



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA ENERGETICA

Tesi di Laurea Magistrale in

Ingegneria Energetica

***ANALISI DI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE
ENERGETICA PER EDIFICI RESIDENZIALI IN PRESENZA
DI SORGENTI TERMICHE A BASSA TEMPERATURA***

Relatore: Prof. Michele De Carli

Correlatore: Ing. Jacopo Vivian

Laureando: Filippo Piovanello

ANNO ACCADEMICO 2017 – 2018

Indice

Principali sigle utilizzate.....	5
Capitolo 1. Introduzione	7
1.1. La riqualificazione degli edifici	7
1.1.1. Situazione generale - Europa ed Italia	7
1.1.2. Incentivazione in Italia.....	8
1.1.3. Obblighi e vincoli sull'utilizzo di fonti di energia rinnovabili (F.E.R.) in edilizia	13
1.2. Reti di teleriscaldamento	13
1.2.1. Reti di teleriscaldamento a bassa temperatura	14
1.3. Aree ad anomalia geotermica	16
1.3.1. Sonde geotermiche	16
1.4. Gli obiettivi.....	17
Capitolo 2. Descrizione del caso studio.....	19
2.1. L'area di Montegrotto Terme	19
2.2. Caratterizzazione degli edifici in esame.....	21
2.3. Gli interventi di riqualificazione sull'involucro	27
2.4. Gli impianti di emissione e gli interventi di riqualificazione	31
2.5. Il sistema di generazione e gli interventi di riqualificazione.....	34
2.6. Scenari di integrazione di impianti fotovoltaici	36
Capitolo 3. Metodo	39
3.1. Analisi energetica	39
3.2. La valutazione economica	48
3.3. La valutazione ambientale.....	69
3.4. Scenari di integrazione di impianti fotovoltaici	70
3.5. Valutazioni a livello urbano: possibili scenari	74

Capitolo 4. Risultati	79
4.1. Riqualificazione energetica	79
4.1.1. Potenza e fabbisogno per riscaldamento	79
4.1.2. Temperatura di mandata degli impianti di riscaldamento.....	85
4.2. Risultati economici ed ambientali edificio - impianto	91
4.3. Scenari di integrazione di impianti fotovoltaici	134
4.4. Valutazioni a livello urbano, possibili scenari	140
Capitolo 5. Conclusioni	145
Appendice 1 - Stratigrafie dei modelli originali di condomini e villette	155
Appendice 2a - Sistema radiante a pavimento ad umido ‘UPONOR Classic’	170
Appendice 2b - Sistema radiante a pavimento a secco ‘LOEX Home Plain Clima’	171
Appendice 2c - Sistema radiante a parete a secco ‘UPONOR Renovis’	172
Bibliografia	175
Ringraziamenti	179

Principali sigle utilizzate

Relative ai modelli degli edifici

C	Condominio
V	Villetta
_70	Edificio anni '70
_70_DOPP	Edificio anni '70 con serramenti degli anni '90
_90	Edificio anni '90
_NEW	Edificio di nuova costruzione, successivo al 2007
_capp	Isolamento delle sole pareti laterali
_serr	Sostituzione dei soli serramenti
_capp_serr	Isolamento delle sole pareti laterali e sostituzione dei serramenti
_capp_tot	Isolamento di tutte le superfici opache
_capp_tot_serr	Isolamento di tutte le superfici opache e sostituzione dei serramenti

Varie

TLR	Teleriscaldamento
PdC	Pompa di Calore
PB	Payback
ACS	Acqua calda sanitaria

Nei grafici dei risultati al capitolo 4.2. vengono utilizzate sigle costituite da 3 parti, per indicare le tipologie di interventi effettuati. Vengono quindi riportati sotto i codici che costituiscono tali sigle nel seguente modo: Involucro_Sistema di emissione_Sistema di generazione.

Involucro		Sistema di emissione		Sistema di generazione	
Originale	O	Radiatori	RDR	Caldaia originale	CO
Cappotto	C		Caldaia a condensazione	CC	
Serramenti	S	Sistema radiante a pavimento a secco	PVS	Pompa di calore	PDC
Cappotto e Serramenti	CS			Scambio diretto	SCD

Capitolo 1. Introduzione

In Europa circa il 40% dell'energia consumata, approssimativamente 11,530 TWh, è imputabile al settore residenziale e commerciale. In Italia, il valore dell'energia primaria consumata da edifici di questi settori, presenta uno dei valori più alti in Europa. A livello nazionale, gli edifici ad uso residenziale sono l'87% del totale. Risulta quindi impensabile il raggiungimento di obiettivi di riduzione di emissioni di gas ad effetto serra e l'efficientamento energetico globale del paese, senza intervenire con misure mirate ed importanti, su questo settore.

1.1. La riqualificazione degli edifici

1.1.1. Situazione generale - Europa ed Italia

Guardando allo stock edilizio nazionale ad uso residenziale, più del 50% sono gli edifici costruiti antecedentemente il 1970. La prima legge che introduce norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici è la 373 del 1976 che venne comunque poco seguita anche negli anni successivi, come accadde d'altronde per la più famosa L.10/91. Ne risulta che la maggior parte degli edifici italiani, ma in generale europei, sono caratterizzati da scadenti performance energetiche e da bassa qualità degli ambienti interni.

Le richieste di utenti che vogliono elevata qualità degli ambienti in cui vivono e di ridurre la spesa per il riscaldamento degli stessi, sono sempre in aumento. I vecchi edifici sono però raramente sostituiti da nuove costruzioni, con un tasso di sostituzione che si attesta tra l'1 e il 3% annuo. Ne consegue che la riqualificazione energetica degli edifici esistenti è la strada privilegiata per incontrare le richieste di riduzione della spesa energetica degli edifici e aumento della loro qualità [1].

Più recentemente le richieste normative sono diventate sempre più pressanti in seguito alla necessità di ridurre il consumo di energia primaria e le emissioni di CO₂ in atmosfera. In particolare con la direttiva 2012/27/UE si sono dovuti stabilire obiettivi nazionali indicativi di efficienza energetica. Illustrate nell'aprile del 2013 nella relazione annuale inviata alla Commissione Europea, le azioni proposte nella Strategia per il periodo 2011-2020 si inseriscono nella definizione di un percorso di decarbonizzazione al 2050 per l'Italia, coerente con la Roadmap delineata dalla Commissione Europea: si punta a risparmiare 15,5 Mtep di energia finale annui (20 Mtep di energia primaria), riducendo al 2020 i consumi di circa il 24% rispetto allo scenario di riferimento europeo, basato su

un'evoluzione inerziale del sistema. Al tempo stesso, tale programma permetterà a regime di evitare ogni anno l'emissione di circa 55 milioni di tonnellate di CO₂ e risparmiare circa 8 miliardi di euro di importazioni di combustibili fossili.

In questo, il settore residenziale gioca un ruolo fondamentale, con un contributo alla riduzione attesa di energia primaria del 25% del totale.

Settore	Energia Finale	Energia Primaria
Residenziale	3.67	5.14
Terziario	1.23	1.72
Industria	5.1	7.14
Trasporti	5.5	6.05
TOT	15.5	20.05

Tabella 1 - Obiettivi di efficienza energetica al 2020 in energia finale e primaria risparmiata (Mtep/anno) [2].

1.1.2. Incentivazione in Italia

Per raggiungere tali obiettivi l'Italia adempie all'articolo 7 della direttiva sull'efficienza energetica tramite il regime obbligatorio dei Titoli di Efficienza Energetica (TEE) e tramite misure alternative. Tra queste giocano un ruolo fondamentale, per il risparmio conseguibile nel residenziale, gli incentivi sotto forma di detrazioni fiscali sui quali si era pianificato portassero al 2020 il 67% dei risparmi conseguiti dal residenziale grazie a varie forme incentivanti. I dati finora disponibili, indicano che il contributo è addirittura superiore. L'altro grosso contributo nel residenziale, è dato dai risparmi ottenuti con l'applicazione degli standard normativi, in particolare quelli imposti dal D.L. 192/05.

Settore	TTE	Detr. fiscali	Conto Termico	D.L. 192/05	Ecoincentivi		Risparmio energetico		Obiettivo raggiunto [%]
					e Regolamenti comunitari	Altre misure	Al 2016	Atteso al 2020	
Residenziale	0.59	1.56	-	0.91	-	0.02	3.09	3.67	84.2
Terziario	0.13	0.02	0.003	0.05	-	-	0.19	1.23	15.4
Industria	1.84	0.03	-	0.09	-	-	1.95	5.10	38.3
Trasporti	-	-	-	-	1.13	0.04	1.18	5.50	21.4
TOT	2.56	1.60	0.003	1.05	1.13	0.07	6.41	15.50	41.4

Tabella 2 - Risparmi energetici annuali conseguiti per settore, periodo 2011 - 2016 e attesi al 2020 (energia finale, Mtep/anno) [2].

Tutto considerato, il settore residenziale si conferma come settore strategico e trainante per gli obiettivi al 2020; infatti è il settore che ha già conseguito la maggior parte dei risparmi attesi, superando l'84% dell'obiettivo già nel 2016.

Oltre che per la manutenzione straordinaria degli edifici, gioca anche un ruolo fondamentale per il mercato dell'edilizia poiché gli ultimi dati mostrano che il 79% del valore della produzione in questo settore si deve alla riqualificazione del patrimonio esistente, ed in particolar modo ad interventi di manutenzione straordinaria, in cui rientra l'efficientamento energetico.

Si confermano così anche per il 2018 molti degli incentivi esistenti finora e, per quanto riguarda l'efficientamento energetico degli edifici residenziali, si punta sull'attivare investimenti sempre più consistenti. Per il 2018 infatti si sottolinea come cali l'incentivo per la sostituzione degli infissi, storicamente uno degli investimenti maggiormente sfruttato, e si punta in particolar modo sugli interventi più consistenti sui condomini, storicamente tipologia di edifici meno soggetta a riqualificazione. Dal 1° gennaio 2018 al 31 dicembre 2021, sono infatti introdotti incentivi al 70% e 75% rispettivamente per isolamento delle superfici ed incremento della prestazione energetica dei condomini. Il trend è quindi quello di puntare ad incentivare interventi che portino alti risparmi di energia e su edifici sui quali storicamente si è intervenuto in maniera limitata.

Al 1° gennaio 2018 gli incentivi si presentano nel seguente modo:

Incentivi per la riqualificazione energetica degli edifici:

Entità incentivo [%]	Parte edificio interessata	Tipologia d'intervento	Durata incentivo
50	Singole unità immobiliari e parti comuni di condomini	Sostituzione delle finestre, compresi gli infissi	10 anni
		Installazione di schermature solari	
		Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale (con caldaie a condensazione o a biomassa)	
65	Singole unità immobiliari e parti comuni di condomini	Riqualificazione energetica di edifici esistenti	10 anni
		Superfici opache dell'involucro	
		Installazione di pannelli solari	
		Sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale (altri sistemi, non caldaie a condensazione o a biomassa)	

70	Parti comuni degli edifici condominiali	Coibentazione dell'involucro con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda dello stesso edificio (per esempio, pareti, finestre - compresi gli infissi - su edifici esistenti)	10 anni
75	Parti comuni degli edifici condominiali	Qualsiasi intervento che porti diretti a migliorare la prestazione energetica invernale ed estiva e che conseguono almeno la qualità media indicata nel decreto del Ministro dello Sviluppo Economico del 26 giugno 2015 (Linee guida nazionali per la certificazione energetica).	10 anni

Tabella 3 - Detrazioni fiscali per riqualificazione energetica degli edifici [3] [4].

Incentivi per la ristrutturazione edilizia:

Entità incentivo [%]	Parte edificio interessata	Tipologia d'intervento	Durata incentivo
50	Singole unità immobiliari e parti comuni di condomini	Lavori di manutenzione ordinaria, straordinaria, restauro, risanamento conservativo e ristrutturazione edilizia effettuati su parti comuni di edifici residenziali, cioè su condomini (interventi indicati alle lettere a), b), c) e d) dell'articolo 3 del Dpr 380/2001);	5 anni
		Interventi di manutenzione straordinaria, restauro e risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia effettuati su singole unità immobiliari residenziali di qualsiasi categoria catastale, anche rurali e pertinenze (interventi elencati alle lettere b), c) e d) dell'articolo 3 del Dpr 380/2001).	

Tabella 4 - Detrazioni fiscali per ristrutturazione edilizia.

Sono qui riportati anche questi incentivi poiché, come si vedrà in seguito, alcuni interventi utili all'efficientamento energetico degli edifici rientrano in questa categoria. Ad esempio sono qui inclusi, e non in alcuna classe degli incentivi per riqualificazione energetica, l'installazione di impianti fotovoltaici ed impianti radianti [4] [5].

Il conto termico

Per completezza si riportano gli interventi incentivabili tramite conto termico, i soggetti che possono beneficiarne e la durata.

Intervento	Soggetti ammessi	Durata dell'incentivo
Isolamento termico di superfici opache delimitanti il volume climatizzato	Pubbliche amministrazioni	5
Sostituzione di chiusure trasparenti comprensive di infissi delimitanti il volume climatizzato	Pubbliche amministrazioni	5
Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con generatori di calore a condensazione	Pubbliche amministrazioni	5
Installazione di sistemi di schermatura e/o ombreggiamento di chiusure trasparenti con esposizione da ESE a O, fissi o mobili, non trasportabili	Pubbliche amministrazioni	5
Trasformazione "edifici a energia quasi zero"	Pubbliche amministrazioni	5
Sostituzione di sistemi per l'illuminazione di interni e delle pertinenze esterne esistenti con sistemi di illuminazione efficienti	Pubbliche amministrazioni	5
Installazione di tecnologie di gestione e controllo automatico (building automation) degli impianti termici ed elettrici ivi inclusa l'installazione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore	Pubbliche amministrazioni	5
Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti di climatizzazione invernale utilizzanti pompe di calore elettriche o a gas, anche geotermiche con potenza termica utile nominale inferiore o uguale a 35 kW	Pubbliche amministrazioni e soggetti privati	2
Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti di climatizzazione invernale utilizzanti pompe di calore elettriche o a gas, anche geotermiche con potenza termica utile nominale maggiore di 35 kW e inferiore o uguale a 2.000 kW	Pubbliche amministrazioni e soggetti privati	5

Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale o di riscaldamento delle serre esistenti e dei fabbricati rurali esistenti con generatori di calore alimentati da biomassa con potenza termica nominale al focolare inferiore o uguale a 35 kW	Pubbliche amministrazioni e soggetti privati	2
Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale o di riscaldamento delle serre esistenti e dei fabbricati rurali esistenti con generatori di calore alimentati da biomassa con potenza termica nominale al focolare maggiore di 35 kW e inferiore o uguale a 2.000 kW	Pubbliche amministrazioni e soggetti privati	5
Installazione di collettori solari termici, anche abbinati sistemi di solar cooling, con superficie solare lorda inferiore o uguale a 50 metri quadrati	Pubbliche amministrazioni e soggetti privati	2
Installazione di collettori solari termici, anche abbinati sistemi di solar cooling, con superficie solare lorda superiore a 50 metri quadrati e inferiore o uguale a 2.500 metri quadrati	Pubbliche amministrazioni e soggetti privati	5
Sostituzione di scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore	Pubbliche amministrazioni e soggetti privati	2
Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti con sistemi ibridi a pompa di calore con potenza termica utile nominale inferiore o uguale a 35 kW	Pubbliche amministrazioni e soggetti privati	2
Sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti con sistemi ibridi a pompa di calore con potenza termica utile nominale superiore a 35 kW	Pubbliche amministrazioni e soggetti privati	5

Tabella 5 - Conto termico [6] [7].

Incentivo al teleriscaldamento

Utile per gli scopi della tesi, è infine l'incentivo per l'energia termica da teleriscaldamento che, per reti ad energia geotermica o a biomasse, è pari a 26 €/MWh tramite credito d'imposta [8].

1.1.3. Obblighi e vincoli sull'utilizzo di fonti di energia rinnovabili (F.E.R.) in edilizia

Dal 1° gennaio 2018 diventa operativo il nuovo scaglione per le quote di rinnovabili in edifici di nuova costruzione o sottoposti ad importanti opere di ristrutturazione. Il valore minimo da soddisfare è quindi del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e del 50% della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento. Il decreto legislativo del 3 marzo 2011, che fissa tali vincoli, definisce energia da fonti rinnovabili, *l'energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica (accumulata nell'aria ambiente sotto forma di calore), geotermica (immagazzinata sotto forma di calore nella crosta terrestre), idrotermica (immagazzinata nelle acque superficiali sotto forma di calore) e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas.*

Inoltre, tali obblighi non possono essere assolti tramite impianti da fonti rinnovabili che producano esclusivamente energia elettrica la quale alimenti, a sua volta, dispositivi o impianti per la produzione di acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento. Si rende quindi necessaria l'adozione di sistemi a fonte rinnovabile che forniscano energia termica.

Il vincolo sugli impianti fotovoltaici è inoltre fissato dallo stesso decreto, e pari a 1kW ogni 50 m² di abitazione [9].

1.2. Reti di teleriscaldamento

Con teleriscaldamento può intendersi la fornitura di energia termica ad una pluralità di edifici, mediante un fluido, acqua calda o vapore, che circola in una rete di tubazioni e che è riscaldato, a cura del fornitore, in appositi impianti esterni agli edifici. Le motivazioni per proporre il teleriscaldamento sono raggruppabili sotto quattro obiettivi, tenendo conto che nel corso del tempo e con l'evoluzione delle tecnologie, sono cambiate le priorità e l'importanza relativa degli stessi:

- obiettivi ambientali: più è grande e complesso l'impianto di generazione, migliore è il controllo delle emissioni. L'impianto centralizzato permette inoltre di usare anche combustibili diversi dagli idrocarburi, quali i rifiuti, i combustibili solidi secondari, i carboni e le biomasse solide in maniera migliore di quanto possibile con impianti domestici.
- obiettivi di indipendenza e sostenibilità energetica del paese: sempre per la possibilità, sopra citata, di poter utilizzare diverse fonti.

- obiettivi di efficienza energetica: il teleriscaldamento può utilizzare più facilmente calore recuperato in cogenerazione da impianti termoelettrici esistenti o da scarichi di industrie.
- obiettivi di razionalizzazione urbanistica: il teleriscaldamento può potenzialmente integrarsi con i servizi a rete della distribuzione di energia elettrica, del gas naturale, dell'acqua potabile, delle acque di scarico, dei cavi per applicazioni telematiche, sia nell'utilizzo del sottosuolo che nella pianificazione degli interventi nel territorio.

Sebbene le potenzialità siano elevate ed i benefici estremamente considerevoli e al centro di attuali discussioni politiche, economiche, energetiche ed ambientali, la sua diffusione in Italia non è così ampia, soprattutto se paragonata a ciò che accade in altri paesi europei. Questo si spiega principalmente per alcune ragioni. In primo luogo, i picchi della domanda non sono molto lontani da quelli del Nord Europa, ma durano per pochi giorni all'anno; la domanda globale annuale è molto più bassa (2200-2500 gradi giorno contro 3500-4000 gradi giorni) avendo così un basso fattore di carico che limita la valorizzazione degli investimenti. Inoltre, si deve osservare che le abitazioni italiane sono molto addensate lungo le strade, fattore che limiterebbe le lunghezze e quindi il costo ma d'altra parte il costo cresce, sia per l'impresa sia per la cittadinanza, per la difficoltà di eseguire lavori complessi in città spesso vicine al blocco totale del traffico stradale.

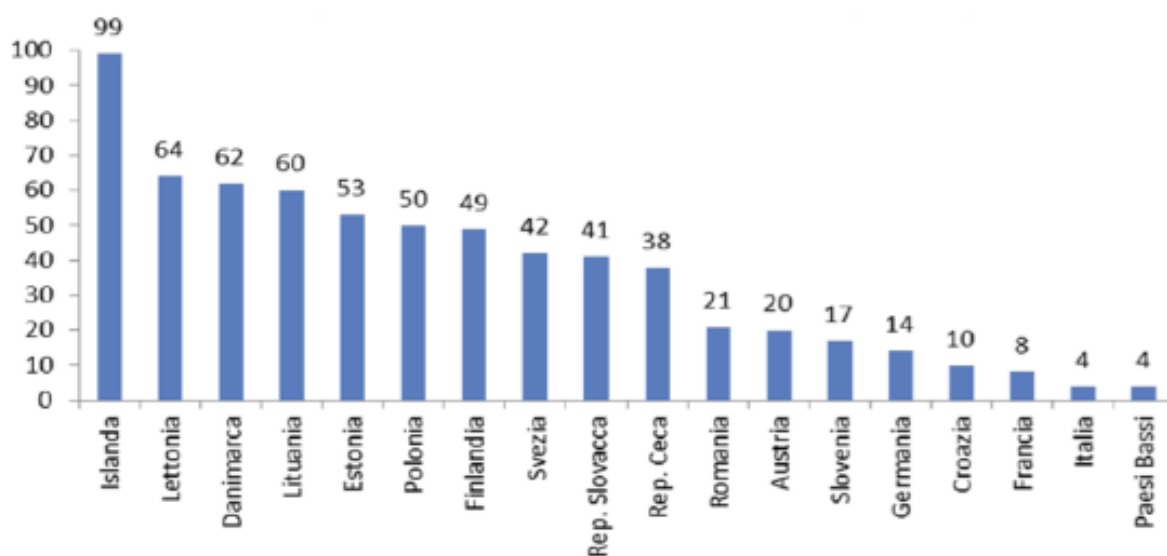


Figura 1 - Percentuale della popolazione servita da teleriscaldamento nel 2009 [10].

Il trend è comunque di crescita, con un aumento del volume degli edifici allacciati di circa 15 milioni di metri cubi l'anno e con 109 città con una rete di teleriscaldamento al 2013 [10].

1.2.1. Reti di teleriscaldamento a bassa temperatura

Le prime reti di teleriscaldamento, quelle successivamente denominate di prima generazione, si sono viste dalla fine del diciannovesimo secolo ed utilizzavano vapore come fluido vettore, e condutture

in cemento. La seconda generazione di reti ha visto l'utilizzo di acqua pressurizzata a temperature superiori ai 100°C e tubazioni in acciaio isolate. Lo scambio di calore presso l'utenza finale avveniva tramite scambiatori a fascio tubiero. La terza generazione utilizza acqua non pressurizzata a temperature tra i 60 e 90°C, tubazioni isolate termicamente e scambiatori a piastre. Da qualche anno si stanno diffondendo sempre più reti di quarta generazione che riescono a sfruttare calore di minor pregio, ovvero a più bassa temperatura. Questo sta avvenendo in seguito all'esigenza di elevare l'efficienza dei sistemi, tipicamente di cogenerazione, e di ridurre le perdite lungo la rete. Inoltre, livelli di temperatura tra i 70°C (d'inverno) e i 55°C (d'estate), permettono di sfruttare anche calore di scarto e proveniente da fonti rinnovabili, permettendo comunque di garantire il comfort termico e un'produzione sicura di acqua calda sanitaria per edifici sia nuovi che esistenti. Questa tipologia di rete è considerata lo stato dell'arte per il teleriscaldamento, ma vi sono studi e sperimentazioni per quella che può essere definita la quinta generazione. Questa nuova tipologia risponde all'esigenza di integrare sempre più tipologie di fonti di calore nella rete grazie a temperature intorno ai 35°C - 40°C, ma che possono arrivare anche intorno ai 20°C. Inoltre questa tipologia di rete cambierebbe la mentalità e la gestione delle reti di teleriscaldamento, dove non si avrebbe solo un punto di immissione e più punti di prelievo, ma si aprirebbe la possibilità di connettere anche svariate fonti di calore. Alcune tipologie di utenze potrebbero ancora essere servite con soli scambiatori; infatti se la temperatura della rete è sopra i 30°C e gli edifici sufficientemente riqualificati, sistemi ad impianto radiante potrebbero lavorare in scambio diretto. La maggior parte degli impianti degli edifici verrebbe però alimentata interponendo pompe di calore tra la rete e l'edificio. I vantaggi di un sistema così congeniato, sarebbero non solo quelli illustrati di poter sfruttare innumerevoli fonti a bassa temperatura, principalmente rinnovabili o di calore di scarto, ma anche dal punto di vista economico dell'investimento e della gestione della rete. Infatti, operando a temperature non molto più elevate di quelle del terreno in cui scorrerebbero le tubazioni, queste possono essere molto meno isolate. In questo modo si riducono sia i costi di investimento, che quelli legati alle perdite di calore lungo la rete, che storicamente rappresentava un grosso costo per questi sistemi [11].

Questi sistemi, se alimentati con fonti rinnovabili, possono essere anche una grossa opportunità per rispettare i vincoli imposti sull'utilizzo di energia da fonti rinnovabili in edilizia, contando anche che, per tutti gli edifici che siano connessi ad una rete di teleriscaldamento che copra il fabbisogno totale di riscaldamento ed acqua calda sanitaria, tali obblighi non sono presenti [9].

1.3. Aree ad anomalia geotermica

La temperatura del terreno varia mediamente tra i 7°C e i 20°C a seconda della temperatura media annuale dell'aria esterna. In zone che presentino un'anomalia termica del terreno, questa temperatura aumenta in maniera anche significativa, raggiungendo valori dai 35°C fino anche agli 85°C.

Questo calore viene sfruttato da molti secoli in zone che presentino sorgenti d'acqua calda in superficie, e più recentemente anche in zone in cui sia necessario la perforazione del suolo. In generale, in presenza di un bacino acquifero ad alta temperatura le possibilità di sfruttamento di queste aree è stato storicamente avvenuto in maniera facile e principalmente non per usi energetici, bensì usi termali quali cure o svago.

Dal punto di vista energetico, in Italia, l'interesse verso queste zone è aumentato sempre più, in particolare dopo la crisi petrolifera del 1976 quando l'allora Ministro dell'Industria Donat Cattin convocò i vertici Eni ed Enel per valutare in maniera puntuale il potenziale energetico del territorio italiano. All'inizio degli anni '90 il petrolio era tornato a livelli accettabili e la campagna di studio rallentò quasi del tutto, non esistendo più l'incentivo finanziario per continuare la sfida tecnologica e la ricarica di fonti di energia alternative del sottosuolo. Oggi però il quadro è ben diverso, con l'interesse sempre crescente verso fonti di energia rinnovabili e sistemi sempre più efficienti per lo sfruttamento delle risorse, nonché la necessaria riduzione di consumi da parte di settori quali l'edilizia, l'interesse verso lo sfruttamento dell'energia geotermica è tornato a crescere.

1.3.1. Sonde geotermiche

La ricerca attuale non è rivolta solo verso le aree termali che dispongono di bacini d'acqua, le quali sono già ampiamente sfruttate, ma soprattutto verso l'applicazione di soluzioni geotermiche per edifici residenziali, sfruttando non tanto acqua del sottosuolo, bensì il calore stesso del terreno. Infatti il calore del terreno è sfruttabile non solo dove vi siano bacini idrici ad elevata temperatura, cosa presente in poche aree, bensì in zone ad elevata anomalia termica del terreno senza acqua nel sottosuolo ma anche in qualsiasi area, poiché il terreno d'inverno presenta comunque temperature più elevate di quelle dell'aria atmosferica. Per questo, pompe di calore che sfruttino l'energia del sottosuolo tramite sonde geotermiche a circuito chiuso, le cosiddette GCHP (Ground Coupled Heat Pumps), sono sempre più utilizzate. Questo si nota anche osservando la sempre maggior attenzione da parte di aziende che producono pompe di calore, verso questo genere di sistemi. I sistemi GCHP possono essere utilizzati in un ampio spettro di applicazioni, dai piccoli edifici residenziali, fino ad edifici commerciali di grandi dimensioni, e sono considerati i sistemi per riscaldamento e

raffrescamento più efficienti. Il componente principale del sistema è lo scambiatore di calore verso il terreno, il cosiddetto GHE (Ground Heat Exchanger), il quale esiste in varie configurazioni. La soluzione più comune è quella che vede sonde verticali in materiale composito, con all'interno un tubo a singola o doppia U [12].

Questi sistemi, accoppiati con pompe di calore, assicurano efficienze superiori rispetto i sistemi con pompa di calore con sorgente termica aria. Quest'ultimi sono comunque più diffusi, grazie al loro minor costo di installazione, che è molto elevato per sistemi con sonde geotermiche.

Il vantaggio di questo genere di sistemi, è quello di permettere di rispettare i vincoli sull'utilizzo di energia da fonti rinnovabili in edilizia, che diventano sempre più stringenti.

1.4. Gli obiettivi

In questa tesi vengono analizzate possibili soluzioni di riqualificazione energetica degli edifici da un punto di vista tecnico-economico. Lo studio è volto a comprendere le potenzialità ed i benefici derivanti da queste soluzioni, in contesti in cui si abbia una sorgente di calore a bassa temperatura, che possa essere sfruttabile tramite una rete di teleriscaldamento a bassa temperatura con pompe di calore distribuite. Si studiano in alternativa, dove l'allacciamento alla rete non sia possibile, impianti geotermici a bassa entalpia.

Si analizzano quindi i benefici energetici ed economici per l'utente, derivanti dalla riqualificazione degli edifici, cercando di individuare, per ogni tipologia di edificio residenziale, la miglior soluzione da un punto di vista economico ed ambientale, tenendo conto anche della disponibilità economica per tali investimenti. In queste considerazioni si tiene conto degli incentivi attualmente in vigore per le varie tipologie di intervento. Sebbene le soluzioni spazino su diversi aspetti dell'edificio, le soluzioni adottate sono volutamente scelte tra quelle di prassi comune perché si vogliono individuare ed indicare soluzioni che possano vedere una rapida e concreta diffusione e non un lavoro di stile che individui la miglior soluzione tecnica senza considerare la sua concreta applicabilità. Anche i risultati sono presentati in modo da poter essere di facile fruibilità.

Inoltre sono analizzate a livello più qualitativo, anche soluzioni di integrazione con il fotovoltaico per comprendere i benefici che questo possa dare in contesti urbani dove si abbiano il forte aumento di pompe di calore grazie alla diffusione di reti di teleriscaldamento a bassa temperatura. Si propone quindi qualche spunto per studi futuri, per passare ad una miglior gestione dell'energia con ottica locale e non più di singolo edificio.

A conclusione dell'analisi si vogliono dare anche indicazioni di carattere qualitativo per un possibile miglioramento del sistema di incentivazione e della gestione a livello locale dell'energia per il raggiungimento degli obiettivi sulla riduzione di emissioni, migliorando anche la qualità del servizio per la popolazione.

Capitolo 2. Descrizione del caso studio

Lo studio valuta il fabbisogno di energia di alcuni edifici che siano di riferimento per lo stock nazionale. I modelli di tali edifici vengono implementati in TRNSYS ottenendo così il fabbisogno di energia e la potenza di riscaldamento in condizioni non stazionarie per ogni edificio in analisi. Quindi si implementano nei modelli gli interventi di riqualificazione dell'involucro che si vogliono considerare, ottenendo ancora potenza ed energia per tutti gli edifici nelle condizioni climatiche di riferimento. Successivamente si passa all'analisi degli impianti di emissione considerando varie soluzioni con vantaggi e svantaggi differenti. A quel punto si procede con la valutazione economica ed ambientale delle soluzioni ottenibili incrociando gli interventi sull'involucro, sull'impianto di emissione nonché di generazione. Per concludere l'analisi delle possibilità offerte dalla riqualificazione degli edifici, viene svolta un'analisi qualitativa delle potenzialità del fotovoltaico nel residenziale, prima sul singolo edificio, per poi estendere tutti i ragionamenti a livello locale.

2.1. L'area di Montegrotto Terme

Le analisi vengono fatte considerando il Comune di Montegrotto Terme che si sta adoperando per individuare le potenzialità e la fattibilità tecnica ed economica di una rete di teleriscaldamento a bassa temperatura. Il Comune di Montegrotto Terme fa parte del Bacino Termale Euganeo, un'area famosa per la presenza di acque termali. La comune definizione di acqua termale include le acque caratterizzate da uno stato termico medio annuo superiore di almeno 4°C rispetto alla temperatura media dell'aria e di 2°C rispetto a quella media del suolo. Esse posseggono generalmente un grado di mineralizzazione più o meno elevato ed una composizione chimica costante con prevalenza di alcuni composti in quantità tali da renderle farmacologicamente attive. Le acque termali in Italia sono pienamente riconosciute dalla Legge. Secondo il D.M. 15 XII 1994, le seguenti malattie possono trovare beneficio dalle cure termali: malattie otorinolaringoiatriche e delle vie respiratorie, malattie cardiovascolari, malattie ginecologiche e dell'apparato urinario, malattie dell'apparato gastroenterico, reumatiche e dermatologiche. Le cure termali devono essere prescritte e somministrate sotto controllo medico e le stazioni termali possiedono requisiti, regolamenti, compiti e personale che li equiparano ad altri centri sanitari [13]. Il riconoscimento delle proprietà terapeutiche delle acque

minerali naturali da utilizzarsi per cure termali viene effettuato dal Ministero della Salute che raccoglie le domande corredate da analisi chimiche, microbiologiche e di radioattività delle acque. Le acque del Bacino Euganeo sono di tipo salsobromoiodiche ipertermali. Questa tipologia di acque è particolarmente indicata per il trattamento di patologie rinosinusalì ricorrenti e croniche.

Per tutelare le proprietà sanitarie connesse al termalismo, la Legge regionale del Veneto n. 31 del 20 marzo 1975 afferma che *i titolari delle concessioni che alimentano gli stabilimenti termali non devono edurre acqua per scopi diversi da quello terapeutico e non devono superare i quantitativi strettamente necessari per la maturazione, rigenerazione del fango e per l'effettuazione delle cure idrotermali* [14]. Con la stessa Legge veniva prevista la redazione di un Piano di Utilizzazione della Risorsa Termale, che venne approvato con Provvedimento del Consiglio regionale n. 1111 il 23 aprile 1980 [15]. Il Piano è finalizzato a salvaguardare la risorsa idrotermale e più in generale a valorizzare il bacino euganeo attraverso un'ordinata pianificazione urbanistica, la migliore utilizzazione dell'acqua termale e la qualificazione sanitaria del termalismo.

Solo quanto tali acque vengono scaricate come acque di risulta, e quindi considerate per legge non più utili a fini terapeutici, allora è possibile l'utilizzo delle stesse per altri scopi, tra cui quelli energetici, e da qui l'interesse vero una rete di teleriscaldamento che sfrutti questa risorsa. Infatti, l'acqua di risulta viene rilasciata a temperature inferiori ai 35°C, ma può essere intercettata a valle dei servizi termali a temperature più alte (anche superiori a 40-45°C), prima che venga appositamente raffreddata per rispettare i limiti di legge, e quindi costituisce una fonte di calore ancora sfruttabile.

Le analisi sono quindi relative ad una zona residenziale con anomalia termica del terreno, quindi sia con calore derivante da esso stesso a temperature elevate, sia con acqua di scarto disponibile a bassa temperatura, in zona climatica E. Per una completa analisi di zone come quella in esame, si studiano anche le potenzialità di sistemi geotermici a bassa entalpia, per le zone in cui non si abbia la rete di teleriscaldamento.

Si vogliono quindi comprendere i benefici di interventi di riqualificazione degli edifici sia dal punto di vista dell'involucro, ma soprattutto in relazione alla possibilità di allaccio ad una rete di teleriscaldamento alimentata dai reflui geotermici. Siccome la rete non può coprire l'intero territorio, si è analizzata anche la possibilità di installazione di sonde geotermiche.

2.2. Caratterizzazione degli edifici in esame

Per svolgere queste analisi si sono presi dei modelli architettonici tipici della zona d'interesse e considerati come rappresentativi dell'intero stock edilizio.

Tipologie di edificio

Vengono presi in considerazione sostanzialmente due classi di edifici: i condomini e le villette singole; soluzioni intermedie come case a schiera porterebbero a risultati non distanti da quelli così ottenibili, o comunque da essi deducibili, e per contro aumenterebbero i casi possibili e quindi la complessità di lettura e fruizione dei risultati.

Età costruttive

Le età costruttive sono state scelte in modo da rappresentare quelle più diffuse nel nord Italia. In particolare si fa riferimento al caso specifico di un distretto residenziale di Abano Terme dove, su 98 edifici, si ha una distribuzione che vede il 56% degli edifici costruiti entro il 1980, l'8% tra il 1981 e 1991, il 28% tra il 1992 e 2007 e il restante 8% dal 2009 in poi. Gli edifici di queste classi, sono stati realizzati in epoche che presentavano normative differenti nell'ambito dell'edilizia e ciò si riflette in diversi livelli di consumi energetici. Per ottenere risultati significativi, ma al tempo stesso avere un numero di situazioni limitato, si è scelto di non avere un modello ad hoc per la classe 1981-1991, ma questa sarà comunque ben rappresentata, in termini di consumi, dagli altri modelli.

Nella tabella 6 vengono riportati i dati utili riguardanti lo stock edilizio di cui sopra, e il nome del corrispondente modello cui si farà riferimento successivamente nel testo (V=villette, C=condominio). A riprova della validità delle scelte fatte, si anticipano, sempre nella tabella, i valori di consumi specifici edificio-impianto ottenuti con la simulazione [11].

Età di costruzione	Numero di edifici [-]	Legge di riferimento	Consumo specifico per il riscaldamento [kWh/(m²y)]	Modelli di riferimento	
<1981	55	-	125-240	_70	_70_DOPP
1981-1991	8	L. 373/76	115-180		
1992-2007	27	L.10/91	65-95	_90	
>2007	8	DPR 59/09	40-55	_NEW	
Totale	98				

Tabella 6 – Classificazione edifici per età costruttiva.

Il modello _70_DOPP è stato introdotto per tener conto di edifici realizzati entro gli anni '70 nei quali siano stati sostituiti i vecchi infissi a vetro singolo, con altri più nuovi a vetrocamera.

Condominio

Il condominio considerato si assume essere costituito da 3 piani con 4 appartamenti ciascuno. Il primo piano si considera con tutto il pavimento verso il porticato, senza quindi considerare eventuali porzioni verso locali non riscaldati (garage o altri). Si considera un tetto piano. Ogni appartamento è di ugual dimensione e speculare verso il vano scale interposto ogni due appartamenti. Il condominio è orientato, nel senso della lunghezza, in direzione est-ovest. Si riporta nella figura 2 la pianta di un appartamento interno; per quelli affacciati verso est o verso ovest, 'Camera Singola 1' e 'Camera Singola 2' avranno un'ulteriore finestra ciascuna, delle stesse dimensioni di quelle che già presentano rispettivamente verso nord e verso sud.

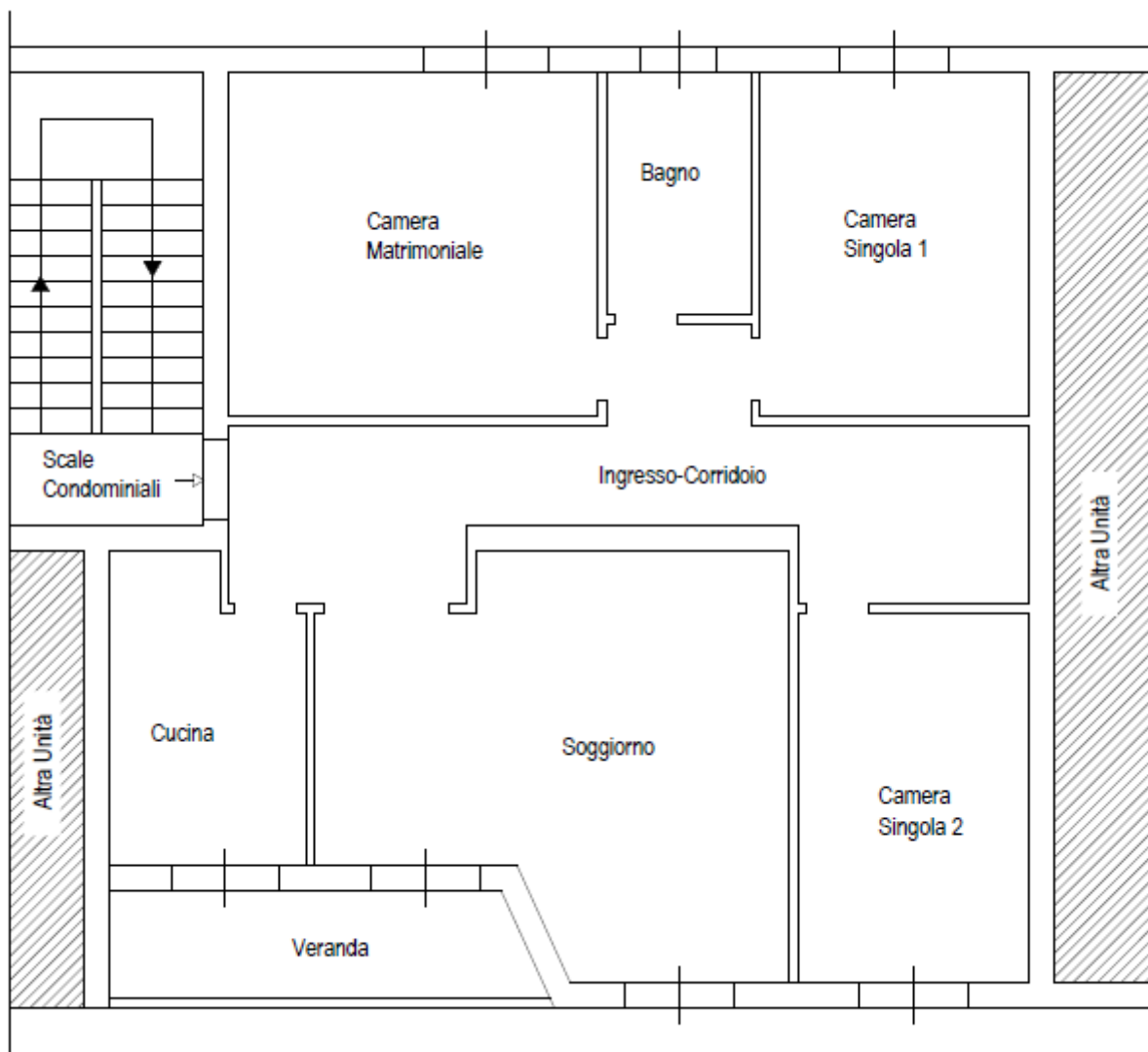


Figura 2 - Planimetria di un appartamento interno del condominio in esame.

Ogni appartamento è considerato con altezza interna di 2,7 m ed una superficie lorda interna al perimetro interno dei muri esterni di 94,4 m². La superficie laterale opaca media degli appartamenti è pari a 58,89 m², quella trasparente a 16,33 m².

La sigla per indicare i modelli riferiti a tutto il condominio, iniziano con la lettera C.

Villetta

La villetta singola considerata si assume essere costituita da 2 piani. Il primo piano avrà quindi il pavimento verso il terreno ed il secondo piano lo si considera coperto da un soffitto piano che dà su una copertura a due falde. Si riportano nelle figure 3 e 4 le piante dei due piani. Anche per la villetta è considerata un'altezza interna di 2,7 m ed una superficie lorda interna al perimetro interno dei muri esterni di 96,14 m² per il primo piano e 115,33 m² per il secondo piano, per un totale di 211,47 m².

La superficie laterale opaca è pari a 229,00 m², quella trasparente a 33,67 m².

I modelli di riferimento iniziano con la lettera V.

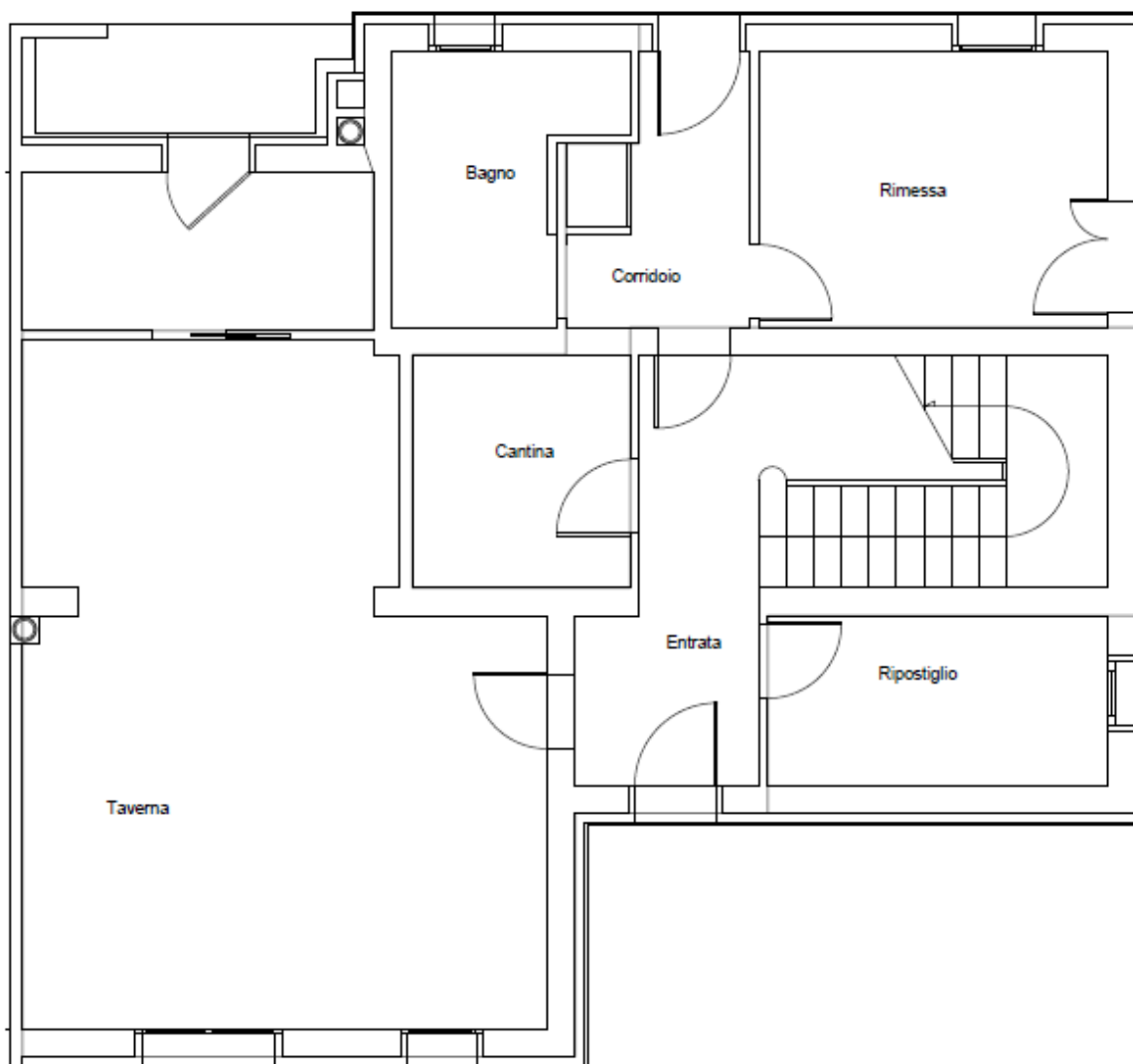


Figura 3 - Planimetria del piano terra della villetta in esame.



Figura 4 - Planimetria del primo piano della villetta in esame.

Stratigrafia

La stratigrafia delle pareti dei vari modelli è stata scelta in funzione dell'età costruttiva degli edifici che devono rappresentare. Si riportano nelle seguenti tabelle i soli valori di trasmittanza delle strutture edilizie, mentre si rimanda all'appendice per la descrizione completa. Le trasmittanze sono calcolate secondo l'attuale norma UNI EN ISO 6946/2008, ovvero con resistenza interna $R_i = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$ e resistenza esterna $R_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ [16].

Superfici vetrate

La tipologia di infissi dei vari modelli è stata scelta in funzione dell'età costruttiva degli edifici che devono rappresentare. Si ha quindi una riduzione progressiva della trasmittanza dell'infisso. I modelli _70_DOPP presentano la stessa tipologia di infissi dei modelli _90 poiché si è supposto che la

sostituzione di quelli originali degli edifici anni '70, avvenisse all'incirca negli anni '90. Si assume che la superficie trasparente sia l'85% di tutto l'infisso.

Trasmittanza U [W/m²K]	C_70	C_70_DOPP	C_90	C_NEW
Pareti esterne	1.14	1.14	0.67	0.32
Muro divisorio (c.a. 30 cm)	1.41	1.41	1.41	1.41
Pavimento verso l'esterno	1.61	1.61	0.67	0.38
Soffitto verso l'esterno	1.67	1.67	0.68	0.38
Muro divisorio (c.a. 10 cm)	2.11	2.11	2.11	2.11
Pavimento interpiano	1.58	1.58	1.58	0.59
Soffitto interpiano	1.58	1.58	1.58	0.59

Tabella 7 - Trasmittanza U delle strutture edilizie dei modelli dei condomini.

Trasmittanza U [W/m²K]	V_70	V_70_DOPP	V_90	V_NEW
Pareti esterne	1.14	1.14	0.67	0.32
Muro divisorio (c.a. 10 cm)	2.83	2.83	2.83	2.81
Muro divisorio (c.a. 30 cm)	1.47	1.47	1.47	1.46
Pavimento verso terra	1.23	1.23	0.81	0.34
Pavimento verso l'esterno	1.61	1.61	0.67	0.38
Pavimento sottotetto	1.67	1.67	0.68	0.38
Solaio interpiano	1.61	1.61	1.58	0.59
Copertura falda	2.28	2.28	0.84	0.32

Tabella 8- Trasmittanza U delle strutture edilizie dei modelli delle villette.

Trasmittanza U [W/m²K]	_70	_70_DOPP	_90	_NEW
Vetro	5,68	2,83	2,83	1,4
Telaio	2,27	2,27	2,27	2,27
Infisso	5,17	2,75	2,75	1,53

Tabella 9 - Trasmittanza U degli infissi dei modelli di condomini e villette.

Apporti termici interni

Gli apporti termici interni sono stati considerati tramite l'apposita impostazione di TRNBuild 'Gains' e vengono caratterizzati come si evince dai grafici seguenti. Si distinguono i giorni feriali da quelli

festivi. Si deve distinguere tra potenza radiante e potenza convettiva, che nel caso in esame si considerano uguali. I grafici sono espressi in W.

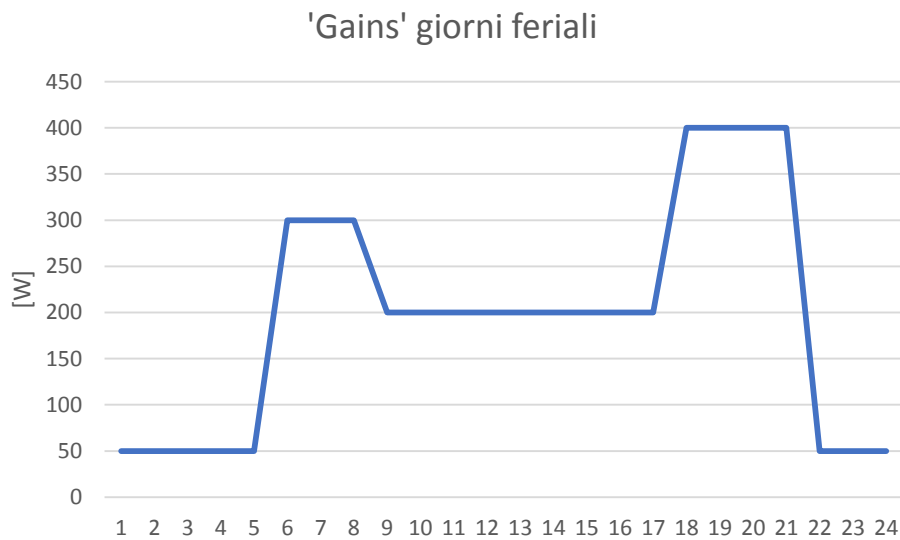


Figura 5 - Carichi termici interni nei giorni feriali.



Figura 6 - Carichi termici interni nei giorni festivi.

Ventilazione e infiltrazioni

Non sono stati ipotizzati sistemi di ventilazione meccanica, ma solo quella naturale. I ricambi d'aria sono stati fissati a 0.5 vol/h per i modelli che presentano infissi degli anni '70 e '90, mentre a 0.3 vol/h per i modelli con infissi più recenti; questo per rappresentare i diversi livelli di infiltrazioni che distinguono gli infissi più recenti da quelli degli anni '70 e '90.

Periodo di riscaldamento

Per il riscaldamento si è optato per un funzionamento continuo dell'impianto, che comporta la possibilità di avere potenze di picco più ridotte rispetto al funzionamento intermittente dell'impianto. Il fabbisogno di energia dipende anche da questa scelta ed è più alta rispetto un funzionamento intermittente.

Come previsto da normativa per edifici residenziali in zona climatica E, l'impianto prevede il mantenimento di una temperatura interna all'appartamento di 20°C, nel periodo che va dal 15 ottobre al 15 aprile [17].

2.3. Gli interventi di riqualificazione sull'involucro

Il lavoro procede con l'individuazione degli interventi di riqualificazione tali da permettere di raggiungere gli standard normativi previsti per accedere agli incentivi; al tempo stesso i materiali e le tecnologie scelte sono quelle comunemente utilizzate negli interventi di ristrutturazione e riqualificazione edilizia, così da favorire interventi che garantiscano un risparmio energetico, un aumento di comfort ed un costo contenuto.

Vengono quindi considerati in primo luogo gli interventi sull'involucro ed in secondo luogo la sostituzione parziale o completa del sistema di riscaldamento.

Per gli interventi sull'involucro dell'edificio l'unica incentivazione possibile per soggetti privati è quella delle detrazioni fiscali. L'incentivo ottenibile, in riferimento al periodo fino al 31 dicembre 2021 relativamente ai condomini, è quindi del 70% se l'intervento è relativo alle parti comuni e copre almeno il 25% della superficie disperdente lorda. Se questa soglia non viene raggiunta, o l'intervento è su edifici non condominiali, si ottiene comunque una detrazione del 65% per quanto riguarda le spese per l'isolamento di superfici opache.

Per quanto riguarda gli infissi, qualunque sia l'edificio in esame, se non si rientra nel caso dell'incentivo al 70%, questi lavori vengono incentivati al 50%.

Si sottolinea infine che per i condomini, se con tali interventi, anche in combinazione con altri, si ottenessero i livelli richiesti da normativa per la riqualificazione energetica dell'edificio, l'incentivo risulterebbe del 75%.

Gli standard da raggiungere sono definiti dal decreto del Ministro dello Sviluppo Economico del 26 gennaio 2010 e sono riportati nella tabella 10. Poiché presenta limiti più stringenti anche rispetto al

decreto del 26 giugno 2015 del Ministro dello Sviluppo Economico relativo alla riqualificazione energetica, si potrà accedere a qualsiasi tipologia di detrazione attualmente in vigore [3] [18] [19] [20].

Tipologia intervento		U_{max} [W/m ² K]	Note
Interventi sugli involucri degli edifici esistenti	Coperture	0,24	-
	Pavimenti	0,3	-
	Pareti	0,27	-
	Finestre	1,8	(Comprehensive di infissi) delimitanti il volume riscaldato, verso l'esterno o verso vani non riscaldati

Tabella 10 - Limiti normativi per accedere agli incentivi.

Per le superfici opache è stato scelto di utilizzare un cappotto con materiale isolante l'EPS (polistirene espanso) poiché il più utilizzato [21] [22] grazie alle buone prestazioni, praticità di installazione e costi contenuti. Lo spessore dipende dalla stratigrafia esistente e dal limite di trasmittanza che si voleva raggiungere secondo la tabella 10.

Si ipotizza di installare lo strato di EPS sull'esterno delle pareti sopra l'intonaco esistente. Per i modelli TRNSYS si ipotizza una stratigrafia aggiuntiva semplificata come riportato nella tabella 11 [23] [24] [25].

	Conducibilità [W/mK]	Capacità [kJ/kgk]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
EPS	0,035	1,260	22	
Rasante	0,480	0,950	1400	0,008
Intonaco di finitura	0,900	0,910	1800	0,002

Tabella 11 - Stratigrafia aggiuntiva intervento superfici opache.

Per gli infissi la scelta è ricaduta sulla tipologia in PVC poiché sono stati i più installati negli ultimi anni [2] grazie al miglior compromesso tra qualità, prestazioni e prezzo. Per la trasmittanza globale degli infissi si è optato per valori che rispettassero i valori massimi stabiliti dal decreto interministeriale del 16 febbraio 2016 relativo al conto termico, quindi $U_{max} = 1,3$ W/m²K [6] [7]. Questa scelta è stata fatta ipotizzando che nel prossimo futuro i valori di trasmittanza minimi per accedere anche alle detrazioni fiscali verranno abbassati, ed in tal modo lo studio potrà comunque avere una valenza successiva a tale modifica. La stessa ipotesi non viene fatta per le superfici opache,

per le quali la differenza di costo sarebbe trascurabile. Le considerazioni che verranno fatte rimarranno valide o al più migliorabili, cosa che invece non sarebbe scontata per gli infissi, per i quali il costo varia molto di più in base alla trasmittanza desiderata. Inoltre dal punto di vista energetico, una scelta in tal senso anche per le superfici opache, avrebbe portato a risultati troppo ottimistici rispetto alla prassi costruttiva odierna, con spessori di isolante raramente utilizzati.

Di seguito si riportano, per ogni modello in analisi, lo spessore dei pannelli di EPS, la trasmittanza delle superfici opache, le trasmittanze del vetro, del telaio e globale degli infissi e il valore di vol/h imputabili alle infiltrazioni e ventilazione naturale. Ogni altro parametro non citato rimane invariato rispetto al modello di riferimento iniziale.

Per il condominio si sono considerati due casi di intervento sulle superfici opache: l'isolamento delle sole pareti laterali oppure l'isolamento di tutta la superficie opaca, compresi il tetto ed il solaio verso il porticato.

Per la villetta non viene analizzata la soluzione con isolamento completo delle superfici opache, ma solo quello di pareti laterali. Questa scelta si deve al fatto che i costi per l'isolamento completo sarebbero smisurati e quindi ritenuta una scelta difficilmente affrontabile in un'unica volta, ma soprattutto, per quanto si vedrà dai risultati sui condomini, in termini di payback time tale scelta risulta ininfluente. Quindi i casi di isolamento completo sono deducibili da quelli con isolamento delle sole pareti laterali, considerando una spesa ulteriore, ed un beneficio proporzionale. Questa resta quindi una scelta solo economica, dipendente dalla disponibilità finanziaria del privato.

Gli interventi effettuati, a partire dai modelli originali, sono per condominio e villetta:

- Isolamento delle sole pareti laterali ('_capp')
- Sostituzione dei soli serramenti ('_serr')
- Isolamento delle sole pareti laterali e sostituzione dei serramenti ('_capp_serr')

Per i condomini si hanno inoltre gli interventi:

- Isolamento di tutte le superfici opache (_capp_tot)
- Isolamento di tutte le superfici opache e sostituzione dei serramenti (_capp_tot_serr).

Per i modelli _70 non si applica l'intervento con solo cappotto (parziale o totale) poiché con infissi di quell'epoca, comunemente non si effettua l'isolamento delle pareti se non dopo, o contemporaneamente, aver sostituito gli infissi. Tra parentesi è stata utilizzata la sigla usata per ogni tipologia di intervento.

Per le villette quindi, in ogni sezione relativa alle superfici opache, si deve guardare alle sole pareti laterali.

_70	_originale	_capp	_capp_tot	_serr	_capp_serr	_capp_tot_serr
Spessore EPS aggiunto [cm]						
Pareti esterne	-	-	-	-	10	10
Pav. verso il porticato	-	-	-	-	-	10
Soffitto tetto piano	-	-	-	-	-	14
Trasmittanza U [W/m²K]						
Pareti esterne	1.14	-	-	1.14	0.27	0.27
Pav. verso il porticato	1.61	-	-	1.61	1.61	0.29
Soffitto tetto piano	1.67	-	-	1.67	1.67	0.22
Trasmittanza U [W/ m²K]						
Vetro	5.68	-	-	1.27	1.27	1.27
Telaio	2.27	-	-	1.30	1.30	1.30
Infisso	5.17	-	-	1.27	1.27	1.27
Infiltrazioni e ventilazione [vol/h]						
Vol/h	0.5	-	-	0.3	0.3	0.3

Tabella 12 - Trasmittanza U delle strutture edilizie sottoposte a riqualificazione. Modelli _70.

_70_DOPP	_originale	_capp	_capp_tot	_serr	_capp_serr	_capp_tot_serr
Spessore EPS aggiunto [cm]						
Pareti esterne	-	10	10	-	10	10
Pav. verso il porticato	-	-	10	-	-	10
Soffitto tetto piano	-	-	14	-	-	14
Trasmittanza U [W/m²K]						
Pareti esterne	1.14	0.27	0.27	1.14	0.27	0.27
Pav. verso il porticato	1.61	1.61	0.29	1.61	1.61	0.29
Soffitto tetto piano	1.67	1.67	0.22	1.67	1.67	0.22
Trasmittanza U [W/m²K]						
Vetro	2.83	2.83	2.83	1.27	1.27	1.27
Telaio	2.27	2.27	2.27	1.30	1.30	1.30
Infisso	2.75	2.75	2.75	1.27	1.27	1.27
Infiltrazioni e ventilazione [vol/h]						
Vol/h	0.5	-	-	0.3	0.3	0.3

Tabella 13 - Trasmittanza U delle strutture edilizie sottoposte a riqualificazione. Modelli _70_DOPP.

_90	_originale	_capp	_capp_tot	_serr	_capp_serr	_capp_tot_serr
Spessore EPS aggiunto [cm]						
Pareti esterne	-	8	8	-	8	8
Pav. verso il porticato	-	-	8	-	-	8
Soffitto tetto piano	-	-	10	-	-	10
Trasmittanza U [W/m²K]						
Pareti esterne	0.67	0.26	0.26	0.67	0.26	0.26
Pav. verso il porticato	0.67	0.67	0.26	0.67	0.67	0.26
Soffitto tetto piano	0.68	0.68	0.23	0.68	0.68	0.23
Trasmittanza U [W/m²K]						
Vetro	2.83	2.83	2.83	1.27	1.27	1.27
Telaio	2.27	2.27	2.27	1.30	1.30	1.30
Infisso	2.75	2.75	2.75	1.27	1.27	1.27
Infiltrazioni e ventilazione [vol/h]						
Vol/h	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.3

Tabella 14 - Trasmittanza U delle strutture edilizie sottoposte a riqualificazione. Modelli _90.

2.4. Gli impianti di emissione e gli interventi di riqualificazione

Oltre a considerare la riqualificazione dell'edificio agendo sull'isolamento dell'involucro, si considerano anche varie opzioni di impianto atte a conseguire un ulteriore risparmio energetico, al fine di indagare le possibilità di sostituire l'impianto di generazione esistente. Infatti, lo studio mira a capire dove sia possibile raggiungere livelli di temperatura di mandata tali da permettere di alimentare l'impianto in scambio diretto. Con scambio diretto si intende l'utilizzo di soli scambiatori di calore che vadano ad alimentare l'impianto di riscaldamento dell'edificio, prelevando il calore dalla rete di teleriscaldamento.

Nei casi in cui si prende in considerazione il teleriscaldamento come sistema di generazione, verrà analizzata questa opzione in contrapposizione alla soluzione con pompa di calore tradizionale.

Si sono scelti quindi sistemi che permettano l'utilizzo del calore termale in scambio diretto, ed altri che lo utilizzino con il supporto di una pompa di calore acqua-acqua. Ipotizzando la rete di teleriscaldamento ad una temperatura di mandata di 40°C, la massima

temperatura di mandata dell'impianto di riscaldamento dell'edificio per permettere lo scambio diretto è 35°C; per la soluzione con pompa di calore, livelli ottimali sarebbero sotto i 55°C, ma anche oltre questa soluzione è possibile, anche se con efficienze minori. Le scelte sono quindi ricadute rispettivamente su sistemi radianti e sistemi con radiatori a bassa temperatura.

Per i casi in cui si analizzino le sonde geotermiche, una pompa di calore sarà sempre necessaria. In tali casi però, l'unica tipologia di impianto di emissione ammissibile sarà il radiante. Altri sistemi porterebbero a temperature di mandata troppo elevate e inefficiente utilizzo del sistema.

Per ogni modello, sia di villetta che di condominio, e per ogni tipologia di impianto, si assume che il sistema di generazione sia unico; questo significa sistema centralizzato per i condomini.

L'impianto originale

Per i modelli _70, _70_DOPP e _90, e loro implementazioni con migliorato isolamento dell'involucro, si assume che l'impianto originario sia costituito da radiatori operanti ad alta temperatura e, nello specifico, si ipotizza la temperatura di mandata pari a 75°C e di ritorno di 65°C. Per il modello _NEW si assume che il sistema originale sia costituito da impianti radianti a pavimento [11].

Radiatori a bassa Temperatura

Per i modelli il cui impianto originale è costituito da radiatori ad alta temperatura, si indaga quando sia possibile soddisfare la potenza di riscaldamento alimentando i radiatori esistenti a bassa temperatura, quindi con temperatura massima di mandata pari a 55°C. Questa soluzione permetterebbe quindi di avere impianti più performanti, senza costi per la sostituzione degli stessi. Per le informazioni tecniche relative ai radiatori si fa riferimento ai radiatori 'Tesi per sostituzione' della IRSAP [26].

Impianti radianti

I sistemi radianti sono sistemi che permettono di ridurre la differenza di temperatura tra sorgente (rete) e serbatoio di calore (edificio). Con reti di teleriscaldamento a temperature di mandata superiori a 35°C è quindi possibile la cessione diretta del calore dalla rete all'impianto senza necessità di sistemi ausiliari (pompe di calore, resistenze elettriche o altro). Possono quindi anche essere utilizzati per sistemi geotermici a pompa di calore. Inoltre, rispetto i ventilconvettori, soddisfano meglio le esigenze di comfort residenziali oltre che permettere di utilizzare temperature anche minori.

Per i sistemi con teleriscaldamento la massima temperatura di mandata ammissibile per considerare tali soluzioni è fissata a 35°C; oltre infatti non si riuscirebbe ad utilizzare lo scambio diretto, e non si

avrebbero quindi vantaggi rispetto l'utilizzo dei radiatori alimentati a bassa temperatura con pompa di calore.

Per le soluzioni con sonde geotermiche, temperature anche poco superiori sono considerate accettabili.

Sono stati scelti due sistemi a pavimento, uno tradizionale ad umido e uno a secco ad ingombro ridotto, ed uno a parete.

Impianto radiante a pavimento tradizionale

E' stato scelto un impianto radiante ad umido a pavimento perché è la soluzione classica e serve sia come riferimento sia perché permette di avere il comfort e le prestazioni migliori. Questa tipologia di impianto richiede però lavori molto importanti in fase di ristrutturazione. Il sistema preso a riferimento per le fasi successive è il sistema 'UPONOR Classic' (Appendice 2a) . Si considera che il nuovo pavimento sia in piastrelle, con resistenza $0.01 \text{ m}^2\text{K/W}$ [27], e che il passo dei tubi sia di 10 cm. Entrambe le scelte sono fatte per avere un sistema che possa portare alla massima resa e quindi avere la possibilità di tenere il più basso possibile la temperatura di mandata [28].

Impianto radiante a secco a pavimento ad ingombro ridotto

Si è poi preso in considerazione un impianto radiante a secco a pavimento ad ingombro ridotto poiché questa soluzione si addice maggiormente alle ristrutturazioni siccome è possibile installarlo direttamente sopra la pavimentazione esistente. I lavori sono quindi meno invasivi, ma il costo più elevato. Questo sistema sta conquistando sempre più mercato grazie alla deroga di 10 centimetri sull'altezza minima delle zone abitate nel caso di installazione di sistemi radianti a pavimento o soffitto, introdotta dal decreto del 26 giugno 2015 [29]. Il sistema preso a riferimento per le fasi successive è il sistema 'LOEX Home Plain Clima' (Appendice 2b) [27]. Il nuovo pavimento si considera sempre in piastrelle per le stesse considerazioni fatte per il caso precedente.

Impianto radiante a secco a parete

Si è infine considerato un impianto radiante a secco a parete, considerato da applicare sulle sole pareti rivolte verso l'esterno poiché anche questa soluzione si addice alle ristrutturazioni. Questo poiché viene installato sopra il pacchetto murario esistente. Inoltre, rispetto il sistema a secco a pavimento, questo presenta il vantaggio di non dover rimuovere tutti i mobili, cosa che in alcuni casi può essere determinante per l'accettazione o meno da parte del cliente. Il sistema preso a riferimento per le fasi successive è il sistema 'UPONOR Renovis' (Appendice 2c) [28]. Per il rivestimento è considerato un intonaco con resistenza $0.03 \text{ m}^2\text{K/W}$. Questo tipo di sistemi, nonostante il costo ridotto ed il vantaggio

nell'installazione, risulta poco accettato nel residenziale poiché introduce un ingombro non indifferente sulle pareti interne, con riduzione dello spazio abitabile.

2.5. Il sistema di generazione e gli interventi di riqualificazione

Come sistema di generazione originale, usato come base per valutare il miglioramento delle prestazioni energetiche post-intervento, si è considerata una caldaia a gas tradizionale per tutti gli edifici, eccezion fatta per i modelli _NEW che vengono invece considerati con caldaia a condensazione.

Caldaia tradizionale

E' il sistema di generazione ancora più diffuso e quindi considerato come baseline per quei modelli rappresentativi di soluzioni realizzate prima dell'ampia diffusione delle caldaie a condensazione [30].

Caldaia a condensazione

La caldaia a condensazione viene considerata tra le opzioni di riqualificazione, perché soluzione standard a costo contenuto per ridurre i consumi senza dover alterare in alcun modo il sistema di emissione, se non nella gestione per ottenere prestazioni più elevate [31].

Teleriscaldamento a bassa temperatura con pompe di calore distribuite (TLR)

La rete di teleriscaldamento presa in considerazione è a bassa temperatura. Questa tipologia di reti di teleriscaldamento, dette di quarta o a volte quinta generazione, si adatta alla necessità di utilizzare fonti di calore rinnovabili che sono disponibili normalmente a più bassa temperatura rispetto quelle ottenibili da fonti fossili. Questo inoltre porta il beneficio della riduzione delle perdite di distribuzione oltre che degli stress termici delle tubazioni. Nel caso studio si considera una temperatura di mandata della rete pari a 40°C ed una di ritorno di 30°C.

Considerati questi livelli di temperatura della rete, risulta chiaro che il calore non sarà alla temperatura sufficiente per ogni uso di ogni edificio. Dove si abbiano radiatori, le temperature necessarie a riscaldare gli ambienti interni variano dai 55°C ai 75°C a seconda dell'edificio considerato, in particolare dal grado di isolamento dell'involucro. Nel caso di impianti radianti, nella maggior parte dei casi la temperatura sarebbe invece tale da permettere lo scambio diretto senza pompa di calore intermedia tra rete ed edificio. Le temperature si attestano infatti tra i 30°C e i 35°C [11].

Altro fattore di utilizzo di calore negli edifici deriva dalla produzione di acqua calda sanitaria, la cui temperatura di produzione varia a seconda della presenza o meno di serbatoi di accumulo. In presenza di accumuli termici per ACS, la temperatura sarà superiore per non avere ingombri elevati e soprattutto per evitare la formazione di legionella, quindi con temperature di 55-60°C. Al fine di ottenere buone prestazioni sarebbe quindi opportuno limitare la presenza di accumuli termici, ma questo va contro la necessità di limitare la potenza installata necessaria. Infatti, all'aumentare del volume di accumulo, cala la potenza necessaria, e viceversa. Negli impianti moderni con pompa di calore, si ha quindi l'adozione di sistemi di accumulo per limitare il costo di investimento del sistema di generazione.

Si renderà così necessaria per ogni situazione l'adozione di una pompa di calore, che sarà però utilizzata e dimensionata per la sola ACS nei casi in cui si possa andare in scambio diretto per il riscaldamento. A seconda del terminale utilizzato e del grado di isolamento dell'edificio si opterà per una delle due soluzioni, e quindi:

- Pompa di calore sia per ACS che riscaldamento, con pompe di calore distribuite sul territorio e quindi in prossimità dell'utente, e non per una pompa di calore centralizzata a monte del sistema di distribuzione, per tenere più bassa la temperatura nelle tubazioni, con i benefici già descritti, e per migliorare l'efficienza del sistema, facendo lavorare le pompe di calore solo fino ai livelli di temperatura effettivamente necessari all'edificio. I livelli di temperatura dipendono infatti dal sistema di emissione e dal sistema per l'ACS. Per gli indici prestazionali delle pompe di calore di questa soluzione si farà riferimento a studi precedenti, fatti su sistemi di questo genere e con i medesimi livelli di temperatura.
- Pompa di calore sempre tra rete ed edificio solo per ACS, e scambio diretto per il riscaldamento. Le prestazioni medie della pompa di calore saranno più scadenti, poiché durante l'anno dovranno lavorare mediamente con un salto di temperatura maggiore rispetto che nel caso in cui servissero anche per il riscaldamento. In compenso però, l'energia utilizzata sarebbe decisamente minore, con un risparmio di energia elettrica, nonché primaria e di emissioni assolutamente considerevole.

Sonde geotermiche a circuito chiuso

Oltre che alla rete di teleriscaldamento, si analizza la possibilità e convenienza di sonde geotermiche. Questo sia per sfruttare l'anomalia termica del terreno in zone come quella del Comune in analisi, per edifici che sorgano distanti dal centro del Comune e quindi non convenientemente raggiungibili dalla rete, sia per poter estendere i risultati anche a zone dove non si abbia affatto il teleriscaldamento. Per questo lo studio sulle sonde viene fatto con tre livelli di gradienti termici: 0,5 K/m, 0,13 K/m e 0,03

K/m. I primi gradienti si riferiscono ad aree rispettivamente ad alta e media anomalia termica del terreno, il terzo è invece il gradiente medio standard per tutta la superficie terrestre e quello presente nella maggior parte delle aree. La zona di Montegrotto presenta in alcune aree anche anomalie superiori a 0,5 K/m, e questo ne è un valore medio [12]. La tipologia di sonda utilizzata è a doppia U ed il dimensionamento sarà fatto secondo il metodo ASHRAE [32].

In questo caso per le pompe di calore considerate si fa riferimento a soluzioni progettate appositamente per sistemi geotermici [33] e che rispettino i vincoli imposti per l'ottenimento degli incentivi [34].

2.6. Scenari di integrazione di impianti fotovoltaici

Infine viene svolta un'indagine qualitativa sulle potenzialità del fotovoltaico in accoppiamento con la pompa di calore. Si vuole indagare la possibilità di questo di ridurre ulteriormente le emissioni di CO₂ imputabili all'edificio, utilizzando questa come fonte di alimentazione della PdC quando sia possibile. Si valuta un sistema senza accumulo e quindi con i benefici ambientali ed economici che derivano dall'autoconsumo e dallo scambio sul posto. L'altro obiettivo conseguibile con l'installazione di PdC è quello di ridurre il picco di carico sulla rete, ed anche per questo si indagheranno le potenzialità.

In secondo luogo si valutano i benefici a livello locale. Non si è fatta distinzione tra condominio e villetta, poiché il grosso della differenza la fa solo il numero di piani, a parità di involucro ed impianti. Si sono solo ipotizzati i tre casi con edifici ad un piano, due piani, tre piani.

Allo stesso modo non si è fatto uno studio approfondito per ogni tipologia analizzata nel resto dell'elaborato, ma sono stati considerati modelli tipo per gradi di isolamento scarso, medio ed alto.

Queste scelte derivano dal fatto che il focus della tesi è rivolto alla parte termica dell'edificio e questa vuole solo essere un'indicazione di massima utile a considerare o meno la possibilità di fare studi ulteriori da parte dell'utente che si approcci alla riqualificazione del proprio edificio ed infine una valutazione qualitativa a livello locale dell'interazione della riqualificazione di involucro, impianti e fotovoltaico. Inoltre, non essendo in analisi uno specifico edificio, ma un modello generico, spingersi oltre non porterebbe a risultati realmente utili, anche perché il fotovoltaico e i suoi benefici dipendono dalla sua gestione e contratto elettrico intesi sia come tariffa e funzionamento, sia come tipologia di

accordo eventuale tra proprietario dell'impianto (fotovoltaico, ma anche di riscaldamento e ACS) e proprietario dell'edificio che potrebbe essere semplice fruitore di servizi energetici.

Anche per il fotovoltaico ci si avvale del programma TRNSYS per la simulazione della curva di produzione dell'impianto.

Capitolo 3. Metodo

La procedura che viene presentata in questo capitolo, viene seguita in modo analogo per ogni modello e cambiano di volta in volta solo i dati caratterizzanti l'edificio, ovvero la tipologia costruttiva (villetta o condominio), il grado di isolamento termico (in funzione dell'epoca costruttiva) e gli interventi di riqualificazione.

3.1. Analisi energetica

Ai fini dell'analisi, i parametri necessari da calcolare dal punto di vista energetico sono tre: la potenza di picco, il fabbisogno annuo e la temperatura di mandata; il tutto relativamente al sistema di riscaldamento invernale. La potenza ed il fabbisogno sono stati calcolati grazie a modelli realizzati con il software TRNSYS, che permette analisi dinamiche; la temperatura di mandata è stata calcolata sulla base di questi dati e delle schede tecniche dei sistemi di riscaldamento in analisi.

I modelli TRNSYS

TRNSYS (Transient System Simulation Tool) è un software basato su programmazione ad interfaccia grafica che permette di simulare il comportamento di sistemi energetici, ed in particolare termici, in regime dinamico. E' costituito sostanzialmente da due parti: una dedicata alla risoluzione dei sistemi che si vanno ad analizzare; l'altra, che contiene circa 150 modelli di sistemi o componenti, è utile a creare il sistema generale da analizzare o l'interfaccia grafica per la lettura, risoluzione e produzione dei dati [35].

Per quanto concerne l'analisi degli edifici, essendo questi sistemi molto complessi, li si devono modellare nel tool dedicato (TRNBuild) e quindi inserire il modello ottenuto nel tool principale, con interfaccia basata su schema a blocchi, che esegue la simulazione (Simulation Studio).

In TRNBuild ogni condominio è stato implementato grazie a 9 modelli differenti. La scelta è stata quella di analizzare il condominio a livello di appartamento in modo da ottenere un livello di dettaglio e quindi accuratezza migliore; i modelli sarebbero quindi 12. Si hanno infatti tre piani e per ogni piano un appartamento lato ovest, uno lato est, e due centrali. Però, siccome i due centrali sono identici, piano per piano, se ne analizza solo uno, e i risultati saranno poi moltiplicati per due. Per

ogni appartamento vengono comunque rispettate le condizioni di prossimità con altri appartamenti, definendo le superfici che nell'intero condominio confinano con altri appartamenti, come adiabatiche. Per ogni villetta si ha un solo modello per ognuna di essa.

Per implementare il singolo modello, in TRNBuild si devono eseguire le seguenti operazioni:

- Definire l'emisfero dove si trova l'edificio: Nord.
- Definire le orientazioni ('orientations') possibili delle superfici esterne, che saranno poi assegnate ad ogni superficie inserita nel modello: Nord, Sud, Ovest, Est inclinate tutte a 90 gradi rispetto terra (slope = 90°) e tutte perpendicolari alla direzione da cui prendono il nome; e la superficie orizzontale che avrà slope = 0°. Per i modelli della villetta si hanno anche le orientazioni 'falda sud' e 'falda nord' che definiscono l'inclinazione delle due falde della copertura (slope = 30°). In TRNBuild tali orientazioni sono solo definite come nome, sarà poi Simulation Studio ad attribuirne di fatto l'orientazione.
- Definire, o meglio, controllare le proprietà ('properties') necessarie al programma per effettuare i calcoli; sono proprietà dell'aria, dell'acqua, parametri per coefficienti di scambio termico, etc.
- Definire gli input ('inputs') necessari al modello.
- Definire gli output ('outputs') che si vogliono ottenere.
- Definire le zone termiche ('zones'), ovvero quelle in cui suddividiamo il modello e all'interno delle quali consideriamo ci sia temperatura uniforme. Per gli appartamenti si considera di assumere, in via semplificata, un'unica zona termica per tutto l'appartamento, che sarà la zona di cui ci interessano gli output, e una zona per il vano scale, non riscaldato, che serve per implementare correttamente il modello dell'appartamento poiché questo ha una parte adiacente ad esso. Per le villette, si considerano due zone termiche per le quali ci interessano gli output, ovvero le zone relative al primo e secondo piano rispettivamente, e una zona termica per il sottotetto, che serve per implementare correttamente il modello delle villette.

Quindi si passa ad implementare ogni componente che andremo ad utilizzare, ovvero superfici opache ed infissi.

Per le superfici opache si hanno due passi da fare:

- Definire ogni strato del pacchetto murario ('layer type') che può essere un 'massless layer' e quindi dover inserire solo la resistenza di tale strato, oppure 'massive layer' e doverne quindi definirne la conducibilità termica, la capacità termica e la densità.

-Definire il pacchetto murario ('wall type') indicando di quali strati è composto e che spessore ha ogni strato, il coefficiente di assorbimento alle lunghezze d'onda solari, e il coefficiente di emissione alle lunghezze d'onda dell'infrarosso, ed infine i coefficienti di scambio termico convettivo interno ed esterno.

- Per gli infissi si definisce il 'window type' costituito dalle informazioni relative al vetro, al telaio e i coefficienti di scambio termico convettivo interno ed esterno.

Infine, per ogni zona termica si deve:

- Aggiungere ogni superficie di cui è composto l'edificio, definirne il wall type, l'area, dire se è una superficie 'internal', 'external', 'adjacent' (quindi definire la zona termica cui è adiacente) o 'boundary' (e quindi superficie che separa la zona termica in esame da un altro ambiente alla stessa temperatura), definirne l'orientazione, il fattore di vista rispetto al cielo ed infine quante finestre sono presenti su tale superficie (indicandone la tipologia e l'area).

- Definire il riscaldamento: temperatura costante di 20°C.

- Definire il raffrescamento: temperatura costante di 26°C e deumidificazione per ottenere un'umidità relativa del 50%.

- Definire le infiltrazioni ed eventuale ventilazione meccanica: varierà tra 0.3 e 0.5 vol/h a seconda del modello, non si ha ventilazione meccanica.

- Definire i carichi interi: viene utilizzato un andamento standard con una funzione variabile con l'ora del giorno.

- Definire le condizioni iniziali di temperatura e umidità relativa.

Per effettuare la simulazione in Simulation Studio si deve costituire uno schema a blocchi in cui si inseriscono i dati climatici, come primo blocco, collegati come input al modello generato in TRNBuild e qui inserito come secondo blocco, infine un blocco con la funzione di salvare gli output voluti e crearne i grafici.



Figura 7 - Schema a blocchi di Simulation Studio.

Si è utilizzato il file climatico .epw di Venezia, essendo questa una località vicina e dunque rappresentativa del clima presente a Montegrotto Terme, luogo del caso di studio fin qui considerato.

La simulazione ha una durata di due anni con un intervallo temporale (time-step) pari a 15 minuti. La scelta di effettuare i calcoli per due anni è stata fatta per considerare gli effetti dell'inerzia termica dell'edificio durante le prime ore della simulazione.

Il calcolo del fabbisogno specifico netto

Grazie ai modelli implementati come appena descritto, in primis si va a calcolare il fabbisogno netto degli edifici. Il calcolo, per i condomini, viene effettuato sui singoli appartamenti e poi sommato. Per le villette si sommano gli output delle due zone termiche. L'output di Simulation Studio è la potenza richiesta per il riscaldamento espressa in kW/h, calcolata ogni 15 minuti. I risultati che verranno poi riportati saranno già frutto di elaborazione e si riporterà l'energia richiesta per il riscaldamento. Questa viene calcolata come la somma dell'energia richiesta per il riscaldamento dall'1 gennaio al 15 aprile e dal 15 ottobre al 31 dicembre del secondo anno di simulazione. Per passare da potenza in kW/h calcolata ogni 15 minuti ad energia annua in kWh, si procede così:

$$E_{\text{risc}_y} = \sum_{15 \text{ apr}}^{1 \text{ gen}} \frac{P_{\text{risc}_{15\text{min}}}}{4 * 3600} + \sum_{31 \text{ dic}}^{15 \text{ ott}} \frac{P_{\text{risc}_{15\text{min}}}}{4 * 3600} \quad (1)$$

Infine per ottenere un valore più facilmente confrontabile e di maggior valenza analitica, si divide l'energia così trovata per la superficie lorda in pianta (quindi quella compresa entro il perimetro interno dei muri esterni e comprendente i muri interni) ottenendo così il fabbisogno annuo specifico netto.

Il calcolo della potenza specifica netta

In secondo luogo si calcola la potenza di picco richiesta per il riscaldamento. Questa verrà presa come riferimento per le valutazioni successive ed ogni dimensionamento in potenza necessario. Si è scelto di utilizzare questa e non la potenza calcolata secondo la UNI EN 12831 poiché si vuole fare una stima della potenza effettivamente necessaria con impianti che lavorino in modalità continua per mantenere la temperatura di comfort richiesta tenendo conto dell'inerzia termica dell'edificio. Le potenze calcolate secondo la UNI EN 12831 presentano potenze tra il 17% e 62% più elevate.

La potenza di picco viene quindi semplicemente ottenuta prendendo il massimo della potenza richiesta per il riscaldamento dall'1 gennaio al 31 dicembre del secondo anno di simulazione.

Infine per ottenere un valore più facilmente confrontabile e di maggior valenza analitica, si divide la potenza così trovata per la superficie lorda in pianta, ottenendo così la potenza specifica netta.

Valutazione fattibilità impianto

Per giudicare dov'è possibile utilizzare una determinata tipologia di impianto di riscaldamento si deve confrontare la massima potenza erogabile dall'impianto con la potenza richiesta nella stanza più sfavorita dell'appartamento più sfavorito del condominio in esame. Questo perché si parte dal presupposto che il sistema di generazione sia centralizzato, e quindi anche il sistema di emissione debba essere lo stesso in ogni appartamento, o perlomeno con lo stesso livello di temperatura. In particolare per le analisi successive si assume che l'impianto debba essere esattamente lo stesso in ogni appartamento. Per la villetta si considera la stanza più sfavorita.

Il calcolo della temperatura di mandata del sistema di riscaldamento

La massima potenza erogabile dai radiatori a bassa temperatura è stata ricavata dalla potenza per la quale sono stati dimensionati originariamente, quindi secondo la UNI EN 12831 per l'edificio originale. Infatti si presuppone di utilizzare solo i radiatori già esistenti, ma eserciti a temperatura di mandata pari a 55°C. Poiché la stanza più sfavorita del condominio non è sempre la stessa, si è optato per esplicitare la potenza specifica dei radiatori, e non quella assoluta. Il riferimento è però inusuale, in quanto non ci si riferisce alla superficie del radiatore, ma alla superficie netta in pianta della stanza in cui è installato il radiatore. La potenza specifica, così intesa, è quindi calcolata secondo la formula:

$$q_{bT} = q_{orig} * \left(\frac{T_{med_{bT}} - T_{amb}}{T_{med_{orig}} - T_{amb}} \right)^n \quad (2)$$

Dove, nel caso in analisi, si ha la temperatura media dell'acqua nell'impianto originale ($T_{med_{orig}}$) pari a 70°C, la temperatura media dell'acqua nell'impianto a bassa temperatura ($T_{med_{bT}}$) pari a 50°C, la temperatura ambiente (T_{amb}) pari a 20°C e l'esponente n pari a 1,3 [26].

La q_{orig} sarà chiaramente la stessa per ogni modello afferente allo stesso modello originale. Si avranno quindi solo una q_{orig} per i modelli anni '70 e una q_{orig} per i modelli anni '90. Per i modelli _NEW si è supposto che si abbiano sistemi radianti a pavimento, quindi questa voce non comparirà in analisi.

Per gli impianti radianti la potenza massima dipende dalla differenza media logaritmica tra le temperature del fluido e l'ambiente [27] [28].

Viene quindi calcolata la temperatura minima di mandata per poter far fronte alla potenza richiesta nella stanza più sfavorita dell'edificio. Questa sarà la temperatura a cui dovrà essere erogata la

potenza termica dal sistema di generazione. Per il condominio, comunque, in ogni appartamento ci sarà questo livello di temperatura di mandata. Gli impianti delle zone meno critiche per il riscaldamento, saranno quindi parzializzati nell'esercizio, ma vi è anche la possibilità di avere, dove possibile, impianti differenti, ad esempio nel passo tubi dei sistemi radianti.

La temperatura di mandata è quindi così calcolata:

- Radiatori esistenti eserciti a bassa temperatura

$$T_{mandata} = T_{amb} + \left(\frac{q_{max_edificio}}{q_{orig}} \right)^{\frac{1}{n}} * (T_{med_orig} - T_{amb}) + 5 \quad (3)$$

Si è fissato a 10°C la differenza di temperatura tra mandata e ritorno. Si noti che q_{orig} è riferito al calcolo con la UNI EN 12831, mentre $q_{max_edificio}$ deriva dalle simulazioni TRNSYS, come spiegato in precedenza.

- Impianti radianti

La formula di riferimento per gli impianti radianti è quella che lega la potenza termica q_{rad} alla differenza media tra la temperatura del fluido e dell'ambiente ($\Delta\theta$). Questa è ricavata dai grafici di resa termica come quello riportato sotto ad esempio, e presenti in appendice 2. La seguente formula rappresenta infatti la linea rossa verticale della figura 8.

$$q_{rad} = k * \Delta\theta \quad (4)$$

k è caratteristico dell'impianto prescelto. Si fissa a 5°C la differenza tra la temperatura di mandata e ritorno. Si utilizza la semplice differenza di temperatura e non la media logaritmica grazie al fatto che si hanno piccoli salti di temperatura e quindi le due grandezze sono approssimabili una con l'altra.

Si ottiene quindi:

$$T_{mandata} = T_{amb} + \frac{q_{max_edificio}}{k} + 2,5 \quad (5)$$

k vale 6 per l'impianto ad umido a pavimento, 6.8 per l'impianto a secco a pavimento e 3.65 per l'impianto a secco a parete.

E' la temperatura di mandata così calcolata, che determina la possibilità o meno di utilizzare l'impianto per lo scopo prefissato. Le temperature limite sono: 55°C per i radiatori a bassa temperatura e 35°C per i sistemi radianti.

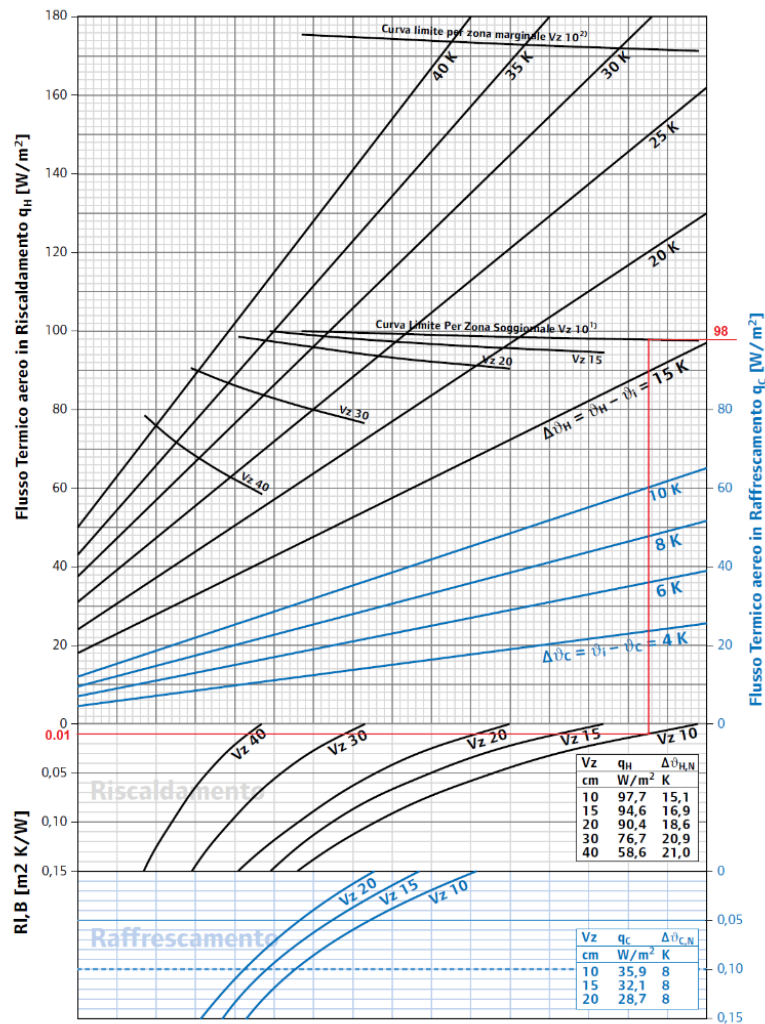


Figura 8 - Caratteristica impianto radiante.

Il calcolo del fabbisogno e della potenza edificio-impianto

Il fabbisogno e la potenza edificio - impianto tengono conto anche di tutte le inefficienze e perdite legate ai sottosistemi di distribuzione, regolazione ed emissione; si ottengono dividendo rispettivamente il fabbisogno e la potenza per i rendimenti di questi sottosistemi.

Anche qui ci si riferirà poi a grandezze specifiche per un miglior confronto ed estendibilità dei risultati.

Calcolo rendimenti d'impianto

Sia per le villette che per i condomini, si eseguono valutazioni medie sull'intero edificio. I rendimenti da calcolare sono quelli di emissione, regolazione e distribuzione. Verranno considerati in seconda battuta invece, i rendimenti di generazione e saranno anche calcolati in modo differente. Questi tre rendimenti vengono invece calcolati secondo la UNI TS 11300:2 per valutazioni di tipo A2, quindi valutazioni standard, e per locali con altezza H fino a 4 metri.

Sottosistema di emissione

Per il sistema di emissione si deve considerare il prospetto 17 della norma UNI TS 11300:2.

Tipologia di terminale	Carico termico medio annuo ^{a)} [W/m ³]		
	<= 4	4-10	>10
Radiatori su parete esterna isolata ^{b)}	0,98	0,97	0,95
Radiatori su parete interna	0,96	0,95	0,92
Ventilconvettori ^{**)} (valori riferiti a f_{media} acqua = 45 °C)	0,96	0,95	0,94
Termoconvettori	0,94	0,93	0,92
Bocchette in sistemi ad aria calda ^{***)}	0,94	0,92	0,90
Pannelli annegati a pavimento	0,99	0,98	0,97
Pannelli annegati a soffitto	0,97	0,95	0,93
Pannelli a parete	0,97	0,95	0,93
Riscaldatori ad infrarossi	0,99	0,98	0,97

a) Il carico termico medio annuo espresso in W/m³ è ottenuto dividendo il fabbisogno annuo di energia termica utile espresso in Wh, calcolato secondo la UNI/TS 11300-1, per il tempo convenzionale di esercizio dei terminali di emissione, espresso in ore, e per il volume lordo riscaldato del locale o della zona espresso in metri cubi.

b) Il rendimento indicato è riferito ad una temperatura di mandata dell'acqua minore o uguale a 55 °C. Per temperatura di mandata dell'acqua di 85 °C il rendimento decrementa di 0,02 e per temperature di mandata comprese tra 55 e 85 °C si interpola linearmente. Per parete riflettente, si incrementa il rendimento di 0,01. In presenza di parete esterna non isolata ($U > 0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) si riduce il rendimento di 0,04.

***) I consumi elettrici non sono considerati e devono essere calcolati separatamente. Il valore di rendimento riportato in tabella tiene già conto del recupero dell'energia elettrica, che quindi deve essere calcolata solo ai fini della determinazione del fabbisogno di energia ausiliaria e non dell'eventuale recupero.

****) Per quanto riguarda i sistemi di riscaldamento ad aria calda i valori si riferiscono a impianti con:
 - bocchette o diffusori correttamente dimensionati in relazione alla portata e alle caratteristiche del locale;
 - corrette condizioni di funzionamento (generatore di taglia adeguata, corretto dimensionamento della portata di aspirazione);
 - buona tenuta all'aria dell'involucro e della copertura.
 La distribuzione con bocchette di mandata in locali di altezza maggiore di 4m non è raccomandata. In presenza di tale situazione e qualora le griglie di ripresa dell'aria siano posizionate ad un'altezza non maggiore di 2 metri rispetto al livello del pavimento è opportuno un controllo della stratificazione.

Figura 9 - Prospetto 17 della UNI TS 11300:2. Rendimenti di emissione in locali di altezza fino a 4 metri.

Quindi il rendimento di emissione dipende dal carico medio annuo [W/m³] e dal sistema di emissione considerato. Per i radiatori, inoltre, dipende dalla superficie sulla quale poggiano e se su parete esterna dal grado di isolamento di questa; minore la trasmittanza, maggiore il rendimento. Inoltre il rendimento di emissione dei radiatori dipende dalla loro temperatura di esercizio; a temperature minori corrispondono rendimenti maggiori.

Sottosistema di regolazione

Per i sistemi originali a radiatori, si considera per tutti i modelli un sistema di regolazione a 'Zona più climatica, P banda prop. 1°C' per sistemi a bassa inerzia termica.

Nel caso di sistemi a radiatori a bassa temperatura, poiché gli interventi fatti sono volti a migliorare l'efficienza del sistema, si considera anche di migliorare il sistema di regolazione e passare ad un sistema 'Zona più climatica, P banda prop. 0,5°C per sistemi a bassa inerzia termica'.

Per il sistema di regolazione si deve considerare il prospetto 20 della norma UNI TS 11300:2.

Tipo di regolazione	Caratteristiche della regolazione	Sistemi a bassa inerzia termica	Sistemi ad elevata inerzia termica	
		Radiatori, convettori, strisce radianti ed aria calda	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	Pannelli annegati nelle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente
Solo Climatica (compensazione con sonda esterna) $K = (0,6 \tau_{\text{a}} \gamma)^{0,5}$		K = 1	K = 0,98	K = 0,94
Solo di zona	On-off	0,93	0,91	0,87
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	0,88
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,91
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	0,92
	PI o PID	0,99	0,97	0,93
Solo per singolo ambiente	On off	0,94	0,92	0,88
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	0,89
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
Zona + climatica	On off	0,96	0,94	0,92
	P banda prop. 2 °C	0,96	0,95	0,93
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95
	PI o PID	0,995	0,98	0,96

Figura 10 -Prospetto 17 della UNI TS 11300:2. Rendimenti di regolazione.

Lo stesso ragionamento vale nel caso di passaggio a sistemi radianti, ed in tal caso però si deve considerare un sistema di regolazione ‘Zona più climatica, P banda prop. 0,5°C per sistemi ad elevata inerzia termica disaccoppiati termicamente’.

Sottosistema di distribuzione

Per il sistema di distribuzione si deve considerare il prospetto 23 della norma UNI TS 11300:2 per impianto centralizzato a montanti e distribuzione orizzontale nel cantinato. Per i condomini vengono considerati i parametri relativi agli edifici a 3 piani, per le villette quelli a 2.

Quindi per ogni tipologia si suppone di mediare i valori tra prospetto 23 - 4.1, 23 - 4.2 e 23 - 4.3 questo perché si differenziano in base a dove corre il montante e la distribuzione; per fare valutazioni generiche si è quindi deciso di farne la media.

Quindi in base ai differenti edifici e differenti sistemi di emissione, le differenze dipendono dal grado di isolamento delle tubazioni e dalla temperatura di mandata e ritorno.

Si ipotizza che l'isolamento, secondo la nomenclatura usata in normativa, sia:

- Classe C per sistemi a radiatori negli edifici anni '70.
- Classe B per sistemi a radiatori negli edifici anni '90.
- Classe A in edifici nuovi e in tutti gli edifici in caso di installazione di sistemi radianti. Si considera infatti che in quel caso venga rimesso a punto il sistema di distribuzione.

Infine, in base alle temperature del sistema, si hanno vari fattori correttivi. Solo a tal fine, le temperature considerate sono:

- 80°C - 60°C per il sistema originale a radiatori.
- 55°C - 45°C per sistemi a radiatori a bassa temperatura.
- 35°C - 30°C per sistemi radianti.

3.2. La valutazione economica

La valutazione economica viene fatta sull'insieme degli interventi di riqualificazione energetica degli edifici, quindi considerando sia gli interventi sull'involucro, sia gli interventi sul sistema di riscaldamento ed ACS, compreso l'impianto di generazione. Si valutano varie possibilità tecnicamente realizzabili, ottenibili dalla combinazione degli interventi descritti in precedenza, eccezion fatta per il fotovoltaico, che viene lasciato fuori da questa fase di analisi. Vengono poi presentati i risultati più interessanti e con possibile realizzazione.

Tutti i calcoli inerenti a questa analisi, vengono eseguiti in Excel.

Al fine di rendere più facile la lettura, e di rendere più facilmente estendibili i risultati ad edifici differenti, si è deciso di presentare i risultati del condominio su base di appartamento medio, quindi tutti i costi vengono divisi per 12, che è il numero di appartamenti da cui è costituito il condominio. Alcuni costi sono analoghi per ogni appartamento, altri variano molto da appartamento ad appartamento, ma si è comunque scelta questa strada per i motivi appena descritti, e verranno indicati quegli interventi dove i costi dei singoli appartamenti si discostano in maniera sensibile dalla media.

Involucro

I costi di riqualificazione energetica dell'involucro vengono assunti sulla base di dati reperiti in letteratura e confrontati con vari preventivi forniti da aziende della provincia di Padova [21].

Si ottengono così i seguenti valori:

- 310 €/m² per fornitura e posa in opera di serramenti in PVC con trasmittanza massima di 1,3 W/m²K, e smaltimento dei vecchi serramenti.
- 80 €/m² per isolamento delle superfici opache con EPS di spessore compreso tra 6 e 14 cm, comprensivo di tutti i costi associabili al lavoro in sé ed alle opere di cantierizzazione.

La variazione del costo del materiale isolante in relazione allo spessore, è trascurabile rispetto il totale dell'opera, variando tra i 6 e i 10 € tra spessore minimo e massimo.

Variazioni significative dai costi medi si rilevano per questo genere di interventi, in particolar modo per quello sulle superfici opache con isolamento completo (_capp_tot). Infatti, tra l'appartamento con più superficie opaca verso l'esterno, e quello con superficie minore, si ha una differenza di circa 122 m², che si traduce in una differenza di costo di quasi 10.000 €. Si ha quindi una differenza sostanziale, ma, il costo di questo genere di interventi è proporzionale alla superficie isolata e, come si vedrà in seguito, i risparmi conseguibili sono proporzionali alla superficie isolata. Quindi le valutazioni in termini di tempo di rientro degli investimenti sono pressoché analoghe, sapendo che invece sono i costi iniziali a variare sostanzialmente.

Si riporta quindi una tabella riepilogativa dei costi, totali del condominio e medi per singolo appartamento, degli interventi sull'involucro.

Condominio	_capp	_capp_tot	_serr	_capp_serr	_capp_tot_serr
Superficie totale [m ²]	718	1473	196	914	1669
Costo totale [€]	57427	117843	60062	117489	177905
Superficie media per appartamento [m ²]	60	123	16	76	139
Costo medio per appartamento [€]	4786	9820	5005	9791	14825

Tabella 15 - Costi interventi sull'involucro per il condominio.

Quindi si riportano i costi relativi alla villetta.

Villetta	_capp	_capp_tot	_serr	_capp_serr	_capp_tot_serr
Superficie [m ²]	229	-	33,67	262,67	-
Costo [€]	18320	-	10320	28640	-

Tabella 16 - Costi interventi sull'involucro per la villetta.

Gli incentivi considerati per i lavori sull'involucro sono presi dall'attuale legge di bilancio (per l'anno 2018) che ha rivisto al ribasso quelli per gli infissi, e conferma l'entrata in vigore da quest'anno degli incentivi al 70% e 75% per i condomini.

Intervento analizzato	Tipologia	Entità incentivo	Durata incentivo	Riferimento requisiti minimi
Isolamento superfici				
Infissi	Detrazione fiscale per riqualificazione energetica	50%	10 anni	Tabella 2 DM 26/1/2010
Cappotto o Cappotto e infissi	Detrazione fiscale per riqualificazione energetica	70%	10 anni	Tabella 2 DM 26/1/2010
Riqualificazione energetica				
Riqualificazione energetica degli edifici esistenti	Detrazione fiscale per riqualificazione energetica	75%	10 anni	Appendice B DM 26/6/2015

Tabella 17 - Incentivi considerati per gli interventi sull'involucro [4] [19].

Nella tabella con 'Cappotto' si intendono sia l'intervento _capp che _capp_tot.

Tutti questi incentivi afferiscono alla categoria di incentivi per riqualificazione edilizia. Gli incentivi al 75%, per essere erogati, necessitano certificazione energetica dell'edificio ante e post intervento, dovendo certificare la migliorata prestazione energetica invernale ed estiva e conseguita almeno la qualità media indicata nel decreto del Ministro dello Sviluppo Economico del 26 giugno 2015 [3]. Ai fini dell'analisi, si è deciso di non analizzare edificio per edificio il raggiungimento degli standard

per l'ottenimento degli incentivi al 75%, ma si è ipotizzato che esso venisse raggiunto per gli interventi `_capp_serr` e `_capp_tot_serr`. Plausibilmente, infatti, per tali interventi ciò avviene. Questa scelta è frutto del voler limitare la mole di calcoli necessaria poiché sarebbe risultata inutile in quanto, per comprendere le potenzialità di questo nuovo incentivo, tale verifica non è necessaria. Infatti per tale nuova forma di incentivo si faranno considerazioni generali al fine di comprendere i benefici reali di questo nuovo incentivo.

Impianto di emissione

Da questo punto della tesi in poi, il sistema radiante a parete non viene più considerato poiché, come si vedrà dai dati e dalle considerazioni riportate nei risultati, questa soluzione, per le ipotesi fatte, non consente di andare in scambio diretto in nessun condominio originale o riqualificato. Siccome l'obiettivo di considerare sistemi radianti era quello di valutare la possibilità di andare in scambio diretto, e siccome i risultati sui condomini hanno dimostrato che questo non è possibile per le ipotesi fatte ed i casi considerati, allora lo si è escluso dall'analisi poiché non permette un confronto utile per i fini preposti.

Si riportano quindi i costi assunti:

- 60 €/m² per impianto radiante tradizionale a pavimento. Quindi sistema ad umido con spessore elevato e rifacendo il massetto.
- 120 €/m² per impianto radiante a secco a pavimento. Sistema a spessore ridotto, inferiore ai 10 cm, da installare sopra il massetto esistente.

Si evidenzia quanto riportato nell'allegato 1 del decreto del Ministro dello Sviluppo Economico del 26 giugno 2015: *Negli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti, o a riqualificazioni energetiche [...] nel caso di installazione di impianti termici dotati di pannelli radianti [...] le altezze minime dei locali di abitazione previste al primo e al secondo comma, del decreto ministeriale 5 luglio 1975, possono essere derogate, fino a un massimo di 10 centimetri [29].* Grazie a questo decreto, infatti, si rende possibile l'installazione di sistemi radianti a basso spessore, direttamente sopra il massetto esistente.

I costi assunti, in seguito alle superfici degli edifici su cui si installa il radiante, porta ai costi totali riportati nella tabella 18. I costi sono direttamente riportati per il singolo appartamento, e per la villetta.

Si è assunto, per gli appartamenti, di installare l'impianto su tutta la superficie ad esclusione del corridoio, mentre, per la villetta, si è considerato di installarlo su un 25% in meno della superficie

totale. In tal modo si tiene conto degli ingombri delle scale, dei vari corridoi e stanze di servizio che possono essere escluse. Entrambe le assunzioni permettono comunque il soddisfacimento della potenza termica richiesta, grazie al dimensionamento in temperatura dell'impianto rispetto una potenza il 30% superiore a quella media, rispettivamente, dell'appartamento più sfavorito, e della villetta.

Appartamento	Radiante tradizionale	Radiante a secco
Superficie [m ²]	69	69
Costo [€]	4157	8315
Villetta	Radiante tradizionale	Radiante a secco
Superficie [m ²]	159	159
Costo [€]	9518	19035

Tabella 18 - Costi impianti radianti.

Gli incentivi considerati in questo caso, sono della tipologia erogata per ristrutturazioni edilizie. Non si ha infatti una voce specifica tra gli incentivi di riqualificazione energetica [5].

Se si raggiunge, per i condomini, la prestazione necessaria per accedere all'incentivo al 75%, anche questo intervento rientrerà sotto tale incentivazione.

Intervento analizzato	Tipologia	Entità incentivo	Durata incentivo	Riferimento requisiti minimi
Sistema di emissione				
Impianto radiante	Detrazione fiscale per ristrutturazione edilizia	50%	5 anni	-

Tabella 19 - Incentivi considerati per l'installazione di impianto radiante.

Impianto di generazione

Per ogni impianto di generazione, ai fini dell'analisi economica, i parametri necessari sono sostanzialmente cinque:

- Costo di investimento.
- Costo di manutenzione annuo.

- Fonte utilizzata.
- Rendimento o efficienza.
- Incentivo fruibile.

Da questi parametri si sa qual è l'investimento iniziale, il costo operativo annuo ed il tempo di rientro dell'investimento. Anche le valutazioni ambientali partono da qui, poiché si può sapere qual è il consumo di energia, suddivisa per fonte, di ogni possibilità analizzata.

Tutti i parametri sopra elencati, sono dipendenti da parametri che variano da modello a modello. Si riportano di seguito, per ogni sistema di generazione, le assunzioni fatte per determinare tali parametri in ogni situazione.

I costi d'investimento, come il costo di manutenzione, nel caso del condominio, saranno poi suddivisi tra i 12 appartamenti.

Caldaia originale

Per i modelli _70_70_DOPP e _90, come sistema di generazione di partenza si assume che si abbia una classica caldaia a metano. Il costo d'investimento da considerarsi è quindi nullo.

Il costo di manutenzione è assunto pari a 500 €/anno, mentre il rendimento è preso pari all'80% [30].

Costo di investimento
-
Costo di manutenzione annuo
500 €/y
Fonte utilizzata
Gas metano
Rendimento o efficienza
80%
Incentivo fruibile
-

Tabella 20 - Riepilogo parametri caldaia tradizionale.

Caldaia a condensazione

Come detto in precedenza, la caldaia a condensazione a gas metano è considerata come il sistema di generazione di partenza negli edifici _NEW. Per tutti gli altri edifici viene invece considerata come opzione per un intervento di riqualificazione.

L'investimento qui viene assunto pari a 100 €/kW di potenza di progetto e il costo di manutenzione sempre pari a 500 €/anno.

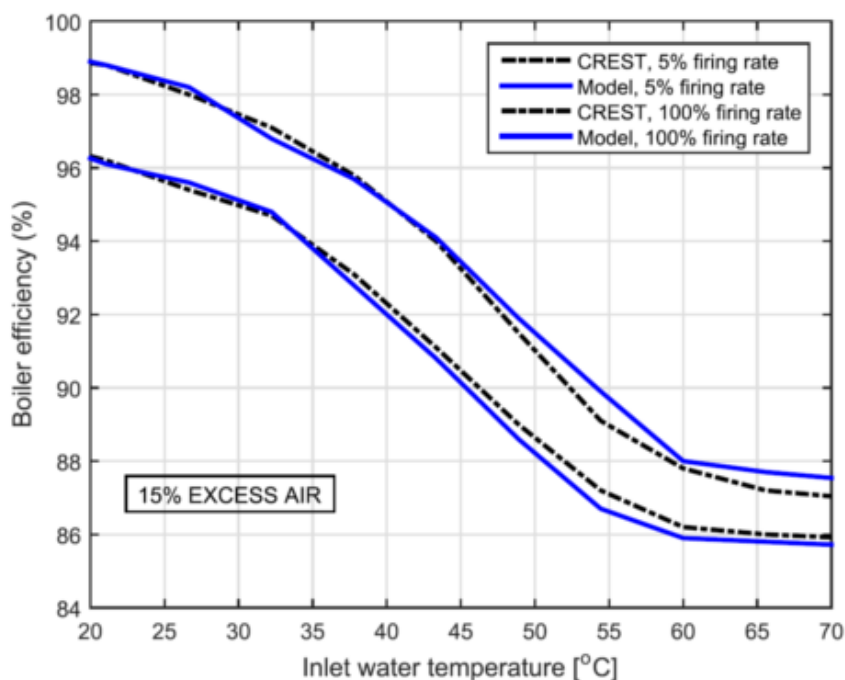


Figura 11 - rendimenti di generazione per una caldaia a condensazione.

Costo di investimento				
100 €/kW (0 per i modelli_NEW)				
Costo di manutenzione annuo				
500 €/y				
Fonte utilizzata				
Gas metano				
Rendimento o efficienza				
T_max	35°- 45°	45°- 55°	55°- 65°	65°- 75°
	97%	93%	87%	85%
Incentivo fruibile				
Tipologia	Entità incentivo	Durata incentivo	Riferimento requisiti minimi	
Detrazione fiscale per riqualificazione energetica	50%	10 anni	Appendice B DM 26/6/2015	

Tabella 21 - Riepilogo parametri caldaia a condensazione.

Il rendimento è preso dalla letteratura [31], ed in particolare dedotto dal grafico riportato, e vengono presi i valori riportati nella tabella 21, dipendenti dalla temperatura di mandata di progetto.

Gli incentivi per questa tipologia di intervento sono stati ridotti al 50% dal 2018, mentre gli standard per ottenerli rimangono quelli degli anni precedenti, ovvero: *Il rendimento di generazione utile minimo, riferito al potere calorifico inferiore, per caldaie a combustibile liquido e gassoso è pari a $90 + 2 \log P_n$, dove $\log P_n$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore, espressa in kW. Per valori di P_n maggiori di 400 kW si applica il limite massimo corrispondente a 400 kW* [36].

Pompa di calore

Per le pompe di calore, alcune differenze riguardo i cinque parametri sopra elencati, si hanno se accoppiate alla rete di teleriscaldamento o se accoppiate alle sonde geotermiche.

Il costo di manutenzione rimane uguale in ogni caso, cioè pari a 200 €/anno. Allo stesso modo è assunto uguale il costo di investimento, che dipende dalla potenza termica di progetto, espressa in kW, secondo la legge:

$$C_{inv} = 5000 + 150 * P \quad (6)$$

La potenza termica di progetto, P, è la massima tra la potenza richiesta per il riscaldamento e quella richiesta per l'ACS. Si presuppone infatti un funzionamento alternato per le due funzioni della PdC e non contemporaneo nei momenti di picco.

Anche l'incentivo in cui rientrano questi interventi è il medesimo, ed è quello per sostituzione di impianti di climatizzazione invernale ed ACS, o sola ACS, con pompe di calore ad alta efficienza. Il vincolo normativo per accedere agli incentivi è indicato nell'allegato primo del D.M. 26/06/2015 e si riferisce a valori di COP in condizioni standard indicate nel medesimo allegato [37].

Ai fini dell'analisi con sonde geotermiche, viene considerata una pompa di calore dell'AERMEC, appositamente progettata per applicazioni geotermiche [33] che la ditta dichiara rientrare nei vincoli normativi per gli incentivi [34]. I COP e SCOP di questa macchina, vengono presi dalle schede tecniche di riferimento, ed adattati alla situazione di utilizzo tramite fattori correttivi di Carnot. Si riporta la formula di conversione tra COP di targa (COP_t) e COP del caso reale (COP_r), ma vale parimenti per gli SCOP:

$$COP_r = COP_t * \left(\frac{COP_{carnot_r}}{COP_{carnot_t}} \right) \quad (7)$$

Dove i COP di Carnot sono i COP ideali alle temperature cui si riferiscono, quindi di targa o reali.

Dove, per una pompa di calore operante in riscaldamento:

$$COP_{caront} = \frac{T_{cond}}{T_{cond} - T_{ev}} \quad (8)$$

Dove T_{cond} è la temperatura al condensatore, e quindi la massima temperatura di esercizio, e T_{ev} è la minima di esercizio, che si ha all'evaporatore.

Avendo temperature di targa di $T_{in_cond}=45^{\circ}\text{C}$ e $T_{out_ev}=10^{\circ}\text{C}$ con $COP_t=3,9$ allora, per $T_{in_cond}=55^{\circ}\text{C}$ e $T_{out_ev}=8^{\circ}\text{C}$, si ottiene un $COP_r=3$.

I COP, quindi quelli di progetto, sono riferiti alle temperature richieste dall'ACS, poiché per il caso con le sonde sono l'utenza che richiede la temperatura maggiore, non avendo i radiatori per ipotesi.

Gli $SCOP_{tot}$ sono invece ottenuti dalla media tra $SCOP_{risc}$ per solo riscaldamento e $SCOP_{acs}$ per sola ACS nel modo seguente:

$$SCOP_{tot} = \frac{SCOP_{risc} * E_{risc} + SCOP_{acs} * E_{acs}}{E_{risc} + E_{acs}} \quad (9)$$

Dove E_{risc} ed E_{acs} indicano i fabbisogni annui rispettivamente per riscaldamento ed acqua calda sanitaria. Si ottiene, da questi calcoli, un $SCOP_{risc}$ medio di 4,5 e $SCOP_{acs}=3$. Saranno questi i valori che verranno utilizzati per ottenere gli $SCOP_{tot}$ dei vari casi con sonde.

Per l'analisi con il teleriscaldamento, viene considerata una pompa di calore, oggetto di altri studi collegati al caso studio di Montegrotto, ed anch'essa rispetta i vincoli normativi per gli incentivi. Gli SCOP utilizzati sono sempre frutto di quelle analisi, e per gli $SCOP_{risc}$ si assumono tre valori in funzione della temperatura di mandata di progetto del sistema di riscaldamento:

- 5,1 per temperature di mandata superiore a 70°C .
- 5,5 per temperature di mandata tra 60°C e 70°C .
- 7 per temperature di mandata minori di 60°C .

I valori di SCOP sono molto elevati rispetto a quelli di pompe di calore ad aria o geotermiche in quanto la particolare fonte di calore analizzata nel caso studio permette di far circolare acqua nella rete di teleriscaldamento a $40/30^{\circ}\text{C}$. Laddove la temperatura della sorgente termica fosse più bassa, si abbasserebbero anche gli SCOP e quindi si avrebbe un maggior consumo di energia elettrica da parte degli utenti.

Risultano così elevati, grazie ad una temperatura in uscita dall'evaporatore pari a 35°C .

Per l'ACS, l'SCOP risulta più basso, pari a 4, poiché anche nelle stagioni intermedie o calde, richiede sempre temperature elevate, cosa che non accadeva per il riscaldamento che quindi beneficia di tali periodi per alzare la media del COP, portando gli SCOP agli alti valori sopra indicati.

L'SCOP_{tot} è ottenuto sempre con la formula indicata per il caso con sonde.

Costo di investimento [€]				
5000+150*P [kW]				
Costo di manutenzione annuo				
200 €/y				
Fonte utilizzata				
Energia geotermica				
PdC con sonde				
SCOP _{risc}	SCOP _{ACS}			COP
4,5	3			3%
PdC con TLR				
T _{mand}	> 70°C	60°C - 70 °C	< 60°C	ACS
SCOP	5,1	5,5	7.00	4.00
Incentivo fruibile				
Tipologia	Entità incentivo	Durata incentivo	Riferimento requisiti minimi	
Detrazione fiscale per riqualificazione energetica	65%	10 anni	Allegato 1° DM 26/6/2015	

Tabella 22 - Riepilogo parametri pompa di calore.

Teleriscaldamento (TLR)

Il teleriscaldamento, anche se inserito in questa sezione, è da considerarsi solo parzialmente un sistema di generazione, lavorando esso con le pompe di calore sempre per l'ACS, e a volte anche per il riscaldamento.

Il costo d'investimento per l'utente è quello dell'allacciamento alla rete e degli scambiatori acqua-acqua. Si considera quindi un costo di 40 €/kW.

La fonte utilizzata è il calore ricavabile dalle acque di risulta degli impianti di cura termale nel caso studio, ma potrebbe essere calore derivante da qualsiasi altro processo. Le temperature considerate sono 40°C di mandata con un salto di temperatura pari a 10°C.

Questo genere di intervento non ha indicazioni precise in normativa per l'incentivazione, ma la pratica comune suggerisce l'utilizzo di incentivazioni per ristrutturazione edilizia, quindi al 50% per 5 anni [5].

Vi sarebbe anche una disposizione secondo l'articolo 29 della legge finanziaria del 2001 [38], e successive modifiche, che prevedono un rimborso all'installazione, pari a 20,7 €/kW in caso di allacciamento a reti di teleriscaldamento alimentate ad energia geotermica o biomassa [8]. Essendo analoghe in termini di rimborso sotto le ipotesi fatte, ed essendo più attuale e chiara la pratica delle detrazioni fiscali, si considererà questa nell'analisi [36].

Infine, per una più semplice analisi del peso dei singoli interventi e dei relativi incentivi, si è scelto di considerare che non sia il gestore della rete a farsi carico del costo d'installazione delle pompe di calore, fornendo una tariffa onnicomprensiva, bensì che tale costo resti all'utente che vuole collegarsi al sistema.

Costo di investimento [€]		
40 €/kW		
Costo di manutenzione annuo		
-		
Fonte utilizzata		
Energia geotermica		
Temperature di esercizio		
$T_{mandata}$ 40°C	$T_{ritorno}$ 30°C	
Incentivo fruibile		
Tipologia	Entità incentivo	Durata incentivo
Detrazione fiscale per ristrutturazione edilizia	65%	10 anni

Tabella 23 - Riepilogo parametri rete di teleriscaldamento.

Sonde geotermiche a circuito chiuso

Come il teleriscaldamento, anche le sonde geotermiche non sono un sistema di generazione di per sé, ma da abbinarsi, in questo caso sempre, alle pompe di calore. Si è dedicato un paragrafo a parte, per poter spiegare il dimensionamento e le altre assunzioni fatte per questa tecnologia.

Anche in questo caso, come per il teleriscaldamento, il costo di manutenzione si è deciso di non tenerlo separato, ma di inglobarlo in quello della pompa di calore.

Le temperature di esercizio di progetto sono state fissate ad 8°C come temperatura in uscita dalle sonde, e 5°C in ingresso.

Il calcolo della lunghezza delle sonde è stato effettuato secondo il metodo ASHRAE [32], che, sviluppato dall'omonimo istituto, porta ad un pre-dimensionamento delle sonde geotermiche per riscaldamento e raffrescamento degli edifici.

Il programma richiede vari input, suddivisi per categorie, in base a quello che questi parametri si riferiscono:

- Edificio.
- Pompa di Calore.
- Scambiatore.
- Terreno.

Inerentemente l'edificio, vengono richieste le potenze di progetto di riscaldamento e raffrescamento lato utenza ed i fabbisogni mensili di riscaldamento ed ACS sommati.

Per la pompa di calore vengono richiesti i COP di progetto in riscaldamento e raffrescamento e gli SCOP sempre sia per raffrescamento che per riscaldamento. Vengono quindi richieste le temperature in uscita dalle sonde, quindi in entrata alla pompa di calore ed i relativi salti termici all'interno della PdC, sempre sia per il caso raffrescamento che riscaldamento.

Riguardo lo scambiatore, quindi le sonde, si deve definire innanzitutto la tipologia scelta, quindi a doppia U, e poi i parametri che determinano le prestazioni termiche. Le assunzioni fatte vengono riportate nella tabella:

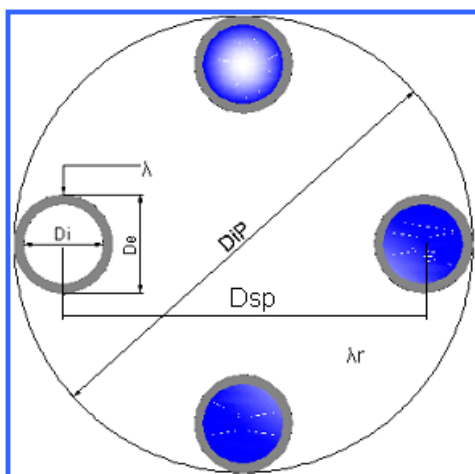


Figura 12 - Schema della sezione delle sonde adottate.

Tubazioni	
Di [mm]	26,1
De [mm]	32,0
Conduttività Termica [W/(m K)]	0,4
Numero circuiti a U	2
Distanza tubi Dsp [mm]	70,0
Riempimento	
Diametro della Perforazione - DiP [mm]	140,0
Conduttività Termica del Riempimento [W/(m K)]	2,0
Fattore di Collegamento - Fsc [-]	
	1,02

Tabella 24 - Riepilogo parametri sonda geotermica.

Per quanto riguarda le caratteristiche del terreno, sono assunti i parametri riportati nella tabella seguente:

Conduttività Termica [W/(m K)]	1,8
Densità [kg/m³]	1285
Calore Specifico [J/(kg K)]	2614

Tabella 25 -Parametri terreno.

Inoltre per il terreno serve specificarne la temperatura indisturbata a profondità pari a metà della sonda. Si assume quindi come temperatura media del terreno in superficie 12°C, ed in base al gradiente del terreno e la lunghezza della singola sonda, si ottiene la temperatura desiderata. I gradienti considerati sono: 0.03 K/m, 0.13 K/m e 0.50 K/m [12].

A questo punto il programma calcola la lunghezza delle sonde in condizioni indisturbate, ma poiché queste si influenzano tra di loro, non essendo a distanza infinita, si deve specificare la distanza delle sonde e la loro predisposizione, indicando quante sonde sono limitrofe ad altre su 1, 2, 3 o 4 lati, considerando per ognuna uno spazio quadrato di competenza. Quindi per tentativi successivi si arriva a convergenza alla lunghezza delle sonde, tenendo conto dell'influenza tra di esse.

Costo di investimento			
49,5 €/m			
Costo di manutenzione annuo			
-			
Fonte utilizzata			
Energia geotermica			
Temperature di esercizio in riscaldamento			
T uscita sonde 8°C		T ingresso sonde 5°C	
Incentivo fruibile			
Tipologia	Entità incentivo	Durata incentivo	Riferimento requisiti minimi
Detrazione fiscale per riqualificazione energetica	65%	10 anni	Il vincolo è sulla PdC

Tabella 26 - Riepilogo parametri sonde.

Il costo delle sonde è praticamente dipendente dalla loro lunghezza, e per la tipologia prescelta si trova un costo medio di 45 €/m di sonda, aumentato del 10% considerando tutti i lavori di foratura, il doppio tubo a U, di installazione e di riempimento. Si ottiene così un costo di 49,50 €/m di sonda finita.

Il fluido operativo è acqua normale, grazie alle temperature sopra gli 0° C, quindi non sono considerati costi aggiuntivi per quello.

L'incentivo a cui si può accedere per questo genere di interventi è quello relativo alla sostituzione di impianti di riscaldamento con sistemi geotermici a bassa entalpia che afferisce agli interventi per riqualificazione energetica degli edifici, regolamentata dal D.M. 26/06/2015.

Fabbisogni e consumi di gas, elettricità ed energia geotermica

Al fine di valutare e confrontare i costi operativi delle diverse soluzioni, è necessario suddividere i consumi di energia a seconda delle fonti utilizzate, poiché ognuna avrà un costo diverso. La stessa suddivisione risulta necessaria anche ai fini della valutazione ambientale, avendo ogni fonte un diverso coefficiente di conversione in energia primaria, ed un diverso coefficiente di emissione di

CO₂. Quindi si suddivide il fabbisogno globale termico dell'edificio, e dell'impianto, in fabbisogno soddisfatto con:

- Gas, quindi per le soluzioni con caldaie.
- Energia elettrica, quindi per il compressore delle pompe di calore.
- Energia geotermica, quindi per l'evaporatore delle pompe di calore. In questa categoria si fa rientrare sia il calore prelevato dalla rete di teleriscaldamento, sia il calore prelevato dal terreno tramite sonde.

Sia l'energia geotermica, che quella elettrica, hanno costi diversi a seconda che ci si riferisca a soluzioni con TLR o con sonde, ma si è scelto di considerarle insieme, in questo paragrafo, poiché ai fini del loro calcolo in relazione al fabbisogno globale, il metodo è lo stesso, anche se con valori differenti.

Il fabbisogno complessivo di energia termica dell'edificio, è dato dalla somma del fabbisogno per riscaldamento e quello per ACS.

Il fabbisogno per riscaldamento

Il fabbisogno lordo per il riscaldamento dell'edificio, E_{risc} , è dato dal fabbisogno netto del solo edificio, diviso per il rendimento del sistema di riscaldamento, quindi considerando i vari rendimenti di emissione, regolazione, distribuzione e generazione. Per le pompe di calore, il rendimento di generazione non viene considerato al fine di questo calcolo, o meglio, è come se fosse 1 se si considera l'energia fornita al sistema di distribuzione divisa l'energia in ingresso alla macchina (energia elettrica al compressore più energia termica all'evaporatore).

Il fabbisogno per ACS

Il fabbisogno lordo per l'acqua calda sanitaria è pari al fabbisogno netto diviso per il rendimento del sistema di distribuzione ed erogazione di ACS. Tale rendimento, η_{ACS} , calcolato secondo la normativa UNI TS 11300:2, risulta pari a 0,92. Il fabbisogno netto è invece così calcolato:

$$E_{ACS_{netto}} = L_{gg} * px * 365 * \Delta T * \rho * Cp \quad (10)$$

Dove L_{gg} è il consumo giornaliero pro capite in litri, per normativa pari a 50 L/gg, px è il numero di persone che abitano l'abitazione, 365 il numero di giorni in un anno, ΔT è la differenza tra la temperatura di erogazione e quella media dell'acquedotto che per normativa sono da considerarsi rispettivamente 40°C e 10°C. Infine Cp è il calore specifico dell'acqua, che è pari a 4,168/3600 kWh/(kg K). La densità specifica dell'acqua, ρ , è assunta pari ad 1.

Per gli appartamenti si considerano 3 persone per unità abitativa, mentre per la villetta 4. Questo porta ad un fabbisogno netto di ACS pari a 1910 kWh/anno per gli appartamenti e 2546 kWh/anno per la villetta.

Per trovare infine il fabbisogno lordo per l'ACS, oltre al rendimento del sistema di ACS, si deve considerare anche quello del sistema di generazione, con le stesse modalità e considerazioni fatte per il fabbisogno di riscaldamento.

Consumo di gas

Nel caso di soluzioni con caldaia a condensazione o tradizionale, il consumo di gas corrisponde al fabbisogno di riscaldamento e ACS ottenuti come appena descritto.

Consumo di energia elettrica

Nel caso di soluzioni con pompe di calore si deve distinguere il caso in cui queste servano sia per ACS e riscaldamento, rispetto il caso in cui queste servano solo per l'ACS e il riscaldamento sia in scambio diretto con la rete di teleriscaldamento. Infatti, nel primo caso si ottiene:

$$E_e = \frac{E_{ACS} + E_{risc}}{SCOP} \quad (11)$$

con E_{risc} che si ricorda tiene già conto dei rendimenti di emissione, regolazione e distribuzione per queste soluzioni ed E_{ACS} che tiene conto del rendimento di distribuzione. Nel secondo caso si ottiene:

$$E_e = \frac{E_{ACS}}{SCOP} \quad (12)$$

Si nota quindi, che a parità di altre condizioni, l'energia elettrica consumata nel caso di scambio diretto con la rete di teleriscaldamento, è decisamente inferiore a quella utilizzata nel caso in cui la pompa di calore serva anche per il riscaldamento.

Consumo di energia geotermica

Anche qui si deve distinguere il caso in cui ci sia scambio diretto, da quello in cui si interpone la pompa di calore tra rete di teleriscaldamento (o sonde geotermiche) e sistema di riscaldamento. Il valore dell'energia geotermica sarà, in entrambi i casi, la differenza tra il fabbisogno totale e l'energia elettrica, ma può anche essere calcolata direttamente. Nel caso in cui la pompa di calore fornisce sia riscaldamento che acqua calda sanitaria:

$$E_g = \left(\frac{E_{ACS}}{\eta_{ACS}} + E_{risc} \right) * \left(\frac{SCOP - 1}{SCOP} \right) \quad (13)$$

ed invece, per il caso di scambio diretto per il riscaldamento:

$$E_g = \left(\frac{E_{ACS}}{\eta_{ACS}} \right) * \left(\frac{SCOP - 1}{SCOP} \right) \quad (14)$$

Potenza

La potenza necessaria per il riscaldamento è ottenuta, come spiegato nei paragrafi relativi, dall'implementazione dei modelli in TRNSYS e divisa per i rendimenti dei sottosistemi di emissione, regolazione e distribuzione.

La potenza per l'acqua calda sanitaria, viene invece calcolata secondo il metodo indicato dalla norma UNI 9182 e viene quindi svolto nelle condizioni convenzionali. Con condizioni convenzionali si intende, come per il calcolo del fabbisogno, acqua prelevata dall'acquedotto a 10°C e distribuita a 40°C all'utenza.

E' quindi stato necessario calcolare la portata massima contemporanea q_M [l/h] secondo la relazione adattata:

$$q_M = \frac{(q_1 * N_1 + q_2 * N_2 + \dots + q_N * N_n) * f_1 * f_2 * f_3}{d_p} \quad (15)$$

Dove: q_n = consumi di ogni unità di riferimento [l]

N_n = numero di utilizzi dell'unità di riferimento nel periodo di punta [-]

D_p = durata del periodo di punta [h]

f_1 = fattore che tiene conto del numero degli alloggi serviti dal sistema in esame [-]

f_2 = fattore che tiene conto del numero di vani di ogni alloggio [-]

f_3 = fattore che tiene conto del tenore di vita degli utenti [-]

Per tali valori si fa riferimento a studi pregressi, sempre relativi al caso studio in esame, e risulta q_M per la villetta pari a 944 l/h e per il condominio pari a 1944 l/h.

Si passa quindi al calcolo della potenza e del volume di accumulo necessari, sempre secondo la UNI 9182.

$$V_c = q_M * d_p * \frac{(T_m - t_f)}{d_p + d_r} + \frac{d_r}{T_c - T_f} \quad [l] \quad (16)$$

$$P = q_M * d_p * \frac{(T_m - T_f)}{d_p + d_r} * \frac{1,163}{1000} \quad [kW] \quad (17)$$

Con: T_f = temperatura dell'acqua prelevata dall'acquedotto [°C]

T_m = temperatura dell'acqua erogata all'utenza [°C]

T_c = temperatura dell'acqua contenuta nell'accumulo [$^{\circ}\text{C}$]

d_r = durata del periodo di riscaldamento [h]

1.163 = calore specifico dell'acqua [Wh/(kg K)]

La densità dell'acqua è assunta sempre pari a 1000 kg/m^3 .

Assumendo un tempo di riscaldamento pari a 1,5 h e del periodo di punta pari a 2,5 h, si ottengono i seguenti risultati

Per il condominio:

- $V_c = 1215 \text{ l}$
- $P = 42,4 \text{ kW}$

Per la villetta:

- $V_c = 629 \text{ l}$
- $P = 22,0 \text{ kW}$

Si deve considerare che questa è la potenza netta, la potenza effettiva lorda sarà poi ottenuta dividendo questa per il rendimento del sistema di ACS che si è detto essere pari a 0,92, ottenendo così delle potenze lorde pari a 46,1 kW per il condominio e pari a 23,9 kW per la villetta.

Infine, si precisa che la potenza scelta per dimensionare il sistema di generazione, è la massima tra la potenza richiesta per il riscaldamento e quella richiesta per l'ACS, considerando quindi un sistema che funzioni in modo alternato tra riscaldamento ed ACS, con priorità all'ACS.

Costi energia

In questo paragrafo vengono riportati i valori di costi assunti per le varie fonti energetiche nei vari casi.

Per il costo del gas ci si è basati su una media fatta sulla base di bollette di vari utenti, ed il valore medio risulta pari a 0,09 €/kWh.

Per l'energia elettrica si devono distinguere due casi; il primo è il caso con rete di teleriscaldamento, il secondo senza. Questo perché con le reti di teleriscaldamento solitamente si beneficia direttamente di un costo sul kWh termico fornito lato edificio, e l'utente non paga separatamente il costo dell'energia termica prelevata dalla rete e quella dell'energia elettrica. Il costo si è fissato in modo che fosse analogo al costo medio per kWh termico fornito all'edificio con caldaia a condensazione.

Per poter valutare al meglio l'impatto dei vari interventi, e considerando che in alcuni casi si ha scambio diretto, tale rete dev'essere valutata scorporando il costo in queste due componenti, elettrica e termica. Si fissa quindi a 0,15 €/kWh il costo per l'energia elettrica e si ottiene un costo di 0,0926 €/kWh termico prelevato dalla rete di teleriscaldamento.

Per i casi senza rete di teleriscaldamento, il costo assunto per l'energia elettrica è pari a 0,20 €/kWh. Il costo dell'energia termica da teleriscaldamento beneficia di un incentivo pari a 0,026 €/kWh se questo, come nel nostro caso, è alimentato con energia geotermica o a biomassa [8]. Questo incentivo è pagato direttamente all'utente finale, così si è deciso di incorporarlo nel costo, per tutte le considerazioni fatte, ed il costo per kWh termico da rete di teleriscaldamento risulta quindi pari a 0,067 €/kWh.

	€/kWh
Gas	0,09
Energia termica da TLR	0,067
Energia elettrica (con TLR)	0,15
Energia elettrica (senza TLR)	0,20

Tabella 27 - Costi energia.

Incentivi

In questo paragrafo vengono riassunti gli incentivi utilizzati nelle analisi, riportando la tipologia d'intervento per i quali vengono considerati, a che tipologia afferiscono, l'entità dell'incentivo, la durata dello stesso ed il riferimento normativo che indica i requisiti tecnici da rispettare per ottenerlo.

Si ribadisce come gli incentivi considerati nelle analisi afferiscono alla tipologia delle detrazioni fiscali poiché esse prevedono una percentuale maggiore di rimborso rispetto al conto termico; quest'ultimo in aggiunta non è ottenibile da soggetti privati per quanto riguarda l'isolamento delle superfici. Per quanto riguarda gli impianti radianti e l'allaccio alla rete di teleriscaldamento, li si considerano interventi di ristrutturazione edilizia poiché possono certamente rientrare sotto tali incentivi, ma non è chiaro dalla legge se possano beneficiare degli stessi incentivi degli altri sistemi di generazione. La pratica comune conferma questa scelta. Con la legge di bilancio 2018 le caldaie a condensazione e la sostituzione degli infissi, non sono più incentivati al 65%, ma calano al 50%. Gli infissi sono invece incentivabili al 70%, per i condomini, nel momento in cui tale intervento sia fatto congiuntamente all'intervento sulle superfici opache per una superficie disperdente totale verso l'esterno superiore al 25%. Questo accade anche per il solo intervento su superfici opache.

Da mettere in evidenza ed analizzare, è per i condomini il nuovo incentivo entrato in vigore dal 1° gennaio 2018 che prevede una detrazione fiscale del 75% nel caso di riqualificazione energetica dell'edificio. Per ottenere tale incentivo è necessario provare il miglioramento delle prestazioni energetiche globali dell'edificio e raggiungimento degli standard richiesti. Una volta raggiunti gli standard sono incentivabili tutti gli interventi che contribuiscono a tale miglioramento. Con le analisi

si è voluto quindi indagare anche il beneficio di tale incentivo, in termini di payback time, rispetto l'accedere ai vari incentivi per i vari interventi.

Intervento analizzato	Tipologia	Entità incentivo	Durata incentivo	Riferimento requisiti minimi
Sistema di emissione				
Impianto radiante	Detrazione fiscale per ristrutturazione edilizia	50%	5 anni	-
Sistema di generazione				
Allaccio alla rete di teleriscaldamento	Detrazione fiscale per ristrutturazione edilizia	50%	5 anni	-
Caldaia a condensazione	Detrazione fiscale per riqualificazione energetica	50%	10 anni	Allegato 1° DM 26/6/2015
Sonde geotermiche e/o pompa di calore per riscaldamento e/o ACS	Detrazione fiscale per riqualificazione energetica	65%	10 anni	Allegato 1° DM 26/6/2015
Utilizzo energia geotermica da teleriscaldamento	Sconto sotto forma di credito d'imposta	0,026 €/kWh	-	Art. 29 della legge 23/12/2000
Isolamento superfici				
Infissi	Detrazione fiscale per riqualificazione energetica	50%	10 anni	Tabella 2 DM 26/1/2010
Cappotto o Cappotto e infissi	Detrazione fiscale per riqualificazione energetica	70%	10 anni	Tabella 2 DM 26/1/2010
Riqualificazione energetica				
Riqualificazione energetica di edifici esistenti	Detrazione fiscale per riqualificazione energetica	75%	10 anni	Appendice B DM 26/6/2015

Tabella 28 - Incentivi.

Il calcolo dei risultati

I parametri scelti per analizzare i vari interventi e per confrontarli tra loro, sono:

- Costi d'investimento (o costi iniziali) C_i
- Costi operativi annui C_o
- Payback time senza incentivo (eccezion fatta per quello sul consumo di energia da TLR) PB_s
- Payback time con incentivi per singoli interventi PB_{inc}
- Payback time con incentivo al 75% (solo per condomini con alto grado di isolamento) PB_{75}

I costi d'investimento sono somma di tutti i costi necessari per implementare la soluzione in analisi e, per il caso dei condomini, i costi di componenti comuni quali ad esempio pompa di calore o sonde, vengono divisi per 12, per potersi sempre riferire ad un costo medio ad appartamento.

Anche i costi annui sono riferiti al singolo appartamento nel caso dei condomini e tengono conto sia dei costi energetici, sia dei costi di manutenzione. Quest'ultimi, nel caso di condomini, sono anch'essi divisi per i 12 appartamenti.

Da questi due parametri si otterrà quindi, per ogni classe di edifici in analisi, un grafico che mette a confronto i costi d'investimento con i costi operativi in modo da vederne la correlazione.

I payback time sono invece calcolati con le formule seguenti:

$$PB_s = \frac{C_i}{C_{o_{baseline}} - C_o} \quad (18)$$

Dove $C_{o_{baseline}}$ si riferisce ai costi operativi dell'edificio di riferimento prima degli interventi e C_o a quello riqualificato.

$$PB_{inc} = \frac{C_i}{(C_{o_{baseline}} - C_o) + \frac{(\sum Inc_k * n_k)}{PB_{inc}}} \quad (19)$$

Dove il secondo termine al denominatore, con n_k minore o uguale a PB_{inc} per ipotesi, ottiene il valore medio della somma dei rimborsi ottenuti annualmente dagli incentivi, fino al momento di rientro dell'investimento. Infatti ogni incentivo afferisce ad un costo iniziale diverso ed è possibile che non tutti abbiano anche la stessa durata (5 o 10 anni) così che si deve calcolare il valore medio annuo del rimborso tramite incentivi.

Nel caso di incentivazione al 75%:

$$PB_{75} = \frac{C_i}{(C_{o_{baseline}} - C_o) + \frac{(Inc_{75} * n_{75})}{PB_{75}}} \quad (20)$$

Qui Inc_{75} è la rata annua di rimborso tramite incentivo al 75%, n_{75} è il numero di rate ottenute entro il tempo di rientro, quindi al più 10, che sono gli anni di durata di tale incentivo.

Da questi tre parametri relativi ai payback time, si ottiene un secondo grafico per ogni classe di edificio. Si mettono a confronto tali parametri per poter apprezzare in primo luogo quali siano le soluzioni più vantaggiose da questo punto di vista, ed in secondo luogo, per fare considerazioni sull'impatto degli incentivi sul tempo di ritorno dell'investimento.

3.3. La valutazione ambientale

Per concludere questa parte di analisi sui singoli edifici, si valutano gli aspetti ambientali, ed i benefici che si hanno per le varie soluzioni adottate.

Per i fattori di conversione in energia primaria, si fa riferimento al rapporto ISPRA del 2017 [39] per quello per l'energia elettrica, e si prende il valore disponibile più recente, quindi afferente al 2016; mentre per il gas si fa riferimento a quanto dettato dal ministero dell'ambiente [40]. Per i fattori di emissione di CO₂ si fa riferimento all'allegato 1 del DM 26/06/2015 [29]. I coefficienti utili all'analisi sono riportati nella tabella.

Fattori di conversione dell'energia primaria			
En. Elettrica	$C^{(Ee-Ep)}$	2.42	[kWh primari /kWh elettrici]
Gas	$C^{(G-Ep)}$	1.05	[kWh primari /kWh forniti]

Tabella 29 - Fattori di conversione dell'energia primaria.

Fattori di emissione atmosferica di CO₂			
En. Elettrica	CO ₂ ^{Ee}	0.3306	[kgCO ₂ /kWh]
Gas	CO ₂ ^G	0.2010	[kgCO ₂ /kWh]

Tabella 30 - Fattori di emissione atmosferica di CO₂.

Si calcolano quindi i due parametri seguenti come indicatori delle prestazioni ambientali:

- Consumo di energia primaria [kWh]:

$$E_p = E_e * C^{(Ee-Ep)} + E_{gas} * C^{(G-Ep)} \quad (21)$$

Con E_e = energia elettrica, E_{gas} = gas.

- Emissione di CO₂ [t]:

$$CO_2 = E_e * CO_2^{(Ee)} + E_{gas} * CO_2^{(G)} \quad (22)$$

3.4. Scenari di integrazione di impianti fotovoltaici

Infine, viene svolta un'indagine qualitativa sulle potenzialità del fotovoltaico in accoppiamento con la pompa di calore. Si vuole indagare la possibilità di questo di ridurre ulteriormente le emissioni di CO₂ imputabili all'edificio, utilizzando questa come fonte di alimentazione della PdC quando sia possibile. Si valuta un sistema senza accumulo e quindi con i benefici ambientali ed economici che derivano dall'autoconsumo e dallo scambio sul posto.

Non si è fatta distinzione tra condominio e villetta, poiché il grosso della differenza la fa solo il numero di piani, a parità di involucro ed impianti. Si sono solo ipotizzati i tre casi con edifici ad un piano, due piani, tre piani.

Allo stesso modo non si è fatto uno studio approfondito per ogni tipologia analizzata nel resto dell'elaborato, ma solo preso modelli tipo per gradi di isolamento: scarso, medio ed alto.

Queste scelte derivano dal fatto che il focus della tesi è rivolto alla parte termica dell'edificio e questa vuole solo essere un'indicazione di massima utile a considerare o meno la possibilità di fare studi ulteriori da parte dell'utente che si approcci alla riqualificazione del proprio edificio. Inoltre, non essendo in analisi un vero caso studio, ma un modello generico, spingersi oltre non avrebbe senso anche perché il fotovoltaico e i suoi benefici sono molto dipendenti dalla sua gestione e contratto elettrico, intesi sia come tariffa e funzionamento, sia come tipologia di accordo eventuale tra proprietario dell'impianto (fotovoltaico, ma anche di riscaldamento e ACS) e proprietario dell'edificio che potrebbe essere semplice fruitore di servizi energetici.

Per tutte queste motivazioni, i risultati saranno portati senza unità di misura, ma piuttosto in termini relativi.

Per l'analisi vengono fatte le seguenti assunzioni:

- Costo per kW_p: 2000 €.
- Incentivo installazione: 50% in 5 anni, per ristrutturazione edilizia.
- Moduli su falda a 30° direzione sud.
- Si ricopre circa il 70% della falda a sud.
- Costo energia acquistata dall'utente: 0,20 €/kWh.
- Prezzo energia scambiata: 0,05 €/kWh assunta uguale tra acquistata e venduta.
- Corrispettivo Unitario di scambio forfettario: 0,08 €/kWh (valore medio per unità domestiche).

Il parametro che sta alla base del calcolo della convenienza economica del fotovoltaico è il Beneficio annuo da fotovoltaico. Esso è calcolabile come il prodotto dell'energia autoconsumata dalla PdC per il prezzo di acquisto dell'energia dalla rete, a cui si sommano il valore dello scambio sul posto ed i ricavi dalla vendita del surplus di energia prodotta.

Con le assunzioni fatte, questi parametri risultano così calcolabili:

- Il Contributo in conto scambio è pari a: $\min(\text{energia prelevata}; \text{energia immessa}) \cdot \text{prezzo energia scambiata} + \min(\text{energia prelevata}; \text{energia immessa}) \cdot \text{Corrispettivo Unitario di scambio forfetario}$.
- I ricavi dalla vendita del surplus di energia prodotta si hanno se il fotovoltaico immette in rete più di quanto la PdC non assorba. In tal caso il Controvalore dell'energia immessa = $\text{Prezzo energia scambiata} \cdot (\text{energia immessa} - \text{energia prelevata})$ [41].

Secondo la risoluzione dell'Agenzia delle Entrate n. 22/E del 2 aprile 2013, l'installazione di impianti fotovoltaici è soggetta ad incentivi per la ristrutturazione edilizia in quanto l'intervento effettuato per il conseguimento di risparmi energetici, ed in particolare l'impianto basato sull'impiego delle fonti rinnovabili di energia [5]. Per l'anno 2018 tale incentivo è pari al 50% del costo totale dell'impianto, tutto incluso, sotto forma di detrazione fiscale in rate annuali per 5 anni.

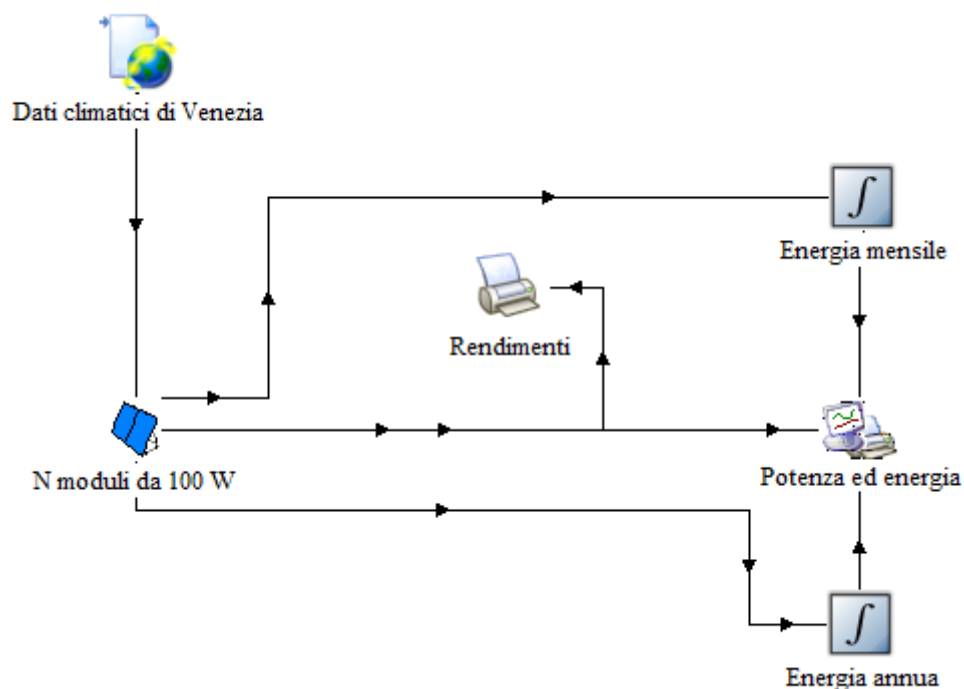


Figura 13 - Schema a blocchi in Simulation Studio per il calcolo dell'energia e potenza da fotovoltaico.

Per ottenere il profilo della potenza elettrica prodotta da fotovoltaico durante l'anno, viene utilizzato, anche in questo caso, TRNSYS. Qui si procede direttamente in Simulation Studio grazie agli oggetti presenti nella libreria del software. Lo schema a blocchi realizzato è riportato nella figura 13.

L'oggetto principale dello schema a blocchi in esame, è costituito dalla 'Type 194' che rappresenta l'insieme di più pannelli fotovoltaici ed il relativo inverter. Le caratteristiche più significative sono riportate nella tabella 31, con il nome con cui compaiono nel programma. Si ottiene quindi un pannello di potenza di picco pari a 100,3 W. Altro oggetto importante per il programma è la 'Type 15' che permette di utilizzare i dati climatici della località prescelta, anche in questo caso Venezia, e di definire l'inclinazione dei moduli.

Gli altri oggetti utilizzati sono semplicemente utili all'organizzazione e salvataggio dei dati.

Parametri caratteristici del pannello fotovoltaico di riferimento in TRNSYS		
Module short-circuit current at reference conditions	6.5	A
Module open-circuit voltage at reference conditions	21.6	V
Module voltage at max power point and reference conditions	17	V
Module current at max power point and reference conditions	5.9	A
Module area	0.89	m ²

Tabella 31 - Parametri caratteristici del pannello fotovoltaico di riferimento in TRNSYS.

A questo punto, considerando una superficie in pianta per unità abitativa per piano pari a circa 100 m², e considerando una copertura a doppia falda con un'inclinazione della falda verso sud pari a 30°, si assume che la potenza di fotovoltaico installata sia il valore commercialmente utilizzato di 4,5 kW_p. Questo è il valore che verrà considerato per ogni 100 m² circa di abitazione in pianta. Quindi per fare un'analogia con i condomini e villette in analisi nelle fasi precedenti della tesi, il condominio dispone di 4,5 * 4 = 18 kW_p, mentre la villetta solo di 4,5 kW_p. Questo poiché la villetta presenta una pianta di poco superiore ai 100 m², e i condomini pari a circa 100 *4 m².

Per quanto riguarda il profilo di carico della pompa di calore, si sono presi valori e profili dagli studi condotti sempre per il caso studio in esame, cui ci si riferisce anche per altri parametri riguardanti la pompa di calore nel resto dell'elaborato. Si è deciso di mettersi nella condizione più favorevole per un sistema con fotovoltaico senza accumulo, e quindi di non sopporre più un funzionamento in

continuo per il mantenimento della temperatura interna a 20°C costanti, ma bensì di fissare la temperatura minima notturna a 18°C e quella diurna a 20°C.

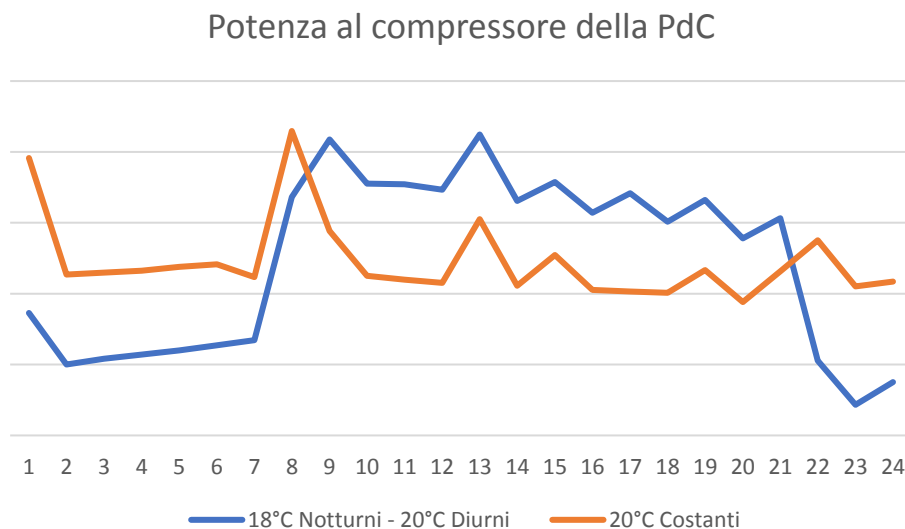


Figura 14 - Potenza al compressore della PdC a seconda del tipo di funzionamento.

In tal modo, come si osserva nella figura 14 in maniera qualitativa per una giornata tipo invernale, il consumo si concentra maggiormente nelle ore diurne, pur lasciando invariato il consumo annuo di energia, potendo però favorire così l'autoconsumo del fotovoltaico. Questo è stato fatto a fronte di prime analisi, per poter favorire al massimo il sistema e mostrarne le potenzialità in una condizione favorevole poiché, come si vedrà in seguito, questo accoppiamento tra PdC e fotovoltaico comunque porta con sé dei problemi intrinseci. Questa scelta di funzionamento, comunque, porta a miglioramenti medi dell'ordine di 7 punti percentuali sul totale, quindi comunque non stravolge i risultati, ma va incontro a quello che ci si propone con questa analisi, ovvero dare un'indicazione qualitativa, e non quantitativa, della potenzialità dell'installazione del fotovoltaico in un edificio con pompa di calore.

A questo punto si sono calcolati tre parametri significativi per valutare la bontà di questa tipologia di soluzione, ovvero: l'energia prodotta dal fotovoltaico e autoconsumata dalla pompa di calore, l'energia necessaria alla pompa di calore che autoconsuma l'energia prodotta dal fotovoltaico e il payback time. Per i primi due parametri, quelli energetici, si è fatta, ora per ora, la differenza tra l'energia prodotta dal fotovoltaico e quella richiesta dalla pompa di calore. Quindi per il primo parametro, si è fatta la differenza tra l'energia richiesta dal compressore della PdC e quella prelevata dalla rete. Mentre per il secondo si è fatta la differenza tra l'energia prodotta dal fotovoltaico e quella immessa in rete.

Infine per il calcolo del payback time si è utilizzata la formula seguente:

$$PB_{fv} = \frac{P_p * C_{fv}}{B_{fv} + \frac{(Inc_{fv} * n_{fv})}{PB_{fv}}} \quad (23)$$

Dove P_p è la potenza di picco installata, C_{fv} è il costo del fotovoltaico per unità di potenza, B_{fv} è il beneficio economico da fotovoltaico annuo, ed il secondo termine al denominatore indica la rata di incentivo media annua fino all'anno di rientro dell'investimento.

$$B_{fv} = Risp + Cs + Cei \quad (24)$$

Con $Risp$ il risparmio ottenuto grazie alla quota di energia della pompa di calore che utilizza in autoconsumo l'energia prodotta da fotovoltaico, Cs è il Contributo in conto scambio, e Cei è il Controvalore dell'energia immessa.

3.5. Valutazioni a livello urbano: possibili scenari

Infine si è svolta un'analisi qualitativa per valutare i benefici energetici su scala locale, portati dalla riqualificazione di edifici residenziali dal punto di vista dell'involucro, del sistema di riscaldamento ed ACS, nonché dall'integrazione con il fotovoltaico, in un contesto in cui vi sia la rete di teleriscaldamento descritta ai paragrafi precedenti. Le valutazioni sono fatte valutando diversi gradi di penetrazione della riqualificazione dell'involucro, delle pompe di calore e del fotovoltaico. Si sono quindi fatti confronti tra l'anno zero e dopo 20 anni.

Al fine di valutarne l'impatto i parametri valutati sono:

- Energia elettrica consumata, quindi sia per usi termici quali riscaldamento ed ACS, che per tutti gli altri usi domestici.
- Energia elettrica prodotta, quindi quella prodotta dal fotovoltaico installato sugli edifici dell'area d'interesse.
- Energia elettrica netta, quindi differenza tra consumata e prodotta.
- Energia termica totale, ovvero l'energia lorda per riscaldamento ed ACS.
- Energia geotermica totale, ovvero quanta energia viene prelevata dalla rete di teleriscaldamento ad energia geotermica.
- Il consumo di gas.

- La potenza di picco dovuta agli usi non termici.
- La potenza di picco dovuta alle pompe di calore.
- La potenza di picco totale degli edifici senza fotovoltaico, quindi di usi non termici e PdC insieme, che non sarà la somma dei massimi, ma il massimo della somma; e senza considerare il fotovoltaico.
- La potenza di picco del fotovoltaico.
- La potenza di picco totale degli edifici con il fotovoltaico.
- Energia primaria consumata.
- CO₂ emessa.

Si è ipotizzato di avere un contesto con un quarto degli edifici composto da condomini e tre quarti composto da villette. Per avere un numero facilmente scalabile e che fosse al contempo rappresentativo di una realtà come quella citata, si è preso un totale di 100 edifici.

Come per le valutazioni sul fotovoltaico di cui al capitolo precedente, si è scelto di avere solo tre classi di isolamento, ovvero basso, medio ed alto. All'anno zero la composizione fissata vede il 65% degli edifici con basso isolamento, il 27% con un medio isolamento e l'8% ad alto isolamento [11]. Il numero di pompe di calore iniziale, seguendo quanto ipotizzato nel resto della tesi, è assunto pari a zero.

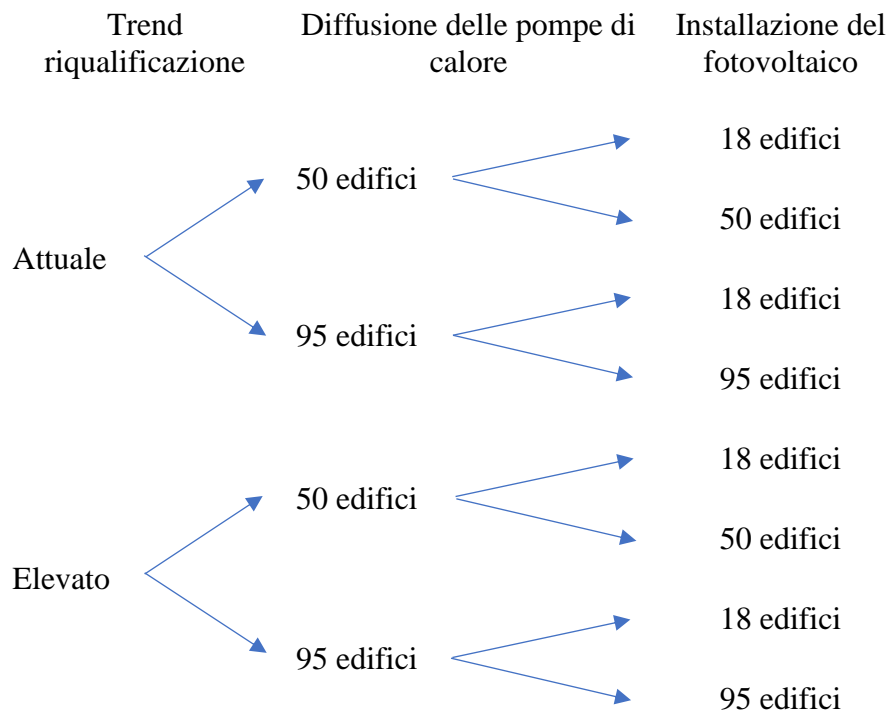
Per quanto riguarda il fotovoltaico, si è valutato tramite rilevazioni satellitari, il numero di edifici con fotovoltaico di varie zone analoghe a quella in esame, ed è stato assunto che il 10% delle villette presenti fotovoltaico, mentre nessun condominio lo abbia. Come già messo in luce nel paragrafo dedicato al fotovoltaico, ogni condominio può installare una potenza pari a 18 kW, mentre ogni villetta una potenza massima di 4,5 kW. Sono quindi state scelte queste taglie, coerentemente con quanto si prefigge con questa analisi, in cui si vogliono valutare anche le potenzialità di una gestione integrata dell'energia a livello locale.

Per valutare l'influenza dei vari fattori, e vedere su cosa convenga puntare maggiormente per abbattere i consumi nonché le emissioni, si sono fatti vari scenari, combinazione di due scenari per ogni fattore analizzato:

- Riqualficazione involucro:
 - o Trend attuale di riqualficazione, che porterebbe a 20 anni ad avere una composizione dello stock edilizio con questo grado di isolamento dell'involucro:
 - 54,6 % basso.
 - 27,9 % medio.

- 17,5 % alto.
- Trend elevato di riqualificazione, che porterebbe a 20 anni ad avere una composizione dello stock edilizio con questo grado di isolamento dell'involucro:
 - 13,0 % basso.
 - 31,4 % medio.
 - 55,6 % alto.
- Diffusione delle pompe di calore:
 - 50 edifici con pompe di calore.
 - 95 edifici con pompe di calore.
- Installazione del fotovoltaico sugli edifici:
 - Trend attuale di installazione, che porterebbe ad avere, a 20 anni, il fotovoltaico installato in totale su:
 - 18 edifici.
 - Installazione su ogni edificio che si allacci alla rete di teleriscaldamento, per una politica di gestione locale dell'energia ed abbattimento del consumo, porterebbe, a seconda del numero di edifici che si considerano installare pompe di calore, ad avere il fotovoltaico su:
 - 50 edifici.
 - 95 edifici.

I casi possibili, frutto di queste combinazioni, sono quindi 8 più la baseline:



Si è assunto, che l'allaccio alla rete di teleriscaldamento avvenga sempre tramite pompa di calore e non tramite scambio diretto, poiché, come si vedrà dai risultati, quella sembrerà la strada più percorribile per quasi tutte le soluzioni. In questo modo ci si mette dalla parte della soluzione più probabile e facilmente realizzabile, nonché quella più energeticamente svantaggiosa rispetto lo scambio diretto, quindi in tal caso la situazione potrebbe solo migliorare.

Il carico elettrico per usi non termici degli edifici, è stato valutato secondo il progetto MICENE [42]. Il progetto ha calcolato e rilevato i consumi di più di 100 edifici in tutta Italia, riportando la potenza media ogni 10 minuti per diversi elettrodomestici ed utilizzi. Si è così ottenuto un profilo che varia durante il giorno, ma segue anche le stagionalità nonché i giorni festivi o feriali. Con questo metodo si ottiene un consumo annuo pari a 3246 kWh per singolo appartamento, e 6492 kWh per singola villetta. Per i condomini il consumo sarà pari a quello di 12 appartamenti.

Per il calcolo dell'energia, per quanto riguarda i fabbisogni termici per ACS e riscaldamento, si è assunto un valore medio che tenga conto di entrambe le componenti, considerati anche i rendimenti dei sistemi, esclusa la generazione. Così, mediando i vari valori per le varie situazioni che rientrano nelle differenti sottocategorie, si ottengono i tre fabbisogni lordi per le tre classi di isolamento:

- Basso → 195 kWh/m² annui.
- Medio → 135 kWh/m² annui.
- Alto → 85 kWh/m² annui.

I COP medi stagionali delle pompe di calore, dipendenti dalle temperature medie di esercizio del sistema di riscaldamento ed ACS, variano anch'essi con il grado di isolamento. Sono presi da studi precedenti relativi al caso studio in esame [43], e risultano, in base al grado di isolamento dell'edificio:

- Basso → 4,72.
- Medio → 5,12.
- Alto → 5,8.

Per quando riguarda il rendimento delle caldaie, si assume che esse siano mediamente a condensazione nei casi a 20 anni, e così il rendimento assunto è pari a 0,90.

In merito alla potenza elettrica, il calcolo è fatto su intervalli di 10 minuti, sfruttando sempre i dati del progetto MICENE [42] per gli usi non termici, mentre per la potenza delle pompe di calore vengono utilizzati gli stessi dati relativi a studi pregressi relativi al caso studio, per le tre classi di

edifici, che erano stati presentati nel paragrafo relativo al fotovoltaico. Per il fotovoltaico è utilizzata la stessa simulazione TRNSYS di cui al paragrafo relativo il fotovoltaico.

Capitolo 4. Risultati

4.1. Riqualificazione energetica

4.1.1. Potenza e fabbisogno per riscaldamento

In questa parte si riporteranno i meri risultati dell'analisi sull'involucro, poiché commenti approfonditi avrebbero poco senso se fatti dal solo punto di vista energetico, poiché, chiaramente, più si isola, più si riduce il fabbisogno di energia. I commenti si limiteranno quindi ad un confronto tra i vari interventi di riqualificazione parziale, dove i risultati possano essere più interessanti.

Condominio anni '70

Potenza specifica netta di riscaldamento 'P _e ' e sua variazione relativa 'ΔP _e ' [W/m ²]		
C_70_originale	62.0	
C_70_serr	44.7	-28%
C_70_capp_serr	35.3	-43%
C_70_capp_tot_serr	19.0	-69%

Tabella 32 - Potenza modelli C_70.

Fabbisogno specifico netto annuo 'E _e ' e sua variazione relativa 'ΔE _e ' [kWh/m ² y]		
C_70_originale	152.3	
C_70_serr	100.4	-34%
C_70_capp_serr	76.4	-50%
C_70_capp_tot_serr	29.6	-81%

Tabella 33 - Fabbisogno modelli C_70.

Si nota come l'isolamento influenzi, in ogni caso, maggiormente il fabbisogno rispetto la potenza. Questo dovuto al fatto che in edifici più isolati la necessità di riscaldamento si riduce in termini di giorni/anno, arrivando per gli edifici più isolati a non necessitare del riscaldamento fino a dopo il 15 ottobre e già da prima del 15 aprile. In questo modo, il maggior isolamento comporta anche un miglior

comfort nei periodi esterni ai limiti di legge per il riscaldamento, in cui negli edifici poco isolati la temperatura scenderà ripetutamente sotto i 20°C.

In questa classe di edifici, si vede come intervenire sulle sole pareti laterali e non sulla copertura e sul pavimento verso il porticato, porti un beneficio che è molto ridotto rispetto quello conseguibile con l'isolamento completo. Si ripete come non siano stati presi in considerazione i casi di isolamento delle superfici opache senza intervento sugli infissi, poiché vista la scarsa qualità di quest'ultimi, questa soluzione non avrebbe senso da un punto di vista energetico, ma soprattutto di comfort.

Condominio anni '70 con gli infissi degli anni '90

Potenza specifica netta di riscaldamento 'P _e ' e sua variazione relativa 'ΔP _e ' [W/m ²]		
C_70_DOPP_originale	121.9	
C_70_DOPP_capp	97.8	-20%
C_70_DOPP_capp_tot	51.8	-58%
C_70_DOPP_serr	100.4	-18%
C_70_DOPP_capp_serr	76.4	-37%
C_70_DOPP_capp_tot_serr	29.6	-76%

Tabella 34 - Potenza modelli C_70_DOPP.

Fabbisogno specifico netto annuo 'E _e ' e sua variazione relativa 'ΔE _e ' [kWh/m ² y]		
C_70_DOPP_originale	51.1	
C_70_DOPP_capp	42.9	-16%
C_70_DOPP_capp_tot	27.2	-47%
C_70_DOPP_serr	43.2	-15%
C_70_DOPP_capp_serr	35.3	-31%
C_70_DOPP_capp_tot_serr	18.4	-64%

Tabella 35 - Fabbisogno modelli C_70_DOPP.

Nella situazione in cui si parta da un edificio anni '70 in cui siano stati già sostituiti gli infissi intorno agli anni '90 o dopo, si vede come intervenire sui soli infissi abbia un impatto molto limitato. Analogo beneficio viene portato dall'intervento sulle sole pareti laterali e si vede come convenga intervenire sull'intera superficie opaca anche piuttosto che sulle sole pareti laterali comprese di infissi. Per ogni

intervento, il beneficio è comunque più contenuto di quanto si avesse per il caso precedente, ma questo è ovvio ed è dovuto alla miglior situazione di partenza.

Condominio anni '90

Potenza specifica netta di riscaldamento 'P _e ' e sua variazione relativa 'ΔP _e ' [W/m ²]		
C_90_originale	37.2	
C_90_capp	32.3	-13%
C_90_capp_tot	27.2	-27%
C_90_serr	28.9	-22%
C_90_capp_serr	23.6	-36%
C_90_capp_tot_serr	18.3	-51%

Tabella 36 - Potenza modelli C_90.

Fabbisogno specifico netto annuo 'E _e ' e sua variazione relativa 'ΔE _e ' [kWh/m ² y]		
C_90_originale	82.0	
C_90_capp	67.2	-18%
C_90_capp_tot	51.6	-37%
C_90_serr	59.9	-27%
C_90_capp_serr	45.1	-45%
C_90_capp_tot_serr	29.5	-64%

Tabella 37 - Fabbisogno modelli C_90.

Per questa classe di edifici, i miglioramenti dati dagli interventi di estesa riqualificazione saranno ancora più contenuti che nel caso precedente, visto il miglior grado di isolamento termico iniziale anche delle superfici opache. Nonostante questo, si vede che interventi di riqualificazione intermedi sulle superfici opache, possono portare risparmi anche superiori a quelli del caso precedente, poiché la differenza di classe di prestazione, tra infissi e superfici opache, non risulta mai estrema, cosa che intaccava in parte il beneficio dell'intervento. Così si vede che sostituire gli infissi senza toccare le pareti conviene rispetto il contrario. Inoltre è interessante notare che in questo caso è più vantaggioso intervenire sulle pareti solo laterali, comprensive di infissi, piuttosto che sulle sole superfici opache tralasciando le finestre.

Condominio Nuovo

Potenza specifica netta di riscaldamento 'P _e ' [W/m ²]	
C_NEW	28.6

Tabella 38 - Potenza modello C_NEW.

Fabbisogno specifico netto annuo 'E _e ' [kWh/m ² y]	
C_NEW	37.9

Tabella 39 - Fabbisogno modelli C_NEW.

Infine, questa classe di condomini, che serve come riferimento, e si nota che le nuove imposizioni normative per accedere agli incentivi, fanno sì che un edificio riqualificato integralmente dal punto di vista dell'involucro, raggiunge prestazioni energetiche migliori di edifici analoghi, ma costruiti appena 10 anni fa.

Villetta anni '70

Potenza specifica netta di riscaldamento 'P _e ' e sua variazione relativa 'ΔP _e ' [W/m ²]		
V_70_originale	67.8	
V_70_serr	51.6	-24%
V_70_capp_serr	35.3	-48%

Tabella 40 - Potenza modelli V_70.

Fabbisogno specifico netto annuo 'E _e ' e sua variazione relativa 'ΔE _e ' [kWh/m ² y]		
V_70_originale	172.8	
V_70_serr	128.7	-26%
V_70_capp_serr	83.9	-51%

Tabella 41 - Fabbisogno modelli V_70.

Per le villette in generale, si vede che il fabbisogno specifico, come la potenza specifica, è superiore a parità di involucro, rispetto ai condomini. Questo si poteva prevedere poiché la villetta presenta due piani entrambi con una superficie orizzontale verso l'esterno (pavimento piano terra e soffitto primo piano), mentre i condomini vanno a fare media con un piano, il secondo, che presenta solo le pareti laterali verso l'esterno, e quindi riducendo drasticamente le dispersioni e quindi il fabbisogno. Per

edifici anni '70 la riduzione di fabbisogno, nonché di potenza risultano comunque significativi, anche se la scelta di non considerare l'isolamento della copertura, non permette di raggiungere livelli di prestazionali troppo elevati.

Villetta anni '70 con infissi anni '90

Potenza specifica netta di riscaldamento 'P _e ' e sua variazione relativa 'ΔP _e ' [W/m ²]		
V_70_DOPP_originale	58.5	
V_70_DOPP_capp	43.1	-26%
V_70_DOPP_serr	51.6	-12%
V_70_DOPP_capp_serr	35.3	-40%

Tabella 42 - Potenza modelli V_70_DOPP.

Fabbisogno specifico netto annuo 'E _e ' e sua variazione relativa 'ΔE _e ' [kWh/m ² y]		
V_70_DOPP_originale	147.6	
V_70_DOPP_capp	103.5	-30%
V_70_DOPP_serr	128.7	-13%
V_70_DOPP_capp_serr	83.9	-43%

Tabella 43 - Fabbisogno modelli V_70_DOPP.

In questo caso, come accadeva per il condominio, intervenire solo sui serramenti non porta a grandi miglione, ma piuttosto conviene intervenire sulle sole pareti laterali.

Villetta anni '90

Potenza specifica netta di riscaldamento 'P _e ' e sua variazione relativa 'ΔP _e ' [W/m ²]		
90 Originale	40.8	
90 Capp	33.4	-18%
90 Serr	33.3	-19%
90 Capp e Serr	25.2	-38%

Tabella 44 - Potenza modelli V_90.

Fabbisogno specifico netto annuo 'E _e ' e sua variazione relativa 'ΔE _e ' [kWh/m ² y]		
90 Originale	96.2	
90 Capp	73.4	-24%
90 Serr	76.5	-21%
90 Capp e Serr	53.4	-45%

Tabella 45 - Fabbisogno modelli V_90.

In questo caso, a differenza di quanto accadeva per i condomini, conviene intervenire sulle sole pareti laterali piuttosto che sugli infissi. Questo è dovuto al fatto che, in proporzione, la superficie trasparente rispetto quella opaca laterale, è decisamente maggiore per il condominio che per la villetta. Grazie al miglior isolamento di pavimento verso il terreno e di copertura, rispetto alla villetta anni '70, si riescono ad ottenere prestazioni migliori; prestazioni che sono decisamente buone nel caso di intervento su pareti ed infissi.

Villetta Nuova

Potenza specifica netta di riscaldamento 'P _e ' [W/m ²]	
V_NEW	21.2

Tabella 46 - Potenza modelli V_NEW.

Fabbisogno specifico netto annuo 'E _e ' [kWh/m ² y]	
V_NEW	40.3

Tabella 47- Fabbisogno modelli V_NEW.

Anche per le villette, i modelli relativi alle costruzioni più recenti, servono come confronto per le altre. In questo caso, avendo escluso l'intervento sulla copertura e sul pavimento, gli interventi di riqualificazione non riescono a raggiungere i livelli prestazionali di edifici costruiti negli ultimi 10 anni, ma edifici degli anni '90, con una riqualificazione di infissi ed involucro, riescono ad andarci vicini.

4.1.2. Temperatura di mandata degli impianti di riscaldamento

In questa sezione si riportano i risultati ottenuti per le temperature di mandata del sistema di riscaldamento, a seconda della tipologia di impianto considerata. Questa dipende dall'ambiente più sfavorito dell'intero edificio che, specialmente per i condomini, vede potenze specifiche necessarie molto diverse da ambiente ad ambiente. Dai livelli di temperatura necessari, dipendono le scelte successive in merito a quali impianti considerare e quali no. Infatti, i livelli di temperatura ammissibili dipendono dalla tipologia del sistema di generazione. Si ha, ad esempio, che per lo scambio diretto il massimo ammissibile è 35°C. Nella scelta, ed eventuale esclusione, si è comunque mantenuto un margine di flessibilità e non una restrizione rigida, poiché le temperature sono calcolate sull'ambiente più sfavorito e con una potenza specifica in pianta richiesta incrementata del 30%. Quindi, per temperature poco superiori al limite imposto dalla tecnologia, si considera comunque questa come ammissibile.

Per i radiatori a bassa temperatura, sono riportati i valori che risultano dai calcoli, ma nelle valutazioni successive si considera comunque un livello di temperatura non inferiore a 45°C, così da poter garantire un sufficiente livello di comfort [44].

Condominio anni '70

Temperatura di mandata dell'impianto di riscaldamento [°C]					
	Impianto originale	Radiatori a bassa temperatura	Radiante a secco a pavimento	Radiante ad umido a pavimento	Radiante su parete esterna
C_70_originale	75	63.5	39.9	37.9	81.0
C_70_serr	75	56.0	35.7	34.1	66.8
C_70_capp_serr	75	51.1	33.0	31.8	57.9
C_70_capp_tot_serr	75	39.1	27.2	26.7	38.4

Tabella 48 - Temperature impianto di riscaldamento modelli C_70.

Per i condomini anni '70 si vede che i radiatori si riescono ad esercire a temperatura più contenuta anche senza nessun intervento se si lavora con set point costante di 20°C invece che ad intermittenza come avviene solitamente. Per quanto riguarda i sistemi radianti, si vede che i sistemi a pavimento sono utilizzabili in scambio diretto già al minimo intervento di riqualificazione considerato, e con pompa di calore anche per il condominio originale. I sistemi a parete non sono mai utilizzabili in scambio diretto e lo sarebbero con pompa di calore solo per riqualificazioni importanti.

Condominio anni '70 con infissi degli anni '90

Temperatura di mandata dell'impianto di riscaldamento [°C]					
	Impianto originale	Radiatori a bassa temperatura	Radiante a secco a pavimento	Radiante ad umido a pavimento	Radiante su parete esterna
C_70_DOPP_originale	75	59.2	37.4	35.7	72.7
C_70_DOPP_capp	75	54.5	34.8	33.4	64.0
C_70_DOPP_capp_tot	75	43.6	29.3	28.5	45.3
C_70_DOPP_serr	75	56.0	35.7	34.1	66.8
C_70_DOPP_capp_serr	75	51.1	33.0	31.8	57.9
C_70_DOPP_capp_tot_serr	75	39.1	27.2	26.7	38.4

Tabella 49 - Temperature impianto di riscaldamento modelli C_70_DOPP.

In questo caso si osserva che i radiatori lavorano a temperature ancora più basse già nel caso originale per poi essere sempre nella fascia di radiatori a bassa temperatura. In questo caso, diversamente da quanto accadeva prima, nella situazione originale si ha già la possibilità di utilizzare il sistema radiante a secco in scambio diretto, mentre per il sistema tradizionale ad umido ciò non è possibile. Anche qui il sistema radiante a parete non è mai utilizzabile in scambio diretto.

Condominio anni 90

Temperatura di mandata dell'impianto di riscaldamento [°C]					
	Impianto originale	Radiatori a bassa temperatura	Radiante a secco a pavimento	Radiante ad umido a pavimento	Radiante su parete esterna
C_90_originale	75	64.4	32.5	31.3	56.0
C_90_capp	75	60.4	31.2	30.1	51.6
C_90_capp_tot	75	54.2	29.3	28.5	45.3
C_90_serr	75	58.7	30.6	29.7	49.8
C_90_capp_serr	75	54.0	29.2	28.4	45.0
C_90_capp_tot_serr	75	47.2	27.2	26.7	38.4

Tabella 50 - Temperature impianto di riscaldamento modelli C_90.

In questo caso si vede che i radiatori riescono a lavorare a livelli di temperatura superiori al caso precedente, poiché questi sono stati dimensionati inizialmente per potenze inferiori rispetto quelli degli edifici anni '70. Siccome la temperatura di esercizio dipende dalla potenza, se quest'ultima presenta una riduzione percentuale più contenuta, lo stesso si avrà per la temperatura di esercizio dei radiatori.

I sistemi radianti a pavimento, sono invece utilizzabili sempre in scambio diretto grazie a queste potenze più contenute fin dal caso originale. Ancora una volta i sistemi radianti a parete non sono utilizzabili in scambio diretto.

Condominio Nuovo

Temperatura di mandata dell'impianto di riscaldamento [°C]			
	Radiante a secco a pavimento	Radiante ad umido a pavimento	Radiante su parete esterna
C_NEW	27.9	27.3	40.8

Tabella 51 - Temperature impianto di riscaldamento modelli C_NEW.

Anche nel caso di edificio di nuova costruzione il radiante a parete non è utilizzabile in scambio diretto.

Si è quindi deciso di escludere il sistema radiante a parete dall'analisi, poiché, coerentemente con quanto detto inizialmente, si erano scelti i sistemi radianti come sistemi che consentissero lo scambio diretto, per poterne apprezzare i benefici rispetto ad altre soluzioni. Quindi, siccome questo non è mai possibile per un sistema radiante a parete con le ipotesi fatte, si esclude dall'analisi anche delle villette, poiché comunque le conclusioni ottenute per gli impianti a pavimento, sono estendibili anche per questo. In tal caso basta considerare un costo d'investimento differente. Il resto, inteso come risparmi e condizioni operative, resta all'incirca invariato, e quindi, nel caso in cui si decida di installare il sistema radiante a parete su una superficie sufficiente a soddisfare la potenza richiesta, le considerazioni sono comunque estraibili da questa analisi.

Villetta anni '70

Temperatura di mandata dell'impianto di riscaldamento [°C]					
	Impianto originale	Radiatori a bassa temperatura	Radiante ad umido a pavimento	Radiante a secco a pavimento	Radiante su parete esterna
V_70_originale	75	64.0	37.2	35.5	-
V_70_serr	75	56.6	33.7	32.4	-
V_70_capp_serr	75	48.6	30.1	29.2	-

Tabella 52 - Temperature impianto di riscaldamento modelli V_70.

Per la villetta si osserva che il sistema radiante a secco riesce a lavorare in scambio diretto anche nell'edificio originale.

Villetta anni '70 con infissi degli anni '90

Temperatura di mandata dell'impianto di riscaldamento [°C]					
	Impianto originale	Radiatori a bassa temperatura	Radiante ad umido a pavimento	Radiante a secco a pavimento	Radiante su parete esterna
V_70_DOPP_originale	75	59.8	35.2	33.7	-
V_70_DOPP_capp	75	52.5	31.8	30.7	-
V_70_DOPP_serr	75	56.6	33.7	32.4	-
V_70_DOPP_capp_serr	75	48.6	30.1	29.2	-

Tabella 53 - Temperature impianto di riscaldamento modelli V_70_DOPP.

In questo caso si hanno temperature di esercizio che permettono di utilizzare tutti i sistemi in ogni situazione di riqualificazione considerata.

Villetta anni '90

Anche qui, come per i condomini, nel caso di edificio originale i radiatori non riescono a lavorare a bassa temperatura, e si osserva che scendono sotto i 55°C solo nel caso di riqualificazione combinata di pareti e serramenti. I sistemi radianti riescono invece a lavorare a temperature molto basse già nell'edificio originale.

Temperatura di mandata dell'impianto di riscaldamento [°C]					
	Impianto originale	Radiatori a bassa temperatura	Radiante ad umido a pavimento	Radiante a secco a pavimento	Radiante su parete esterna
V_90_originale	75	66.5	31.3	30.3	-
V_90_capp	75	60.5	29.7	28.9	-
V_90_serr	75	60.4	29.7	28.9	-
V_90_capp_serr	75	53.6	28.0	27.3	-

Tabella 54 - Temperature impianto di riscaldamento modelli V_90.

Villetta nuova

Temperatura di mandata dell'impianto di riscaldamento [°C]			
	Radiante ad umido a pavimento	Radiante a secco a pavimento	Radiante su parete esterna
V_NEW	27.1	26.6	-

Tabella 55 - Temperature impianto di riscaldamento modelli V_NEW.

Si vede che in edifici di nuova costruzione, le temperature di esercizio sono così basse da poter sfruttare in scambio diretto anche reti di teleriscaldamento a temperature inferiori.

Per le villette, a parità di intervento sull'involucro, si sono viste temperature più contenute rispetto quanto si avesse per i condomini, sebbene dai risultati su fabbisogno e potenza si era visto che le potenze specifiche per le villette erano superiori a quelle dei condomini. Questo si spiega perché al capitolo precedente erano riportate le potenze specifiche medie di tutto il condominio e della villetta, mentre per il calcolo delle temperature si considerano le temperature specifiche massime di tutto l'edificio, che per i condomini risultano maggiori.

4.2. Risultati economici ed ambientali edificio - impianto

In questa parte verranno riportati i risultati economici, ambientali e ripresi quelli energetici. Saranno suddivisi per tipologia di edificio, quindi condominio e villetta, e per classe di età, ovvero anni '70, anni '70 con infissi degli anni '90, anni '90 e nuovo.

Per quanto riguarda i condomini, al fine di una maggior chiarezza dei grafici e per non avere troppi casi tutti insieme, si sono tenuti in grafici distinti la serie di interventi tra cui figura l'intervento di isolamento completo delle superfici opache e quello dove figura il solo isolamento delle superfici laterali. I primi grafici delle varie coppie di grafici avranno i risultati con isolamento completo, gli altri, di sole pareti laterali. In ogni grafico della stessa classe di condomini, gli interventi che non comprendano isolamento delle superfici opache, sono identici, ma ripetuti per un più facile confronto.

All'inizio sono riportati in maniera completa i grafici ed i risultati relativi al caso con teleriscaldamento, mentre, a completamento di ogni classe di edificio si riportano commenti e risultati interessanti e significativi per le soluzioni con sonde. In questo modo i risultati risultano più compatti e quindi di più facile lettura e confronto.

La logica seguita nel selezionare i casi, tra quelli tecnicamente possibili, da riportare tra i risultati, è stata quella di scegliere quelli che fossero significativi e che avessero un senso pratico tenuto conto del contesto. Quindi vengono mostrate le soluzioni in cui si interviene sul solo involucro, tenendo invariato il sistema di riscaldamento iniziale, poi per ogni intervento sull'involucro si mostrano le soluzioni dove si sostituisce il sistema di generazione con tutti quelli possibili tenendo invariato il sistema di emissione, ed infine, dove realizzabile, si mostrano le soluzioni con impianto radiante. Per questo gruppo di impianti, essendo stato escluso il sistema a parete, come detto precedentemente, si è scelto di mostrare le sole soluzioni con impianto radiante a secco a pavimento, poiché è di più comune uso nelle ristrutturazioni rispetto il sistema ad umido. I risultati relativi a questo sono comunque deducibili dal sistema a secco, considerando un più contenuto costo di investimento; in particolare, una riduzione di circa 4200 € per gli appartamenti, e di circa 9500 € per la villetta. Il resto rimane invariato. Inoltre, per i sistemi radianti, si è deciso di mostrare le sole soluzioni con pompa di calore, o scambio diretto dove possibile, poiché si ritiene che fare un intervento ed investimento del genere abbia senso solo se volto ad un vero risparmio e miglioramento energetico, che per l'analisi in corso è conseguibile con queste due tipologie di 'sistemi generazione'.

Si riportano le sigle utilizzate nei grafici:

Involucro		Sistema di emissione		Sistema di generazione	
Originale	O	Radiatori	RDR	Caldaia originale	CO
Cappotto ¹	C			Caldaia a condensazione	CC
Serramenti	S	Sistema radiante a pavimento a secco	PVS	Pompa di calore ²	PDC
Cappotto ¹ e Serramenti	CS			Scambio diretto ²	SCD

Tabella 56 - Sigle utilizzate nei grafici dei risultati economici ed ambientali.

¹ Con ‘Cappotto’ si intende l’intervento sulle superfici opache, senza far distinzione se solo superfici opache laterali o globali. Tale distinzione viene fatta per grafico. Si è chiamato cappotto per ricordare meglio, durante la lettura dei grafici, la sigla ‘C’ attribuitagli.

² Si ricorda che la pompa di calore è sempre comunque utilizzata per l’acqua calda sanitaria, quindi anche nei casi di scambio diretto si ha una pompa di calore che preleva energia dalla rete di teleriscaldamento per produrre acqua alla temperatura richiesta. Nei casi con pompa di calore anche per il riscaldamento, si ha comunque sempre o il teleriscaldamento o le sonde geotermiche, lato evaporatore, a seconda di ciò che si sta analizzando nello specifico grafico.

Per i modelli _NEW comparirà anche la sigla PVU, in seconda posizione, che indica i sistemi radianti ad umido a pavimento.

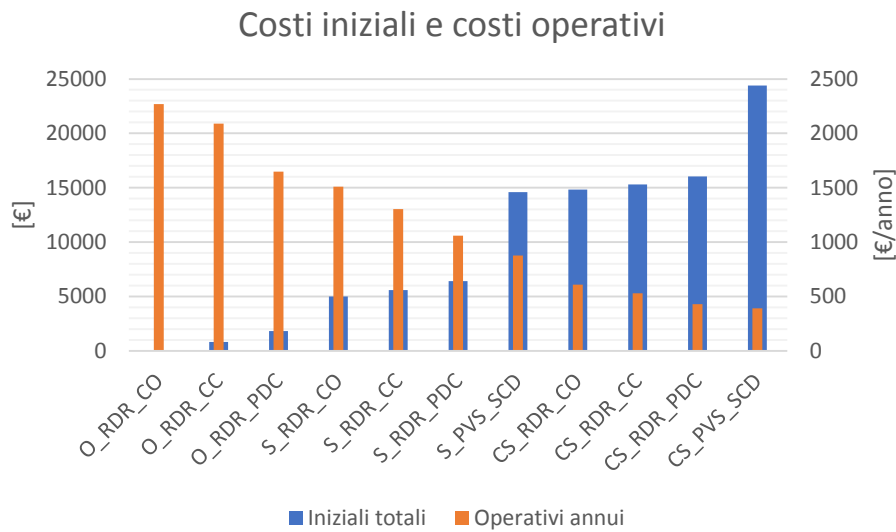


Figura 15 -Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70 _originale _ serr _ capp_tot_serr.

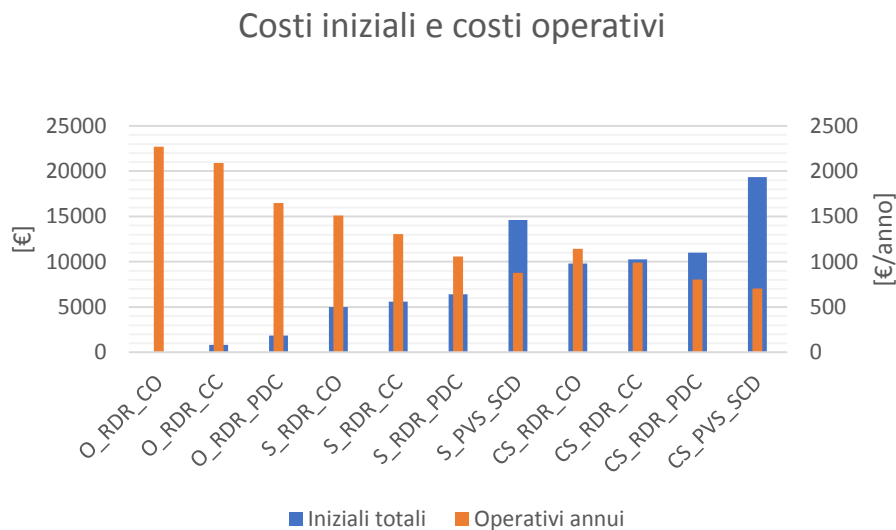


Figura 16 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70 _originale _ serr _ capp_serr.

In entrambe le serie di grafici, con intervento sulle superfici opache totale o sulle sole superfici laterali, si osserva che intervenire sull'involucro, che siano superfici opache o trasparenti, ha un beneficio sostanziale sui costi operativi per riscaldamento e ACS, e fa sì che i tempi di rientro siano contenuti, attestandosi, con gli incentivi, attorno ai 5 anni.

Risulta ancor più conveniente, sia in termini di costi operativi che in termini di tempo di ritorno, intervenire anche sul sistema di generazione, passando almeno ad una caldaia a condensazione, o ancor meglio a pompa di calore accoppiata alla rete di teleriscaldamento a bassa temperatura. Quest'ultima soluzione presenta inoltre livelli di emissioni di CO₂ che sono sempre meno della metà rispetto il sistema con caldaia a condensazione.

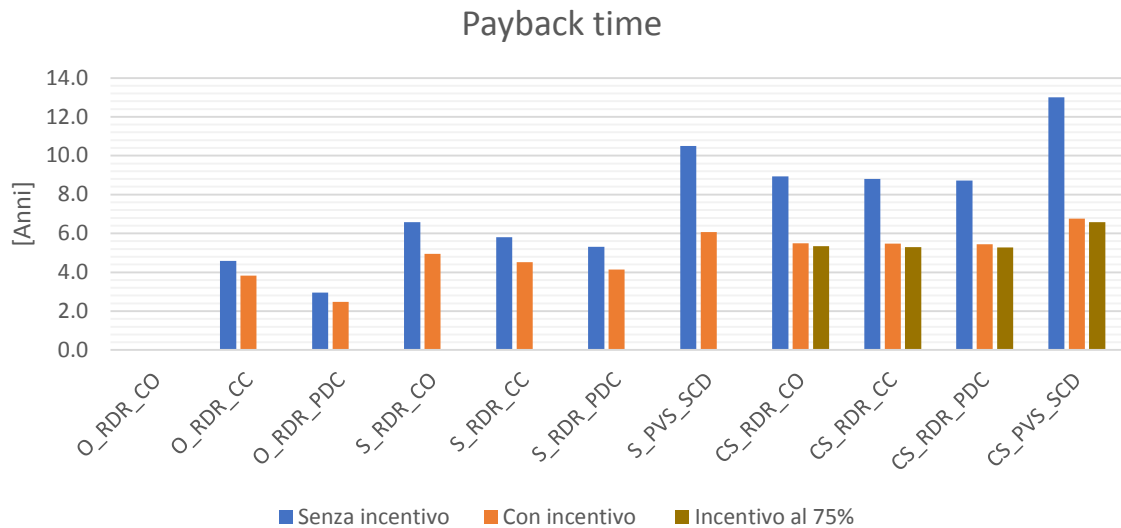


Figura 17 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70 _originale _serr _capp_tot_serr.

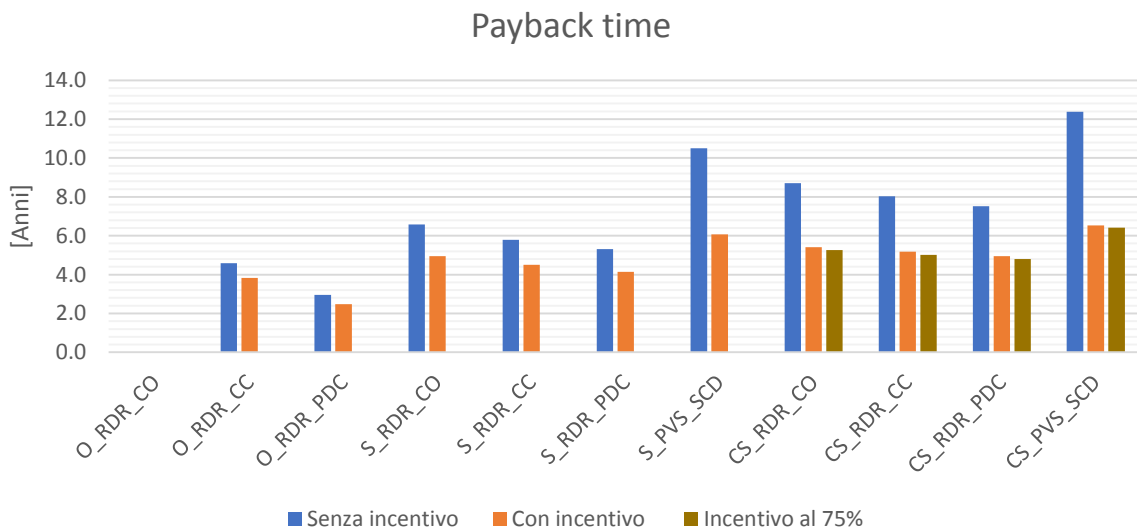


Figura 18 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70 _originale _serr _capp_serr.

Il costo di intervento imputabile a queste soluzioni è infatti contenuto, tra 500 € e 1800 € a seconda della soluzione scelta, più alto per pompa di calore e teleriscaldamento, più bassa per caldaia a condensazione, ed in relazione al grado di intervento sull'involucro; più l'edificio è isolato, minore sarà la taglia del sistema di generazione e quindi il suo costo.

Intervenire sull'impianto di emissione, passando da radiatori a pavimento radiante (a secco) non risulta conveniente dal punto di vista economico, poiché i costi di investimento risultano molto più elevati ed i costi operativi non molto più bassi di altre soluzioni. Si ottiene così un PB time più elevato.

Dal punto di vista ambientale, quest'ultima però sarebbe la soluzione che porterebbe i maggiori benefici, soprattutto su edifici in cui si interviene sui soli infissi. In questo caso si passerebbe infatti

ad una riduzione di emissioni di CO₂ del 97% rispetto l'86% conseguibile senza installare l'impianto radiante che permette di andare quindi in scambio diretto, senza la necessità di una pompa di calore che fornisca l'energia per il riscaldamento, e che servirebbe quindi solo per l'ACS.

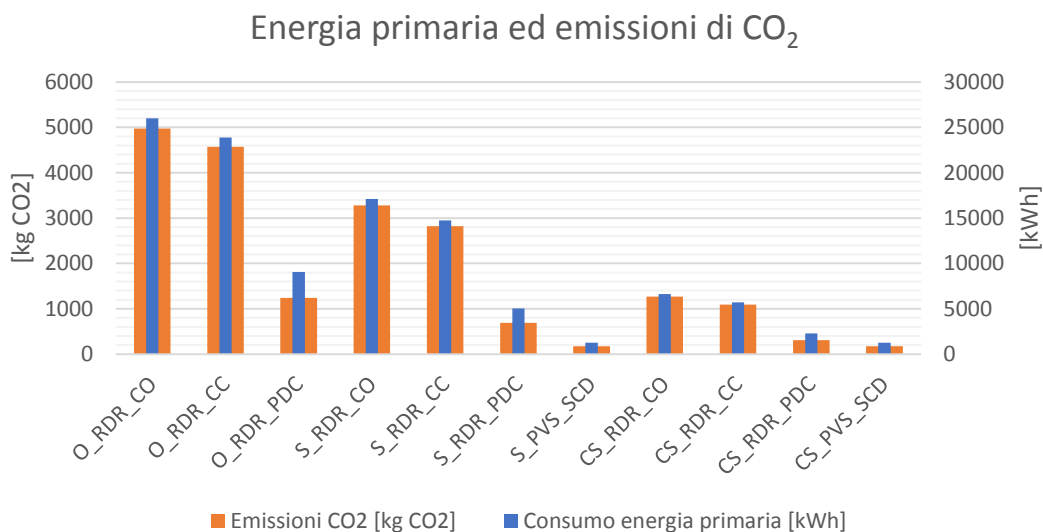


Figura 19 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70 _originale _serr _capp_tot_serr.

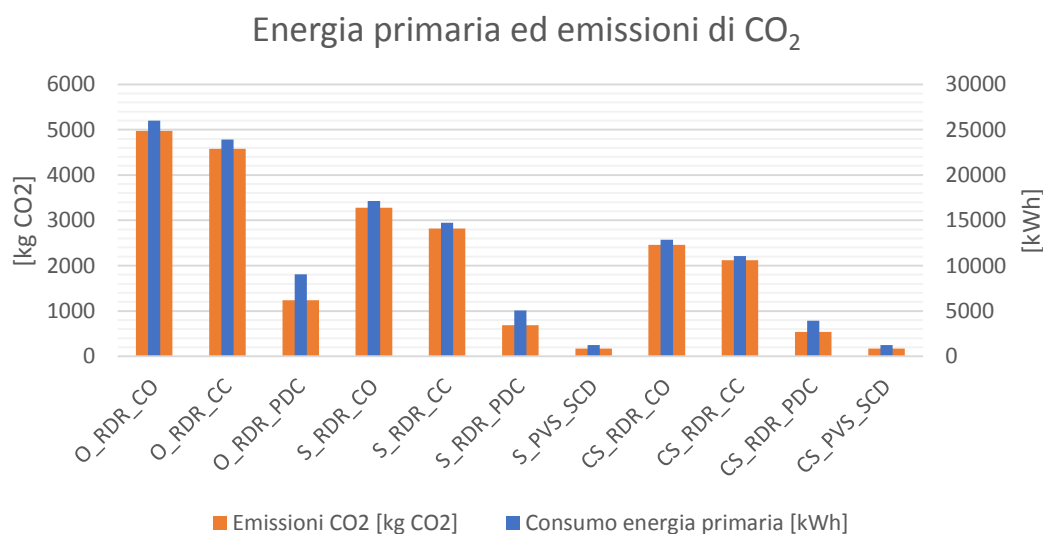


Figura 20 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70 _originale _serr _capp_serr.

Si nota che gli incentivi permettono di abbattere in maniera sensibile il tempo di ritorno dell'investimento, arrivando in alcuni casi quasi a dimezzarlo. I nuovi incentivi per i condomini al 75%, risultano invece poco interessanti, perché non portano un sostanziale beneficio. L'ammontare finale di rimborso del capitale è maggiore, ma è distribuito su 10 anni, quando utilizzando gli incentivi separatamente, interventi come l'impianto radiante sono incentivati solo al 50%, ma il rimborso avviene in 5 anni.

Per quanto riguarda il confronto tra soluzioni con isolamento completo delle superfici opache, rispetto quelle con intervento sulle sole superfici laterali, si nota che da un punto di vista dell'investimento questo sarebbe più contenuto, come d'altronde anche il risparmio conseguibile, e questi due fattori portano ad un bilancio totale che alla fine porta ad un tempo di rientro più contenuto per gli interventi di isolamento parziale. Considerato però che questa differenza è mediamente di 6 mesi, si ritiene che questa debba essere considerata non come la soluzione migliore, ma solo un'alternativa da considerare a seconda della disponibilità economica.

Considerato tutto, risulta di maggiore interesse intervenire sicuramente sul sistema di generazione, optando per PdC accoppiato a TLR, e, a seconda della disponibilità economica, di sostituire gli infissi e, potendo, di aumentare l'isolamento delle pareti laterali ed infine anche della copertura e del pavimento verso il porticato. Non è consigliabile, per motivi di comfort, di agire solo sui muri, lasciando i vecchi infissi.

Si vede come l'interesse del singolo non vada verso la miglior soluzione ambientale possibile, quindi la Pubblica Amministrazione dovrebbe intervenire fornendo incentivi mirati a soluzioni a più basso impatto ambientale, valorizzando le potenzialità del territorio, piuttosto che per l'efficientamento globale dei condomini (incentivo al 75%). La soluzione potrebbe quindi essere quella di proporre incentivi maggiori per sistemi quali quelli di teleriscaldamento in scambio diretto, con tempi di rimborso della spesa ridotto a 5 anni piuttosto che a 10, permettendo così finanziamento più agevole tramite banche. Studi economici in questo senso sarebbero un'ottima prosecuzione di questa tesi.

Gli stessi risultati e considerazioni si possono fare nel caso in cui l'edificio sia già stato connesso alla rete di TLR, quindi con PdC e radiatori, e poi si decida di intervenire su involucro ed eventualmente sistema di emissione. Conviene non passare ad un sistema radiante, ma rimanere con i radiatori, e conviene ancora isolare l'edificio, solo infissi o infissi e superfici opache, a seconda della disponibilità economica. Con gli incentivi, il PB time si attesta tra i 6 anni e 6,6 anni. Anche qui la scelta di isolare tutte le superfici opache, o solo quelle laterali, ha senso solo in termini di avere disponibilità economica più o meno limitata. Ancor meno peso ha qui l'incentivo al 75%.

Da quanto esposto, si osserva che il sistema radiante non è mai preso in considerazione tra le possibilità migliori da un punto di vista economico, e questo più per il costo iniziale che per il payback time che invece non è di molto maggiore rispetto altre soluzioni. Per zone in cui non si avesse una rete di teleriscaldamento come descritta, questo diventa necessario per adottare soluzioni con pompa di calore. L'utilizzo di un sistema geotermico non sarebbe infatti utilizzabile in maniera conveniente con radiatori visto l'elevato salto di temperatura.

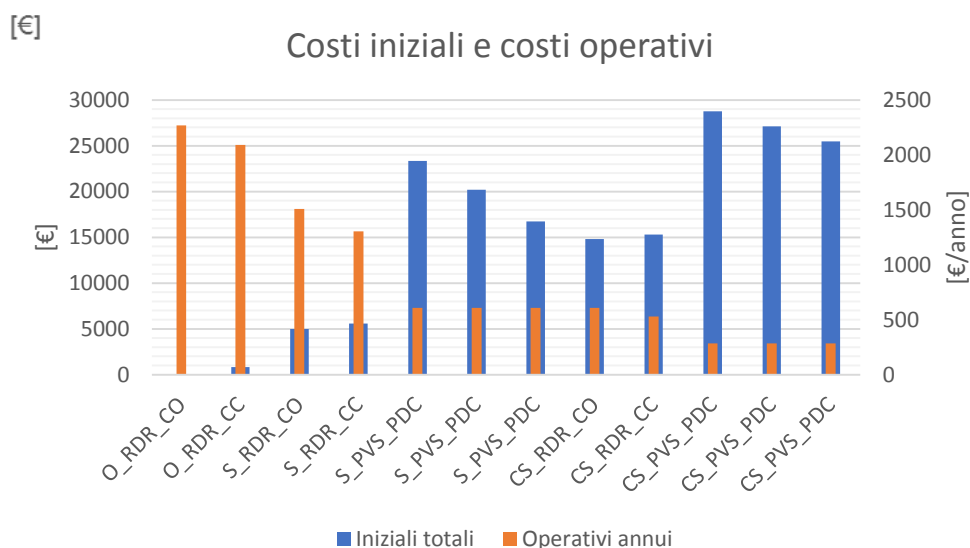


Figura 21- Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli C_70 _originale _serr _capp_tot_serr.

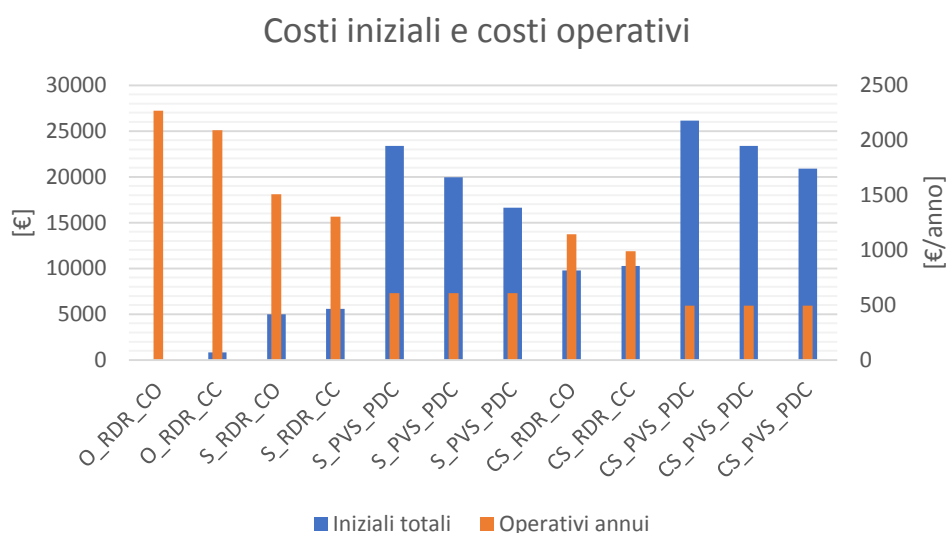


Figura 22 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli C_70 _originale _serr _capp_serr.

In questi grafici la successione di tre soluzioni con sonde, si ha perché ognuna si riferisce ad un gradiente termico del terreno. Quelli considerati sono in ordine: 0,03 K/m, 0,13 K/m, 0,50 K/m. Dai grafici dei costi, si vede come il gradiente termico ha un'influenza forte sul costo d'investimento, poiché più è elevato, più è possibile ridurre la lunghezza delle sonde. Altro fattore che influenza la lunghezza delle sonde è il grado d'isolamento, il quale però porta con sé un costo d'investimento maggiore, ma anche a costi operativi minori.

C_70	_serr			_capp_serr			_capp_tot_serr		
Gradiente [K/m]	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5
Lunghezza [m]	2134	1372	535	1686	1016	412	1098	700	297

Tabella 57 - Lunghezza sonde per i vari interventi sull'involucro e i vari gradienti termici.

Ancora una volta, per i sistemi che prevedono il radiante, non è il tempo di ritorno che è proibitivo, bensì il costo d'investimento. Il payback time è infatti compreso sempre tra 6 e 8 anni per tutte le soluzioni con sonde mostrate nei grafici, quando tutte le altre soluzioni, senza radiante, si attestano tra i 4 e 5 anni.

La lunghezza delle sonde si vede che cala notevolmente con il grado d'intervento sull'involucro, ma il costo predominante è quello dell'isolamento, così che il costo totale comunque aumenta.

Fermo restando che per accedere a questa tecnologia serve una disponibilità economica non indifferente, se questa fosse disponibile, si osserva che riqualificazione dei serramenti ed installazione di questa tecnologia, porterebbe a livelli di costi operativi pari a quello che si otterrebbe con il mantenimento dei radiatori alimentati a caldaia, ed isolamento totale delle superfici opache con sostituzione contemporanea dei serramenti. Quindi questa risulta una possibilità interessante, soprattutto dove si abbia gradiente termico elevato. In tal caso il costo d'investimento di queste due opzioni sarebbe pressoché identico.

Quindi, per alta disponibilità di investimento, in zone ad elevato gradiente termico del terreno, la convenienza privata ed ambientale si incontrano, mentre in zone a normale o medio gradiente termico, soluzioni con sonde geotermiche, rimangono comunque un po' svantaggiose rispetto ad altro. Qui servirebbe quindi incentivare all'adozione di questa tecnologia, anche a scapito di un maggior intervento sull'involucro.

Condominio anni '70 con infissi degli anni '90

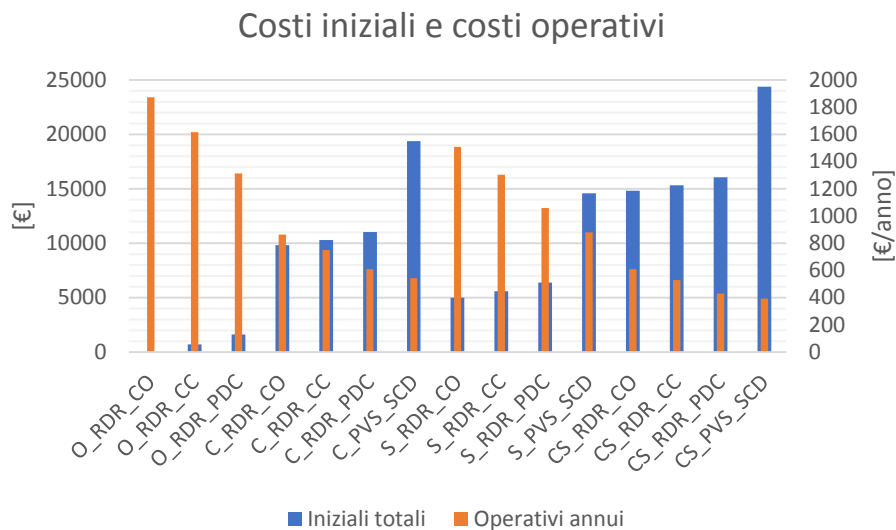


Figura 23 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70_DOPP _originale _capp_tot _serr _capp_tot_serr.

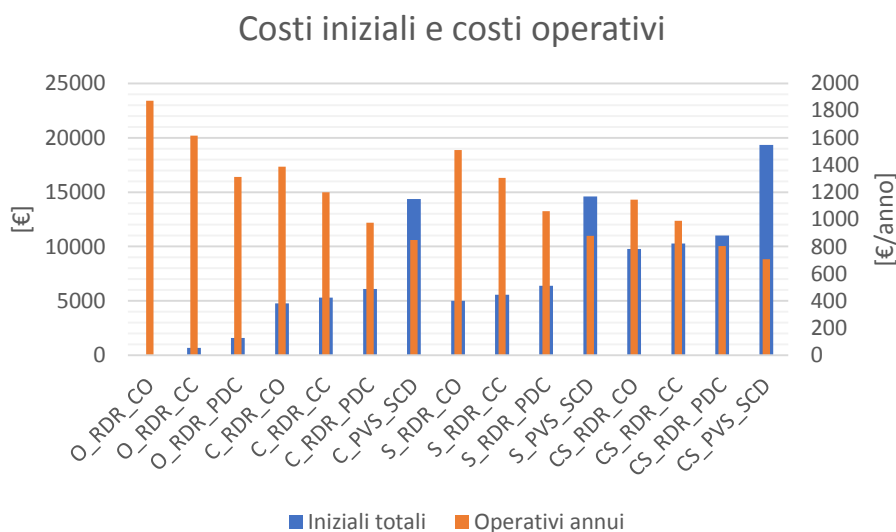


Figura 24 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70_DOPP _originale _capp _serr _capp_serr.

In questi edifici, come si è visto dai livelli di temperatura necessari, risulta appena sufficiente, ma comunque sufficiente la temperatura erogata dalla rete di teleriscaldamento per lo scambio diretto, anche sul modello originale. Si è però deciso di non riportarlo qui, perché sia da un punto di vista di pratica comune, che di comfort ottenibile, non è una strada ritenuta valida. Non sarebbe comunque interessante perché porterebbe a risparmi economici pari a soluzioni riportate nei grafici con però il doppio della spesa iniziale.

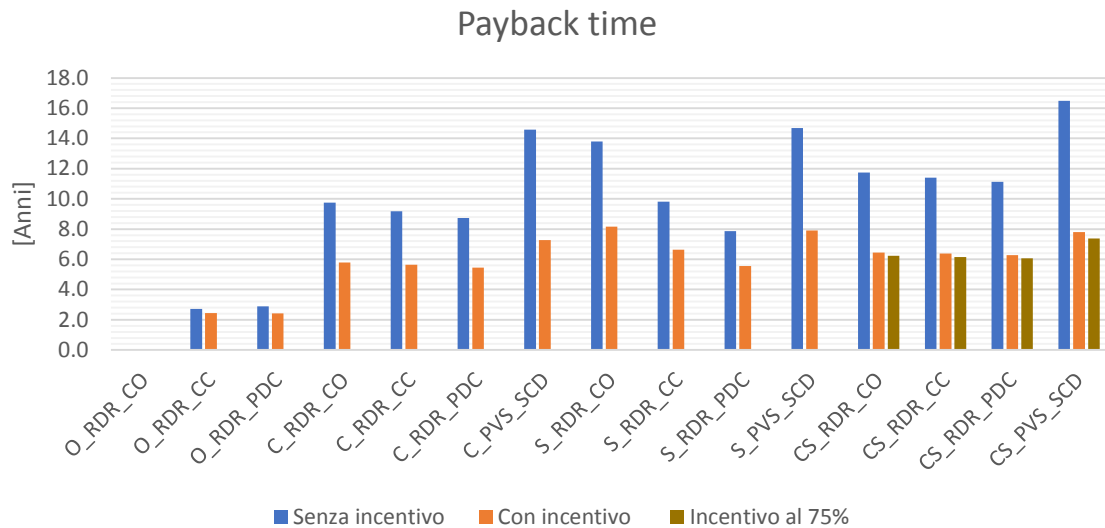


Figura 25 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70_DOPP _originale _capp_tot _serr _capp_tot _serr.

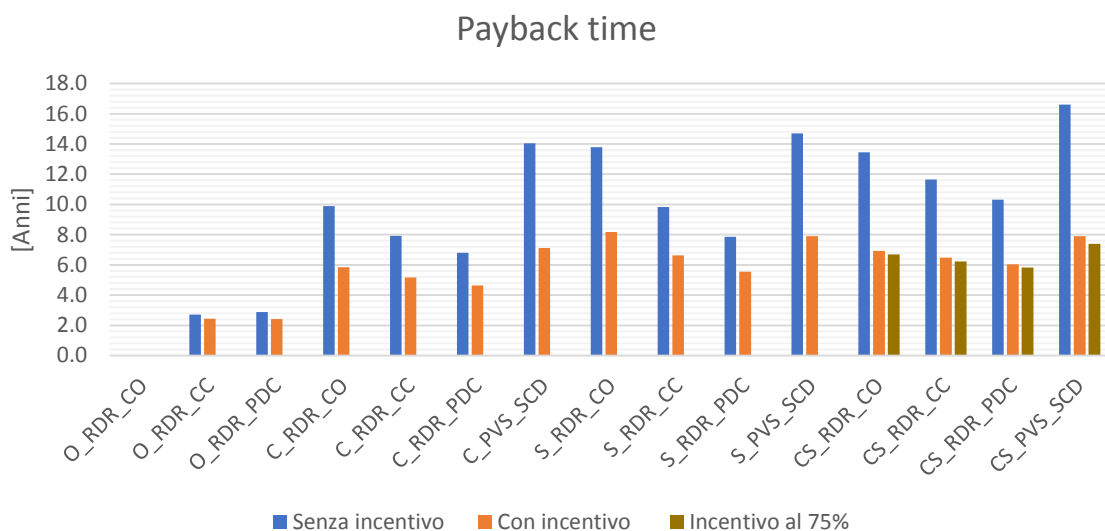


Figura 26 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70_DOPP _originale _capp _serr _capp _serr.

Fatta questa premessa, in questo caso si osserva che intervenire sull'involucro ha un beneficio comunque significativo, anche se minore del precedente, dovuto alla migliore baseline. I tempi di rientro sono quindi più elevati e sostituire solo gli infissi questa volta non è vantaggioso come prima, e nemmeno rispetto le altre soluzioni se non si interviene anche sull'impianto. In questo caso c'è anche una differenza sostanziale in termini di risparmio percentuale se con intervento sulle superfici opache si intende solo delle pareti laterali o anche di copertura e pavimento esterni. Tanto che, energeticamente, conviene intervenire su tutte le superfici opache, piuttosto che sulle sole superfici

lateralmente e sugli infissi contemporaneamente; tenuto conto che il costo di queste due opzioni è circa il medesimo, il primo risulta in definitiva più interessante.

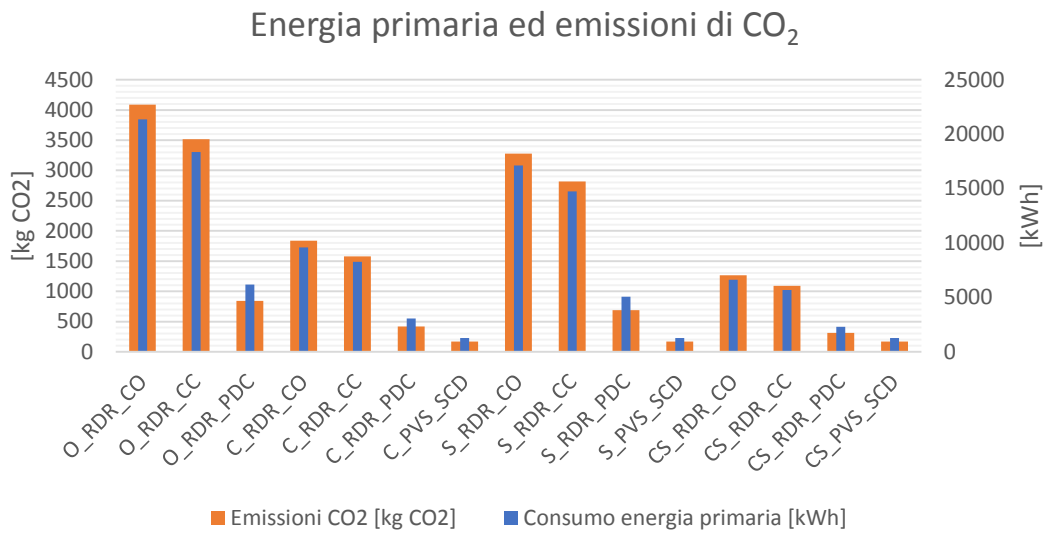


Figura 27 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70_DOPP _originale _capp_tot _serr _capp_tot _serr.

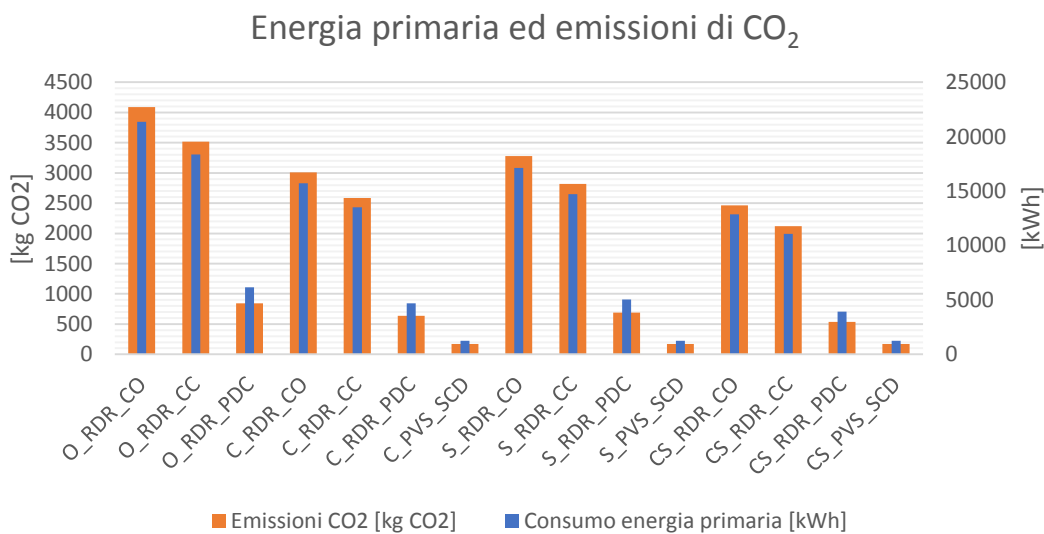


Figura 28 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_70_DOPP _originale _capp _serr _capp _serr.

Spostando il focus sulle sole superfici opache, risulta che, in termini di tempo di rientro, isolare completamente le superfici opache o solo le pareti laterali resta praticamente analogo se si interviene sul solo involucro. La cosa cambia se si interviene anche sugli impianti, ed il tempo di ritorno si sposta a vantaggio dell'intervento su solo pareti laterali poiché il beneficio degli impianti pesa percentualmente di più e questi sono con tempo di ritorno assolutamente più contenuto. Nel caso di isolamento completo, il peso dell'isolamento si sente di più e mantiene il tempo di rientro più

prossimo a quello di solo intervento sull'involucro. Il decremento dei consumi è però molto più contenuto per la soluzione di solo cappotto laterale. Dal punto di vista ambientale vale la stessa cosa dei consumi.

Accoppiato a qualsiasi altro intervento, risulta conveniente, in termini di tempo di ritorno, intervenire anche sul sistema di generazione, passando almeno ad una caldaia a condensazione, o ancor meglio a pompa di calore accoppiata alla rete di teleriscaldamento a bassa temperatura. In questi casi, agire anche solo sugli infissi torna ad essere una soluzione interessante, con tempi di rientro analoghi per tutte queste soluzioni.

Il costo di intervento per il sistema di riscaldamento ed ACS, è infatti contenuto; si attesta tra 500 € e 1600 € a seconda della soluzione scelta, più alto per pompa di calore e teleriscaldamento, più bassa per caldaia a condensazione, ed in relazione al grado di intervento sull'involucro; più l'edificio è isolato, minore sarà la taglia del sistema di generazione e quindi il suo costo.

Intervenire sull'impianto di emissione, passando da radiatori a pavimento radiante (a secco) non risulta conveniente dal punto di vista economico, poiché i costi di investimento risultano molto più elevati ed i costi operativi non molto più bassi di altre soluzioni. Si ottiene così un PB time più elevato.

Dal punto di vista ambientale, quest'ultima però sarebbe la soluzione che porterebbe i maggiori benefici, soprattutto su edifici in cui si interviene sui soli infissi. In questo caso si passerebbe infatti ad una riduzione di emissioni di CO₂ del 96% rispetto l'83% conseguibile senza installare l'impianto radiante che permette di andare quindi in scambio diretto senza la necessità di una pompa di calore che fornisca l'energia per il riscaldamento, e che servirebbe quindi solo per l'ACS. Si vede che comunque il risultato è ottimo anche senza sistema radiante.

Si osserva inoltre che nei casi in cui si intervenisse sulle sole pareti laterali e non su copertura e pavimento verso porticato, la differenza di emissioni tra i due casi risulta significativa; questo rispecchia infatti la sostanziale differenza in termini di consumi.

Si nota che gli incentivi permettono di abbattere in maniera sensibile, arrivando in alcuni casi quasi a dimezzare, il tempo di ritorno dell'investimento. Come per i condomini della classe precedente, anche qui i nuovi incentivi per i condomini al 75%, risultano poco interessanti, perché non portano un sostanziale beneficio. L'ammontare finale di rimborso del capitale è maggiore, ma è distribuito su 10 anni, quando utilizzando gli incentivi separatamente, interventi come l'impianto radiante sono incentivati solo al 50%, ma il rimborso avviene in 5 anni.

Considerato tutto, risulta di maggiore interesse intervenire sicuramente sul sistema di generazione, optando per PdC accoppiato a TLR, e, con disponibilità economica crescente, intervenire anche sulle sole superfici laterali, intervenire anche su copertura e pavimento verso il porticato, ed infine sostituire anche gli infissi.

Non è consigliabile intervenire su infissi e superfici laterali senza intervenire su copertura e porticato, sono infatti sullo stesso livello di costo iniziale dell'intervento su tutte le superfici opache, ma i risparmi conseguibili sono a vantaggio dell'intervento completo sulle superfici opache.

L'intervento sui soli infissi, che è sul livello di costo dell'intervento sulle sole superfici laterali, è meno vantaggioso di questo, anche se non di molto, e quindi potrebbe essere preferito se non si volessero intraprendere impegnative opere murarie esterne.

Si vede come anche in questo caso, l'interesse del singolo non vada verso la miglior soluzione ambientale possibile, che qui, dal punto di vista dell'involucro, dovrebbe essere spinto verso l'isolamento completo dell'edificio e non delle sole pareti laterali. Questo obiettivo, che dovrebbe essere favorito dall'incentivo al 75%, risulta invece non interessante per il singolo poiché tale incentivo non ha la forza di far cambiare in maniera significativa i valori in gioco. Con tale obiettivo, si dovrebbe prevedere un incentivo per l'efficientamento energetico che sia non più alto, ma a minor tempo di rimborso della spesa, così da poter affrontare spese più elevate grazie a finanziamenti tramite banche.

Gli stessi risultati e considerazioni si possono fare nel caso in cui l'edificio sia già stato connesso alla rete di TLR, quindi con PdC e radiatori, e poi si decida di intervenire su involucro ed eventualmente sistema di emissione. Conviene non passare ad un sistema radiante, ma rimanere con i radiatori, e conviene ancora isolare l'edificio, secondo i criteri esposti, a seconda della disponibilità economica. Con gli incentivi, il PB time si attesta tra i 7,1 anni e i 7,9 anni a seconda dell'intervento sulle superfici opache ed eventualmente anche serramenti. L'intervento sui soli infissi non è consigliabile, poiché non si hanno i benefici di riduzione della taglia del sistema di generazione, essendo questo già installato, e il PB time resta sui 10 anni. Ancora meno impatto ha qui l'incentivo al 75%. Il radiante rimane quindi una scelta da favorire da parte della Pubblica Amministrazione, presa altrimenti in considerazione dall'utente solo per esigenze di maggior comfort di riscaldamento.

Da quanto esposto, si osserva che il sistema radiante non è mai preso in considerazione tra le possibilità migliori da un punto di vista economico, e questo più per il costo iniziale che per il payback time che invece non è di molto maggiore rispetto altre soluzioni. Per zone in cui non si avesse una rete di teleriscaldamento come descritta, questo diventa necessario per adottare soluzioni con pompa

di calore. L'utilizzo di un sistema geotermico non sarebbe infatti utilizzabile in maniera conveniente con radiatori visto l'elevato salto di temperatura.

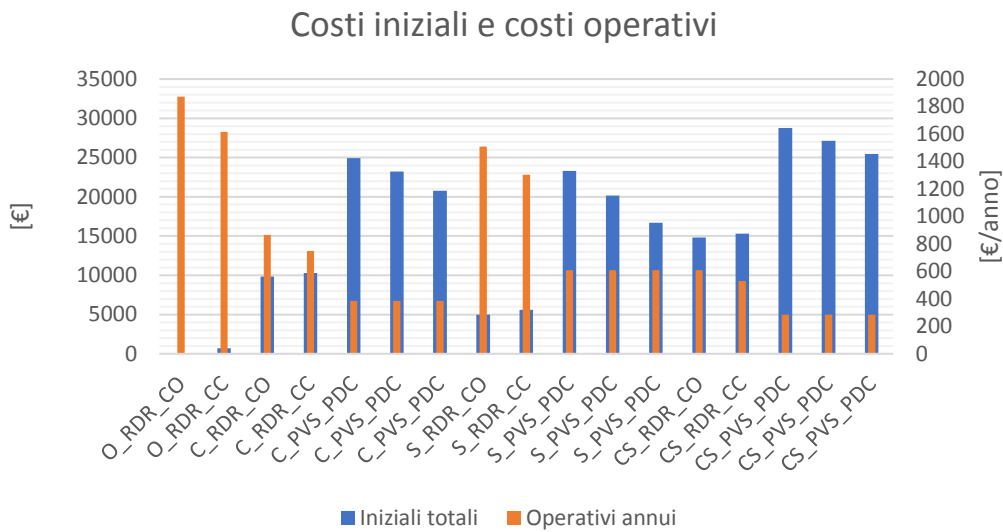


Figura 29 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli C_70_DOPP _originale _capp_tot _serr _capp_tot_serr.

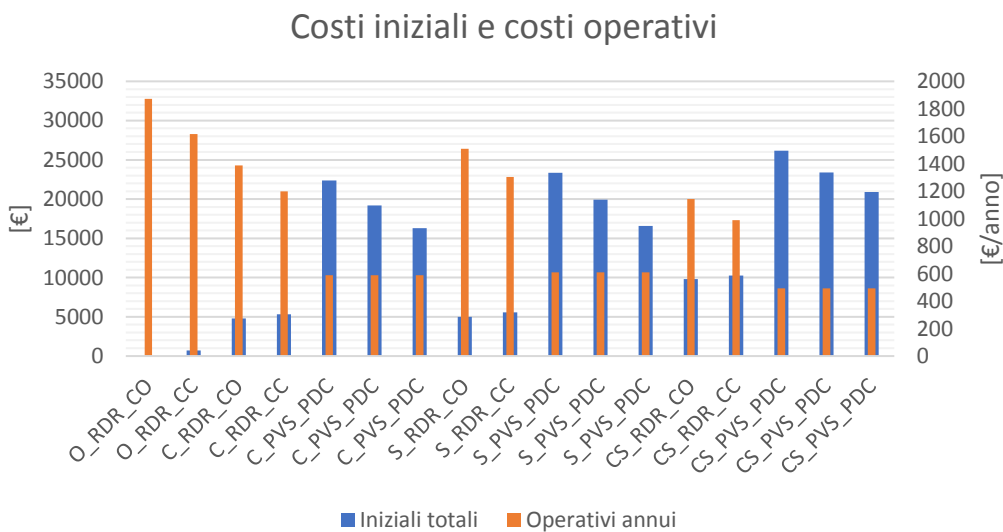


Figura 30 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli C_70_DOPP _originale _capp _serr _capp_serr.

In questi grafici la successione di tre soluzioni con sonde, si ha perché ognuna si riferisce ad un gradiente termico del terreno. Quelli considerati sono in ordine: 0,03 K/m, 0,13 K/m, 0,50 K/m. Dai grafici dei costi, si vede come il gradiente termico ha un'influenza forte sul costo d'investimento, poiché più è elevato più è possibile ridurre la lunghezza delle sonde. Altro fattore che influenza la lunghezza delle sonde, è il grado d'isolamento, il quale però porta con sé un costo d'investimento maggiore, ma anche a costi operativi minori.

C_70_DOPP	_capp			_capp_tot			_serr		
Gradiente [K/m]	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5
Lunghezza [m]	1963	1194	489	1380	967	371	2134	1372	535
	_capp_serr			_capp_tot_serr					
Gradiente [K/m]	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5			
Lunghezza [m]	1686	1016	412	1098	700	297			

Tabella 58 - Lunghezza sonde per i vari interventi sull'involucro e i vari gradienti termici.

In questo caso, per i sistemi che prevedono il radiante, oltre al costo d'investimento, anche il tempo di ritorno risulta svantaggioso in maniera più marcata rispetto ad altre soluzioni. Questa differenza viene meno per gradienti termici pari a 0,50 k/m. In tale condizione infatti, come si vede dai grafici, soluzioni con isolamento più contenuto, ma con l'impianto geotermico, portano a costi sia d'investimento che operativi, pari a soluzioni con elevato isolamento, ma con caldaia originale o a condensazione. I payback time saranno quindi simili, e così la convenienza per il singolo, ma le emissioni risultano più contenute per soluzioni con più basso isolamento, ma con impianto geotermico. Si guardi il caso di intervento sui soli serramenti e con impianto geotermico, rispetto una soluzione con isolamento totale ma caldaia originale. Nel primo caso la riduzione di CO₂ è pari al 76%, nel secondo pari al 69%. C'è quindi differenza ma non è così rilevante.

Fermo restando che per accedere a questa tecnologia serve una disponibilità economica non indifferente e ci si collochi quindi su fasce d'investimento elevate, se questa fosse disponibile, si osserva che alcune combinazioni, come quella sopra citata, porterebbero a livelli di costi operativi pari a quelli che si otterrebbero con isolamento dell'involucro maggiore. Quindi questa risulta una possibilità interessante, ma il gradiente termico elevato qui risulta più determinante rispetto quanto fosse nei confronti di edifici anni '70.

Quindi, per alta disponibilità di investimento, in zone ad elevato gradiente termico del terreno la convenienza privata ed ambientale si incontrano, mentre in zone a normale o medio gradiente termico, soluzioni con sonde geotermiche, rimangono comunque un po' svantaggiose rispetto ad altro. Qui servirebbe quindi incentivare all'adozione di questa tecnologia, anche a scapito di un maggior intervento sull'involucro. Il beneficio ambientale è ancora più marcato se confrontato con intervento sulle sole superfici laterali, o laterali più infissi; ma questi interventi presentano costi più contenuti.

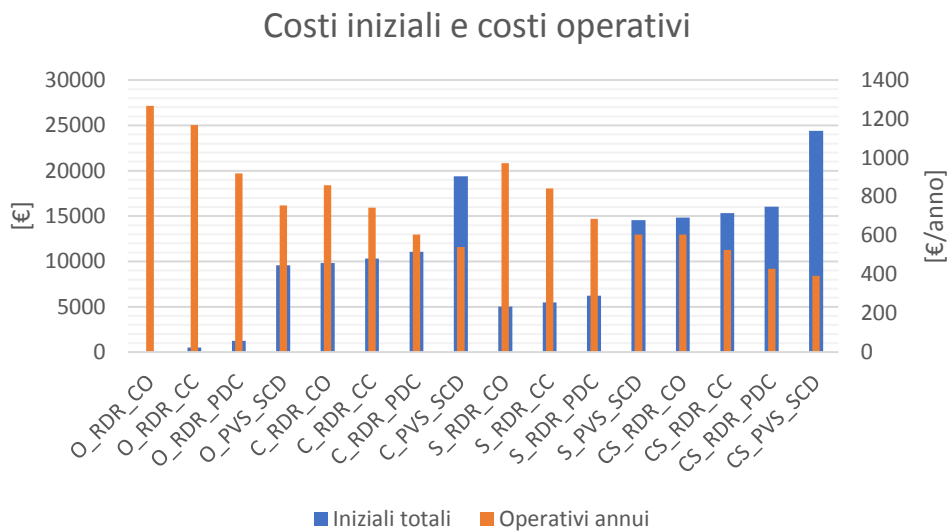


Figura 31 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_90 _originale _capp_tot _serr _capp_tot_serr.

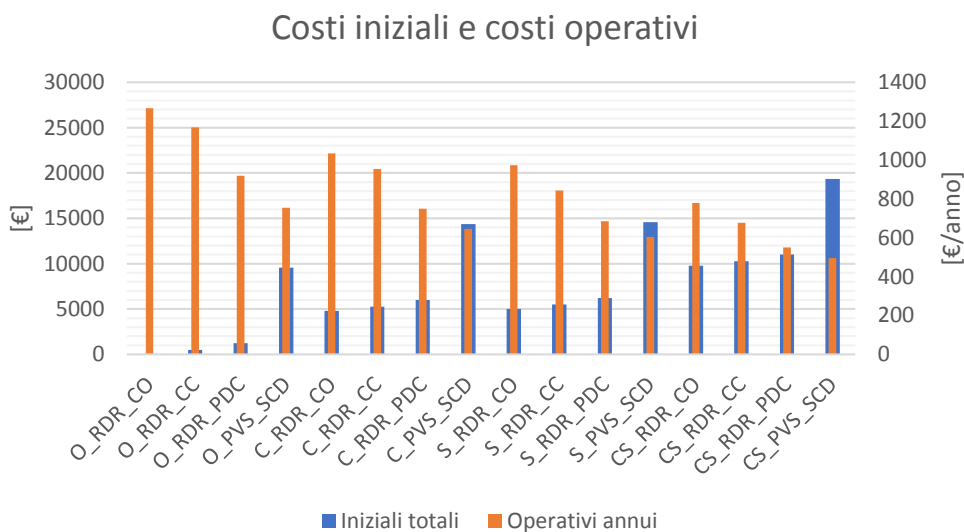


Figura 32 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_90 _originale _capp _serr _capp_serr.

Per questa classe di edifici, il pavimento radiante è considerato anche in caso di nessun intervento sull'involucro. Risulta infatti possibile lo scambio diretto, e a differenza degli edifici anni '70, l'involucro presenta grado di isolamento tale da non rendere ciò insensato.

Si osserva che intervenire solo sull'involucro ha un beneficio significativo, anche se minore che per gli edifici anni '70 dovuto alla migliore baseline. I tempi di rientro sono quindi più elevati ed analoghi, intorno ai 9 anni, per tutte le soluzioni di riqualificazione dell'involucro, che siano di isolamento di tutte le superfici opache, solo di quelle laterali e/o infissi. Le soluzioni con isolamento delle sole superfici laterali presentano un tempo di ritorno mediamente di 1 anno più basso rispetto il loro

corrispettivo con isolamento totale, che è più alto per soluzioni in cui si interviene anche sull'impianto di emissione e più basso dove non viene toccato. Il decremento dei consumi è molto più contenuto per la soluzione di solo cappotto laterale. Dal punto di vista ambientale vale la stessa cosa dei consumi.

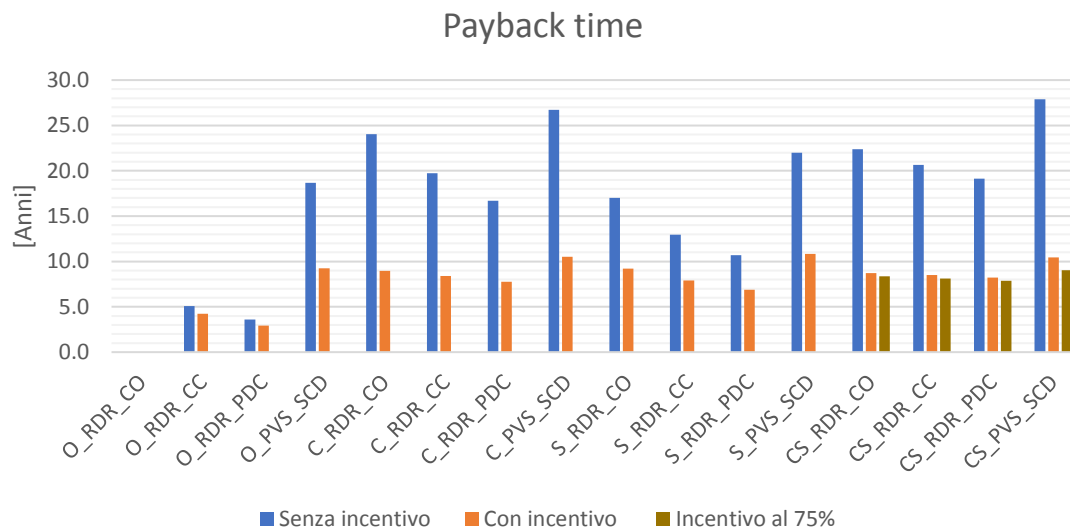


Figura 33 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_90 _originale _capp_tot _serr _capp_tot_serr.

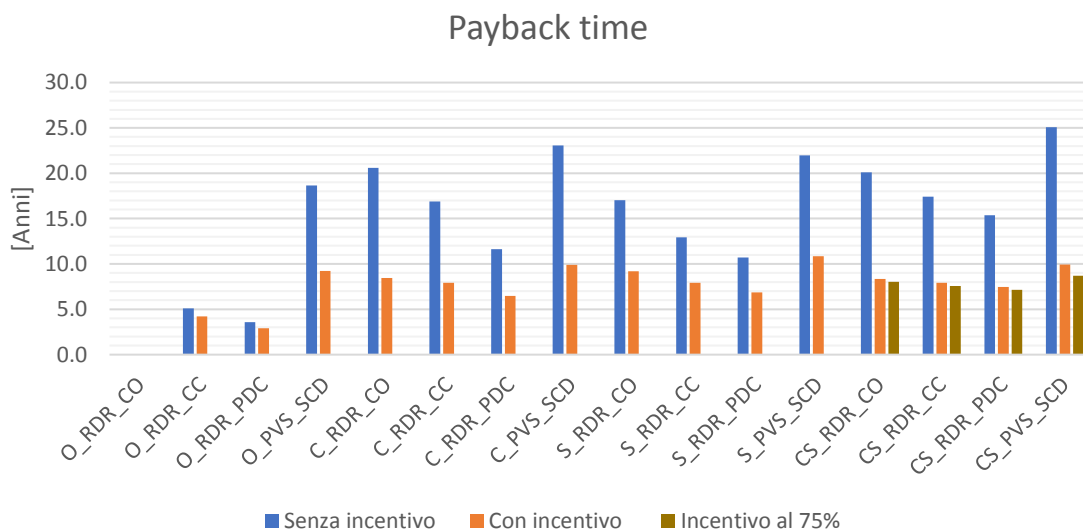


Figura 34 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_90 _originale _capp _serr _capp_serr.

Risulta più conveniente, sotto ogni punto di vista, intervenire anche sul sistema di generazione, passando almeno ad una caldaia a condensazione, o ancor meglio a pompa di calore accoppiata alla rete di teleriscaldamento a bassa temperatura. Passando a PdC accoppiata a teleriscaldamento insieme agli interventi sull'involucro, i tempi di ritorno si attestano tra i 6,2 e gli 8,2 anni. Se si sceglie la caldaia a condensazione i tempi di ritorno variano da 7,9 a 8,5 anni.

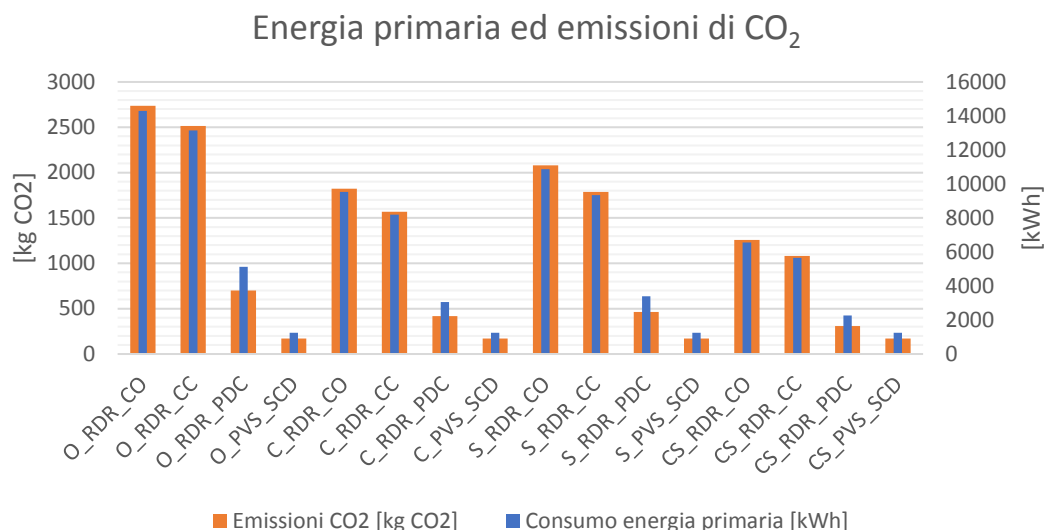


Figura 35 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_90 _originale _capp_tot _serr _capp_tot _serr.

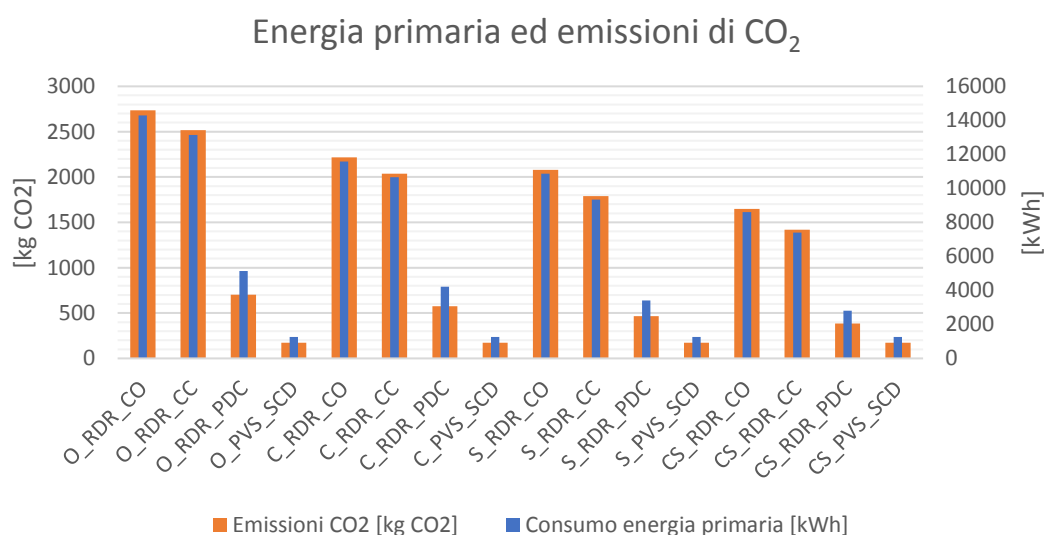


Figura 36 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_90 _originale _capp _serr _capp_serr.

La soluzione in assoluto più vantaggiosa dal punto di vista del tempo di ritorno, è il passaggio ad un sistema di generazione PdC - TLR con radiatori, senza intervenire sull'involucro. Il tempo di rientro è inferiore ai 3 anni; il risparmio economico annuo per riscaldamento e ACS risulterà però contenuto rispetto le altre soluzioni, attestandosi comunque sul 27% che è maggiore del risparmio che si consegue isolando, ad esempio le sole pareti laterali o cambiando i soli infissi, e rimanendo con la caldaia originale. Inoltre questa soluzione presenta anche vantaggi ambientali molto maggiori delle due appena citate con riduzione delle emissioni del 66% contro 19% e 24% rispettivamente.

Intervenire sull'impianto di emissione, passando da radiatori a pavimento radiante (a secco) non risulta conveniente dal punto di vista economico, poiché i costi di investimento risultano molto più elevati ed i costi operativi non molto più bassi di altre soluzioni. A differenza degli edifici anni '70 però, il PB time non si alza troppo rispetto altre soluzioni, attestandosi intorno ai 10 anni se fatto con PdC e TLR. Questa soluzione è quindi consigliata se si cerca un maggior comfort, sottolineando come dal punto di vista economico rimane non troppo più svantaggiosa rispetto altre soluzioni. In questo caso l'utilizzo di un incentivo al 75% può risultare utile, riducendo il tempo di ritorno di oltre un anno.

Dal punto di vista ambientale, quest'ultima però sarebbe la soluzione che porterebbe i maggiori benefici. Si ha infatti una riduzione di emissioni di CO₂ che passerebbe da circa 80% a circa 92%, a seconda dell'intervento sull'involucro, rispetto le soluzioni con radiatori e PdC che non permettono di andare in scambio diretto. In tal caso, con il radiante, non si avrebbe quindi la necessità di una pompa di calore che fornisca l'energia per il riscaldamento, e che servirebbe solo per l'ACS.

Anche questa volta si nota che gli incentivi permettono di abbattere in maniera sensibile, arrivando in alcuni casi più che a dimezzare, il tempo di ritorno dell'investimento. I nuovi incentivi per i condomini al 75%, risultano invece poco interessanti se non si installa un sistema radiante. In tal caso invece, esso verrebbe infatti incentivato non più al 50%, ma al 75% come ogni altro intervento sull'edificio in esame, portando così i tempi di ritorno quasi in linea con i sistemi a radiatori. Questo accade poiché siamo su tempi di ritorno superiori di molto ai 5 anni, cosa che non era vera per gli altri edifici. In questo caso quindi l'incentivo al 75% fa sentire il proprio peso anche se la somma viene restituita in un tempo più lungo rispetto quella al 50%, cosa che faceva invece non convenire ciò per tempi di ritorno più contenuti.

Considerato tutto, risulta di maggiore interesse intervenire sicuramente sul sistema di generazione, optando per PdC accoppiato a TLR, inoltre, a seconda della disponibilità economica, di intervenire sull'involucro (infissi e/o superficie opaca), ed infine, se si cerca anche un maggior comfort, di sostituire il sistema di emissione con un sistema radiante a pavimento. Per quanto riguarda l'isolamento dell'involucro, a seconda della disponibilità economica, le soluzioni che dovrebbero essere prese in considerazione sono: sole superfici laterali o soli infissi abbastanza indifferentemente, superfici laterali ed infissi, tutte le superfici opache e gli infissi. Non si consiglia di intervenire su tutte le superfici opache senza sostituire gli infissi. Si sottolinea come nel caso di intervento di isolamento su sole pareti laterali, costi e benefici sono analoghi a ciò che si avrebbe con la sostituzione degli infissi che però presentano lavori meno gravosi.

Si vede come l'interesse del singolo non vada nemmeno in questo caso verso la miglior soluzione ambientale possibile per alti livelli di intervento, mentre si vuole sottolineare come a livelli di intervento bassi, le due cose si coniugano grazie alla soluzione di pompa di calore con teleriscaldamento e radiatori senza intervento sull'involucro.

Gli stessi risultati e considerazioni si possono fare nel caso in cui l'edificio sia già stato connesso alla rete di TLR, quindi con PdC e radiatori, e poi si decida di intervenire su involucro ed eventualmente sistema di emissione. Con gli incentivi, il PB time si attesta sui 10 anni. L'utilizzo dell'incentivo al 75% qui diventa interessante, perché l'installazione di sistemi radianti a secco, sarebbe in linea in termini di PB time, con le altre soluzioni, considerandole tutte incentivate al 75%. Le considerazioni tra isolamento totale delle superfici opache, rispetto l'isolamento delle sole pareti laterali, sono analoghe a quanto detto sopra per questa tipologia di edifici.

Da quanto esposto, questa volta si osserva che il sistema radiante non è così svantaggioso rispetto altre soluzioni, fermo restando che si colloca solo per investimenti ad alta disponibilità economica.

In tal caso però risulta avere tempi di ritorno non così più elevati di altro e nel caso di sonde geotermiche bisogna tenere in considerazione il fatto che l'energia termica lato evaporatore sarebbe gratuita, a differenza di quanto avviene con il teleriscaldamento, e questo avvantaggia ancora di più sistemi radianti nel caso di sonde geotermiche. Si riportano quindi i risultati relativi a queste soluzioni.

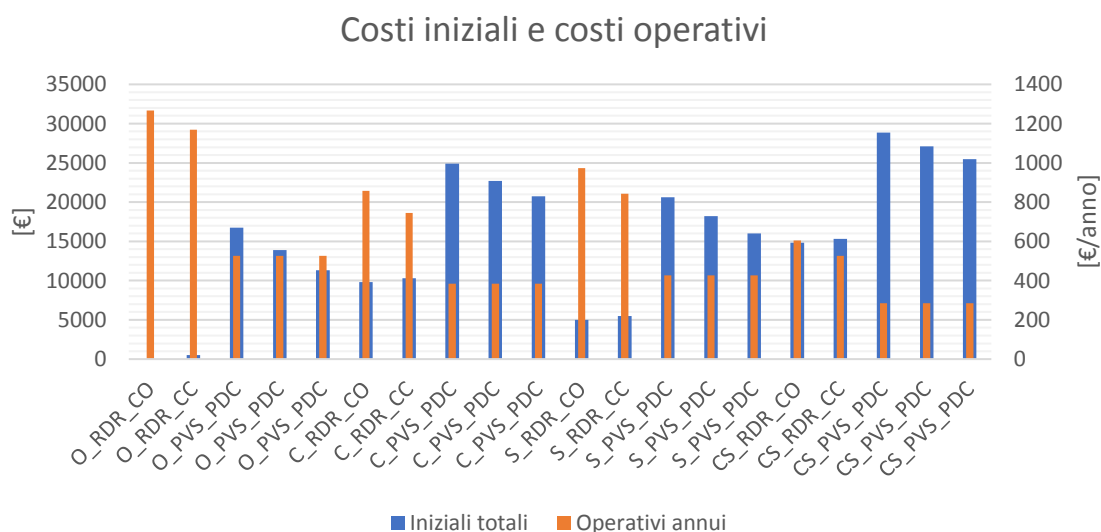


Figura 37 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli C_90 _originale _capp_tot _serr _capp_tot _serr.

Costi iniziali e costi operativi

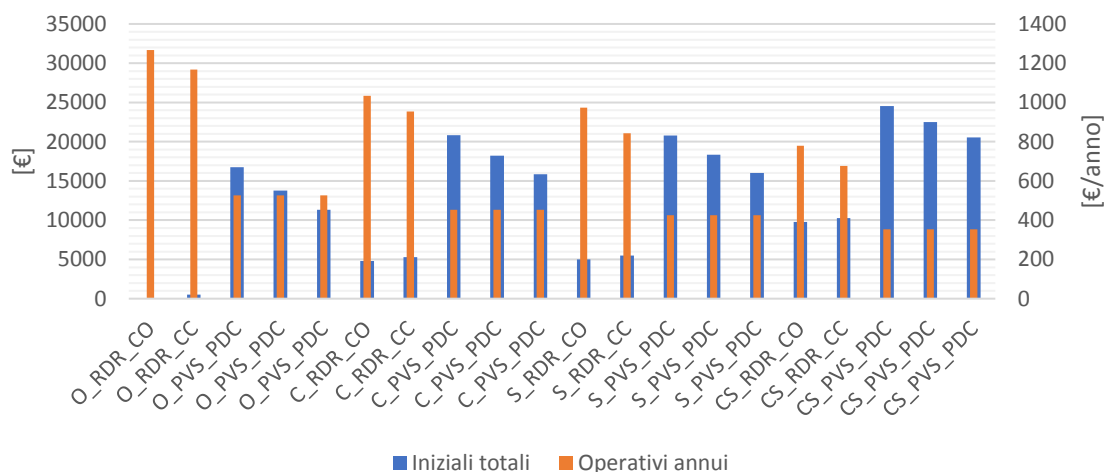


Figura 38 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli C_90 _originale _capp _serr _capp_serr.

In questi grafici la successione di tre soluzioni con sonde, si ha perché ognuna si riferisce ad un gradiente termico del terreno. Quelli considerati sono in ordine: 0,03 K/m, 0,13 K/m, 0,50 K/m. Dai grafici dei costi, si vede come il gradiente termico ha un'influenza forte sul costo d'investimento, poiché più è elevato più è possibile ridurre la lunghezza delle sonde.

Altro fattore che influenza la lunghezza delle sonde, è il grado d'isolamento, il quale però porta con sé un costo d'investimento maggiore, ma anche a costi operativi minori. Dei due fattori, comunque, si vede che quello che più influenza la lunghezza delle sonde è il gradiente del terreno piuttosto che il grado di isolamento. Infatti la lunghezza delle sonde risulta più corta per un gradiente alto e nessun intervento sull'involucro, piuttosto che intervento totale sull'involucro e gradiente anche solo medio.

C_90	_originale			_capp			_capp_tot		
	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5
Gradiente [K/m]	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5
Lunghezza [m]	1774	1088	464	1611	980	398	1378	842	371
	_serr			_capp_serr			_capp_tot_serr		
Gradiente [K/m]	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5
Lunghezza [m]	1504	921	387	1292	804	324	1116	698	297

Tabella 59 - Lunghezza sonde per i vari interventi sull'involucro e i vari gradienti termici.

Per questa classe di edifici, si osserva che le sonde, in zone ad elevato gradiente termico, sono decisamente competitive rispetto altre soluzioni. Se il gradiente cala, la convenienza diminuisce, ma comunque rimangono competitive. Il costo di tali soluzioni è comunque elevato, ma su fasce di investimento pari a quelle che si hanno con intervento completo sull'involucro e senza toccare il

sistema di generazione e benefici economici anche superiori, portando il costo operativo a livelli inferiori e quindi anche il payback time si riduce.

Dal punto di vista delle emissioni, il sistema geotermico permette di raggiungere riduzioni di emissioni di CO₂ pari al 70% anche senza nessun intervento sull'involucro. Tale livello non è raggiungibile, se si mantiene la caldaia a gas, anche se a condensazione, nemmeno con livello di isolamento massimo.

Quindi, per questa classe di edifici, si vede ancora che a bassi costi d'investimento non si può rispondere con soluzioni geotermiche, ma avendo un'alta disponibilità economica, in questo caso conviene sostituire il sistema di generazione con uno a sonde geotermiche piuttosto che intervenire pesantemente sull'involucro. Questo è certamente vero per gradienti del terreno alti, dove i tempi di ritorno degli investimenti sono analoghi, ma rimane comunque valido per gradienti medi o bassi, dove la differenza in termini di payback time è di 1 e 2 anni rispettivamente.

Questi risultati, per questi edifici, si hanno perché tali edifici hanno payback time più alti per tutte le soluzioni, ma con le sonde si ha inoltre il beneficio di poter sfruttare l'energia lato evaporatore in modo gratuito, a differenza di quanto avveniva per soluzioni con teleriscaldamento.

Per questi edifici, dove ci sia, il teleriscaldamento rimane comunque la soluzione più accessibile sia perché permette investimenti bassi, sia perché non necessita di interventi di muratura interna invasivi quali quelli richiesti dall'installazione del radiante a pavimento, ma soluzioni con sonde sono interessanti per zone dove questa rete non ci sia.

Condominio nuovo

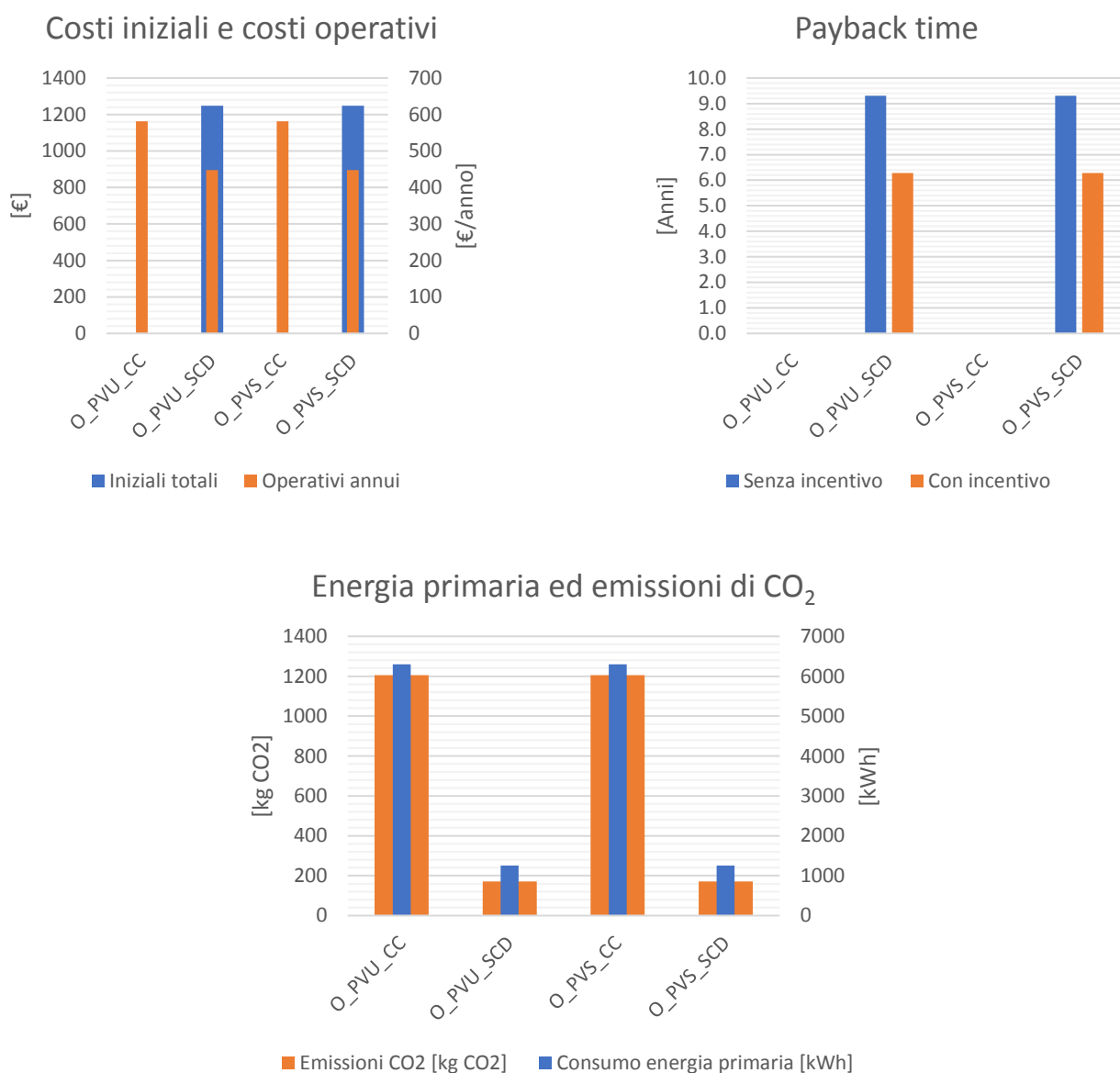


Figure 39 - 40 - 41 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli C_NEW_originale

Per quanto riguarda gli edifici di nuova costruzione, non si hanno due situazioni dipendenti dalla tipologia di isolamento delle pareti scelto poiché non si interviene sull'involucro, ma, si ricorda, che come baseline è considerata la situazione di impianto radiante con caldaia a condensazione. Si hanno due casi a seconda che l'impianto sia a secco o tradizionale ad umido.

La differenza di emissioni di CO₂ supera l'80% grazie al riscaldamento in scambio diretto, possibile grazie al radiante, e pompa di calore che serve per la sola ACS. Il beneficio è anche economico e le spese di intervento ridotte a circa 1250 €.

Questa soluzione resta quindi molto interessante sia per l'utente, con tempo di ritorno dell'investimento di 6 anni, grazie agli incentivi, che dal punto di vista ambientale.

Il caso con le sonde presenta invece tempi di ritorno molto più elevati per gradiente termico del terreno basso, mentre sono circa in linea con il teleriscaldamento per gradiente elevato. Gli investimenti variano molto a secondo del gradiente, arrivando a più di 6000 € per gradiente basso, a meno di 2400 € per gradiente alto. Il vantaggio economico sui costi operativi è però notevole, essi si riducono a meno di 350 € annui contro i 450 € del teleriscaldamento.

C_NEW	_originale		
Gradiente [K/m]	0.03	0.13	0.5
Lunghezza [m]	1204	741	311

Tabella 60 - Lunghezza sonde per i vari interventi sull'involucro e i vari gradienti termici.

Quindi per edifici di nuova costruzione in zone ad elevato gradiente termico del terreno, la soluzione a sonde geotermiche potrebbe essere preferibile anche all'allacciamento alla rete di teleriscaldamento. Questo è dovuto al fatto che il sistema radiante si considera già installato, ed era questo il vero ostacolo per gli altri edifici. In zone a gradiente termico non elevato, il teleriscaldamento rimane comunque molto più favorevole in termini di tempi di ritorno che sono invece sotto i 6 anni per zone ad elevata anomalia.

Villette

Si ricorda che per le villette si hanno tre differenze significative che salteranno all'occhio dai grafici rispetto i condomini, ovvero:

- Non si ha l'incentivo al 75%, poiché valido solo per condomini.
- Non si hanno i doppi grafici, poiché non si sono prese in considerazione gli interventi con isolamento di tutte le superfici opache. Questo per due ragioni:
 - o I costi sarebbero stati ancora più elevati, e si voleva invece tenere tale margine per interventi sul sistema di generazione che qui grava per intero sull'unica unità abitativa, a differenza di quanto si aveva per il condominio dove veniva divisa per i 12 appartamenti.
 - o Dalle analisi precedenti sul condominio, si vede come in termini di payback time, isolare solo le superfici laterali o anche la copertura e pavimento verso l'esterno, non influenzi significativamente il risultato. Resta quindi una scelta solo economica, dipendente dalla disponibilità del privato, con benefici energetici, economici ed ambientali proporzionali alla spesa sostenuta. Quindi i casi di isolamento completo sono deducibili da quelli con isolamento di sole pareti, considerando una spesa ulteriore, ed un beneficio proporzionale.
- Si avranno invece più grafici per le soluzioni con sonde, in modo da sfruttare il minor numero di grafici per teleriscaldamento, per tenere comunque la trattazione il più possibile compatta e fruibile, ma potendo così aggiungere informazioni che diano un'idea ulteriore anche per ciò che era solo stato esposto a parole per i condomini.

Villetta anni '70

Guardando ai primi valori di ogni gruppo di intervento sull'involucro nei grafici, si osserva che intervenire sull'involucro, che sia infissi o infissi e pareti laterali, porta un beneficio significativo sui costi operativi per riscaldamento e ACS, e fa sì che i tempi di rientro siano contenuti, attestandosi, con gli incentivi, attorno ai 5 anni e mezzo. Con tali interventi si riesce infatti a ridurre di un quarto e della metà rispettivamente, il costo operativo.

Risulta ancor più conveniente, sia in termini di costi operativi che in termini di tempo di ritorno, intervenire anche sul sistema di generazione, passando almeno ad una caldaia a condensazione, o ancor meglio a pompa di calore accoppiata alla rete di teleriscaldamento a bassa temperatura. Quest'ultima soluzione presenta inoltre livelli di emissioni di CO₂ che sono sempre meno di un quarto rispetto il sistema con caldaia a condensazione.

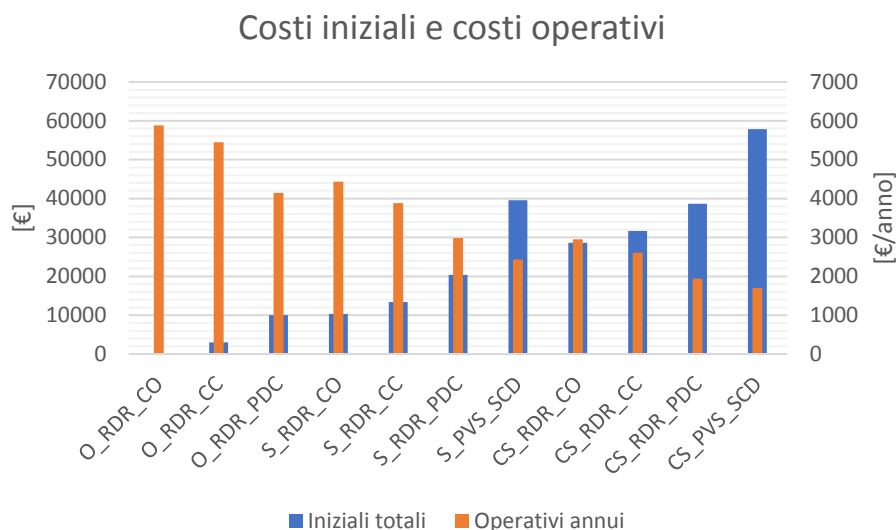


Figura 42 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli V_70 _originale _serr _capp_serr.

La convenienza di utilizzare sistema a pompa di calore mantenendo i radiatori originali è tale che permette di avere costi operativi inferiori rispetto soluzioni che abbinino isolamento più completo dell'involucro e mantengano la caldaia originale o a condensazione. Rispetto a queste hanno anche costi d'investimento più contenuti. Questa combinazione di fattori fa sì che il tempo di ritorno sia inferiore.

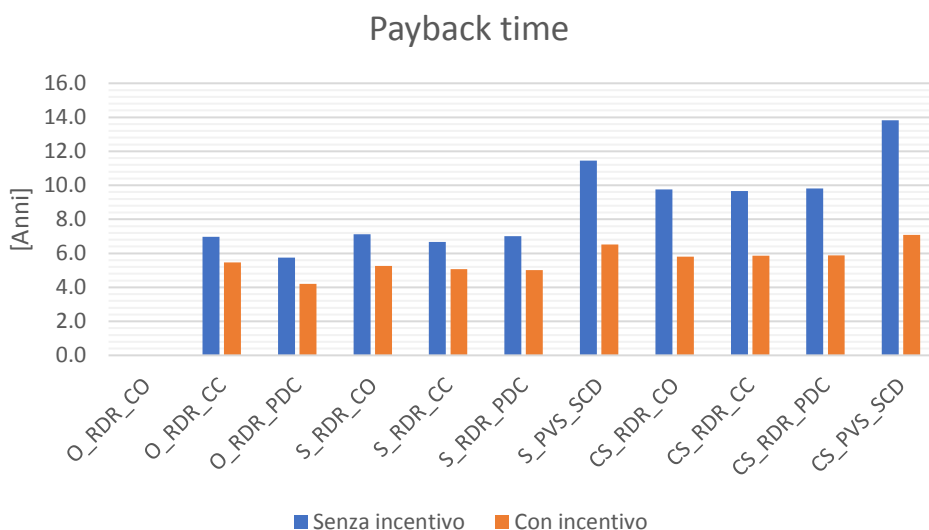


Figura 43 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli V_70 _originale _serr _capp_serr.

Il costo di intervento per unità abitativa imputabile al sistema di generazione è più elevato rispetto al caso del condominio, si attesta intorno ai 10.000 €, ma la convenienza rimane comunque elevata. Questo maggior costo si ha poiché la potenza necessaria per il riscaldamento cala circa proporzionalmente con la superficie da riscaldare, mentre il consumo di ACS no. Questo fa sì che la taglia della pompa di calore non sia ridotta in modo tale da mantenere lo stesso livello di costi che si aveva per un singolo appartamento.

Intervenire sull'impianto di emissione, passando da radiatori a pavimento radiante (a secco) non risulta conveniente dal punto di vista economico, poiché i costi di investimento risultano molto più elevati ed i costi operativi non molto più bassi di altre soluzioni. Si ottiene così un PB time più elevato.

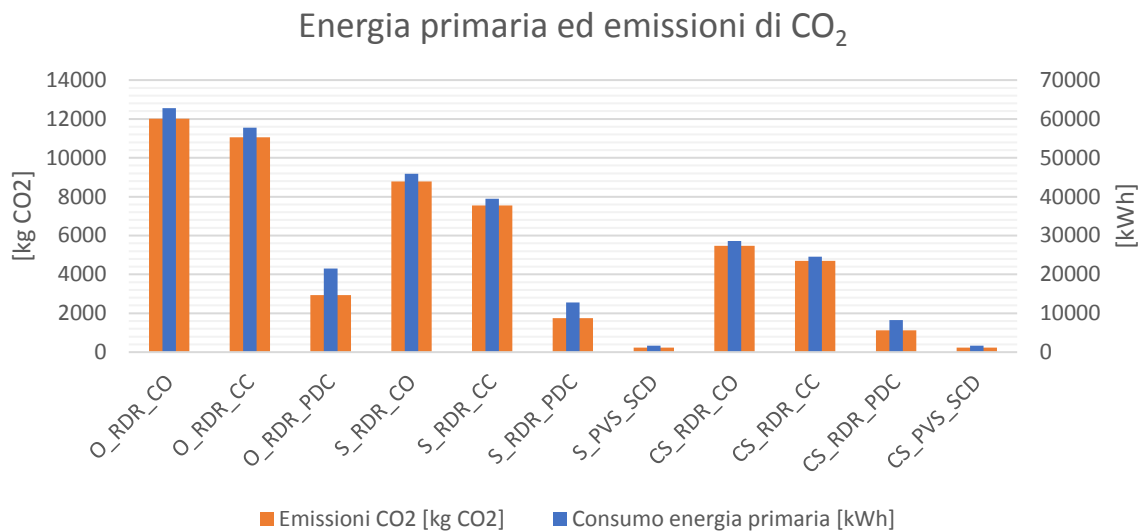


Figura 44 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli V_70 _originale _serr _capp_serr.

Dal punto di vista ambientale, quest'ultima però sarebbe la soluzione che porterebbe i maggiori benefici, soprattutto su edifici in cui si interviene sui soli infissi. In questo caso si passerebbe infatti ad una riduzione di emissioni di CO₂ del 98% rispetto l'85% conseguibile senza installare l'impianto radiante che permette di andare quindi in scambio diretto senza la necessità di una pompa di calore che fornisca l'energia per il riscaldamento, e che servirebbe quindi solo per l'ACS. Si vede che comunque la differenza non è troppo marcata. Si vede quindi che l'importante, dal punto di vista ambientale, è passare al sistema con pompa di calore connessa alla rete di teleriscaldamento; che poi si abbia un sistema ad impianto radiante o a radiatori, poco cambia dal punto di vista ambientale e dei costi operativi, rispetto la differenza economica che si ha tra le due soluzioni per l'investimento.

Si nota che gli incentivi permettono di abbattere in maniera sensibile, arrivando in alcuni casi quasi a dimezzare, il tempo di ritorno dell'investimento e mantenendoli così, per questa classe di edifici, in tempi assolutamente interessanti anche per finanziamenti tramite banche.

Considerato tutto, risulta di maggiore interesse intervenire sicuramente sul sistema di generazione, optando per PdC accoppiato a TLR, e, a seconda della disponibilità economica, di sostituire gli infissi e, potendo, di aumentare l'isolamento delle pareti laterali. Non è consigliabile, per motivi economici, intervenire sull'involucro senza passare ad un sistema connesso alla rete di teleriscaldamento. E' infatti meglio isolare meno e connettersi alla rete, piuttosto che isolare di più e non connettersi.

In questo caso si vede come l'interesse del singolo sia conforme all'interesse pubblico. Anche se non è conveniente un sistema radiante, che invece per le emissioni sarebbe la soluzione ottimale, comunque la cosa più conveniente implica sempre la connessione alla rete di TLR che comporta comunque riduzioni significative delle emissioni.

Gli stessi risultati e considerazioni si possono fare nel caso in cui l'edificio sia già stato connesso alla rete di TLR, quindi con PdC e radiatori, e poi si decida di intervenire su involucro ed eventualmente sistema di emissione. Conviene non passare ad un sistema radiante, ma rimanere con i radiatori, e conviene ancora isolare l'edificio, solo infissi o infissi e superfici opache, a seconda della disponibilità economica. Con gli incentivi, il PB time si attesta tra i 6,2 anni e 6,8 anni. Quindi la scelta dipende solo dalla disponibilità economica poiché i benefici sono proporzionali all'investimento. Quindi si può anche procedere prima solo con la sostituzione degli infissi, ed in un secondo momento con l'isolamento delle pareti.

Da quanto esposto, si osserva che il sistema radiante non è mai preso in considerazione tra le possibilità migliori da un punto di vista economico, e questo più per il costo iniziale che per il payback time che invece non è di molto maggiore rispetto altre soluzioni. Per zone in cui non si avesse una rete di teleriscaldamento come descritta, questo diventa necessario per adottare soluzioni con pompa di calore. L'utilizzo di un sistema geotermico non sarebbe infatti utilizzabile in maniera conveniente con radiatori visto l'elevato salto di temperatura.

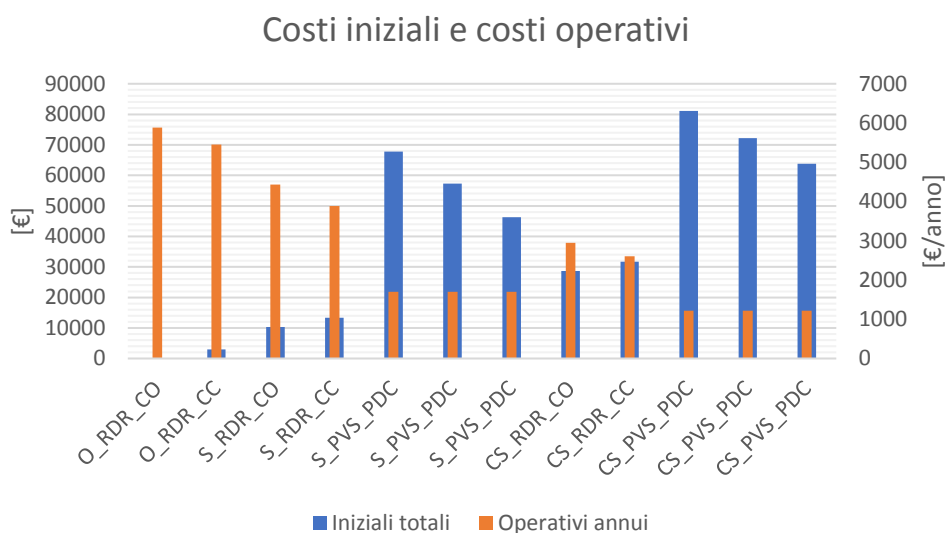


Figura 45 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli V_70 _originale _serr _capp_serr.

Per il sistema a teleriscaldamento, soluzioni con sola sostituzione degli infissi più impianto radiante in scambio diretto, erano comunque a costi non di troppo più elevate rispetto soluzioni a radiatori con caldaia a condensazione e isolamento completo dell'involucro. Invece, se il sistema a

teleriscaldamento non è possibile, si devono considerare sonde geotermiche per utilizzare il radiante e qui si vede che la differenza tra queste due soluzioni diventa molto marcata. Questo non avveniva per i condomini poiché per le sonde vale lo stesso discorso fatto ai paragrafi precedenti per le pompe di calore. La potenza necessaria, e quindi il costo, non è in proporzione rispetto la superficie, con quella che si aveva per i condomini.

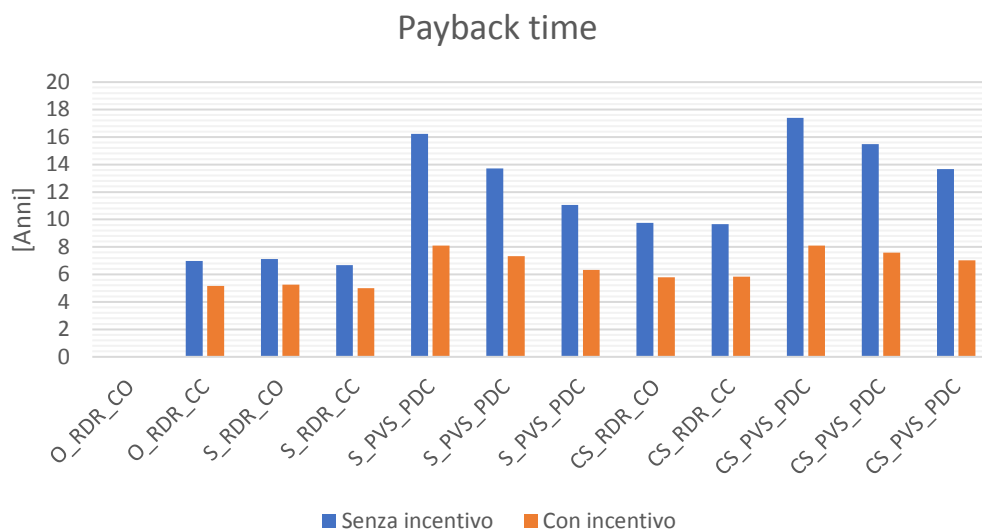


Figura 46 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli V_70 _originale _serr _capp_serr.

Il discorso appena fatto si vede ancora più marcatamente per gradienti termici del terreno bassi; questo si può vedere dai grafici, dove si ha la successione di tre soluzioni con sonde, ognuna riferita ad un gradiente termico del terreno. Quelli considerati sono in ordine: 0,03 K/m, 0,13 K/m, 0,50 K/m. Dai grafici dei costi, si vede come il gradiente termico ha un'influenza forte sul costo d'investimento, poiché più è elevato più è possibile ridurre la lunghezza delle sonde. Altro fattore che influenza la lunghezza delle sonde è il grado d'isolamento, il quale però porta con sé un costo d'investimento maggiore, ma anche a costi operativi minori.

V_70	_serr			_capp_serr		
Gradiente [K/m]	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5
Lunghezza [m]	591	379	155	489	309	139

Tabella 61 - Lunghezza sonde per i vari interventi sull'involucro e i vari gradienti termici.

Nonostante le differenze messe in evidenza sui sistemi geotermici rispetto i condomini, anche per la villetta, non è il tempo di ritorno che è proibitivo, bensì il costo d'investimento. Il payback time è infatti compreso sempre tra 6 e 8 anni per tutte le soluzioni con sonde mostrate nei grafici, quando tutte le altre soluzioni, senza radiante, si attestano tra i 4 e 5 anni.

La lunghezza delle sonde si vede che cala con il grado d'intervento sull'involucro, ma il costo predominante è quello dell'isolamento, così che il costo totale comunque aumenta.

Fermo restando che per accedere a questa tecnologia serve una disponibilità economica non indifferente, se questa fosse disponibile, si osserva che riqualificazione dei serramenti ed installazione di questa tecnologia, porterebbe a livelli di costi operativi pari a 1700 €/anno, contro i 3000 €/anno che si avrebbero con il mantenimento dei radiatori alimentati a caldaia, ed isolamento delle pareti laterali e sostituzione contemporanea dei serramenti.

Quindi, questa risulta una possibilità interessante, soprattutto dove si abbia gradiente termico elevato in caso di elevata disponibilità economica.

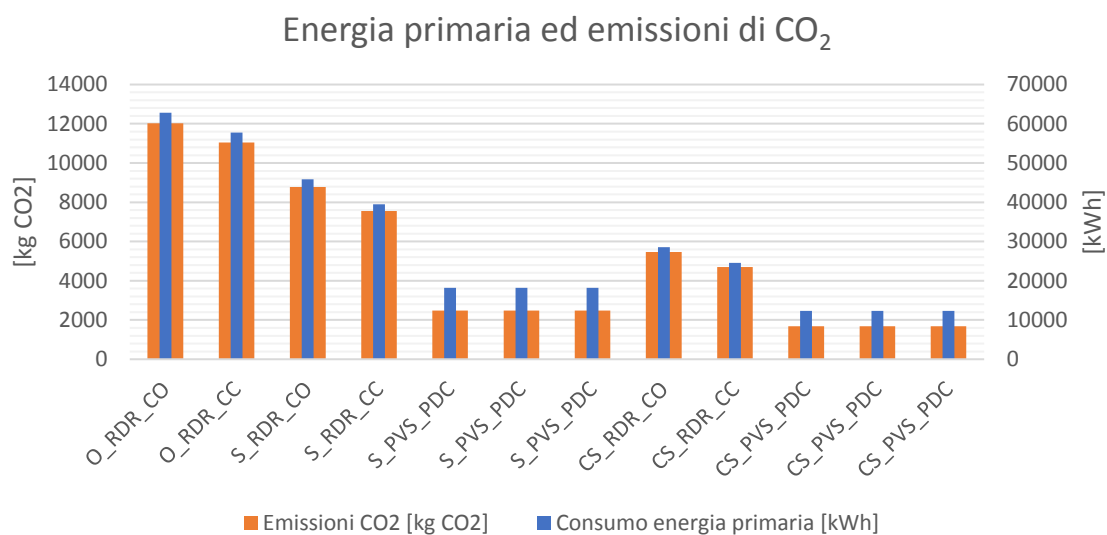


Figura 47 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli V_70 _originale _serr _capp_serr.

Quindi, per alta disponibilità di investimento, conviene sostituire solo gli infissi e passare ad un sistema geotermico, soprattutto in zone ad elevato gradiente termico del terreno, dove la differenza in termini di investimento tra le due soluzioni resta alta, ma in termini di payback time è quasi nulla.

In questo caso, la convenienza privata ed ambientale si incontrano, mentre in zone a normale o medio gradiente termico, soluzioni con sonde geotermiche, rimangono con costi iniziali così più elevati che nonostante il marcato beneficio economico in termini di costi operativi, risultano di difficile adozione. Qui servirebbe quindi incentivare l'adozione di questa tecnologia, anche a scapito di un maggior intervento sull'involucro. Si vede infatti come in termini di emissioni, le sonde geotermiche permettano di raggiungere riduzioni tali che con il solo intervento sull'involucro non sono possibili.

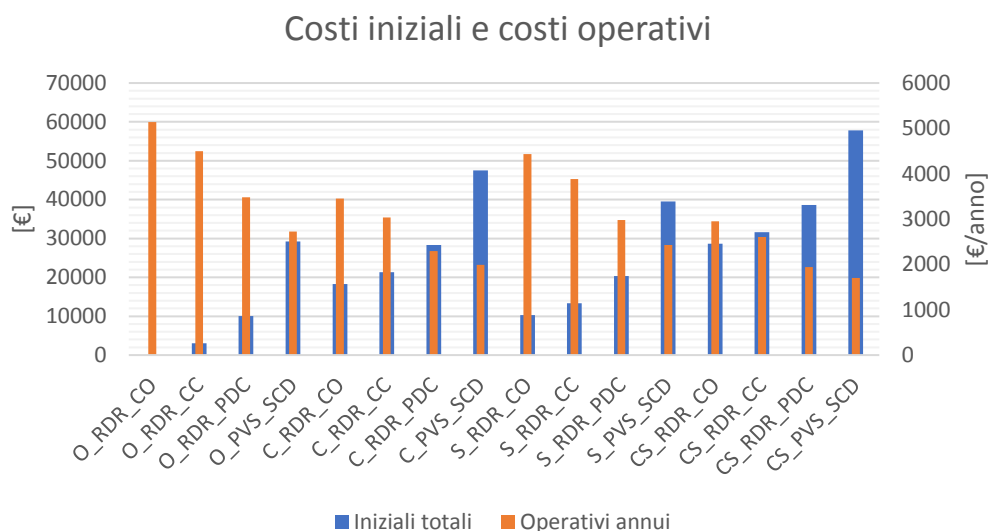


Figura 48 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli V_70_DOPP _originale _capp _serr _capp_serr.

Guardando ai primi valori di ogni gruppo di intervento sull'involucro nei grafici, si osserva che intervenire sull'involucro, che sia isolamento delle pareti laterali, o infissi e pareti laterali, porta un beneficio significativo sui costi operativi per riscaldamento e ACS, e fa sì che i tempi di rientro siano contenuti, attestandosi, con gli incentivi, sui 6 anni e 6 anni e mezzo rispettivamente. Con tali interventi si riesce infatti a ridurre di un terzo e quasi della metà rispettivamente, il costo operativo. Intervenire sui soli infissi non risulta invece conveniente, poiché, sebbene il costo sia quasi la metà dell'intervento sulle pareti laterali, il beneficio sarebbe pari ad una riduzione solo del 15% in termini di costi operativi. Questo porta ad un payback time molto più elevato e pari a 8 anni e mezzo con gli incentivi.

Risulta ancor più conveniente in termini di costi operativi, intervenire anche sul sistema di generazione, passando almeno ad una caldaia a condensazione, o ancor meglio a pompa di calore accoppiata alla rete di teleriscaldamento a bassa temperatura. Quest'ultima soluzione presenta inoltre livelli di emissioni di CO₂ che sono sempre meno di un quarto rispetto il sistema con caldaia a condensazione. La convenienza di utilizzare sistema a pompa di calore mantenendo i radiatori originali è tale che permette di avere costi operativi pressoché analoghi a soluzioni che abbinino isolamento più completo dell'involucro e mantengano la caldaia originale o a condensazione. Con questo genere di intervento, anche la sostituzione degli infissi risulta interessante e riporta le stesse considerazioni appena fatte.

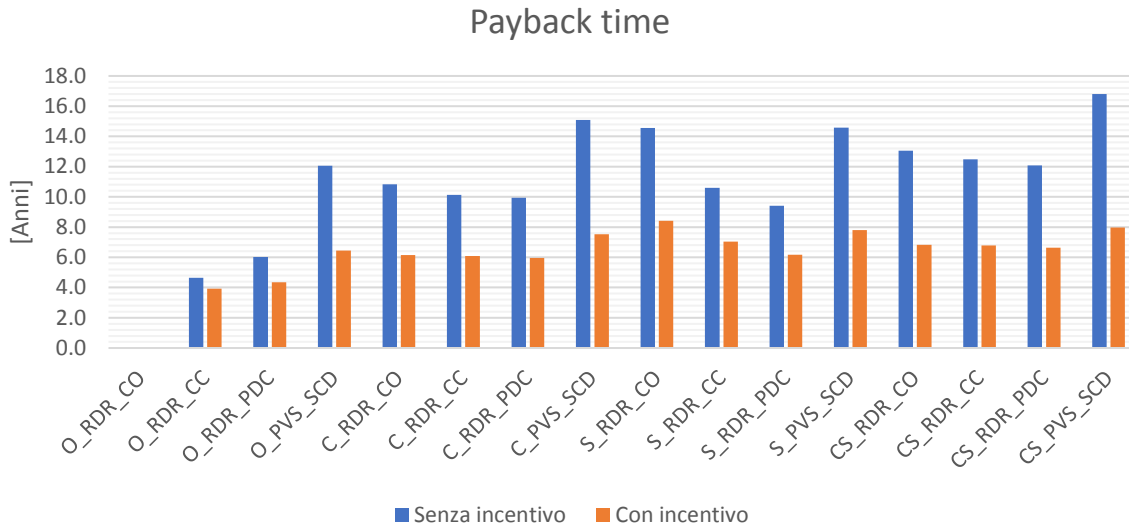


Figura 49 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli V_70_DOPP _originale _capp _serr _capp _serr.

Intervenire sull'impianto di emissione, passando da radiatori a pavimento radiante (a secco) non risulta interessante dal punto di vista economico, poiché i costi di investimento risultano molto più elevati ed i costi operativi superiori ad altre soluzioni più economiche e di più facile implementazione. Potendo installare questa tecnologia anche sull'edificio originale, con tempo di ritorno analogo sempre sui 6 anni, questo fa sì che questa soluzione possa essere interessante se per qualche motivo non si voglia o non si possa intervenire sull'involucro.

Dal punto di vista ambientale, le soluzioni con impianto radiante porterebbero i maggiori benefici, soprattutto su edifici in cui non si interviene sull'involucro. In questo caso si passerebbe infatti ad una riduzione di emissioni di CO₂ del 98% rispetto l'80% conseguibile senza installare l'impianto radiante che invece permetterebbe di andare quindi in scambio diretto, senza la necessità di una pompa di calore che fornisca l'energia per il riscaldamento, e che servirebbe quindi solo per l'ACS. Si vede che comunque la differenza non è troppo marcata. Si vede quindi che l'importante, dal punto di vista ambientale, è passare al sistema con pompa di calore connessa alla rete di teleriscaldamento anche se non si interviene sull'involucro; che poi si abbia un sistema ad impianto radiante o a radiatori, poco cambia dal punto di vista ambientale, rispetto la differenza economica che si ha tra le due soluzioni.

Si nota che gli incentivi permettono di abbattere in maniera sensibile, arrivando in alcuni casi quasi a dimezzare, il tempo di ritorno dell'investimento e mantenendoli così, per questa classe di edifici, in tempi assolutamente interessanti anche per finanziamenti tramite banche.

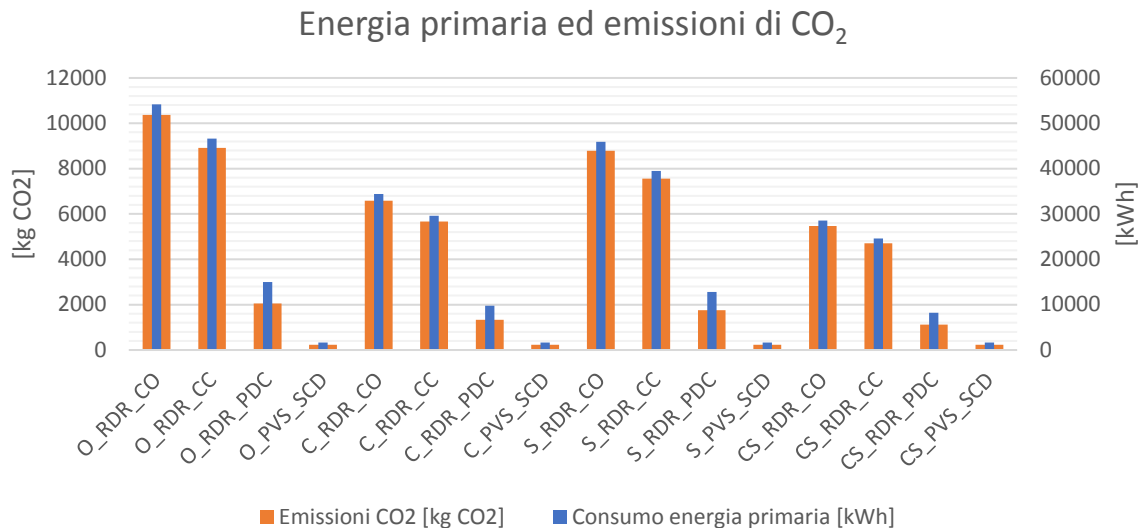


Figura 50 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli V_70_DOPP _originale _capp _serr _capp _serr.

Considerato tutto, risulta di maggiore interesse intervenire sicuramente sul sistema di generazione, optando per PdC accoppiato a TLR, e, a seconda disponibilità di una disponibilità economica crescente, di sostituire gli infissi, di isolare le pareti ed infine entrambe le cose contemporaneamente. Non è consigliabile, per motivi economici, intervenire sugli infissi senza passare ad un sistema connesso alla rete di teleriscaldamento; ma nemmeno di fare altri interventi sull'involucro senza connettersi alla rete. E' infatti meglio isolare meno e connettersi alla rete, piuttosto che isolare di più e non connettersi. Infine è interessante, anche da un punto di vista economico, installare il sistema radiante sull'edificio originale se non si può intervenire sull'involucro.

Altre soluzioni con sistemi radianti non risultano interessanti rispetto altre alternative. Comunque la cosa più conveniente implica sempre la connessione alla rete di TLR che comporta comunque riduzioni significative delle emissioni.

Analoghi risultati e considerazioni si ottengono nel caso in cui l'edificio sia già stato connesso alla rete di TLR, quindi con PdC e radiatori, e poi si decida di intervenire su involucro ed eventualmente sistema di emissione. In questo caso non conviene mai passare ad un sistema radiante, nemmeno su edificio originale. Infatti, sebbene le considerazioni sui costi siano analoghe a quanto detto prima, in questo caso il payback time sarebbe di 12,5 e quindi molto superiore ad altre soluzioni. Conviene quindi rimanere con i radiatori, e conviene ancora isolare l'edificio, solo pareti laterali o infissi e pareti laterali, a seconda della disponibilità economica. Non conviene intervenire sui soli infissi. Con gli incentivi, il PB time di quelle due soluzioni si attesta tra i 7,4 anni e gli 8,1 anni. Quindi la scelta

dipende solo dalla disponibilità economica poiché i benefici sono proporzionali all'investimento. I soli infissi presentano payback time di 10,4 anni.

Per sistemi geotermici non è preso in considerazione la possibilità di installarli su edifici originali di questa classe. Quella era infatti una possibilità interessante in maniera limitata se non si fosse voluto intervenire sull'involucro; qui, considerando il grado di intervento necessario, questa considerazione non ha senso pratico che poteva avere con un sistema di teleriscaldamento.

Il sistema radiante non è mai preso in considerazione con altre soluzioni, per sistemi a teleriscaldamento che permettevano l'utilizzo di radiatori con pompa di calore, ma per zone in cui non si avesse una rete di teleriscaldamento come descritta, questo diventa necessario per adottare soluzioni con pompa di calore. L'utilizzo di un sistema geotermico non sarebbe infatti utilizzabile in maniera conveniente con radiatori visto l'elevato salto di temperatura.

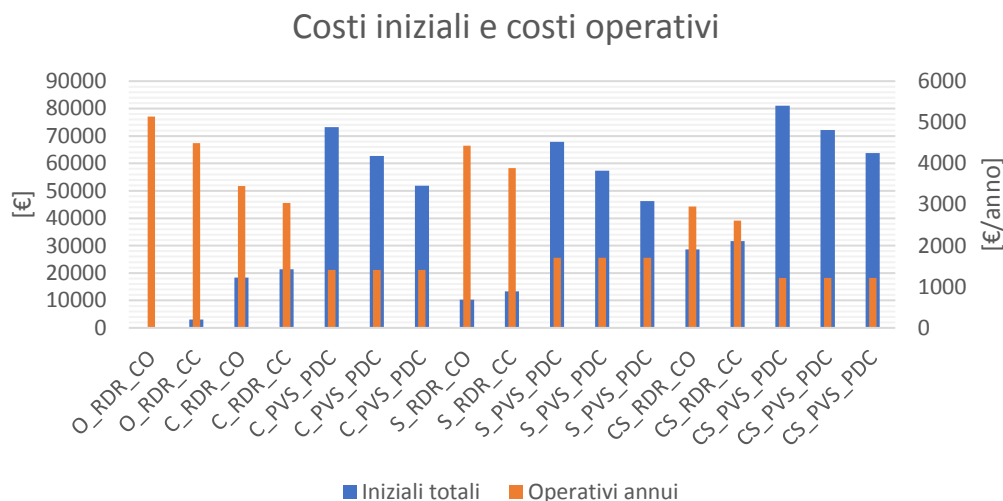


Figura 51 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli V_70_DOPP _originale _capp _serr _capp_serr.

In questi grafici si ha la successione di tre soluzioni con sonde. Questo ancora una volta si ha perché ognuna si riferisce ad un gradiente termico del terreno. Quelli considerati sono in ordine: 0,03 K/m, 0,13 K/m, 0,50 K/m.

V_70_DOPP	_capp			_serr			_capp_serr		
Gradiente [K/m]	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5
Lunghezza [m]	538	327	107	591	379	155	489	309	139

Tabella 62 - Lunghezza sonde per i vari interventi sull'involucro e i vari gradienti termici.

Nonostante gli elevati costi d'investimento, il risparmio conseguibile con queste soluzioni è sempre notevole, così che il payback time non supera mai i 9 anni, ed arriva a minimi di 7 anni per zone ad

elevata anomalia termica del terreno. Contando che l'intervento significativo con tempo di ritorno più basso presenta un valore di 6 anni, si vede come il vero limite sia ancora una volta solo il costo d'investimento elevato.

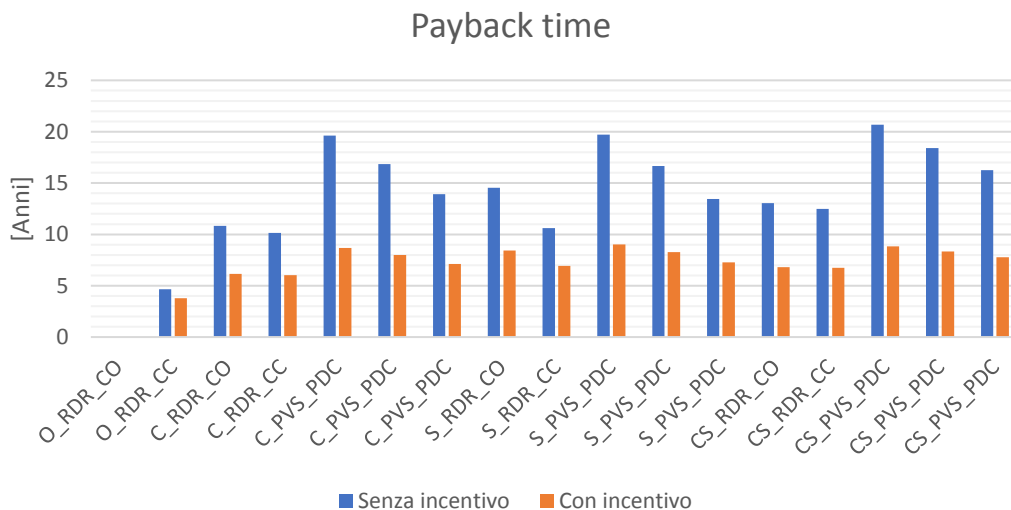


Figura 52 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli V_70_DOPP _originale _capp _serr _capp_serr.

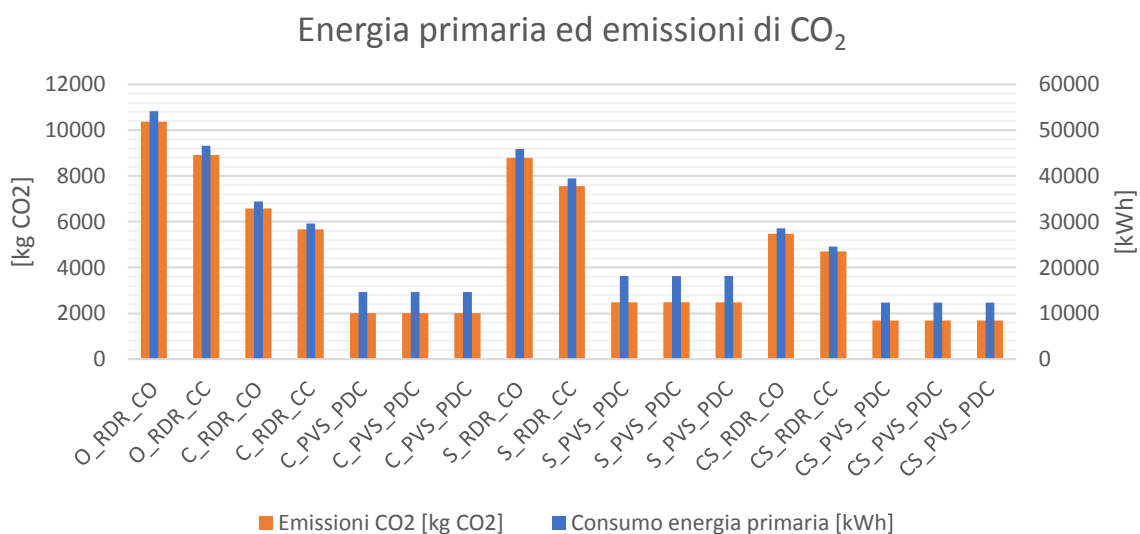


Figura 53 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli V_70_DOPP _originale _capp _serr _capp_serr.

Anche isolando, sebbene la lunghezza delle sonde cali con il grado d'intervento sull'involucro, siccome il costo predominante è quello dell'isolamento, alla fine il costo totale comunque aumenta.

Dal punto di vista dei costi operativi, a pari livello di isolamento dell'involucro, soluzioni con sonde hanno costi operativi sempre minori della metà rispetto soluzioni con caldaia a condensazione.

Quindi, questa risulta una possibilità interessante, soprattutto dove si abbia gradiente termico elevato in caso di elevata disponibilità economica.

Quindi, avendo un'alta disponibilità di investimento e potendo adottare soluzioni ad impianto geotermico, questo risulta conveniente soprattutto per interventi con isolamento delle pareti laterali. Soluzioni con sostituzione degli infissi sono più economiche, ma solo del 7-10% a seconda del gradiente termico, permettendo però risparmi circa del 20% minori. Soluzioni con isolamento delle pareti e sostituzione degli infissi hanno un costo più elevato del 10-25% permettendo un risparmio maggiore solo del 15%. Sono quindi da preferire solo per zone a basso gradiente termico, dove una minor potenza di progetto permette di risparmiare più metri di sonde che alla fine si sente maggiormente sul costo totale.

Quindi, per elevate disponibilità economiche, la convenienza privata ed ambientale si incontrano. Servirebbero quindi incentivi mirati per questa tecnologia, a più basso tempo di rimborso della spesa, per favorire finanziamento tramite banche. Infatti, l'adozione di questa tecnologia, anche a scapito di un maggior intervento sull'involucro permette di raggiungere livelli di emissioni altrimenti non raggiungibili, pari a circa il 30% rispetto edifici analoghi, ma con caldaia a condensazione.

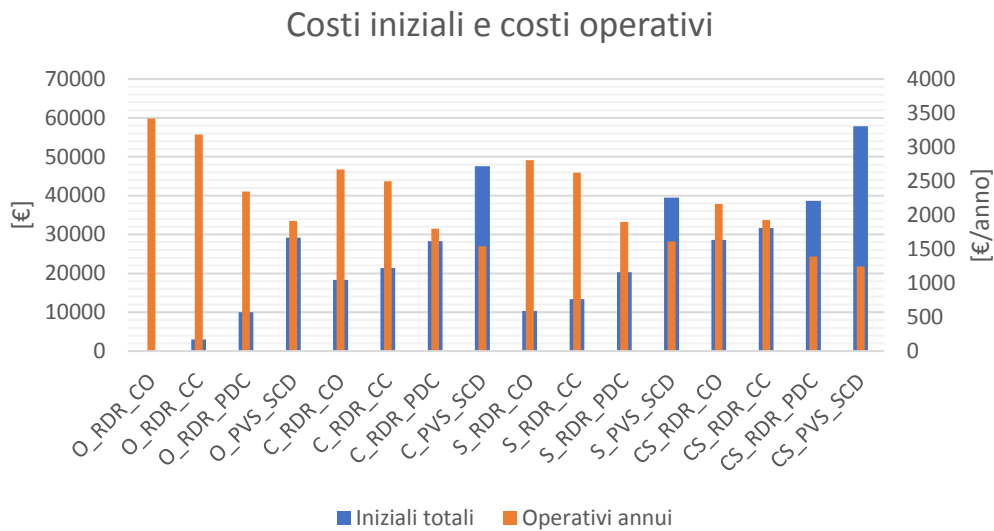


Figura 54 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli V_90 _originale _capp _serr _capp _serr.

Guardando ai primi valori di ogni gruppo di intervento sull'involucro nei grafici, si osserva che intervenire sull'involucro, che sia isolamento delle pareti laterali, infissi o pareti laterali ed infissi, porta un beneficio sui costi operativi per riscaldamento e ACS più contenuto rispetto quello che si aveva per edifici anni 70, dovuto alla migliore condizione dell'edificio di partenza. La riduzione è infatti tra il 17 e 30%, e siccome i costi per tali interventi sono i medesimi che si avevano sugli altri edifici, questi due fattori fanno sì che i tempi di rientro siano più elevati, attestandosi, con gli incentivi, attorno ai 9 anni. Con tali interventi si riesce infatti a ridurre di un terzo e quasi della metà rispettivamente, il costo operativo.

Risulta molto più conveniente in termini di costi operativi, con riduzioni oltre il 30%, intervenire anche sul sistema di generazione, passando ad un sistema a pompa di calore accoppiata alla rete di teleriscaldamento a bassa temperatura, mantenendo i radiatori originali. Vista la possibilità tecnica di installare radiante a pavimento operante in scambio diretto già sull'edificio originale, e visti i più alti payback time di tutte le altre soluzioni, per questa classe di edifici, è da prendere in considerazione tale opzione a differenza di quanto fatto per altre situazioni. Intervenire solo sul sistema di emissione, senza toccare l'involucro, per passare ad un sistema a radiante a pavimento in scambio diretto, costerebbe infatti come soluzioni a più alto isolamento permettendo risparmi a volte anche superiori.

Questa soluzione presenta inoltre livelli di emissioni di CO₂ che sono anche meno di un quinto rispetto sistemi con radiatori e pompa di calore connessa alla rete di teleriscaldamento.

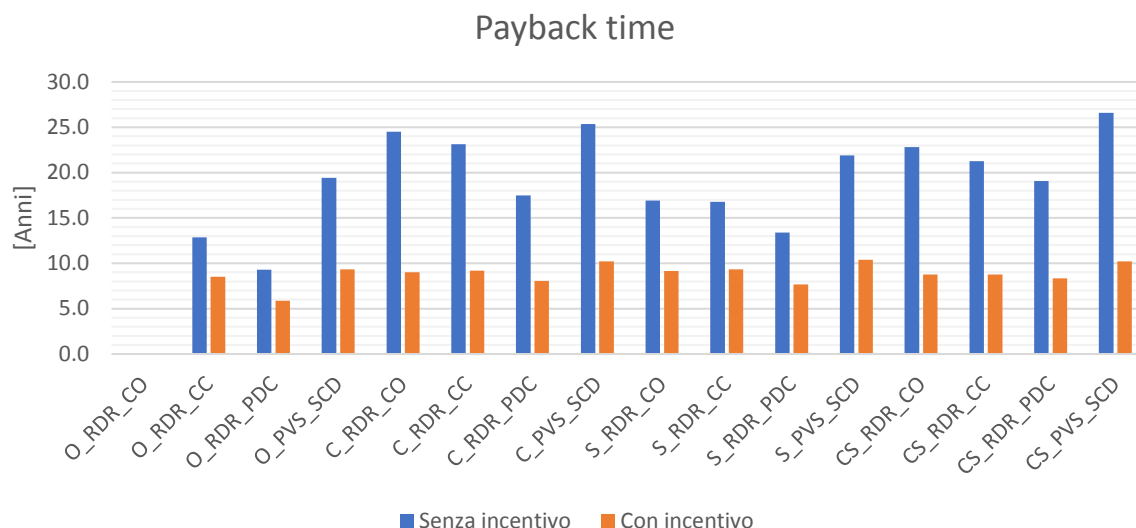


Figura 55 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli V_90 _originale _capp _serr _capp_serr.

Si nota che gli incentivi permettono di abbattere in maniera sensibile, arrivando in alcuni casi quasi a dimezzare, il tempo di ritorno dell'investimento e mantenendoli così, per questa classe di edifici, mediamente sotto i 10 anni.

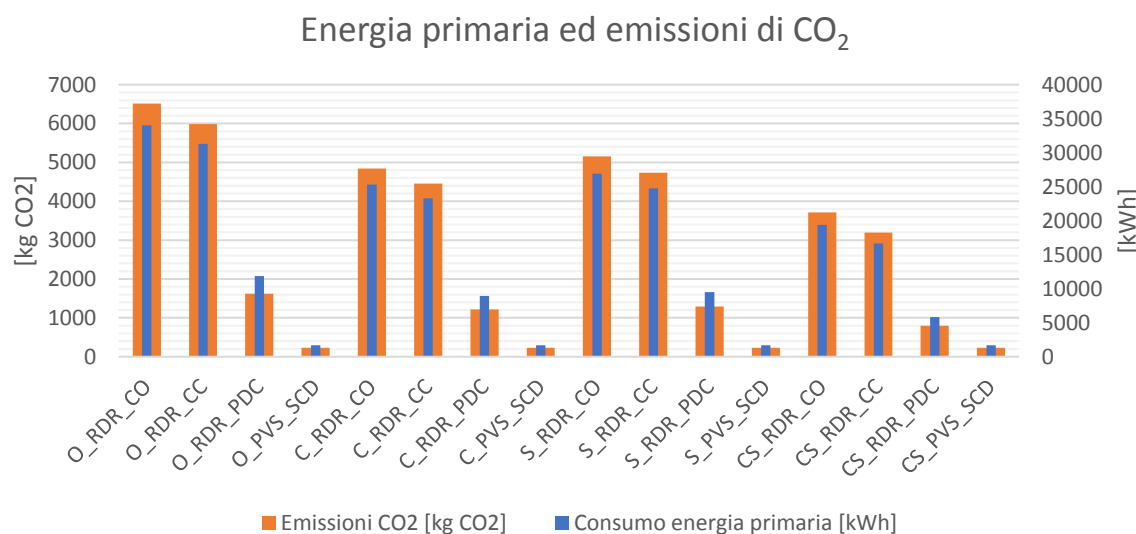


Figura 56 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli V_90 _originale _capp _serr _capp_serr.

Considerato tutto, risulta di maggiore interesse intervenire sicuramente sul sistema di generazione, optando per PdC accoppiato a TLR se si ha una bassa disponibilità economica, e, a disponibilità economica crescente, di sostituire gli infissi, di isolare le pareti ed infine entrambe le cose contemporaneamente. Sullo stesso livello di costo iniziale dell'isolamento delle pareti laterali e passaggio a pompa di calore e radiatori a bassa temperatura, si ha l'installazione di un sistema radiante a pavimento che lavori in scambio diretto con la rete di TLR; queste due soluzioni hanno anche costi operativi analoghi.

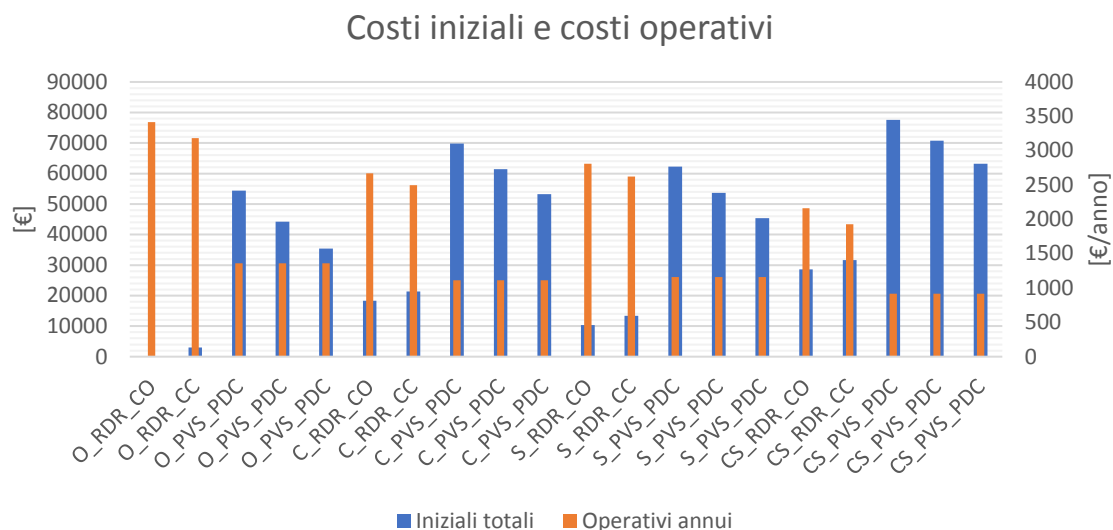


Figura 57 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli V_90 _originale _capp _serr _capp_serr.

Se si interviene sull'involucro, un sistema radiante porta a costi più elevati, ma in termini di payback time rimane competitivo con altre soluzioni

Eccezion fatta per il sistema radiante, analoghi risultati e considerazioni si ottengono per gli interventi sull'involucro nel caso in cui l'edificio sia già stato connesso alla rete di TLR, quindi con PdC e radiatori. In questo caso non conviene mai passare ad un sistema radiante, e soprattutto non su edificio originale, dove il payback time andrebbe oltre i 22 anni. Conviene quindi rimanere con i radiatori, e conviene ancora isolare l'edificio, solo pareti laterali, solo su infissi o infissi e pareti laterali, a seconda della disponibilità economica. Con gli incentivi, il PB time delle tre soluzioni si attesta sui 10,1 anni, 11,6 anni e 9,7 anni rispettivamente. Quindi la scelta dipende principalmente dalla disponibilità economica poiché i benefici sono proporzionali all'investimento.

Il sistema radiante per questa classe di edifici è stato messo tra le possibili soluzioni da adottare, soprattutto se non si vuole intervenire sull'involucro. Inoltre, per zone in cui non si avesse una rete di teleriscaldamento come descritta, questo diventa necessario per adottare soluzioni con pompa di calore. L'utilizzo di un sistema geotermico non sarebbe infatti utilizzabile in maniera conveniente con radiatori visto l'elevato salto di temperatura.

Nei grafici si ha la successione di tre soluzioni con sonde. Questo ancora una volta si ha perché ognuna si riferisce ad un gradiente termico del terreno. Quelli considerati sono in ordine: 0,03 K/m, 0,13 K/m, 0,50 K/m.

Sebbene i tempi di ritorno dell'investimento siano non troppo distanti da quelli di altre soluzioni, i costi di investimento rimangono molto più alti. Costi confrontabili con altre soluzioni si hanno per interventi sui sistemi geotermici senza intervenire sull'involucro e i risparmi conseguibili sarebbero

maggiori di quelli ottenibili con altre soluzioni a maggior grado di isolamento ma con sistema a radiatori.

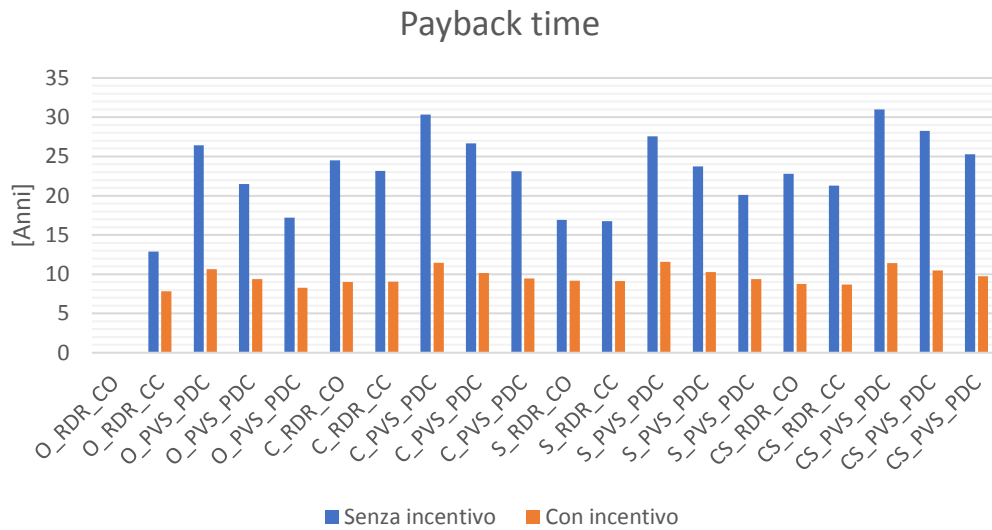


Figura 58 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli V_90 _originale _capp _serr _capp_serr.

Sebbene il grado di isolamento contribuisca a ridurre il costo delle sonde, questo non è così marcato con ciò che avviene con un maggior gradiente termico del terreno. Così anche per questa classe di edifici è questo fattore a determinare maggiormente la lunghezza e quindi costo delle sonde.

V_90	_originale			_capp			_serr			_capp_serr		
Gradiente [K/m]	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5	0.03	0.13	0.5
Lunghezza [m]	528	322	144	470	299	135	478	304	137	418	280	128

Tabella 63 - Lunghezza sonde per i vari interventi sull'involucro e i vari gradienti termici.

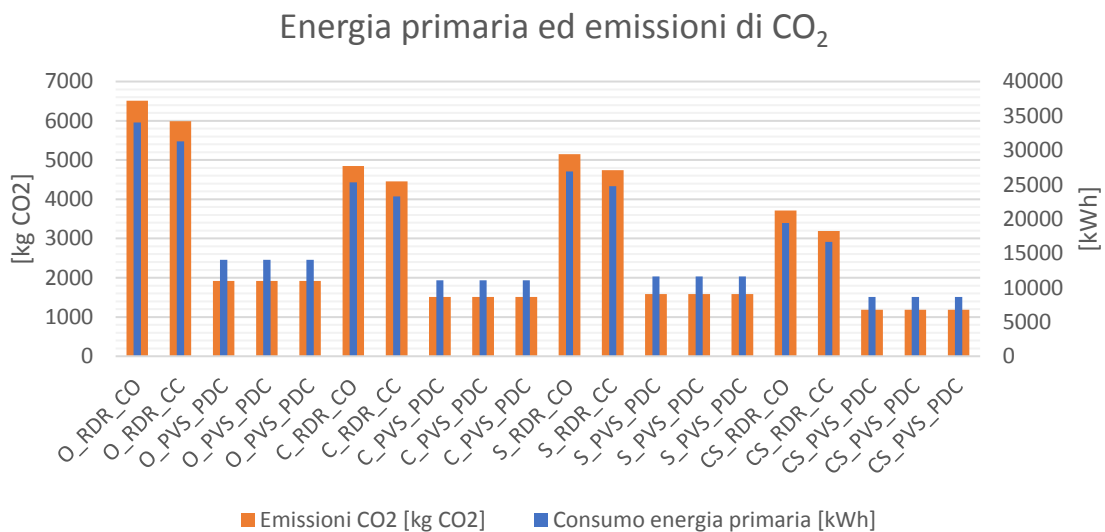


Figura 59 - Soluzioni con possibilità di Sonde; modelli V_90 _originale _capp _serr _capp_serr.

Quindi, avendo un'alta disponibilità di investimento e potendo quindi adottare soluzioni ad impianto geotermico, questo risulta conveniente, e potendo installarla anche direttamente sull'edificio originale, si ha così una soluzione ad impianto geotermico non a costo troppo più elevato di altre possibilità. Gli interventi sull'involucro si equivalgono.

Il beneficio maggiore dell'impianto radiante si ha però per edifici poco isolati, nei quali la differenza tra questa soluzione ed una a caldaia, è molto più marcata in termini assoluti, il che porta a tempi di ritorno più bassi.

Quindi si vede che per questa classe di edifici si ha una soluzione economicamente competitiva che permette di ottenere ottime prestazioni ambientali anche senza intervenire sull'involucro. E per zone ad elevata anomalia termica, anche il payback time della soluzione con sonde su edificio originale è migliore della soluzione con teleriscaldamento, il problema è però il costo che è più del triplo.

Villetta nuova

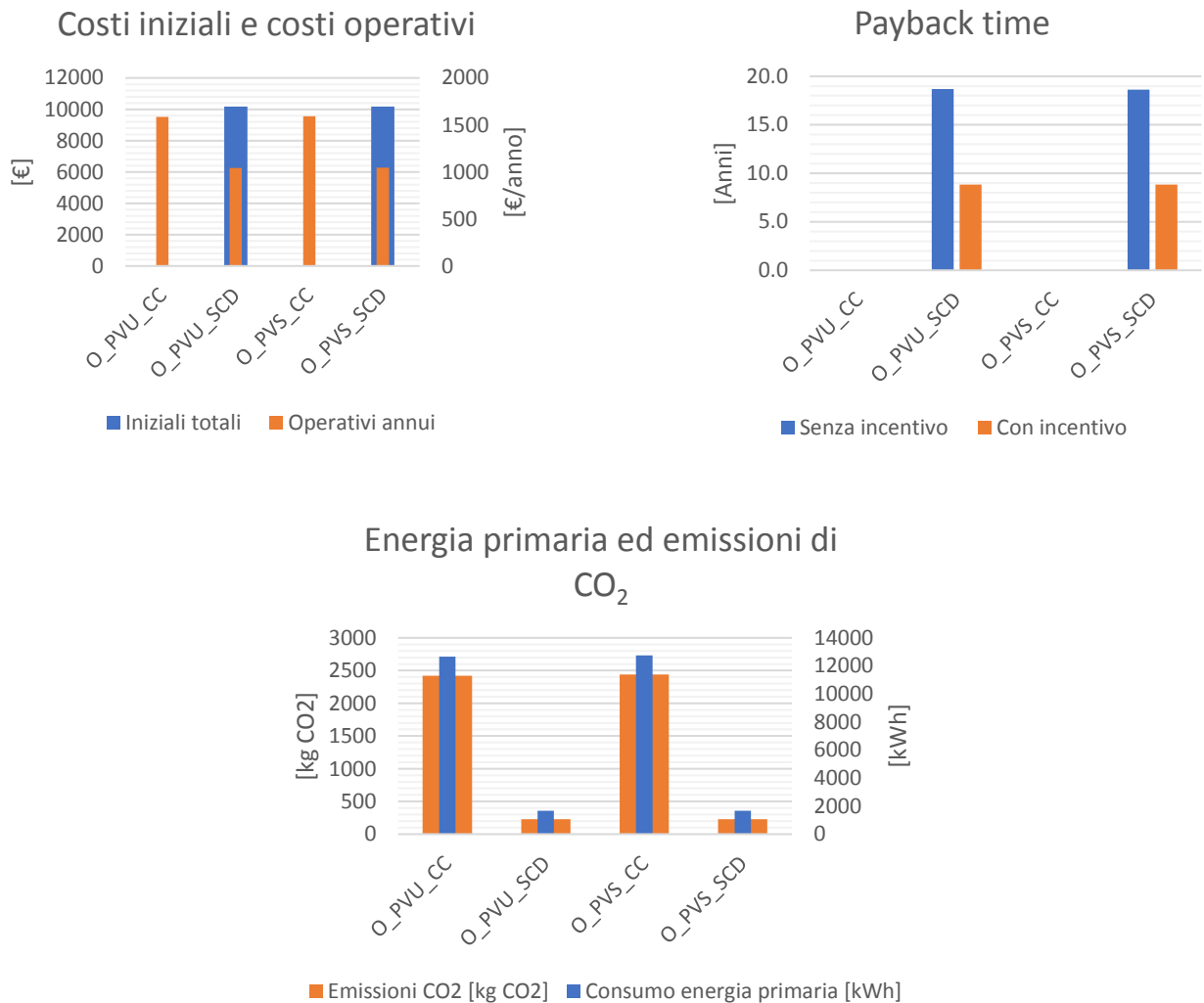


Figure 60 - 61 - 62 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli V_NEW_originale

Per quanto riguarda le villette di nuova costruzione si ricorda che come baseline è considerata la situazione di impianto radiante con caldaia a condensazione. Si hanno due casi a seconda che l'impianto sia a secco o tradizionale.

Qui il risparmio sui costi operativi non è molto elevata, ma la riduzione di emissioni di CO₂ supera il 90% grazie al riscaldamento in scambio diretto, possibile grazie al radiante, e pompa di calore che serve per la sola ACS.

Il tempo di ritorno è più alto rispetto quello che si aveva per gli appartamenti poiché qui non si hanno spese divise per più unità abitative. I tempi di ritorno sono comunque sotto i 9 anni e così questa soluzione resta comunque interessante per l'utente, ma soprattutto dal punto di vista ambientale.

Il caso con le sonde presenta invece tempi di ritorno molto più elevati per gradiente termico del terreno basso, mentre sono circa in linea con il teleriscaldamento per gradiente elevato. Gli

investimenti variano molto a secondo del gradiente, arrivando a più di 28.000 € per gradiente basso, a meno di 16.000 € per gradiente alto. Il vantaggio economico sui costi operativi è però notevole, essi si riducono a meno della metà rispetto il caso iniziale.

V_NEW	_originale		
Gradiente [K/m]	0.03	0.13	0.5
Lunghezza [m]	395	242	124

Tabella 64 - Lunghezza sonde per i vari interventi sull'involucro e i vari gradienti termici.

Quindi per edifici di nuova costruzione in zone ad elevato gradiente termico del terreno, la soluzione a sonde geotermiche potrebbe essere preferibile anche all'allacciamento alla rete di teleriscaldamento. Questo è dovuto al fatto che il sistema radiante si considera già installato, ed era questo il vero ostacolo per gli altri edifici. In zone a gradiente termico non elevato, il teleriscaldamento rimane comunque molto più favorevole in termini di tempi di ritorno.

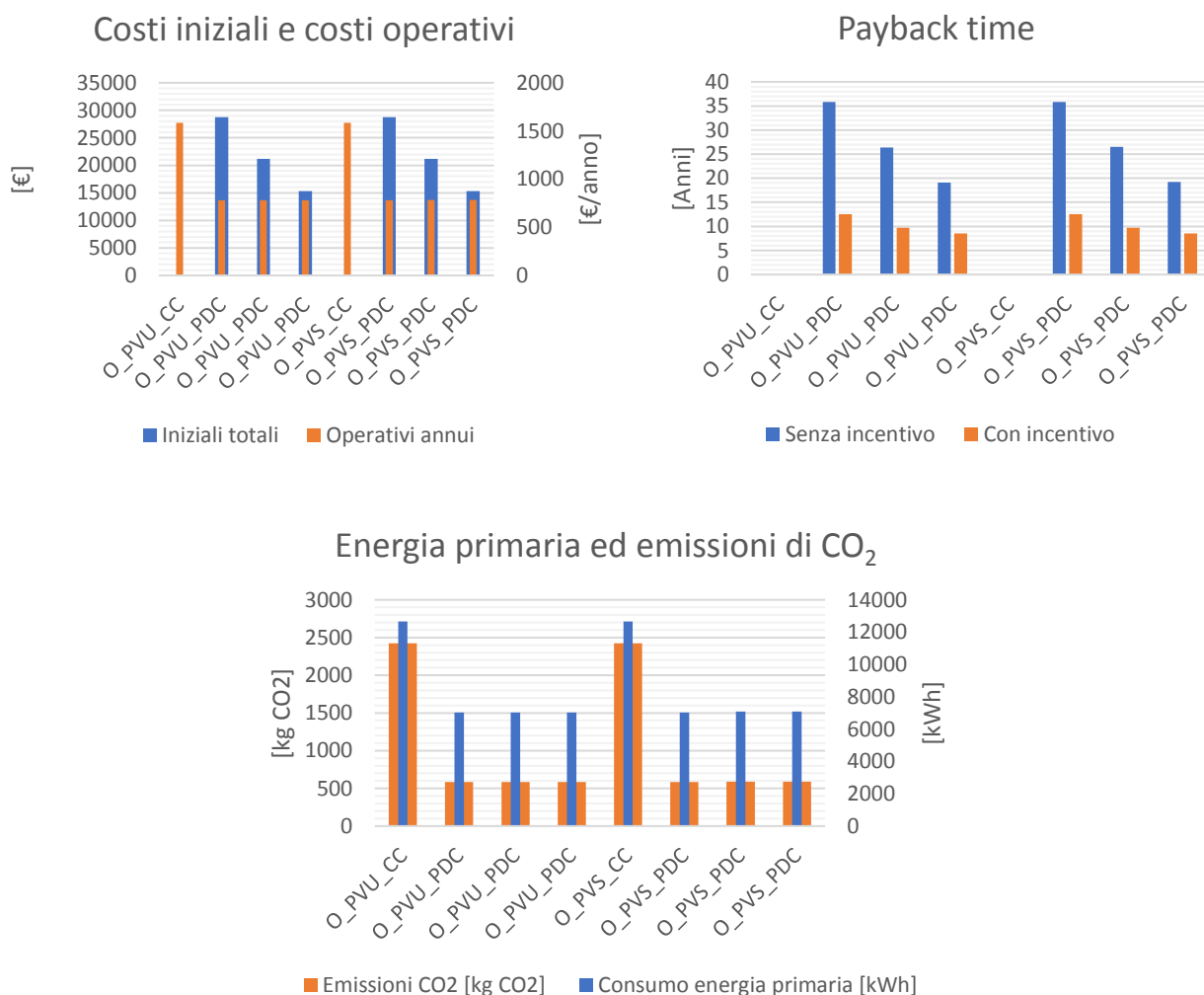


Figure 63 - 64 - 65 - Soluzioni con possibilità di TLR; modelli V_NEW _originale

4.3. Scenari di integrazione di impianti fotovoltaici

Si passa ora ai risultati, e loro analisi, relativi alle potenzialità del fotovoltaico, in termini di riduzione del consumo, per edifici in cui vi sia un sistema di riscaldamento a pompa di calore connesso a rete di teleriscaldamento come descritto nel resto della tesi. Quindi i carichi sono assunti simili alle situazioni con radiatori e non con sistemi radianti in scambio diretto, poiché si è visto essere i casi più interessanti. Il sistema è di tipo senza accumulo e quindi con i benefici ambientali ed economici che derivano dall'autoconsumo e dallo scambio sul posto.

Non si è fatta distinzione tra condominio e villetta, poiché il grosso della differenza la fa solo il numero di piani, a parità di involucro ed impianti. Si sono solo ipotizzati i tre casi con edifici ad un piano, due piani, tre piani.

Allo stesso modo non si è fatto uno studio approfondito per ogni tipologia analizzata nel resto dell'elaborato, ma solo preso modelli tipo per gradi di isolamento scarso, medio ed alto.

Da questi risultati si devono quindi trarre indicazioni qualitative sulle potenzialità del fotovoltaico, e spunti per ulteriori approfondimenti, nonché suggerimenti per possibili sistemi di gestione del contesto urbano in cui si sta operando.

Per tutte queste motivazioni, i risultati saranno portati senza unità di misura, ma piuttosto in termini relativi. Sono riportati i grafici successivi per un solo caso, quello con medio isolamento e 2 piani, affinché siano chiari i problemi del fotovoltaico accoppiati con PdC dal punto di vista dell'autoconsumo e della contemporaneità di utilizzo. I grafici sono comunque indicativi per tutte le situazioni, con differenze in termini relativi però anche consistenti tra l'energia prodotta e quella necessaria alla PdC.

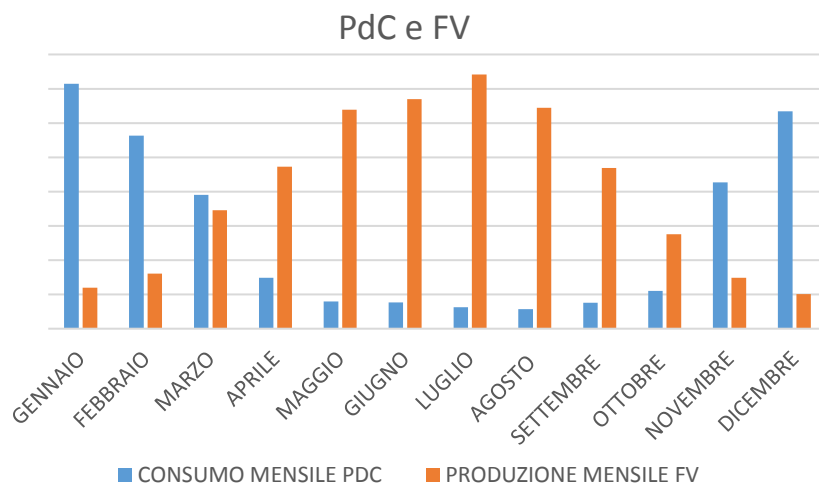


Figura 66 - Andamento qualitativo energia da fotovoltaico e per pompa di calore.

Si osserva come il problema principale sia chiaramente quello che l'energia termica serve d'inverno e quella solare è prodotta d'estate.

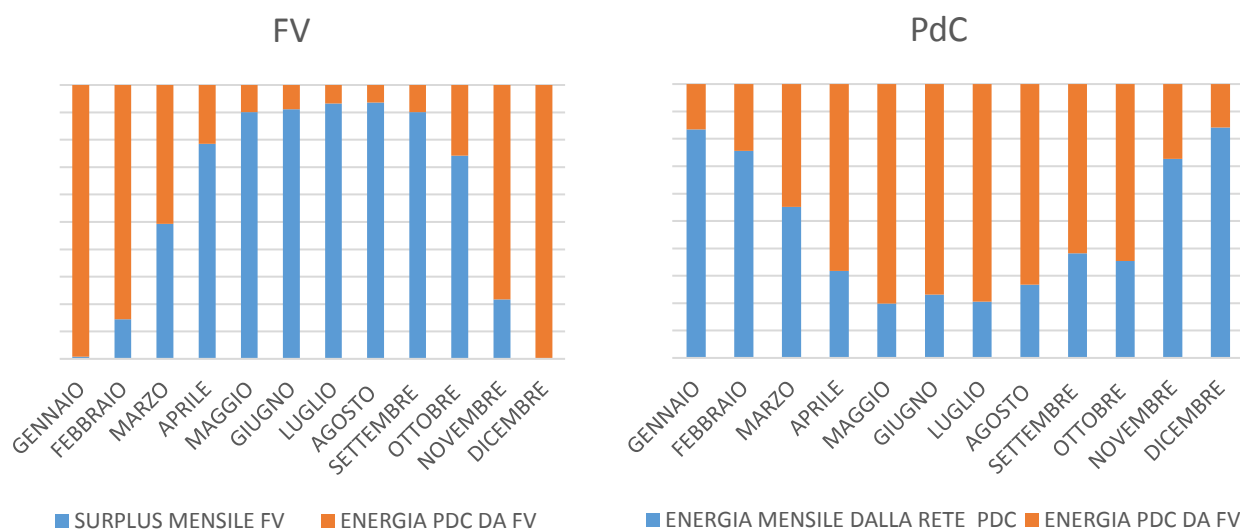


Figure 67 - 68 - Confronto mensile tra produzione del fotovoltaico e consumo della pompa di calore.

Guardando alle barre arancioni del grafico FV, si vede come nonostante nei mesi invernali la pompa di calore necessiti di molta più energia di quanta non sia prodotta dal fotovoltaico, comunque questa non riesce ad utilizzare tutta tale energia. Questo avviene poiché nei mesi che non siano i più freddi, nelle ore di sole, il riscaldamento inizia già a non servire o comunque a lavorare a carico ridotto, quando sarebbero proprio quelle le ore in cui il fotovoltaico produce di più. Infine si vede dal grafico PdC che in estate, quando il fotovoltaico produce molto di più rispetto alla pompa di calore, comunque questa non riesce a lavorare con sola energia prodotta da fotovoltaico. Questo avviene perché l'ACS viene generata in parte nelle ore notturne poiché due dei picchi della domanda sono nelle prime ore del giorno e le prime della sera.

Se il problema della stagionalità non è risolvibile nemmeno con accumuli elettrici, mentre il problema dello sfasamento tra domanda e produzione nei giorni di riscaldamento sarebbe risolvibile con delle batterie, si ha che l'ultimo problema, quello dell'utilizzo di energia per ACS di notte, sarebbe risolvibile senza accumulo elettrico. Basterebbe infatti disporre di accumuli termici per l'acqua dimensionati con questo scopo e che sarebbero molto più economici di accumuli elettrici.

Dal grafico sul payback time, si nota che finché l'energia prodotta dal fotovoltaico è meno di quella utilizzata in un anno dalla PdC (barre arancioni sotto il 100%) il tempo di ritorno dell'investimento rimane circa costante e basso. Quando si eccede il 100% questo sale.

La condizione in cui non si raggiunge il 100 % si ha per edifici a tre piani con isolamento scarso o medio, e per edifici a due piani con isolamento solo scarso.

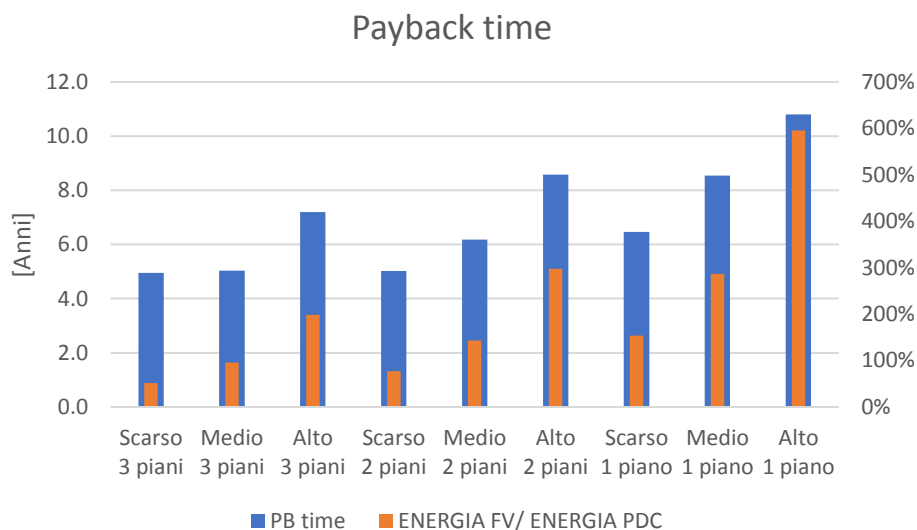


Figura 69 - Payback time per i vari edifici ad 1, 2 e 3 piani e differente grado di isolamento.

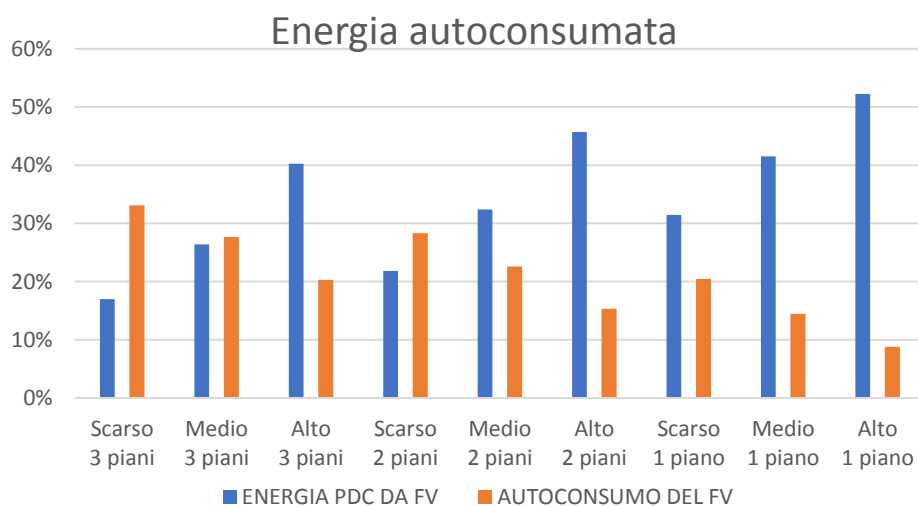


Figura 70 -Energia autoconsumata per gli edifici ad 1, 2 e 3 piani e differente grado di isolamento.

Dal grafico sull'energia autoconsumata, si vede come in edifici più bassi e/o più isolati, l'energia della pompa di calore da fotovoltaico in autoconsumo aumenti; questo avviene solo perché in termini relativi, l'energia necessaria alla pompa di calore diminuisce, e quindi nei mesi più freddi l'energia prodotta riesce a dare un contributo relativo sempre maggiore. Si capisce però che si sta implementando un sistema atto a produrre nelle ore di sole, per sfruttare di più le ore in cui questo produrrebbe meno, ovvero le ore invernali, e non migliorando le prestazioni estive, anzi aumentando la quota di energia immessa in rete perché non autoconsumata. Si vede infatti come anche l'energia del FV autoconsumata da PdC diminuisca per tali edifici.

In questi casi sarebbe fondamentale sfruttare il fotovoltaico anche per servizi non termici, come illuminazione, e possibilmente per raffrescamento.

Considerati i prezzi ed i costi assunti nell'analisi, si vede infatti che l'energia autoconsumata è valorizzata a 0,20 €/kWh, mentre quella in scambio sul posto a 0,13 €/kWh (8+5) mentre quella venduta solo a 0,05 €/kWh. Si ha così che nella valutazione di convenienza di un impianto fotovoltaico per uso domestico, il fattore preponderante è dimensionare un impianto che produca al più l'energia consumata dall'utenza cui fa riferimento. L'autoconsumo sarebbe la condizione più conveniente, ma si vede come comunque la remunerazione a 0,13 € per kWh scambiato, fa sì che anche una non contemporaneità porta una notevole convenienza dell'impianto e soprattutto una convenienza rispetto il sovradimensionamento con obiettivo di vendita dell'energia alla rete.

Ne risulta che, negli edifici più bassi e/o più isolati, l'impianto fotovoltaico non può essere della taglia massima installabile sulla copertura se questo è collegato alla sola PdC come utenza. Se invece lo si sfrutta anche per utilizzi non termici allora anche edifici di media altezza o bassi con scarso isolamento, potrebbero veder interessata tutta la superficie utile della copertura.

Si vuole quindi fare una proposta per una gestione a livello locale dell'energia.

Si prosegue ora considerando il caso dei condomini con PdC centralizzata, fulcro anche dell'analisi precedente e che presentano anche in questo caso le maggiori criticità, poiché per normativa non è possibile per questi utilizzare l'impianto per più utenze, e quindi non è possibile alimentare con lo stesso impianto sia la pompa di calore che le singole abitazioni. Inoltre, considerando anche case singole, gli edifici più isolati o più bassi vedrebbero inefficiente l'installazione di FV su tutto il tetto disponibile, mentre per altri edifici servirebbe superficie ulteriore per coprire tutta la domanda. Si ha così la condizione per cui il rapporto tra la somma di tutta l'energia producibile da fotovoltaico a livello locale e la somma dell'energia utilizzata da tutte le PdC di tutti gli edifici, è molto più vicino a uno rispetto la somma di tali rapporti fatti per ogni edificio.

Come si è visto prima, se questo rapporto è inferiore a 1 la convenienza del fotovoltaico è alta, ma molti edifici otterrebbero tale risultato non sfruttando tutto il tetto disponibile e questo significa che si perde dell'energia producibile da fotovoltaico. Passando a livello locale, tale rapporto si alzerebbe e significherebbe che il fotovoltaico rimarrebbe conveniente anche con maggiori installazioni e quindi con maggior risparmio di emissioni.

Per fare ciò bisogna analizzare le possibilità in tal verso offerte dallo scambio sul posto, condizione necessaria affinché rimanga veramente conveniente il fotovoltaico in questo momento storico per un contesto residenziale.

Per utenze non domestiche, però, il Corrispettivo Unitario di scambio forfetario varia molto a seconda dei consumi e dalla tensione di alimentazione del sistema. Le indicazioni date nelle fasi successive

vogliono quindi essere più delle considerazioni sulle modalità con le quali reti di teleriscaldamento, pompe di calore e impianti fotovoltaici possono essere gestiti su scala locale e non individuale, con benefici sotto vari punti di vista.

La situazione più facile per attuare ciò, e beneficiare dello scambio sul posto, è quella di rientrare tra le categorie che possono beneficiare di avere più punti di consumo, e non uno unico come di solito avviene. In merito a questa tipologia, per poter beneficiare dello scambio sul posto si devono rispettare le condizioni di cui all'Articolo 2 del Testo integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per l'erogazione del servizio di scambio sul posto [45]:

- *Lo scambio sul posto è erogato al cliente finale che è al tempo stesso produttore di energia elettrica da impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza fino a 20 kW e impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza superiore a 20 kW fino a 200 kW entrati in esercizio in data successiva al 31 dicembre 2007.*
- *Ai fini dell'erogazione dello scambio sul posto, il punto di prelievo e il punto di immissione coincidono nell'unico punto di scambio, ad eccezione del caso in cui gli impianti siano alimentati da fonti rinnovabili e l'utente dello scambio sul posto sia un Comune con popolazione fino a 20.000 residenti, ovvero un soggetto terzo mandatario del medesimo Comune, ferma restando la proprietà degli impianti in capo al Comune.*
- *In tal caso è consentita la presenza di più impianti di produzione di energia elettrica purché, per ogni punto di connessione, la potenza complessiva non sia superiore a 200 kW. Inoltre, in tali casi, l'utente dello scambio deve essere controparte del contratto di acquisto riferito all'energia elettrica prelevata tramite tutti i punti di prelievo compresi nella convenzione.*

Se questi vincoli non fossero rispettati e quindi non fosse il Comune il proprietario degli impianti, non potendo così beneficiare di più punti di consumo, allora l'azienda dovrà disporre di una rete elettrica interna ed interfacciarsi con la rete pubblica con un solo punto di scambio e l'impianto dovrà avere potenza non superiore a 200kW. Si potrà quindi suddividere la zona in sottozone autonome in tal senso se la potenza necessaria dovesse essere superiore a 200Kw. Si sottolinea inoltre come per le aziende sia attivo il super ammortamento del 130 %, quindi anche questa seconda strada che prevede oneri di installazione e di gestione più gravosi, possa risultare conveniente.

Se quindi l'azienda che gestisce il teleriscaldamento, per conto del Comune o per conto proprio, fosse proprietaria delle pompe di calore e dell'impianto fotovoltaico, potrebbe ottenere benefici considerevoli. Gli utenti che sfruttassero questa possibilità potrebbero così usufruire di tariffe ridotte in virtù dell'affitto del tetto.

Questa soluzione sarebbe anche l'ottimo ambientale oltre che economico rispetto la possibilità di considerare separatamente gli edifici, abbassando ulteriormente le emissioni di CO₂ da parte di tutto il sistema.

Da queste considerazioni si vede come una gestione a livello locale dell'energia sia una strada da percorrere e considerare se si vogliono ottenere benefici economici, energetici ed ambientali migliori.

Per quanto riguarda edifici che non possono connettersi alla rete di teleriscaldamento perché questa non vi arriva, o per altri motivi, ma che comunque si trovino in un contesto tale per cui si voglia mirare alla gestione locale dell'energia, vi sono due strade percorribili.

La prima è quella di procedere con il metodo attuale, quindi con un'ottica che vede l'edificio come isolato dal contesto, la seconda è l'analogo di quanto descritto sopra e permette di perseguire la gestione locale dell'energia. In questo secondo caso, prevedere un gestore locale, che può essere il gestore della rete di teleriscaldamento, o un ente dedicato nel caso in cui non vi sia questa rete di TLR. Quindi la proposta sarebbe quella che questo ente si proponga come fornitore di calore all'utente e quindi, in questo caso, che si faccia carico degli investimenti iniziali di pompa di calore e sonde, nonché di eventuali impianti da rifare, e l'utente paghi in base al calore utilizzato e ceda la superficie del proprio tetto per procedere al pari di quanto detto sopra per gli edifici connessi alla rete.

Questa è comunque una sola proposta che vuole essere lo spunto per approfondimenti ulteriori.

Se niente di tutto questo fosse possibile, allora per il fotovoltaico l'unica indicazione per renderlo più possibile economicamente vantaggioso, è di dimensionarlo con potenza tale che produca al più l'energia prodotta in un anno dall'utilizzatore.

4.4. Valutazioni a livello urbano, possibili scenari

In questa sezione si riescono ad avere ulteriori informazioni e spunti su quello che può essere il beneficio di una gestione integrata dell'energia, confrontando trend attuali, soprattutto per il fotovoltaico, con trend imposti dal gestore della rete di teleriscaldamento, e vedere come questo impatti sui consumi ed emissioni. In questa sezione si avrà anche modo di comprendere i differenti impatti in base al grado di riqualificazione e vedere quali fattori impattino di più, a livello locale, su energia, potenza ed emissioni, in modo da poter avere, sempre in via qualitativa, indicazioni in più su quali siano le strade migliori da percorrere e favorire da parte dell'amministrazione locale.

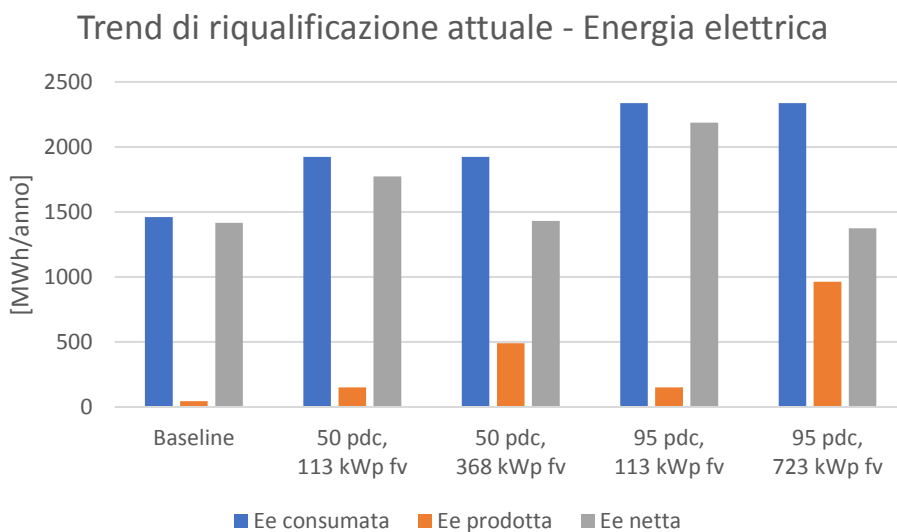


Figura 71 - Energia elettrica in scenari con un trend di riqualificazione pari a quello attuale.

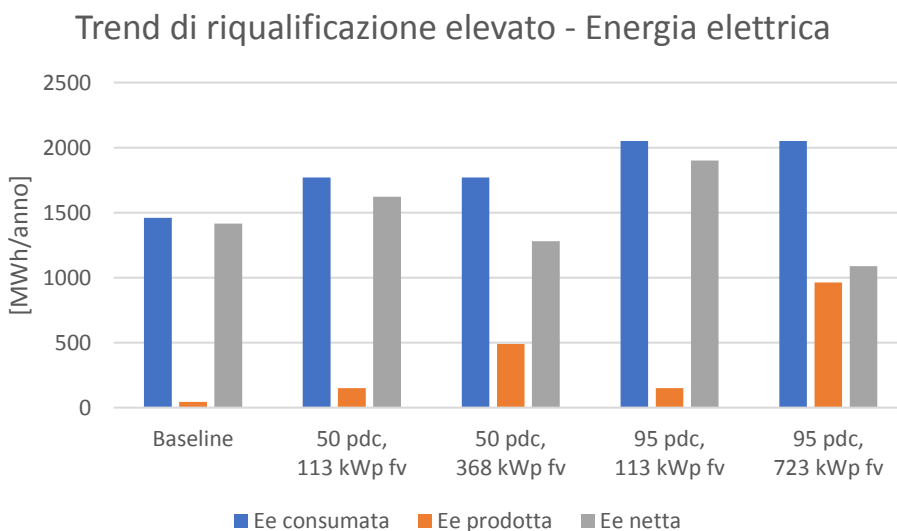


Figura 72 - Energia elettrica in scenari con un trend di riqualificazione elevato.

Da questi primi due grafici riguardanti l'energia elettrica, espressa in MWh/anno, si osservano principalmente due fenomeni:

- Che sia con il trend attuale, sia con un elevato trend di riqualificazione dell'involucro, il fotovoltaico, con il trend attuale, non riuscirebbe a soddisfare l'aumento di domanda di energia dovuta all'installazione di pompe di calore in nessuno dei due scenari previsti per queste.
- Che con l'installazione congiunta di fotovoltaico negli edifici che si allaccino alla rete di teleriscaldamento, il fabbisogno elettrico locale rimarrebbe sempre uguale o inferiore al fabbisogno elettrico iniziale degli edifici. Se la riqualificazione fosse superiore a ciò che è previsto dal trend attuale, si nota che si avrebbe un guadagno netto di energia rispetto la situazione iniziale, quindi con una diminuzione del fabbisogno complessivo.

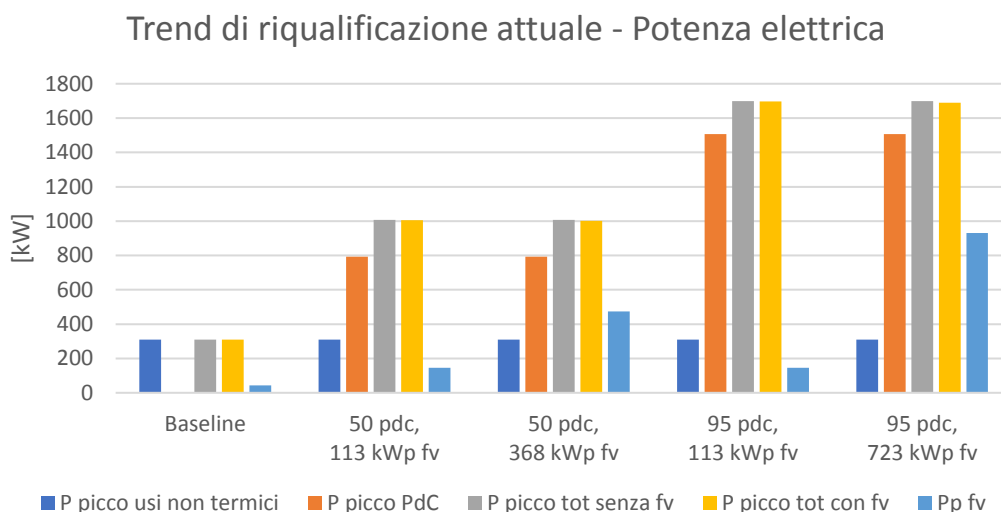


Figura 73 - Potenza elettrica in scenari con un trend di riqualificazione pari a quello attuale.

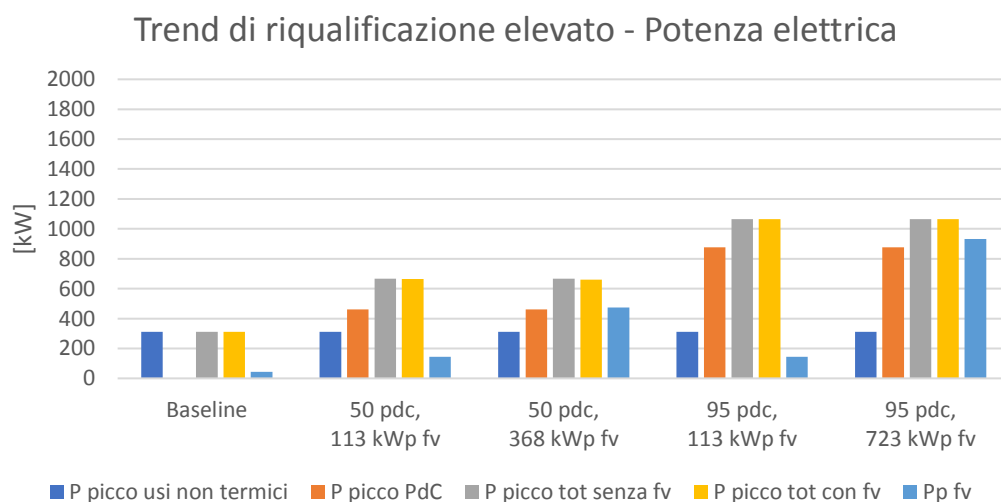


Figura 74 - Potenza elettrica in scenari con un trend di riqualificazione elevato.

Dai grafici sulla potenza si osservano più fenomeni. Certamente si nota come, rispetto l'energia, la potenza dipenda molto di più dall'isolamento degli edifici, quindi con uno stock edilizio maggiormente isolato, la potenza di picco è aumentata a livelli 3 volte superiori quelli originali contro le oltre 5 volte di aumento che si hanno per uno stock meno isolato. Le altre considerazioni sono simili per ogni situazione. Si ha infatti che la potenza di picco delle sole pompe di calore è maggiore della potenza di picco originale degli edifici e la potenza di picco complessiva delle due cose è pari a ad un valore che è minore della somma delle due potenze, ma all'incirca di solo 100 kW, su potenze dell'ordine dei 650 - 1700 kW. Si nota inoltre che il fotovoltaico riesce a mettere in gioco potenze molto elevate nei periodi estivi, fino ad oltre 900 kW, ma che per il contenimento della potenza di picco degli edifici sia praticamente ininfluenza, con un contributo massimo dell'1%. Questo si ha perché la potenza di picco degli edifici si ha nei primi giorni di gennaio alle prime ore del mattino, quando il sole ancora è praticamente assente.

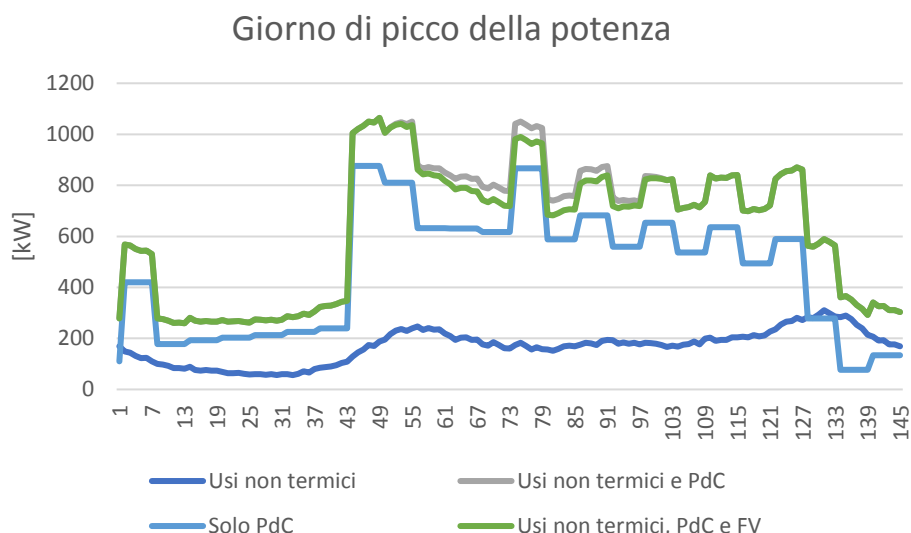


Figura 75 - Potenza istantanea nella giornata di picco della potenza assorbita a livello locale.

Si riporta nel grafico l'andamento delle potenze per il giorno di picco del caso con alto tasso di riqualificazione, massima installazione di pompe di calore e fotovoltaico, ma è analogo per tutti i casi. Si vede che il massimo è al punto 49, ovvero alle ore $(49-1)/6 = 8$ del mattino. Si osserva che il fotovoltaico riduce di un po' la potenza nelle ore più centrali, ma che queste comunque richiedano potenza minori, o al massimo uguali, a quelle delle prime ore del mattino, sicché il contributo avviene in momenti in cui non sarebbe necessario dal punto di vista della potenza.

Per contro d'estate si ha una potenza elettrica prodotta da fotovoltaico che durante il giorno supera di gran lunga tutta quella necessaria agli edifici per qualsiasi funzione, e si trova un contesto residenziale che globalmente immette energia in rete anziché assorbirla.

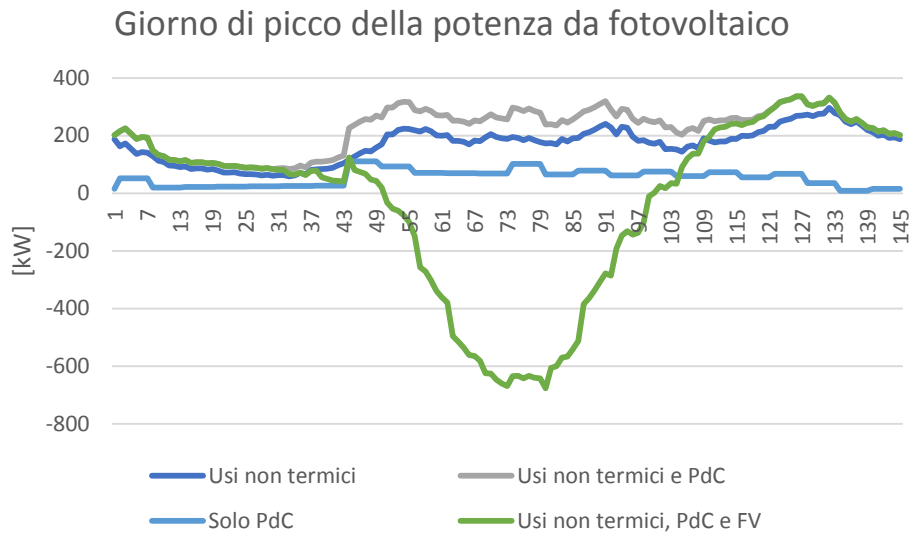


Figura 76 - Potenza istantanea nella giornata di picco della potenza immessa a livello locale.

Infine, per quanto riguarda l'energia primaria consumata e le emissioni di CO₂ emesse, si vede che sia più importante collegare il maggior numero di edifici possibili alla rete di teleriscaldamento, in secondo luogo è importante isolare l'edificio, e solo alla fine, come ordine di importanza, si ha il contributo dato dal fotovoltaico. Questo rispecchia quanto trovato nell'analisi sui singoli edifici, ed è indice di un'ottima potenzialità delle reti di teleriscaldamento a sorgente geotermica, che risulta quindi capace di far raggiungere risparmi di emissioni notevoli, essendo anche la miglior soluzione dal punto di vista economico per l'individuo, superando le potenzialità dell'isolamento dell'involucro o della sostituzione degli infissi, e ben oltre il contributo apportabile dal fotovoltaico.

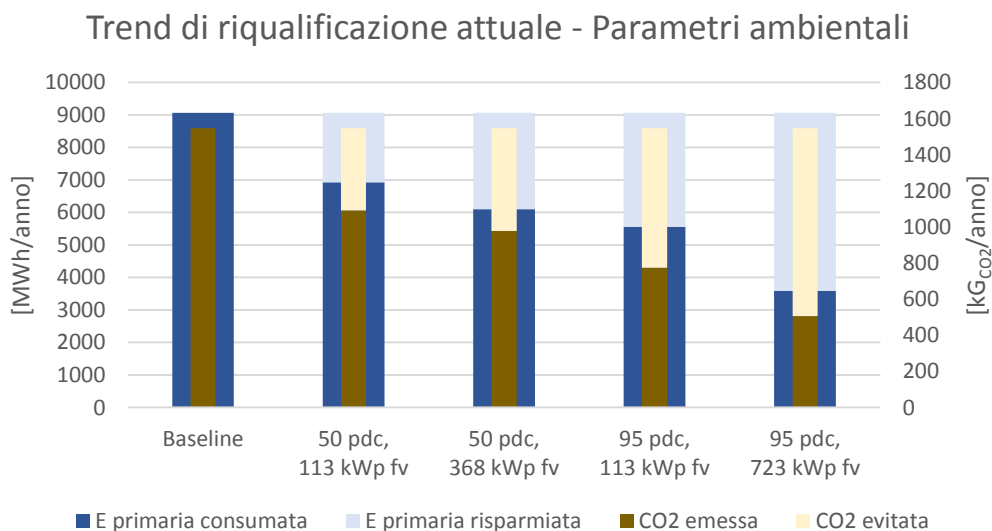


Figura 77 - Energia primaria ed emissioni di CO₂ in scenari con un trend di riqualificazione attuale.

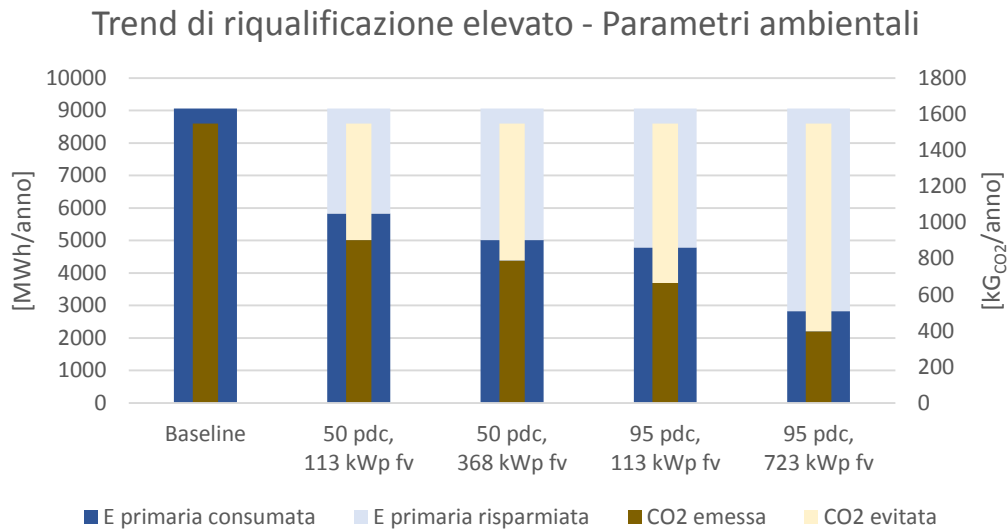


Figura 78 - Energia primaria ed emissioni di CO₂ in scenari con un trend di riqualificazione elevato.

La prima cosa cui dovrebbero puntare le amministrazioni di zone ad elevata anomalia termica del terreno, è quella di costruire una rete di teleriscaldamento come descritta, favorendo anche l'isolamento degli edifici e puntando ad una gestione integrata dell'energia fotovoltaica.

Capitolo 5. Conclusioni

La tesi ha come obiettivo la valutazione di un ampio spettro di soluzioni per la riqualificazione energetica di edifici residenziali in presenza di fonti di calore a bassa temperatura. In particolare, si è considerata la possibilità di allacciamento ad una rete di teleriscaldamento a 40/30°C alimentata da calore di scarto o da fonti rinnovabili, con pompe di calore acqua-acqua nelle sottostazioni d'utenza. Questo sistema è di interesse, non solo perché permette di utilizzare fonti di calore a bassa temperatura e dislocate sul territorio, ma anche perché permette di abbattere i costi di gestione ed investimento della rete, grazie alle minor perdite ed al minor isolamento necessario per le tubazioni.

Inoltre, sono state analizzati interventi di riqualificazione volti a sfruttare il calore del terreno tramite sonde geotermiche a circuito chiuso, sia in zone a gradiente termico anomalo che normale. Questa particolare scelta è dovuta al caso studio considerato, ovvero al Comune di Montegrotto Terme, che ha commissionato studi al fine di individuare le migliori soluzioni per sfruttare il calore del sottosuolo dovuto alla ben nota anomalia termica presente nell'area Euganea. Le possibilità in analisi sono quelle di sfruttare il calore presente nell'acqua di scarto delle strutture termali per realizzare una rete di teleriscaldamento a bassa temperatura con le suddette caratteristiche, e di sfruttare il calore del terreno tramite sonde geotermiche in aree distanti dalla rete.

Partendo dall'analisi della normativa vigente, dagli incentivi del settore, nonché da risultati di ricerche precedenti, si sono valutati gli interventi di riqualificazione energetica in base alla loro convenienza economica e al loro impatto ambientale.

Si sono considerate due tipologie di edificio (villetta e condominio) e quattro classi di isolamento degli edifici al fine di avere un quadro rappresentativo del patrimonio edilizio locale. Si è usato il software per la simulazione dinamica TRNSYS per calcolare il fabbisogno termico degli edifici sia pre che post-intervento. Gli interventi ipotizzati riguardavano sia l'involucro che l'impianto; tuttavia, le simulazioni sono state effettuate considerando solamente l'edificio e l'efficienza degli impianti è stata ipotizzata a partire da studi precedenti o da valori indicati dalla normativa.

A valle delle simulazioni energetiche, le varie soluzioni sono state analizzate sia dal punto di vista economico che ambientale, individuando le migliori soluzioni in base alla disponibilità economica e che rientrassero nella prassi costruttiva odierna, proponendo quindi solo soluzioni concretamente realizzabili.

Infine, si è cercato di quantificare i benefici connessi ai suddetti interventi di riqualificazione facendo dei bilanci energetici su scala urbana, estendendo i risultati ottenuti ed integrandoli con dati relativi a diversi scenari di penetrazione di impianti fotovoltaici e di pompe di calore.

Con i costi ipotizzati è emerso che gli interventi sul solo involucro portano a risparmi sui costi di riscaldamento circa proporzionali all'investimento iniziale. Questo è vero sia per la sostituzione degli infissi che per gli interventi sulle superfici opache, siano esse verticali od orizzontali. Questo è vero all'interno della stessa classe di edifici e purché questo sia il primo intervento di riqualificazione su quella parte di involucro. In altre parole, se sono già stati sostituiti gli infissi o se è già stato parzialmente isolato l'involucro, un nuovo intervento avrà un tempo di ritorno maggiore a causa del minor risparmio conseguito. Questi risultati rimangono validi anche considerando gli incentivi, che hanno l'effetto di ridurre i tempi di ritorno. Questa riduzione avviene in maniera più marcata per interventi con payback time senza incentivo più elevato, facendo rientrare l'investimento entro i 10 anni in quasi tutti i casi considerati. Per gli edifici più vecchi, alcuni interventi (in particolare quelli che prevedono l'allacciamento alla rete di teleriscaldamento mantenendo i radiatori) hanno tempi di ritorno inferiori ai 5 anni.

Alla luce di queste considerazioni, si può concludere che gli interventi sull'involucro possono essere scelti semplicemente sulla base della disponibilità economica e che gli interventi su parti diverse dell'involucro possono essere eseguiti per step successivi, avendo di volta in volta un beneficio circa proporzionale alla spesa effettuata.

Quando invece gli interventi riguardano sia l'involucro sia gli impianti di riscaldamento e produzione di Acqua Calda Sanitaria (ACS), la validità di questa regola generale viene meno. Ad esempio, intervenire sull'impianto di emissione in zone servite da rete di teleriscaldamento, sostituendo i radiatori con sistemi radianti a pavimento, fa aumentare in modo considerevole l'investimento iniziale (dai 8.000 € per un appartamento ai 19.000 € per una villetta), e sebbene i risparmi conseguibili siano elevati, il payback time è sempre superiore o alla meglio in linea con quello di altri interventi, così da far risultare questo tipo di intervento meno appetibile per la maggior parte degli utenti. Considerando però gli elevati risparmi conseguibili, se si dovesse intervenire sul pavimento per altri motivi (quali rifacimento dello stesso), allora i costi extra da sostenere per l'impianto sarebbero limitati, soprattutto se si potesse a quel punto passare ad un sistema radiante tradizionale che ha costi pari alla metà rispetto i sistemi a secco.

Per zone non servite da una rete di teleriscaldamento, le considerazioni fatte non sono più applicabili. Qui il confronto è da farsi con sistemi alimentati con caldaia a gas, i quali non permettono riduzioni

di costi significativi, e quindi i risparmi derivanti da sistemi geotermici risultano tali da essere di forte interesse, fermo restando l'elevato costo d'investimento necessario, dovuto principalmente non più al solo impianto radiante, ma anche alle sonde geotermiche. In zone con elevata anomalia termica del terreno (si è considerato un gradiente termico di 0,5 K/m), il costo d'investimento è più contenuto grazie alla minor superficie di geoscambio richiesta. In questo caso, il minor costo rispetto zone a normale gradiente termico del terreno, fa sì che grazie agli elevati risparmi conseguibili, il tempo di ritorno dell'investimento sia inferiore ai 10 anni, e quindi paragonabile a quello degli altri interventi finora descritti. Si sottolinea che comunque i costi d'investimento sono molto più elevati di soluzioni a caldaia o con teleriscaldamento e che non modifichino il sistema di emissione.

Riassumendo, per le aree servite da rete di teleriscaldamento, la soluzione consigliabile è quella di connettersi tramite pompa di calore e mantenere il sistema di emissione esistente. Per le aree dove non vi sia questa rete, l'impianto radiante permette di utilizzare sistemi con sonde geotermiche, i quali permettono risparmi molto superiori alle alternative possibili, e quindi di forte interesse qualora si abbia un'elevata disponibilità economica. Il payback time sarà comunque superiore alle soluzioni con caldaia, o, al più, in linea con esse per zone ad elevata anomalia termica.

In Italia sono presenti diverse forme di incentivazione per favorire l'efficientamento energetico degli edifici riducendone l'impatto ambientale. I più utilizzati nel settore vengono erogati dallo Stato sotto forma di detrazioni fiscali, e permettono di ridurre il tempo di ritorno degli investimenti. L'impatto della decontribuzione è tanto più elevato quanto minore è l'orizzonte temporale nel quale vengono spalmati gli incentivi. Ad esempio, nel caso degli impianti radianti, il rimborso è distribuito su 5 e non 10 anni come avviene per molti altri interventi (ad esempio sostituzione degli infissi o riqualificazione dell'involucro) riducendo maggiormente il payback time che si avrebbe senza incentivo. La presenza degli incentivi sicuramente favorisce gli investimenti, ma alcune barriere di tipo sociale ed economico sono altrettanto importanti come ad esempio il costo iniziale dell'investimento, oltre alle difficoltà di intraprendere lavori di ristrutturazione. Nei condomini, gli investimenti sono stati fortemente limitati dalle difficoltà incontrate nel prendere decisioni di spesa condivise con costo notevole, da parte di molte famiglie con differenti situazioni economiche.

Dal 2018, per i condomini, sono stati introdotti maggiori incentivi, che coprono dal 70% al 75% della spesa iniziale, al fine di agevolare interventi di riqualificazione energetica in questa categoria di edifici. Sebbene questi incentivi siano i più elevati mai visti negli ultimi anni per l'efficienza energetica in ambito residenziale, si osserva che la loro efficacia potrà essere solo parziale. L'incentivo al 70% per l'involucro qualora fosse riqualificato più del 25% della superficie esterna, potrà dare i suoi frutti portando a riqualificazioni più estese, soprattutto ora che gli infissi, come

intervento separato, sono incentivati solo al 50%, mentre rientrano nel 70% se sostituiti contestualmente alla riqualificazione di più del 25% dell'involucro. I benefici conseguibili con l'altro incentivo dedicato ai condomini, sono invece di portata ridotta. L'incentivo al 75% per l'efficientamento energetico globale del condominio viene erogato in 10 rate annuali, ed è applicabile a qualsiasi intervento svolto qualora le prestazioni finali risultassero migliori di quelle definite per legge. Quindi è un incentivo che nella sua idea vuole agevolare gli interventi più costosi nei condomini, sebbene spesso in questi edifici, il problema sta nella disponibilità economica iniziale, come spiegato sopra.

Sarebbe utile approfondire lo studio, ipotizzando diverse forme d'incentivi, per individuare la strategia da seguire al fine di permettere un più facile finanziamento tramite banche, quindi plausibilmente un incentivo che permetta di ridurre sensibilmente il tempo di ritorno dell'investimento, e quindi che sia non tanto più alto in termini di percentuale del rimborso, ma più breve in termini di durata. In alternativa sarebbero da studiare altri metodi di stimolo a questo genere di investimenti che permettano un più facile accesso al capitale necessario. In particolare, tra gli incentivi esistenti, per interventi con impianti geotermici a bassa entalpia, si può considerare l'utilizzo del conto termico anziché delle detrazioni fiscali che potrebbero permettere di abbattere il tempo di rientro, ma il problema rimane comunque la necessità di agevolare il finanziamento tramite banche per avere il capitale iniziale. Confronti tra questi diversi sistemi di incentivazione, non sono stati effettuati in questo elaborato, ma sono comunque consigliabili.

Anche per zone dove vi sia una rete di teleriscaldamento a bassa temperatura, gli incentivi non farebbero che rendere più interessanti gli interventi di allacciamento, ma potrebbero non avere la forza di spingere gli utenti verso interventi di riqualificazione integrale dell'involucro e del sistema di emissione, proprio per il problema dell'accesso al capitale iniziale.

Dal punto di vista ambientale si è osservato che, indipendentemente dalla tipologia di edificio analizzata, la miglior soluzione non è necessariamente quella che riduce al minimo il fabbisogno dell'edificio, quanto quelle soluzioni che permettono di utilizzare le maggior quota di fonti rinnovabili. Ad esempio, un sistema radiante a pavimento servito in scambio diretto dalla rete di teleriscaldamento geotermica, permette di raggiungere riduzioni di emissioni superiori al 93% anche in edifici in cui non si intervenga sull'involucro, o dove l'intervento sia comunque limitato. Anche soluzioni con pompa di calore, sia che questa sia interposta tra la rete di teleriscaldamento e radiatori, o tra sonde geotermiche e impianto radiante, permettono di ottenere riduzioni di emissioni altrimenti impossibili anche con il più elevato grado di isolamento dell'edificio se questo rimane alimentato con caldaie a gas.

Da quanto visto finora, risulta chiaro che in zone dove sia possibile sfruttare fonti rinnovabili (come quella geotermica) o calore di scarto da processi industriali per sviluppare una rete di teleriscaldamento, le amministrazioni pubbliche ed il legislatore, si dovrebbero muovere per favorire questa strada, a patto che l'opera sia sostenibile dal punto di vista economico, anche a scapito di soluzioni più classiche come quelle della riqualificazione dell'involucro. Si vede infatti che l'adozione di sistemi con pompa di calore connesse a reti di teleriscaldamento a bassa temperatura sono interessanti per ogni classe di edificio e plausibilmente di facile adozione, visto il basso costo d'implementazione, le contenute opere edilizie da svolgere e i significativi risparmi conseguibili. Inoltre, queste soluzioni con fonte di calore da energia rinnovabile, permettono riduzioni di emissioni molto più significative di misure tradizionali di isolamento dell'involucro.

Laddove non si abbia una sorgente geotermica, lo sfruttamento di fonti di calore a bassa temperatura per sviluppare una rete come quella descritta, sebbene a fonte differente, sarebbe un'opportunità da studiare da parte di qualsiasi amministrazione comunale, anche se i benefici in termini di riduzione delle emissioni potrebbero diminuire, dipendentemente dalla tipologia di fonte di calore utilizzata. Soluzioni con sonde geotermiche portano risultati altrettanto significativi dal punto di vista dell'abbattimento delle emissioni, ma risultano di più difficile adozione a causa dell'elevato costo di investimento iniziale e per la necessità di sostituire l'impianto di emissione con un sistema radiante.

Per quanto riguarda un accoppiamento tra impianto fotovoltaico e pompa di calore, si osserva che i benefici sarebbero solo parziali. Il problema principale consiste nella non contemporaneità tra domanda dell'edificio e produzione fotovoltaica. Il sistema di riscaldamento servirà maggiormente nelle ore più fredde, quindi d'inverno ed in particolar modo nelle ore mattutine e serali, mentre un sistema fotovoltaico produce di più d'estate ed il picco avviene durante le ore centrali del giorno. Per questo motivo il beneficio derivante da sistemi senza accumulo, ma che vogliono sfruttare solo l'autoconsumo è limitato e non sarebbe economicamente conveniente se non grazie agli incentivi ed al sistema di scambio sul posto esistenti in Italia. Grazie allo scambio sul posto, la rete diventa come un super accumulatore, grazie al quale il prosumer può cedere l'energia in eccesso per usarla quando ne ha bisogno. Questo sistema, di cui beneficiano i produttori da fonti rinnovabili non programmabili, ha un costo che viene ripartito tra tutti gli utenti della rete attraverso gli 'oneri di sistema'. Per utenti con contratto di scambio sul posto si è notato come la condizione necessaria per rendere conveniente il sistema è di non produrre più energia di quanta se ne consumi.

Sempre considerando i dati climatici di Venezia, e pompe di calore che prelevino energia da una rete di teleriscaldamento con temperatura di mandata e di ritorno rispettivamente di 40°C e 30°C, è inoltre risultato che gli edifici più isolati e più bassi potrebbero produrre più energia di quanta non possa

consumare un sistema a pompa di calore per il riscaldamento ed ACS per l'edificio stesso, mentre per edifici più alti e meno isolati avviene il contrario. Ipotizzando l'installazione del fotovoltaico su tutta la superficie utile del tetto dell'edificio (indicativamente il 70% della falda a sud), risulta che edifici ad un piano e ben isolati possano produrre fino a 6 volte l'energia necessaria alla pompa di calore, mentre edifici a 3 piani poco isolati riescano a soddisfare solo la metà di tale fabbisogno.

È quindi risultato interessante pensare di gestire l'energia promuovendo l'installazione del fotovoltaico non per soddisfare la domanda del singolo, ma a livello locale per poter compensare l'eccesso di produzione degli edifici bassi e ben isolati, ed il deficit di quelli più alti e meno isolati, aumentando la potenza di fotovoltaico che risulti economicamente conveniente installare su scala locale. Si sono quindi analizzati diversi scenari, sempre per zone in cui si avesse una rete di teleriscaldamento a bassa temperatura e con pompe di calore distribuite. Se l'utility che fornisce il servizio di teleriscaldamento gestisse anche l'energia elettrica controllando sia gli impianti fotovoltaici che le pompe di calore, si potrebbe sfruttare l'eterogeneità degli edifici per combinare domanda ed offerta di energia a livello locale. Si voleva valutare la portata di una gestione dell'energia così strutturata, sotto più aspetti.

Si è visto che a livello locale, il fotovoltaico riesce a contenere la potenza di picco di questo sistema di nemmeno l'1%, mentre un elevato tasso di riqualificazione degli edifici conterrebbe l'aumento di potenza dovuto alla diffusione delle pompe di calore. Quest'ultime farebbero aumentare il picco della potenza richiesta, rispetto quella di un quartiere senza pompe di calore, da 3 a 6 volte in uno scenario con trend attuale di riqualificazione dell'involucro degli edifici, mentre l'aumento sarebbe contenuto tra 2 e 3 volte se il tasso di riqualificazione fosse elevato. È invece significativo l'impatto che avrebbe una gestione del fotovoltaico di questo tipo, dal punto di vista del fabbisogno annuo di energia elettrica. L'idea che il gestore della rete di teleriscaldamento sia gestore degli impianti fotovoltaici e quindi miri ad installare il massimo della potenza possibile su ogni edificio che serve con la propria rete, porterebbe ad avere una zona che consuma annualmente meno energia elettrica rispetto a quella che consumava prima dell'introduzione della rete di teleriscaldamento. Senza questa spinta da parte dell'utility riguardo il fotovoltaico, e mantenendo il trend attuale di installazioni di fotovoltaico, ma con l'introduzione di una rete di teleriscaldamento con pompe di calore distribuite, il consumo di energia elettrica aumenterebbe. Questo aumento varierebbe tra il 20% e il 60% a seconda della diffusione delle pompe di calore, per un trend di riqualificazione dell'involucro pari a quello attuale. Anche per l'energia, come per la potenza, l'aumento di tasso di riqualificazione porterebbe ad un aumento più contenuto, che, sempre mantenendo fisso il tasso di installazione del fotovoltaico, varierebbe tra il 15% ed il 36%. Con l'installazione di fotovoltaico su ogni edificio connesso alla rete,

invece che un aumento, si avrebbe, in ognuno di questi scenari, una riduzione dell'energia rispetto la situazione attuale.

Infine, dal punto di vista delle emissioni di CO₂, i maggiori benefici deriverebbero dall'implementazione di una rete di teleriscaldamento a fonte rinnovabile, in secondo luogo da un innalzamento del tasso di riqualificazione ed infine dall'aumento dell'installazione di fotovoltaico che porta i contributi minori, poiché comunque con la rete di teleriscaldamento si avrebbe il passaggio ad energia elettrica e non più gas, e con il maggior isolamento si avrebbe una riduzione dei consumi.

In conclusione, in zone ad elevata anomalia termica del terreno, si dovrebbe cercare di sfruttare tale energia, poiché si vede che in queste località, per ridurre le emissioni di CO₂ non è più vero che la miglior fonte sia quella dell'energia risparmiata, ma l'energia geotermica porta a riduzioni ben superiori. Si giunge, infatti, in generale a risparmi più elevati con l'utilizzo di sistemi geotermici senza isolare l'involucro, che non isolando molto questo e rimanendo con sistemi a gas. Possibilmente, l'utilizzo dell'energia geotermica dovrebbe avvenire con una rete di teleriscaldamento che è più facilmente accettabile dagli utenti per motivi economici e pratici, rispetto sistemi con sonde geotermiche. Infatti, il problema del costo iniziale e delle impegnative opere di realizzazione non graverebbero più sui singoli.

In generale, anche per zone che non dispongano di questa risorsa, reti di teleriscaldamento a bassa temperatura risultano comunque assolutamente interessanti ed è consigliabile per ogni amministrazione la valutazione di tale soluzione, cercando di valorizzare fonti di calore a bassa temperatura disponibili sul territorio, in particolar modo se rinnovabili o calore di scarto, in relazione alla distribuzione spaziale degli edifici residenziali. I benefici in termini di riduzioni di emissioni di CO₂ potrebbero risultare minori, in relazione alle fonti utilizzate. Analisi in questi termini, variando quindi il fattore di emissione di CO₂ per l'energia prelevata da reti di teleriscaldamento, sarebbero una buona prosecuzione di questa tesi.

Qualora non risultasse vantaggioso lo sviluppo di una rete di teleriscaldamento, o comunque in combinazione con questo genere di interventi, la riqualificazione dell'involucro è una valida soluzione. A riguardo, si è osservato che, all'interno della stessa classe di edificio, ogni intervento porta ad un beneficio circa proporzionale all'investimento fatto, e quindi che la scelta dell'intervento da fare, debba essere fatta a seconda della disponibilità economica dell'utente.

Adottando questo genere di soluzioni, è conveniente pensare anche ad una gestione locale ed integrata dell'energia, quindi sia elettrica che termica, sfruttando gli edifici connessi alla rete di teleriscaldamento per aumentare la diffusione del fotovoltaico sul territorio, portando così a situazioni

in cui si riduca non soltanto l'utilizzo di energia primaria e di emissioni di CO₂, ma anche il consumo netto di energia elettrica, che altrimenti aumenterebbe considerevolmente.

Inoltre, il passaggio a reti di teleriscaldamento, non preclude il vantaggio che l'utente otterrebbe dalla riqualificazione energetica del proprio edificio, e quindi non limita il processo di riduzione dei fabbisogni né tantomeno il mercato che gravita intorno alla riqualificazione energetica, ma semmai ne darebbe una spinta, sensibilizzando gli utenti che si avvicinino a questo genere di sistemi e mostrandone i benefici.

Con soluzioni che prevedano una gestione a tuttotondo dell'energia a livello locale, fornendo agli utenti un servizio unico per l'energia domestica e non una serie di prodotti, si potrebbe giungere a soluzioni con enormi benefici ambientali che sono facilmente accettabili grazie alla loro economicità, praticità e al miglioramento del servizio. Si apre così l'interessante e concreta possibilità di vedere modelli stile ESCo applicati a contesti residenziali, poiché in uno scenario di aggregazione dei prosumers, verrebbero superati i problemi che ne limitavano l'accesso a questo settore, ovvero il problema della grossa frammentazione dei consumi e la difficoltà di raggiungere un adeguato bacino di utenti per un congruo livello di investimento necessario ad attivare questo modello.

Appendice 1 - Stratigrafie dei modelli originali di condomini e villette

Si noti che i valori di resistenza e conducibilità sono riportati utilizzando i kJ/h anziché i W per permettere una più rapida riproduzione dei modelli in TRNSYS poiché il programma richiede tali unità di misura.

C_70 e C_70_DOPP					
Pareti esterne	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.006	1200	0.015
Mattone forato	1.296	0.84	0.062	1200	0.08
Intercapedine d'aria			0.042		0.05
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.091	1800	0.2
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.005	1800	0.015
Totale			0.205		0.36
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.138		
Muro divisorio					
Muro divisorio	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.128	1800	0.28
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.142		0.32
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.406		
Pavimento verso l'esterno					
Pavimento verso l'esterno	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.003	2300	0.015
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.097	1800	0.26
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02

Totale			0.134		0.355
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.607		
Soffitto verso l'esterno					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.097	1800	0.26
Malta di cemento	2.23	1	0.018	1200	0.04
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.005	1800	0.015
Totale			0.128		0.335
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.666		
Muro interno					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Mattone forato	1.296	0.84	0.062	1200	0.08
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.076		0.12
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			2.114		
Interpiano					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.005	2300	0.02
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.082	1800	0.22
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.120		0.32
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.581		

Soffitto interpiano	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.082	1800	0.22
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.005	2300	0.02
Totale			0.120		0.32
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.581		

C_90					
Pareti esterne	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.006	1200	0.015
Mattone forato	1.296	0.84	0.062	1200	0.08
Isolante esterno	0.191	1.45	0.209	20	0.04
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.091	1800	0.2
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.005	1800	0.015
Totale			0.373		0.35
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.674		
Muro divisorio	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.128	1800	0.28
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.142		0.32
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.406		

Pavimento verso l'esterno	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.003	2300	0.015
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Isolante esterno	0.191	1.45	0.209	20	0.04
Argilla espansa	0.864	0.84	0.046	1800	0.04
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.082	1800	0.22
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.375		0.395
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.672		
Soffitto verso l'esterno					
Soffitto verso l'esterno	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.082	1800	0.22
Argilla espansa	0.864	0.84	0.046	1800	0.04
Isolante esterno	0.191	1.45	0.209	20	0.04
Malta di cemento	2.23	1	0.018	1200	0.04
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.370		0.38
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.679		
Muro interno					
Muro interno	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Mattone forato	1.296	0.84	0.062	1200	0.08
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.076		0.12
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			2.114		

Interpiano	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.005	2300	0.02
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.082	1800	0.22
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.120		0.32
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.581		

Soffitto interpiano	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.082	1800	0.22
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.005	2300	0.02
Totale			0.120		0.32
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.581		

C_NEW					
Pareti esterne	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.128	1800	0.28
Isolante esterno	0.144	1.45	0.694	20	0.1
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.836		0.42
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.317		

Muro divisorio	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.128	1800	0.28
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.142		
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.406		
Pavimento verso l'esterno					
Pavimento verso l'esterno	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.005	2300	0.02
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Isolante esterno	0.144	1.45	0.556	20	0.08
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.097	1800	0.26
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.691		0.44
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.381		
Soffitto verso l'esterno					
Soffitto verso l'esterno	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.097	1800	0.26
Isolante esterno	0.144	1.45	0.556	20	0.08
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.694		0.44
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.379		

Muro interno	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Mattone forato	1.296	0.84	0.062	1200	0.08
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.076		0.12
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			2.114		
Interpiano					
Interpiano	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.005	2300	0.02
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Isolante esterno	0.144	1.45	0.278	20	0.04
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.097	1800	0.26
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.413		0.4
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.593		
Soffitto interpiano					
Soffitto interpiano	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.097	1800	0.26
Isolante esterno	0.144	1.45	0.278	20	0.04
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.005	2300	0.02
Totale			0.413		0.4
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.593		

V_70 e V_70_DOPP

Pareti esterne	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.006	1200	0.015
Mattone forato	1.296	0.84	0.062	1200	0.08
Intercapedine d'aria			0.042		0.05
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.091	1800	0.2
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.005	1800	0.015
Totale			0.205		0.36
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.138		
Muro divisorio (c.a. 10 cm)	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.006	1200	0.015
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.032	1800	0.07
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.005	1800	0.015
Totale			0.043		0.1
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			2.832		
Muro divisorio (c.a. 30 cm)	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.006	1200	0.015
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.123	1800	0.27
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.005	1800	0.015
Totale			0.134		0.3
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.466		
Pavimento verso terra	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramica	4.32	1	0.003	2300	0.015

Argilla espansa	0.864	0.84	0.139	1800	0.12
CLS Standard	4.608	0.88	0.011	2200	0.05
Ciottoli	2.52	0.84	0.034	1500	0.086
Totale			0.187		0.271
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.228		
Pavimento verso l'esterno					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.003	2300	0.015
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.097	1800	0.26
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.134		0.355
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.607		
Pavimento sottotetto					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.097	1800	0.26
Malta di cemento	2.23	1	0.018	1200	0.04
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.005	1800	0.015
Totale			0.128		0.335
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.666		
Solaio interpiano					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.003	2300	0.015
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.082	1800	0.22
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.005	1800	0.015

Totale			0.117		0.31
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.606		
Copertura falda					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Tavelle	1.54	0.92	0.039	600	0.06
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.037	1800	0.1
Bitume	0.61	0.92	0.007	1200	0.004
Totale			0.083		0.164
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			2.279		

V_90					
Pareti esterne	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.006	1200	0.015
Mattone forato	1.296	0.84	0.062	1200	0.08
Isolante esterno	0.191	1.45	0.209	20	0.04
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.091	1800	0.2
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.005	1800	0.015
Totale			0.373		0.35
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.674		
Muro divisorio (c.a. 10 cm)					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.006	1200	0.015
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.032	1800	0.07
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.005	1800	0.015
Totale			0.043		0.1

Trasmittanza totale U [W/m ² K]			2.832		
Muro divisorio (c.a. 30 cm)	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.006	1200	0.015
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.123	1800	0.27
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.005	1800	0.015
Totale			0.134		0.3
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.466		
Pavimento verso terra					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramica	4.32	1	0.003	2300	0.015
Argilla espansa	0.864	0.84	0.046	1800	0.04
Isolante esterno	0.191	1.45	0.209	20	0.04
CLS Standard	4.608	0.88	0.011	2200	0.05
Ciottoli	2.52	0.84	0.034	1500	0.086
Totale			0.304		0.231
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.810		
Pavimento verso l'esterno					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.003	2300	0.015
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Isolante esterno	0.191	1.45	0.209	20	0.04
Argilla espansa	0.864	0.84	0.046	1800	0.04
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.082	1800	0.22
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.375		0.395
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.672		

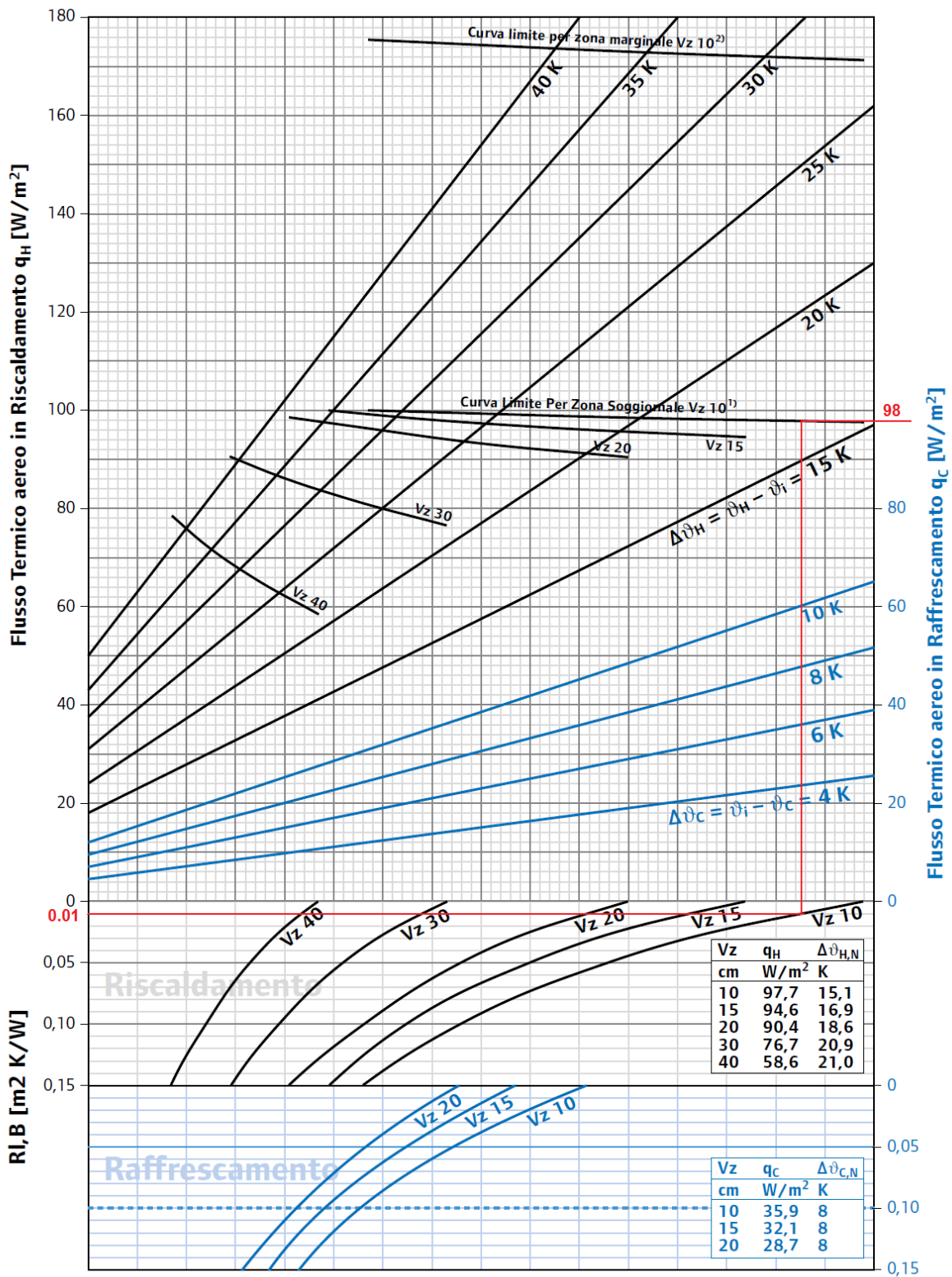
Pavimento sottotetto	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.082	1800	0.22
Argilla espansa	0.864	0.84	0.046	1800	0.04
Isolante esterno	0.191	1.45	0.209	20	0.04
Malta di cemento	2.23	1	0.018	1200	0.04
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.370		0.38
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.679		
Solaio interpiano					
Solaio interpiano	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.005	2300	0.02
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.082	1800	0.22
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.120		0.32
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.581		
Copertura falda					
Copertura falda	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Tavelle	1.54	0.92	0.039	600	0.06
Isolante esterno	0.191	1.45	0.209	20	0.04
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.037	1800	0.1
Bitume	0.61	0.92	0.007	1200	0.004
Totale			0.292		0.204
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.838		

V_NEW					
Pareti esterne	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.128	1800	0.28
Isolante esterno	0.144	1.45	0.694	20	0.1
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.836		0.42
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.317		
Muro divisorio (c.a. 10 cm)	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.027	1800	0.06
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Totale			0.043		0.1
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			2.811		
Muro divisorio (c.a. 30 cm)	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Mattone semipieno esterno	2.19	0.84	0.119	1800	0.26
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Totale			0.135		0.3
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			1.461		
Pavimento verso terra	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramica	4.32	1	0.003	2300	0.015
Argilla espansa	0.864	0.84	0.046	1800	0.04

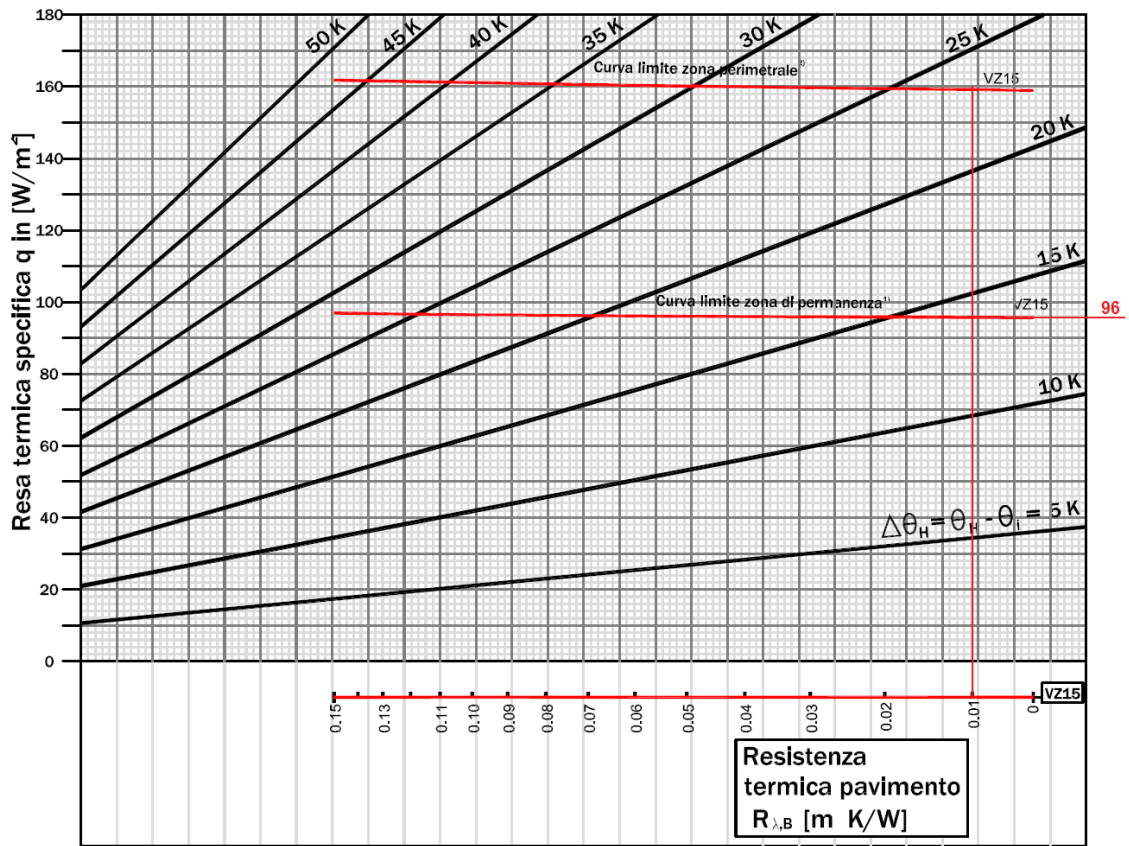
Isolante esterno	0.144	1.45	0.694	20	0.1
CLS Standard	4.608	0.88	0.011	2200	0.05
Ciottoli	2.52	0.84	0.034	1500	0.086
Totale			0.789		0.291
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.335		
Pavimento verso l'esterno					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.005	2300	0.02
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Isolante esterno	0.144	1.45	0.556	20	0.08
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.097	1800	0.26
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.691		0.44
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.381		
Pavimento sottotetto					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Intonaco interno	2.52	1.01	0.008	1200	0.02
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.097	1800	0.26
Isolante esterno	0.144	1.45	0.556	20	0.08
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.694		0.44
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.379		
Solaio interpiano					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Piastrelle ceramiche	4.32	1	0.005	2300	0.02
Malta di cemento	2.23	1	0.027	1200	0.06

Isolante esterno	0.144	1.45	0.278	20	0.04
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.097	1800	0.26
Intonaco esterno	3.24	0.91	0.006	1800	0.02
Totale			0.413		0.4
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.593		
Copertura falda					
	Conducibilità [kJ/h m K]	Capacità [kJ/kg K]	Resistenza [h m ² K/kJ]	Densità [kg/m ³]	Spessore [m]
Tavelle	1.54	0.92	0.039	600	0.06
Isolante esterno	0.191	1.45	0.733	20	0.14
Solaio interpiano	2.67	0.92	0.037	1800	0.1
Bitume	0.61	0.92	0.007	1200	0.004
Totale			0.816		0.304
Trasmittanza totale U [W/m ² K]			0.325		

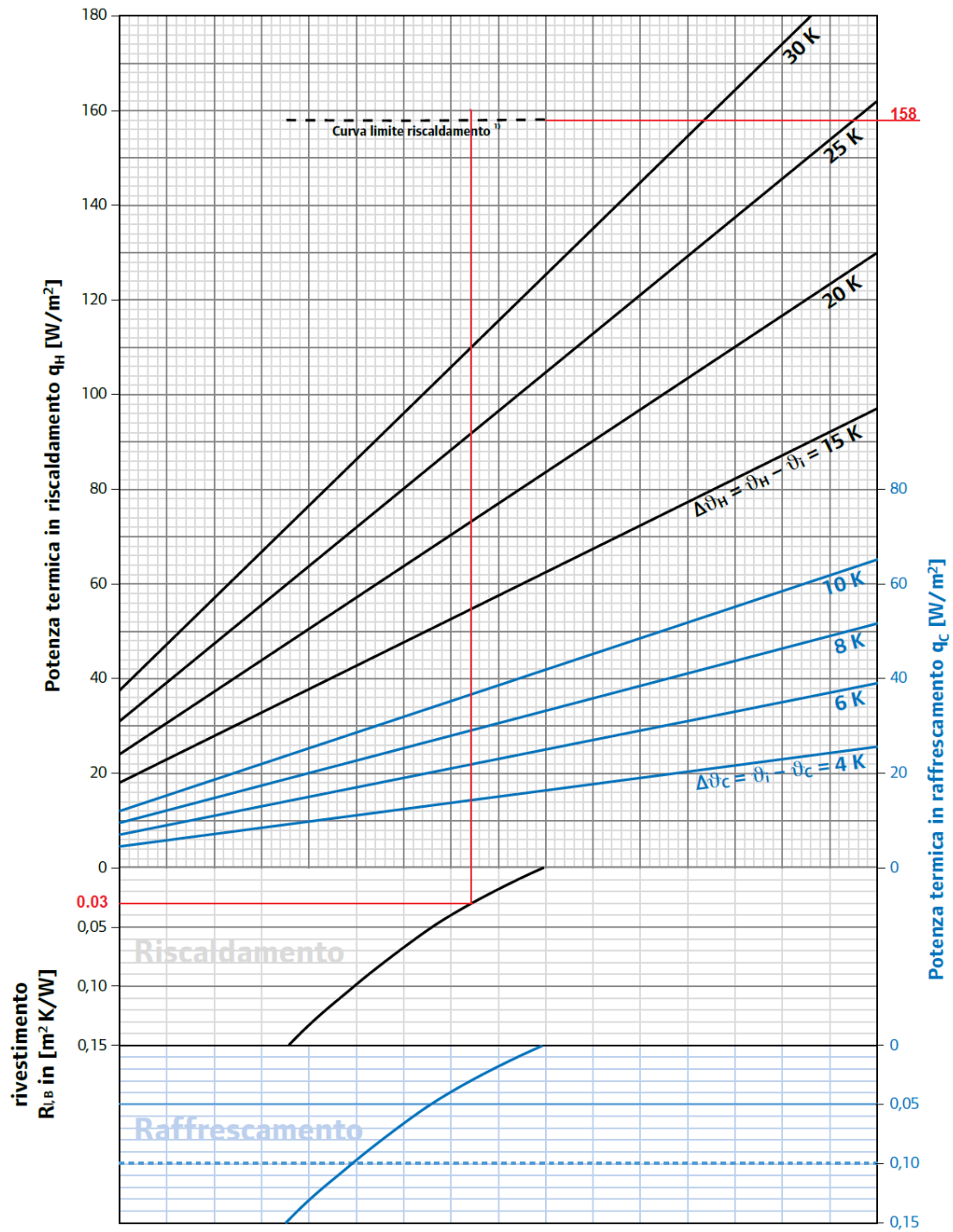
Appendice 2a - Sistema radiante a pavimento ad umido 'UPONOR Classic'



Appendice 2b - Sistema radiante a pavimento a secco 'LOEX Home Plain Clima'



Appendice 2c - Sistema radiante a parete a secco 'UPONOR Renovis'



Bibliografia

- [1] Fulvio Re Cecconi, Lavinia C. Tagliabue, Sebastiano Maltese, Martina Zuccaro. A multi-criteria framework for decision process in retrofit optioneering through interactive data flow. *Procedia Engineering* 180 (2017) 859 - 869
- [2] ENEA. Rapporto annuale 2017 - Le detrazioni fiscali del 65% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente
- [3] Agenzia delle Entrate. Le agevolazioni fiscali per il risparmio energetico. L'Agenzia informa. 2017
- [4] Legge di bilancio 2018. Italia
- [5] Agenzia delle Entrate. Ristrutturazioni edilizie: le agevolazioni fiscali. L'Agenzia informa. 2017
- [6] Ministro dello Sviluppo Economico, Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministro delle politiche agricole alimentari e forestali. Decreto interministeriale 16 febbraio 2015
- [7] Ministro dello Sviluppo Economico, Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministro delle politiche agricole alimentari e forestali. Decreto interministeriale 16 febbraio 2015 - Allegato
- [8] Enrico Biele, Dario Di Santo, Giuseppe Tomassetti. Linee guida per l'applicazione di piccole e medie reti di teleriscaldamento nei comuni in zone E ed F. ENEA. 2013
- [9] Decreto Legislativo del 28 marzo 2011, n.28
- [10] E. Biele, D. Di Santo, D. Forni, G. Tomassetti. Indagine sulla conoscenza e diffusione del teleriscaldamento nei comuni in zone E ed F e analisi dei dati di tre reti. ENEA. 2013
- [11] Vivian, Zarrella, De Carli. Analysis of a wastewater based low temperature district heating system with booster heat pumps for new and existing residential buildings. *CLIMA 2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress*. 2016
- [12] Galgaro, Emmi, Zarrella, De Carli. Possible applications of ground coupled heat pumps in highgeothermal gradient zones. *Energy and Buildings* 79 (2014) 12-22
- [13] Il Ministro dell'Università e della Ricerca Scientifica E Tecnologica, Ministro della Sanità. Decreto ministeriale 25 novembre 1994

- [14] Consiglio regionale del Veneto. Legge regionale del 20 marzo 1975, n. 31 (BUR n. 13/1975)
- [15] Consiglio regionale del Veneto. Provvedimento del consiglio regionale n.1111 del 23 aprile 1980
- [16] UNI EN ISO 6946/2008
- [17] Presidente della Repubblica Italiana. Decreto del presidente della repubblica del 26 agosto 1993 n. 412 - Allegato A
- [18] Ministro dello Sviluppo Economico. Decreto ministeriale dell'11 marzo 2008 - Allegato A.
- [19] Ministro dello Sviluppo Economico. Decreto ministeriale del 26 gennaio 2010.
- [20] Ministro dello Sviluppo Economico, Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ministro della Salute e Ministro della Difesa. Decreto interministeriale 26 giugno 2015
- [21] Simone Ferrari, Federica Zagarella. Costs assessment for building renovation cost-optimal analysis. Energy Procedia 78 (2015) 2378 - 2384
- [22] Kristian Fabbria, Lamberto Tronchin*, Valerio Tarabusib. Energy retrofit and economic evaluation priorities applied at an Italian case study. Energy Procedia 45 (2014) 379 - 384
- [23] Fassa Bortolo. Manuale tecnico di posa.
- [24] Saint-Gobain PPC Italia S.p.A. Scheda tecnica Isopronto Fix
- [25] POLIDECOR S.r.l.. Scheda tecnica ISO LA CE.
- [26] <https://www.irsap.it/it/i-termoarredatori?cat=4>. Ultima visita 15 dicembre 2017
- [27] LOEX. Manuale tecnico. Sistemi a secco e basso spessore
- [28] Uponor. Uponor impianti radianti: qualità, comfort e risparmio energetico
- [29] Ministro dello Sviluppo Economico, Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ministro della Salute e Ministro della Difesa. Decreto interministeriale 26 giugno 2015 -Allegato 1
- [30] Georgina Orr, Tom Lelyveld, Simon Burton. Final Report: Insitu monitoring of efficiencies of condensing boilers and use of secondary heating. Energy Saving Trust. 2009
- [31] Harish Satyavada, Simone Baldi. Monitoring energy efficiency of condensing boilers via hybrid firstprinciple modelling and estimation. Energy 142 (2018) 121 - 129

- [32] Kavanaugh S.P., Rafferty K.. Ground source heat pumps. Design of geothermal systems for commercial and institutional buildings. ASHRAE. 1997
- [33] Aermec. Scheda tecnica WRL 026/161 pompa di calore
- [34] Aermec. Dichiarazione per detrazione fiscale $\geq 65\%$ anno 2017 per unità a pompa di calore Aermec SpA. 2017
- [35] <http://www.trnsys.com/>. Ultima visita 20 febbraio 2018
- [36] Ministro dello Sviluppo Economico, Ministro dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ministro della Salute e Ministro della Difesa. Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Appendice B
- [37] Ministro dell’Economia e delle Finanze, Ministro dello Sviluppo Economico. Decreto ministeriale 26 agosto 2009 - Allegato I
- [38] Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge finanziaria 2001) - Articolo 29
- [39] ISPRA. Fattori di emissione atmosferica di CO₂ e altri gas a effetto serra nel settore elettrico. 2017
- [40] Ministero dell’ambiente. Tabella_coefficienti_standard_nazionali_31122017. 2017
- [41] <http://www.qualenergia.it/articoli/20141107-fotovoltaico-lo-scambio-sul-posto-spiegato-a-tutti>. Ultima visita 12 febbraio 2018
- [42] Franco Di Andrea, Andrea Danese. MICENE - MISure dei Consumi di ENergia Elettrica in 110 abitazioni Italiane - Curve di carico dei principali elettrodomestici e degli apparecchi di illuminazione. 2004
- [43] Vivian, De Carli. Studio sui diversi modi di utilizzo della specificità geotermica nella Zona Euganea e in particolare nel Comune di Montegrotto Terme - Relazione di inquadramento generale. Padova. 2018
- [44] Dorte Ostergaard, Svend Svendsen. Space heating with ultra-low-temperature district heating - a case study of four single-family houses from the 1980s. Energy Procedia 116 (2017) 226-235
- [45] Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente. Testo integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per l’erogazione del servizio di scambio sul posto. 2013

Ringraziamenti

Con queste ultime righe, ci tengo a ringraziare chi ha fatto sì che potessi arrivare alla fine di questo percorso universitario, arricchito come mai avrei immaginato. Sento infatti di non poter definire questo percorso ‘mio’, ma ‘nostro’, perché sono state le persone incontrate, che hanno reso speciale questi anni della mia vita.

Grazie al Prof. Michele De Carli, mio relatore, per avermi aiutato in questa tesi; e grazie soprattutto perché ha fatto sì che mettessi in gioco le nozioni insegnatemi e facendomi vivere più attivamente questi anni universitari attraverso la nascita del progetto UniZEB. Grazie perché è stato un punto di riferimento sempre presente e ha sempre creduto e sostenuto noi studenti.

Grazie a all'Ing. Jacopo Vivian, mio correlatore, che con le sue competenze, pazienza e disponibilità, mi ha accompagnato con preziosi consigli e suggerimenti durante l'intera durata della stesura del mio elaborato.

Grazie anche agli altri professori, in particolare al Prof. Arturo Lorenzoni, che hanno dato fiducia a noi ragazzi e grazie ai quali è stato possibile dare vita al progetto UniZEB.

Grazie a LEDES - L'Energia Degli Studenti, per avermi mostrato che tutto si può fare se ci si mette d'impegno, e che se hai delle buone idee sono poche le persone che non ti ascoltano e che non vogliono collaborare con te. Per quanto fatto, grazie a tutti i soci che ne hanno fatto parte, e con cui ho condiviso questi anni, ed in particolare a Marco I. con il quale tanto abbiamo discusso, ma che tanto abbiamo ottenuto, e senza il quale chissà se mi sarei mai avvicinato a questa bellissima associazione.

Grazie a tutti i ragazzi che dopo il fallimento dell'esperimento Solar Decathlon hanno deciso di mettersi all'opera e grazie ai quali è nato ZEBLab, ora UniZEB, e con cui ci siamo dati man forte per fare qualcosa talmente più grande di noi, che ancora non sono sicuro di aver capito come abbiamo fatto. Grazie a tutti i responsabili degli anni successivi, fino ad oggi, che con tanto impegno e passione hanno preso in consegna questo progetto e che tanto lo stanno facendo crescere. E grazie a tutti i partecipanti che si sono impegnati in questi anni. Non nominerò nessuno, perché non basterebbe una pagina intera, ma ci tengo che ognuno che ho avuto il piacere di incontrare si ritenga destinatario di questi ringraziamenti, perché da ognuno ho imparato qualcosa e grazie ad ognuno sono diventato la persona che sono ora.

Grazie ai miei amici e compagni di corso con i quali abbiamo scalato questa montagna chiamata Ingegneria, non certo senza difficoltà, ma passando dei bei momenti. Grazie in particolare a Mattia, Marco, Eugenio e Gianluca con i quali abbiamo passato anche questi ultimi due anni, ma grazie a tutti fin dal primo anno, come Federica, Alessandro, Giacomo e Giovanni; a Matteo per essere stato un compagno di viaggio nella bellissima esperienza dell'Erasmus a Lisbona.

Grazie ai miei amici di una vita, per tutte le avventure passate insieme, in particolare a Leonardo, Cristiano, Matteo, Mattia, Andrea, Giacomo, Elisa, Chiara, Fabio, Ilaria e Daniela

Grazie alla mia squadra di pallavolo, che più che mai sta diventando un gruppo di amici, grazie a Francesco R., Stefano A., Stefano Pa., Stefano Pi., Anna, Alice, Alessio, Carola, Cristina, Eleonora, Francesca M., Francesca R., Francesco M., Giulia, Giulio L., Giulio O., Marta, Pawel, Sara, Silvia, Virginia.

Grazie ai miei compagni delle superiori, in particolare a Giacomo, Mauro, Matteo, Enrico, Marco, Silvia, Adele, Elena.

Grazie alla mia famiglia, che non certo è verso la fine per ordine di importanza. Grazie ai miei genitori, Fabio e Monica, per avermi sempre permesso e messo nelle condizioni ideali per fare ciò che più desideravo, sia all'interno che al di fuori dell'Università. Grazie a mio fratello Nicola che si è sempre interessato a ciò che facevo, incoraggiandomi a sua volta. Grazie ai miei nonni Antonio, Giuliana, Luigi e Mirella per aver sempre creduto in me e avermi sempre dato la forza di continuare cercando di dare il meglio. Grazie ai miei zii Massimo ed Ornella e a mia cugina Alice per aver sempre avuto una parola di incoraggiamento.

Grazie, infine, alla mia ragazza, Cecilia, per aver reso veramente speciale questo periodo, che sempre mi sprona ad affrontare le sfide più ardue, che è sempre pronta ad ascoltarmi e darmi consigli sia nei momenti belli che in quelli difficili, che è sempre con me per ogni avventura.

Grazie di cuore per aver condiviso questo viaggio ed averlo reso così speciale

Padova, 17 aprile 2018