lo strato di isolante di pareti esterne e copertura.

LA SOLUZIONE A:



Fabbisogno energetico: 100 kWh/mq annuo

Ep,i=	92,3	kWh/mq anno	=	9,23	mc/mq
Quantità:	1292	mc			
Ep,acs=	11,7	kWh/mq anno	=	1,17	mc/mq
Quantità:	164	mc			
Ep,gl=	104,0	kWh/mq anno			



GLI IMPIANTI INSTALLATI:

- **Caldia a condensazione:**

MODELLO: Exclusive Green he C.S.I

POTENZA: 25 kW

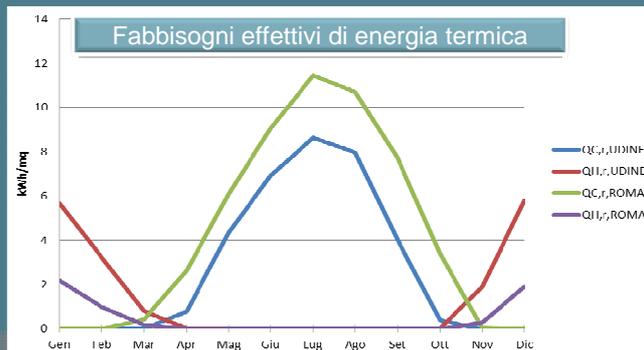
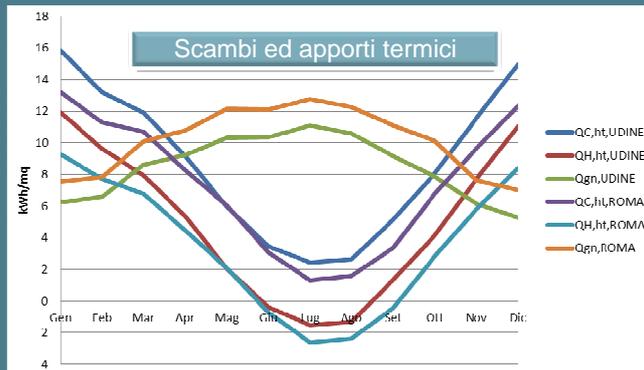
- **Chiller:**

MODELLO: Floor, Galletti

POTENZA: 6,57 kW

Analizziamo ora i principali risultati ottenuti, per la sol A, ossia quella relativa all'edificio da 100 kWh/mq annuo. Nel grafico in alto notiamo gli scambi termici totali, sia per riscaldamento che per raffrescamento, a Udine hanno valori più alti di Roma e la situazione si inverte nel caso degli apporti; nel secondo grafico invece vediamo che la stagione di raffrescamento è più breve a Udine. I risultati ottenuti in merito agli indici di prestazione, che vengono riportati nella tabella in alto a destra, non disattendono le nostre aspettative. Essi ci torneranno utili in seguito al fine di poter determinare le spese per il consumo di gas naturale. Per questa soluzione sono stati installati una caldaia beretta da 25 kW e un chiller da 6,57 della serie Floor, Galletti.

LA SOLUZIONE B:



Sostituzione isolante

Fabbisogno energetico:
30 kWh/mq annuo

Ep,i=	17,9	kWh/mq anno	=	1,79	mc /mq
Quantità:	250	mc			
Ep,acs=	11,2	kWh/mq anno	=	1,17	mc /mq
Quantità:	156	mc			
Ep,gl=	29,1	kWh/mq anno			

GLI IMPIANTI INSTALLATI:

-Caldaia a condensazione:

MODELLO: Exclusive Green he
C.S.I

POTENZA: 25 Kw

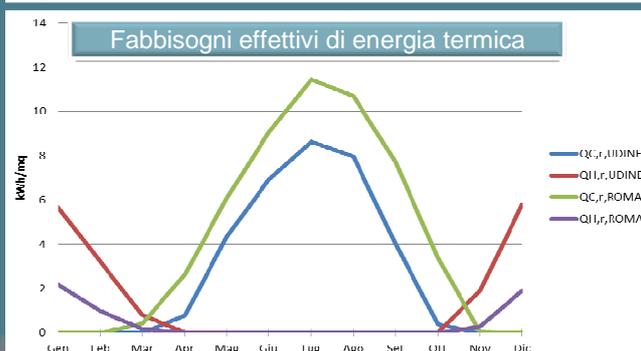
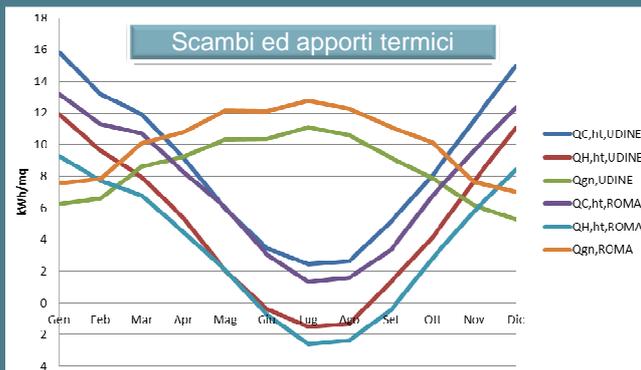
-Chiller:

MODELLO: Floor, Galletti

POTENZA: 6,57 Kw

Nella soluzione B le prestazioni dell'edificio migliorano grazie all'introduzione del cappotto da 24 cm, ma la tipologia di impianti non cambia. L'andamento relativo di scambi e apporti tra le due città non cambia rispetto alla sol A, come non cambia nel grafico in basso, in cui però notiamo un aumento della stagione di raffrescamento. La tabella riassume i risultati relativi agli EP e anche qui conferma i risultati che ci aspettavamo, con il raggiungimento dei 30 kWh/mq annuo.

LA SOLUZIONE C:



Sostituzione isolante

Fabbisogno energetico:
30 kWh/mq annuo

GLI IMPIANTI INSTALLATI:

- **Pompa di calore:**
MODELLO: IVT Greenline HT Plus, Geotherm
POTENZA: 7,2 Kw
- **Sonda geotermica**
- **Pannelli solari termici:**
MODELLO: Beretta
TIPO: collettori piani vetrati saranno inclinati di 45° verso Sud
- **Bollitore per ACS :**
MODELLO: Idra DS Beretta
CAPACITÀ: 200 l

Nella soluzione C, oltre ad aver sostituito l'isolante, è stata effettuata una radicale sostituzione degli impianti, con l'installazione di una pompa di calore della geotherm da 7,2 kW, una sonda geotermica, i pannelli solari termici Beretta dotati di collettori piani vetrati, posizionati a 45° in direzione Sud, ai quali è associato un bollitore da 200 l. L'utilizzo di questi impianti permette di utilizzare al 100% fonti rinnovabili.

L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO:

MODELLO: NU Sharp

CELLE: Silicio monocristallino

CARATTERISTICHE: rivestimento antiriflesso per aumentare l'assorbimento della luce e di tre diodi di *bypass* per ridurre al minimo le perdite di potenza dovute all'ombreggiamento; un vetro temperato, lamine in EVA, strati di plastica per proteggere il modulo da eventi atmosferici.

Consumi legati alle persone:

Federconsumatori:

CONSUMO ELETTRICO ANNUO di una famiglia di 3 / 4 persone

=

3000 kWh/anno

Consumi legati agli impianti:

PUNTO CHIAVE PER RAGGIUNGERE LO STATUS DI ZEB:

Soluzioni A e B

Consumi generati dalla conversione dell'energia primaria in energia elettrica (Fattore di conversione: 2,18)

Soluzione C

Consumi generati dall'utilizzo della pompa di calore e dell'impianto solare termico

Per raggiungere lo status di zeb a questo punto dobbiamo provvedere al dimensionamento dell'impianto FV. È stato scelto il modello nu sharp, con celle in silicio monocristallino.

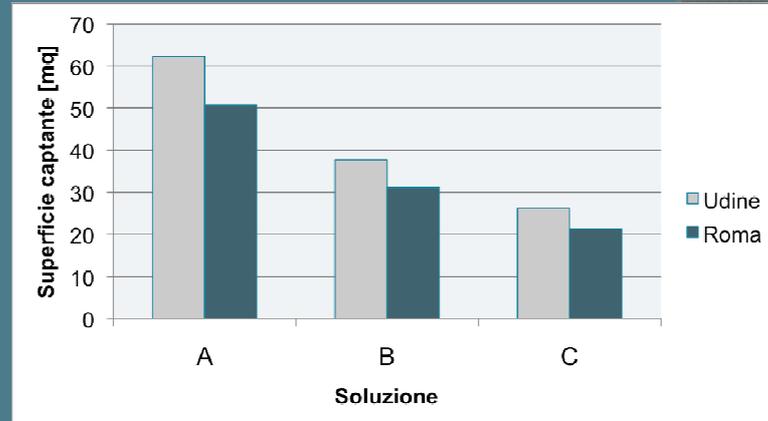
→ Per il calcolo dei consumi abbiamo considerato quelli legati alle persone posto pari a 3000 kWh/anno, (fornito dalla federconsumatori) ed a questi abbiamo sommato i consumi legati agli impianti. Per i casi A e B l'equilibrio energetico tra domanda e offerta viene raggiunto convertendo l'energia primaria in energia elettrica secondo fattore di conversione 2,18, fornito dalla 11300, mentre per la soluzione C sarà sufficiente creare un impianto tale da sopperire alle esigenze elettriche della pompa di calore e del solare termico.

L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO:

Il dimensionamento è stato effettuato considerando:

Inclinazione e Direzione Pannelli: 45° direzione Sud.

MESI	IRRADIANZA MEDIA MENSILE [kWh/mq]	
	Roma	Udine
Gen	3,1	2,25
Feb	3,8	3,00
Mar	4,7	3,8
Apr	5,3	4,4
Mag	5,8	4,8
Giu	5,9	4,8
Lug	6,4	5,4
Ago	6,2	5,2
Sett	5,7	4,7
Ott	4,9	3,9
Nov	3,5	2,4
Dic	2,7	2,3



CONSIDERAZIONI:

Il numero di moduli necessari è decrescente dalla soluzione A alla C.

I valori più alti dell'irradianza per la città di Roma fanno sì che la superficie necessaria sia inferiore rispetto al caso di Udine, in tutti e tre i casi.

Il dimensionamento è stato effettuato considerando un'inclinazione di 45° in direzione Sud. Come era possibile prevedere il numero di moduli necessari è via via decrescente dalla soluzione A alla C. Inoltre, i valori superiori dell'irradianza per la città di Roma fanno sì che la superficie necessaria sia inferiore rispetto al caso di Udine, in tutti e tre i casi.

GLI INVESTIMENTI INIZIALI:

Nella tabella sottostante sono stati riportati i prezzi unitari per acquisto e installazione dei vari macchinari d'impianto, con la distinzione:

- **Detrazione del 55%: valida per i progetti realizzati nel 2012;**
- **Detrazione del 36%: valida per i progetti realizzati nel 2013.**

Spese:		Investimento Iniziale	Detrazione del 55%	Detrazione del 36%
1) Caldaia a condensazione e regolatori		7000 €	3150 €	4480 €
2) Chiller		4800 €	2160 €	3072€
3) Solare termico	a) Collettori + Boiler + Kit fissaggio	3800 €	1710 €	2432 €
	b) Installazione	1000 €		
4) Impianto geotermico	a) Sonda geotermica verticale	30 €/m	13,5 €/m	19,2 €
	b) Pompa di calore	550 €/kW	247,5 €/kW	352 €/kW
5) Impianto fotovoltaico	a) Moduli	1 €/Wp	0,45 €/Wp	0,64 €/Wp
	b) Installazione	1,5 €/Wp		
	c) Inverter	0,29 €/Wp	0,13 €/Wp	0,18 €/Wp
6) Sostituzione isolante:		45 €/mq	20,2 €/mq	28,8 €/mq

Fonte: Beretta per la caldaia e l'impianto solare termico (www.berettaclima.it), Sager per l'isolante (www.isolierstoffe.com); i prezzi unitari del fotovoltaico, invece, hanno come fonte la rivista Photon, Gennaio 2012.

Valutiamo ora gli investimenti iniziali. Nella tabella sono stati riportati prezzi unitari per acquisto e installazione dei vari macchinari d'impianto, con la distinzione che per i progetti realizzati nel 2012 la detrazione è del 55%, mentre nel 2013 solo del 36%.

GLI INVESTIMENTI INIZIALI:

SOLUZIONE A

Udine: 36.098 €

Roma: 31.793 €

- ✓ Cappotto da 24 cm;
- ✓ Ridimensionamento impianto fotovoltaico.

SOLUZIONE B

Udine: 27.808 €

Roma: 25.348 €

- ✓ Pompa di calore, sonda geotermica, impianto solare termico;
- ✓ Ridimensionamento impianto fotovoltaico.

SOLUZIONE C

Udine: 22.518 €

Roma: 20.076 €

Ora se confrontiamo gli investimenti iniziali per le soluzioni A e B, considerando che le spese per caldaia e chiller sono le medesime, la differenza sarà generata dall'introduzione del cappotto da 24 cm e dalla conseguente diminuzione della potenza dell'impianto fotovoltaico, più bassa nel caso di Roma ed in particolare per la soluzione B. Radicalmente differenti sono invece le spese iniziali per la soluzione C, in cui dobbiamo considerare le spese per i collettori, il boiler, ecc. per il solare termico, la sonda geotermica, la pompa di calore, tutti oggetto di detrazione. Gli impianti fotovoltaici risultano decisamente ridimensionati, tanto da rendere questo intervento quello dall'investimento iniziale più basso.

STIMA DELLA SPESA ANNUA:

Considerando una spesa per il gas naturale pari a 0,85 €/mc, avremo:

	gas per riscaldamento [mc]	gas per ACS [mc]	Totale [mc]	Spesa [€]
A-	1292	164	1456	1237
B-	250	156	406	345
C-	-	-	-	-

A queste spese andranno sommati:

- Costi fissi in bolletta (ENEL) (78 € a Udine e 83 € a Roma);
- Spese bimestrali per la bolletta dell'elettricità: 120 €

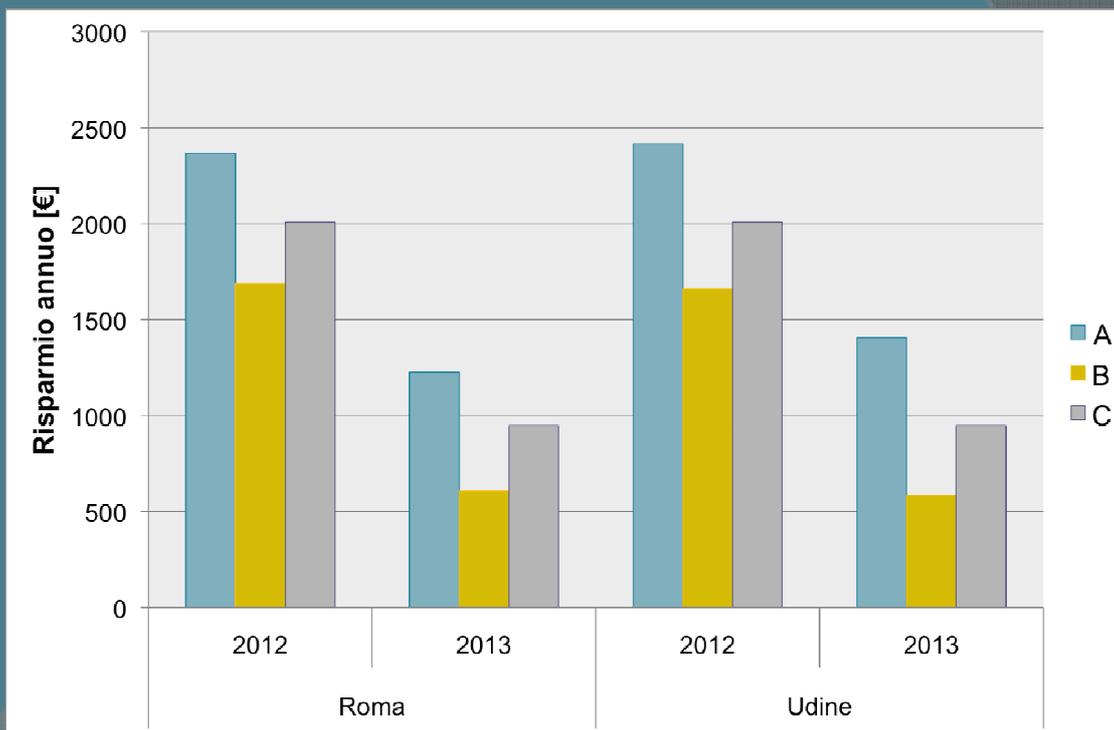
	Spesa annua [€]	
	Roma	Udine
A-	2040	2035
B-	1148	1143
C-	-	-

COSA SUCCEDERÀ CON LA REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO?

Abbiamo diritto, come descritto sul "Quarto Conto Energia", all'incentivazione di importo e durata tali da garantire una equa remunerazione dei costi di investimento e di esercizio.

A questo punto considerando una spesa per il gas naturale pari a 0.85 €/mc avremo che per la sol A la spesa sarà di oltre 1200 all'anno, mentre per la B di soli 345. A questa vanno sommati i costi fissi in bolletta di 78 a Udine e 83 a Roma e le spese bimestrali per l'elettricità imposte pari a 120 €. La differenza tra le spese finali dei diversi casi risulta pari a 900 euro circa. A questo punto dobbiamo considerare che con la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica abbiamo diritto, come descritto sul "Quarto Conto Energia", all'incentivazione di importo e durata tali da garantire una equa remunerazione dei costi di investimento e di esercizio.

STIMA DEL RISPARMIO ANNUO:



In particolare per impianti che entrano in esercizio nel secondo semestre 2012, sono previsti, per un impianto di potenza compresa tra i 3 e i 20 kWh, 0,227 €/kWh. Per il servizio di scambio sul posto, che ha un costo di 30€ all'anno, poi, abbiamo diritto a quello che viene chiamato risparmio in bolletta: per il quale per ciascun kWh prodotto e consumato, l'utente viene ricompensato con 0,18 €/kWh; e al ricavo, che invece per ciascun kWh ceduto alla rete l'utente viene ricompensato con 0,1 €/kWh. Esso permettendoci cospicui rimborsi annui ci permette di risparmiare oltre 2000 euro all'anno per la sol A e la sol C e circa 1700 euro per la B.

→ Differente il caso per il 2013. La differenza, oltre alla detrazione al 36%, è dovuta ai minor incentivi concessi. Sono previsti due livelli diversi della feed-in tariff: quella onnicomprensiva per l'energia prodotta, ma non autoconsumata e un livello tariffario più basso, applicabile qualora l'energia prodotta sia autoconsumata. Avendo diritto solamente a 0.352 €/kWh di t. onnicomprensiva e di 0.207 di autoconsumo, i risparmi diminuiranno notevolmente, ossia di circa 1000 € rispetto al corrispondente caso del 2012.

TEMPO DI RITORNO DI UN INVESTIMENTO

PBP = il numero di anni necessari a recuperare il capitale inizialmente investito per realizzarlo.

$$PBP = \frac{\log \left[1 - \frac{I(d-i)}{R_a(1+i)} \right]}{\log \left(\frac{1+i}{1+d} \right)}$$

- I è l'investimento iniziale per la realizzazione dell'intervento
- R_a è il risparmio annuale ottenuto con l'intervento
- i è il tasso di aumento del costo del combustibile, che nelle stime sarà posto pari all'1%
- d è il tasso di attualizzazione, da assumere pari al tasso di sconto bancario, che nelle stime sarà posto pari al 3%.

Un'altra grandezza di cui ci siamo avvalsi per migliorare il confronto tra gli investimenti è il rendimento netto attualizzato:

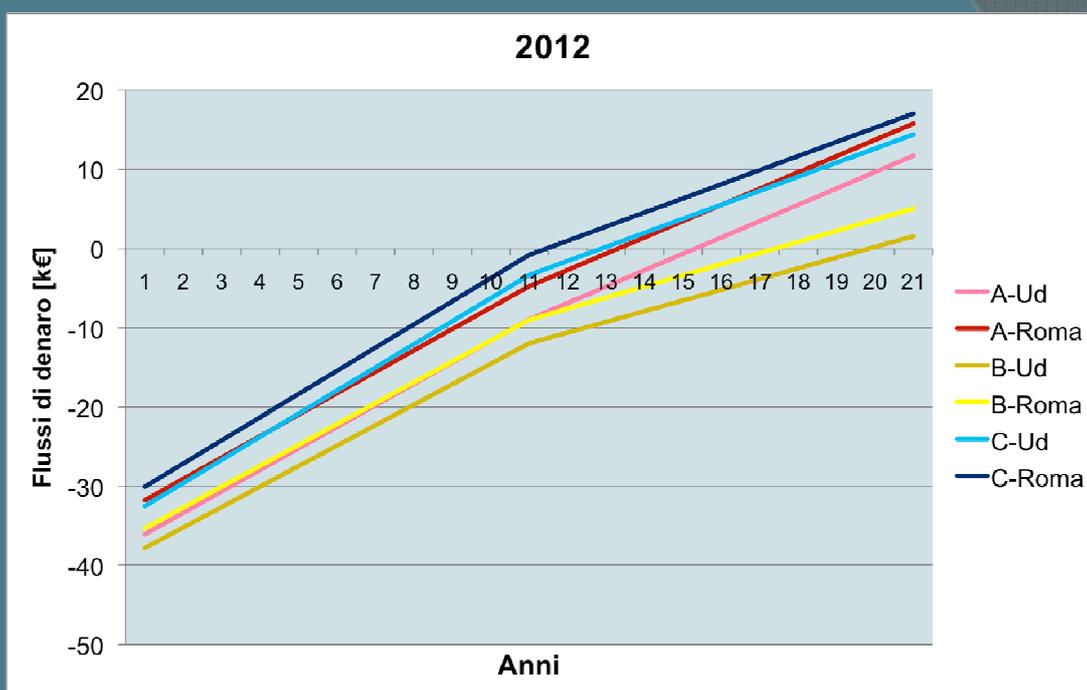
RNA = $\frac{\text{Guadagno che l'intervento restituisce dopo aver recuperato l'investimento iniziale}}{\text{Investimento iniziale}}$

$$RNA = R_a \times K - I \quad \text{Con:} \quad K = \frac{1+i}{d-i} \times \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \right]$$

Fattore di attualizzazione dipendente da N, numero di anni, assunto pari a 20 nell'analisi.

A questo punto risulta di particolare interesse anche la stima del TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO, ossia del numero di anni necessari a recuperare il capitale inizialmente investito per realizzarlo. Il pbp si calcola attraverso questa formula in cui: I è l'investimento iniziale per la realizzazione dell'intervento, R_a è il risparmio annuale ottenuto con l'intervento, i è il tasso di aumento del costo del combustibile, che nelle stime sarà posto pari all'1% e d è il tasso di attualizzazione, da assumere pari al tasso di sconto bancario, che nelle stime sarà posto pari al 3%. Un'altra grandezza di cui ci siamo avvalsi per poter migliorare il confronto tra gli investimenti è il rendimento netto attualizzato RNA, che è legato anche al periodo di vita fissato per l'edificio.

VALUTAZIONE ECONOMICHE PER IL 2012:

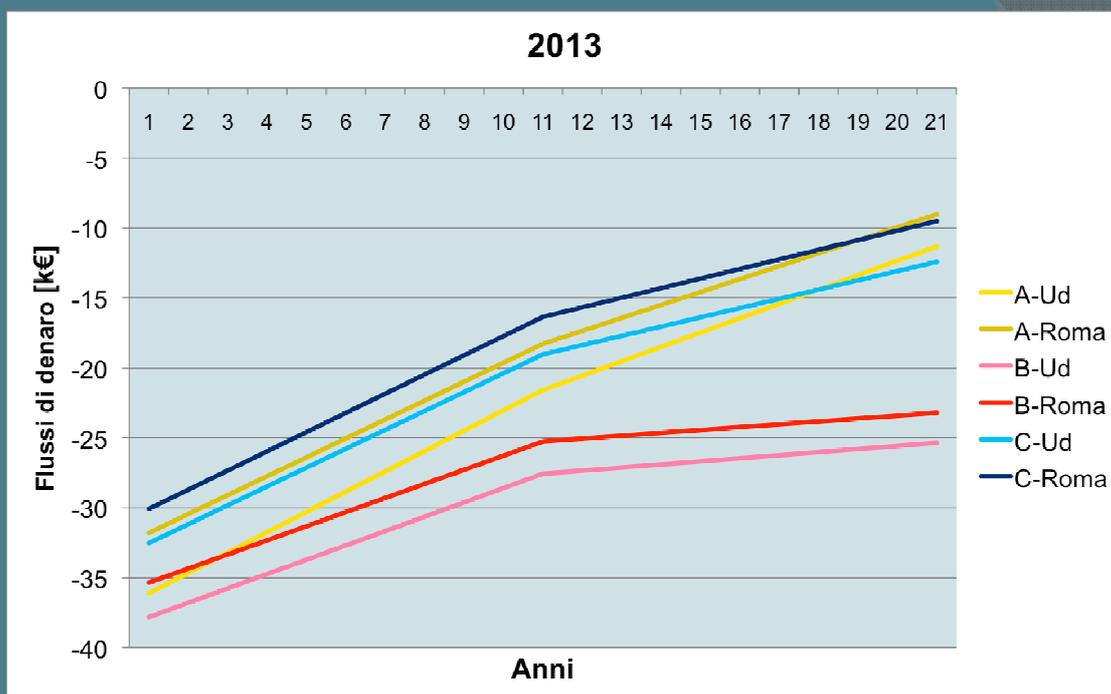


Confrontando ciascun caso riferito al 2012 gli impianti dimensionati per la città di Roma garantiscono un PBP più basso ed un RNA e un rendimento dell'investimento più alti. Per ciascuna zona:

la soluzione C si rivela essere la migliore dal punto di vista economico (rendimento raddoppiato rispetto alla A); con poco più di 10 anni abbiamo il completo rientro dell'investimento.

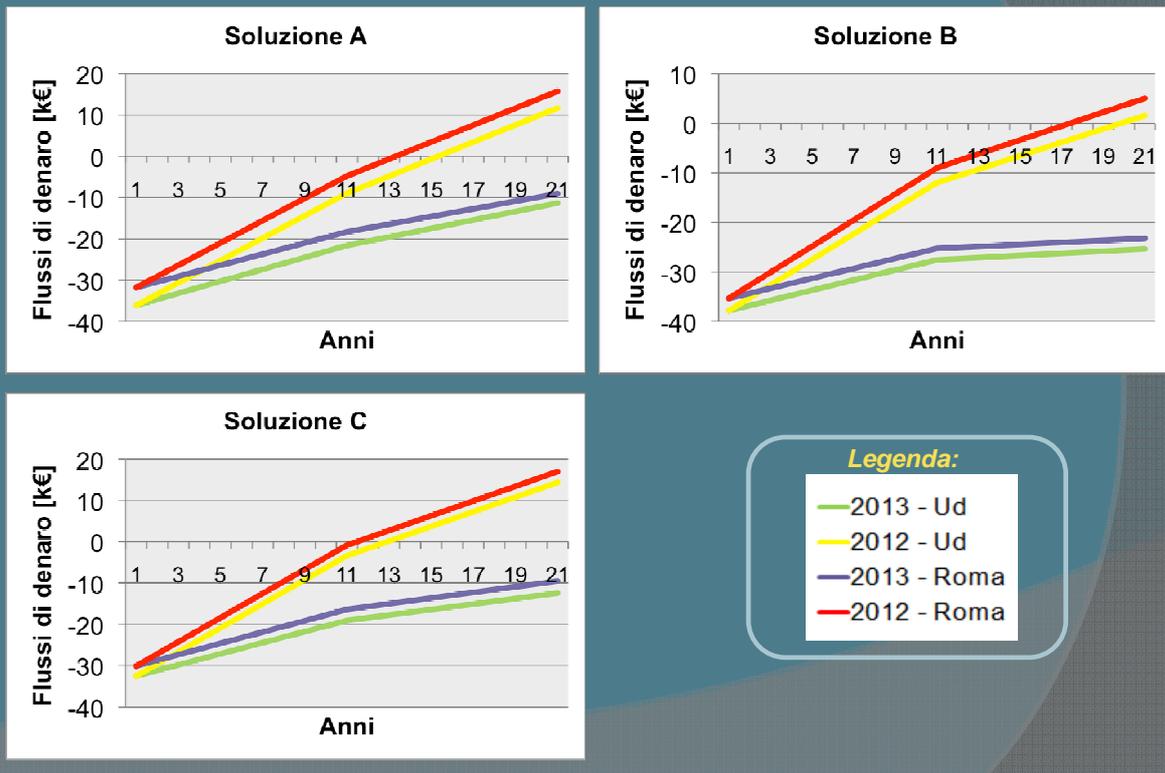
la B invece si rivela essere la meno conveniente, con valori di PBP praticamente raddoppiati. Dal grafico possiamo notare che la seconda soluzione più vantaggiosa risulta la A per entrambe le città analizzate. Il cospicuo investimento iniziale viene recuperato celermente grazie a rimborsi annui decisamente più alti rispetto agli altri casi.

VALUTAZIONE ECONOMICHE PER IL 2013:



La situazione si presenta ben diversa per l'anno 2013. Avendo diritto a minori incentivi, i tempi di ritorno degli investimenti non riescono ad essere competitivi con quelli relativi al 2012. La soluzione B rimane la peggiore, mentre è la soluzione A a rivelarsi migliore dal punto di vista economico. Essa è la più vantaggiosa delle tre per entrambe le città (PBP di 32,7 e 31,6 anni, rispettivamente per Udine e Roma).

COMPARAZIONE DEI RISULTATI OTTENUTI:



Comparando la pendenza delle rette relative al 2012 (quelle rosse e gialle) con quelle relative al 2013, diventa ancor più evidente il divario tra gli incentivi concessi. Inoltre possiamo vedere che, nonostante per ciascun caso e ciascun anno, il recupero annuale dell'investimento proceda di pari passo, per Roma i periodi di ritorno sono sempre inferiori di un paio d'anni, a causa dell'investimento iniziale inferiore.

CONCLUSIONI:

Anno 2012

Soluzione più conveniente: C

- ✓ Utilizzo energie rinnovabili
- ✓ Rendimento raddoppiato rispetto agli altri casi

Anno 2013

Soluzione più conveniente: A

- ✓ Ritorno economico maggiore
- ✗ Vengono tralasciate misure di risparmio energetico



PROBLEMA:

- ✗ Immettiamo ulteriore stress sulle reti



Benché la soluzione C nel 2013 abbia un PBP più alto di 5 anni rispetto al caso A di Udine e di 2 a Roma, si rivela essere più sensibile agli obiettivi previsti dal trattato di Kyoto.



- ✓ **L'utilizzo delle fonti rinnovabili garantisce i risultati migliori;**
- ✗ **il ritorno economico è strettamente legato alle politiche nazionali ed internazionali in materia di risparmio energetico e di sfruttamento delle energie rinnovabili.**

Relativamente all'anno 2012 la soluzione C si rivela essere la migliore sia per l'utilizzo esclusivo di energie rinnovabili, che dal punto di vista economico. Se gli interventi venissero realizzati nel 2013, invece, è la soluzione A a garantire un ritorno economico maggiore e nel minor tempo, anche se vengono totalmente tralasciate misure di risparmio energetico. Ciò fa emergere un PROBLEMA: viene meno il principio che sta alla base del concetto di ZEB: cercare di non immettere ulteriore stress sulle reti. Detto ciò risulta evidente che Benché la soluzione C nel 2013 abbia un PBP più alto di 5 anni rispetto al caso A di Udine e di soli 2 a Roma, si rivela essere più sensibile agli obiettivi previsti dal trattato di Kyoto. Possiamo quindi concludere dicendo che l'utilizzo delle fonti rinnovabili garantisce i risultati migliori, combinando sia le esigenze economiche che quelle legate all'ambiente. Ciò che fa riflettere sono i risultati poco soddisfacenti ottenuti per il 2013, anno in cui entreranno in vigore le misure anticrisi, questa situazione ci fa capire quanto il ritorno economico sia in realtà strettamente legato alle politiche nazionali ed internazionali in materia di risparmio energetico e di sfruttamento delle energie rinnovabili .

***GRAZIE PER
L'ATTENZIONE!***