

PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI DELL'OASI DELLA LAGUNA DI ORBETELLO

Un bellissimo contesto ambientale: l'oasi della Laguna di Orbetello

L'oasi della Laguna di Orbetello è stata istituita nel 1971 ed è una delle più importanti e storiche oasi presenti in Italia. La zona lacustre, grazie alla sua posizione lungo le rotte migratorie, vede la concentrazione di migliaia di uccelli, specialmente nel periodo invernale; inoltre vi sono specie rare di farfalle e insetti e una vasta e ricca vegetazione dunale e caratteristica della macchia mediterranea. Nel 1977 è stata inserita nei luoghi di valore internazionale, secondo il Trattato intergovernativo di Ramsar che aveva come obiettivo la conservazione e l'uso corretto delle zone umide tramite l'azione nazionale o internazionale di cooperazione volta alla promozione di uno sviluppo sostenibile. Nel 1980 diventa anche Riserva Naturale dello Stato e nel 1998 è istituita anche come Riserva Naturale della Provincia di Grosseto. Durante questi anni il WWF è riuscito ad acquistare, attraverso campagne di sensibilizzazione, il Bosco di Patanella caratterizzato da grandi estensioni di brugo ed altri piccoli appezzamenti di terreno, e ad oggi l'oasi possiede circa 850 ettari di zona boschiva e 300 di laguna salmastra. Tale estensione comprende anche la zona chiamata "Tombolo della Giannella" che separa a nord-ovest la laguna di Orbetello dal mare ed è qui che si trova il Centro di Educazione Ambientale "Aurelio Peccei" e i quattro Casali analizzati in questo lavoro. Dal 1973 il WWF si è curato della conservazione e del mantenimento del centro "Peccei", detto "Casale della Giannella", costituito da tre casali adibiti a foresteria (Casali B, C e D) e dal Casale Spagnolo, solo in parte proprietà del WWF. Tale edificio, che risale al 1600, ha importanza storica ed è soggetto ai vincoli della Sovrintendenza per i Beni Culturali. Il Centro di Educazione Ambientale è stato fondato nel 1989 e da allora il WWF promuove qui molte iniziative educative con la finalità di stimolare nei visitatori, e soprattutto nei ragazzi e nei giovani, il rispetto e la tutela della natura. Esso viene quindi utilizzato a fini naturalistici, didattici e anche per attività legate allo studio dell'ambiente circostante. Vi si svolgono per circa 4-5 mesi l'anno campi di lavoro, campi di avventura estivi per ragazzi, settimane verdi e viaggi di istruzione per le scuole, stages e corsi di aggiornamento.

Diagnosi energetica degli edifici

La diagnosi energetica di un edificio consiste nell'individuazione delle criticità e degli interventi che ottimizzino il sistema edificio-impianto. Ciò passa attraverso il confronto tra le caratteristiche rilevate o calcolate sui componenti dell'edificio e dell'impianto, nonché la prestazione stessa dell'edificio in termini di fabbisogno di energia primaria (per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria), e le stesse prestazioni ottenibili invece da una applicazione efficiente delle tecnologie disponibili.

Quindi il primo passo per fare una corretta analisi degli edifici dell'oasi di Orbetello, è quello di calcolare il fabbisogno di energia primaria di ciascuno di questi.

Iniziamo con il calcolo dell'energia primaria necessaria per il riscaldamento degli edifici, la cui procedura operativa è riportata in appendice A. Rimando a questa anche per tutti i simboli utilizzati.

Ho inoltre utilizzato il programma di calcolo BESTClass [33], realizzato da Sacert in collaborazione con il Politecnico di Milano, per una ulteriore verifica dei calcoli svolti e per acquisire alcuni dati. Ma, infine, non ho ritenuto opportuno basarmi sui risultati ottenuti dal calcolo del programma per i seguenti motivi:

-Il calcolo viene effettuato considerando l'edificio occupato in modo continuativo durante tutto il periodo di riscaldamento, cosa del tutto falsa in questo specifico caso.

-I valori di trasmittanza utilizzati sono quelli riportati nelle Raccomandazioni CTI [39], che risultano a volte sovrastimati e comunque da scartare nel caso si conosca la stratigrafia dell'elemento.

-Il valore del rendimento di regolazione viene preso pari a 0,86, quando invece l'espressione presente nella UNI 10348 tiene conto anche del fattore di utilizzazione ed è pari a:

$$\eta_r = 0,96 - (0,6 * \gamma * \eta_{ut})$$

Con ciò, il valore effettivo non differisce molto da 0,86, ma è il risultato di un calcolo diverso.

-Vengono presi dei valori fissi del fattore di telaio, di tendaggio e di ombreggiamento che non corrispondono a quelli reali.

-La stima del fabbisogno di acqua calda sanitaria non tiene conto degli eventuali interventi di riduzione del consumo di acqua e, anche alla situazione attuale, sono diversi da quelli reali.

Quindi riporto i dati e stimo il fabbisogno di energia primaria casale per casale. Per evitare inutili ripetizioni, mi riferirò, per alcuni calcoli e dati, al primo caso. In particolar modo, la valutazione dei ponti termici e il calcolo degli apporti gratuiti interni è lo stesso per tutti i casali.

Dati generali e climatici del sito

Il luogo appartiene alla zona climatica C: i gradi giorno, ovvero il parametro indicativo del fabbisogno energetico necessario per mantenere in inverno gli ambienti ad una temperatura di 20°C, sono pari a 1260.

L'altezza sul livello del mare è di 3 m.

Il periodo di riscaldamento (anch'esso ricavabile in funzione della zona climatica in cui è ubicato l'edificio) va dal 15 Novembre al 31 marzo, ovvero consiste di 136 giorni.

La temperatura esterna media nel periodo di riscaldamento è di 9,4 °C.

Dati solari e climatici ricavati dalla norma UNI 10349 si trovano nell'appendice D nel caso studio 2.

I dati dimensionali sono stati ricavati dalle planimetrie fornite dal WWF e riportate in appendice F.

Caratteristica occupazionale degli edifici

Una importante valutazione è quella della futura occupazione dei casali: fino ad ora essi sono stati occupati a pieno regime solo nei mesi che vanno da Aprile-Maggio ad Agosto per ospitare i campi solari.

Adesso però è stata espressa da parte del WWF la volontà di mantenerli in uso anche in inverno o come casa in affitto a famiglie, o come ritrovo per riunioni e meeting durante i fine settimana. Stimare la futura percentuale di occupazione risulta particolarmente importante per validare i conti del fabbisogno energetico dell'edificio e correlare il risultato ottenuto con gli effettivi consumi dei casali, nonché per stimare il fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria.

Secondo i dati Isnart, il WWF ha ipotizzato per gli anni futuri la seguente caratteristica occupazionale annuale:

Tabella 0-1 : Calcolo dei giorni di occupazione degli edifici

	Percentuale di occupazione stimata	Giorni "vendibili" mensili	Giorni effettivamente conteggiati come occupati
Gennaio	10,3%	3,2	4
Febbraio	12,4%	3,4	4
Marzo	23,9%	7,4	8
Aprile	28%	23	23
Maggio	31%	23	23
Giugno	40%	30	30
Luglio	60%	31	31
Agosto	70%	31	31
Settembre	30%	9	9
Ottobre	20%	6,2	7
Novembre	15%	4,5	5
Dicembre	20%	12	12
Natale(10gg)	57%		
Pasqua(4gg)	56,7%		Totale di 187

Si nota che nei mesi estivi, dal momento che sono sempre stati presenti campi scuola per ragazzi, si adotta un fattore di occupazione unitario, nonostante le indicazioni fornite. Nei mesi primaverili (aprile e maggio) invece, al momento iniziale delle attività dei campi solari per scolaresche, i casali non vengono occupati durante i fine settimana. Per i restanti mesi, adotto una percentuale di giorni occupati a pieno carico pari a quella riportata in tabella 0-1. I giorni sono poi approssimati per eccesso, per essere cautelativi e dato che tali percentuali invernali e autunnali sono piuttosto basse. Il totale dei giorni di occupazione nel periodo di riscaldamento (15 Novembre-31 Marzo) è quindi di 30.

I casali presenti hanno un numero di posti letto come riportato in tabella:

Tabella 0-2 : Calcolo del numero di posti letto per casale

	Numero posti letto
Casale B	20
Casale C	27
Casale D	12
Casale Spagnolo	1

Analisi e raccolta dei consumi storici del complesso di edifici

Su questo punto ho trovato molte difficoltà, non solo a reperire i dati, ma a correlarli al periodo in cui la risorsa è stata spesa. Per quanto riguarda la fornitura di acqua, non sono reperibili alcune bollette; invece per quanto riguarda il combustibile, GPL, vi è un serbatoio da 3000 l di capacità, che viene ricaricato periodicamente, quindi si conosce la quantità in litri di GPL immessa in una certa data, ma non si conosce la quantità di combustibile presente al momento della ricarica (il serbatoio non è sempre completamente vuoto), e a volte proprio mancano alcune fatture di ricarica. Quindi è difficile attribuire ad un certo periodo una determinata quota di combustibile usato. Ne farò dunque una stima annuale, tanto più che i dati di occupazione non sono gli stessi anno per anno, ma sono fortemente variabili (vedi tab. 0-4).

Inoltre i dati raccolti sono riferiti alla spesa complessiva di tutti i quattro edifici. Comunque riporto i dati raccolti.

Tabella 0-3 : Prospetto spesa per fornitura di acqua

Dal	Al	Consumo m ³	Importo Fattura euro
01/09/04	30/08/05	1131	1750
30/08/05	11/04/06	164	180,46
21/03/06	23/10/06	694	2473
Spesa annuale media		1100 m³/anno	

Tabella 0-4 : Prospetto spesa per fornitura GPL

	Ricarica del serbatoio l	Importo Fattura senza IVA euro
12/10/05	2250	1979
13/12/05	1400	1231
10/02/06	810	754
09/02/07	2050	1404
10/08/07	800	708
05/11/07	1999	
Spesa annuale stimata	5300 l/anno	
Spesa nei mesi estivi	3150 l/periodo	

Tabella 0-5 : Prospetto spesa per fornitura di energia elettrica (bollette bimestrali)

	Spesa elettrica	Costo totale
	kWh	euro
11/10-10/12 2004	-	369
11/12-10/02 2005	-	391
11/02-10/04 2005	-	368
11/04-10/06 2005	-	1277
11/06-10/08 2005	3956	604
11/08-10/10 2005	2721	433
11/10-10/12 2005	1836	327
11/12-10/02 2006	1822	334
11/02-10/04 2006	2301	394
11/04-10/06 2006	3291	595
11/06-10/08 2006	3720	672
11/08-10/10 2006	2596	512
11/10-10/12 2006	1724	340
11/12-10/02 2007	1087	262
11/02-10/04 2007	689	179
Consumo annuale medio (del 2006-2007)	13100 kWh/anno	

1. Casale spagnolo

Edificio appartenente alla categoria E.4 (edifici adibiti ad attività ricreative, associative, di culto ed attività similari)

Tale edificio è destinato ad uso biblioteche e sale riunioni o uffici, ed ha una camera in cui poter pernottare, per cui si assume che vi sia un solo posto letto disponibile.

Altezza massima edificio = 12,5 m

Altezza piano terra = 5 m

Altezza primo piano = 7,5 m

Superficie utile riscaldata (S_n) = 410 m²

Superficie lorda riscaldata (S_l) = 216 m² + 204,5 m² + 73 m² = 493 m²

Volume lordo dell'ambiente riscaldato (V_l) = 2332 m³

Volume netto utile riscaldato (V_n) = 1632 m³

Superficie laterale verso locale non riscaldato (proprietà Salati) = 268 m²

Volume lordo dello spazio non riscaldato (proprietà Salati) = circa 2128 m³

Superficie laterale verso locali caldaia = 70 m²

Superficie disperdente laterale (S_d) (verso l'esterno e verso locali non riscaldati) = 670 m²

Superficie disperdente totale (tetto, pavimento, superficie laterale) = 670 m² + 216 m² + 236 m² = 1120 m²

Rapporto di forma = 0,65 m⁻¹

Tabella 1-0-1: Prospetto dei dati dimensionali della struttura

	Perimetro	Superficie lorda riscaldata	Superficie netta riscaldata	Spessore pareti
	m	m ²	m ²	m
Piano terra	67	216	170	0,6
Primo piano	62	204	167	0,5
Soppalco	61	73	-	0,5
Tetto		236	-	0,15
Pavimento	67	216	-	0,35

Calcolo delle trasmittanza delle pareti opache

Dal momento che la struttura è antica, non posso stimare precisamente la composizione delle pareti, né della copertura o del pavimento. Ho ricavato dal sopralluogo e dalle informazioni ricevute i seguenti dati:

▪ **Pareti esterne:**

La parete, di 60 cm al piano terra e di 46 cm al primo piano, è in muratura di pietra con ricorso di mattoni, struttura tipica degli edifici toscani costruiti negli ultimi secoli. Ha intonaco interno di calce e gesso di 2 cm e intonaco esterno di cemento e sabbia di 2 cm.

Le resistenze superficiali esterne usate sono quelle riportate in appendice A.

Riporto schematicamente la stratigrafia per il primo piano e i valori di conduttività dei vari strati:

Tabella 1-2 : Schema stratigrafico delle pareti esterne

Descrizione strato	Conduttività W/mK	Spessore m	Resistenza termica m ² K/W
Intonaco in calce e gesso	0,9	0,02	0,028
Muratura listata di mattoni	0,9	0,46	0,511
Intonaco in cemento e sabbia	1	0,02	0,02

Quindi si calcola la trasmittanza della parete così:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \frac{s_3}{k_3} + R_{se}} = \frac{1}{0,1428 + 0,028 + 0,511 + 0,02 + 0,04} = \frac{1}{0,7419} = 1,34 \frac{W}{m^2 K}$$

Per il piano terra si avrà invece una trasmittanza, ottenuta analogamente, di $1,11 \frac{W}{m^2 K}$.

▪ **Pareti interne e confinanti con ambienti non riscaldati:**

Le pareti interne e quelle che dividono l'ambiente riscaldato dai locali non riscaldati (le centrali termiche e soprattutto la parte dell'edificio di proprietà Salati) sono comunque in muratura di pietra come le precedenti, e l'intonaco è, sia lato interno che esterno, di calce e gesso. Inoltre la resistenza superficiale esterna è pari a quella interna. Lo spessore di tali pareti è di 50 cm sia per il piano terra che per il primo piano. La loro trasmittanza è:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \frac{s_1}{k_1} + R_{si}} = \frac{1}{0,1428 + 0,028 + 0,511 + 0,028 + 0,1428} = \frac{1}{0,8526} = 1,17 \frac{W}{m^2 K}$$

▪ **Basamento:**

Il basamento è costituito da una lastra non coibentata in mattoni e muratura su vespaio, ovvero su uno strato aerato di ghiaia.

Bisogna ricordare che la resistenza superficiale interna lato pavimento (R_{si}) è assunta pari a $0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ (come specificato in appendice A tab. A-3), mentre la resistenza esterna lato vespaio (R_{se}) è sempre pari a $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.

In mancanza di dati precisi sulla stratigrafia del basamento, adotto la trasmittanza consigliata dalle CTI [39] in base allo spessore del basamento, che stimiamo essere nel nostro caso di circa 35 cm. Verrà presa quindi la trasmittanza più bassa, di valore pari a $1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$. Questa è ben confrontabile con il valore dato dal programma Termo 4 [40], per pavimento su vespaio costituito da:

Tabella 1-3 : Schema stratigrafico del basamento

Descrizione strato	Conduttività	Spessore	Resistenza termica
	W/mK	m	$\text{m}^2\text{K/W}$
Piastrelle	1	0,02	0,02
Calcestruzzo	0,75	0,15	0,2
Bitume	0,17	0,01	0,059
Calcestruzzo	0,833	0,1	0,12
Ghiaia grossa	1,2	0,5	0,417

La trasmittanza nel caso del pavimento riportato da Termo [40] è quindi pari a :

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \frac{s_3}{k_3} + \frac{s_4}{k_4} + \frac{s_5}{k_5} + R_{se}} = \frac{1}{0,17 + 0,417 + 0,12 + 0,059 + 0,2 + 0,02 + 0,04}$$

$$= \frac{1}{1,026} = 0,974 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Adotterò comunque cautelativamente il valore delle raccomandazioni CTI di trasmittanza pari a $1,06 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La norma UNI EN 12831 offre nel caso di terreno su vespaio, un valore del fattore correttivo (b) della temperatura pari a 0,8.

▪ **Copertura:**

La copertura è costituita da un tetto a falde in laterizio non coibentato di spessore circa 14 cm, la cui stratigrafia è:

Tabella 1-4 : Schema stratigrafico della copertura

Descrizione strato	Conduttività	Spessore	Resistenza termica
	W/mK	m	$\text{m}^2\text{K/W}$
Tegole e coppi	1	0,04	0,04
Strato impermeabilizzante (bitume)	0,17	0,01	0,06
Mezzane	0,35	0,03	0,084

Muratura in malta-calcestruzzo	0,95	0,02	0,021
Mezzane	0,35	0,03	0,084
Intonaco	0,9	0,01	0,01

La resistenza interna (R_{si}) è, secondo la norma UNI EN ISO 6946, per flussi termici ascendenti, pari a $0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$. La resistenza esterna (R_{se}) è comunque sempre pari a $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$. Questo valore sarà adottato per tutti i casali.

La trasmittanza è quindi pari a :

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \frac{s_3}{k_3} + \frac{s_4}{k_4} + \frac{s_5}{k_5} + R_{se}} = \frac{1}{0,1 + 0,01 + 0,084 + 0,021 + 0,084 + 0,06 + 0,04 + 0,04}$$

$$= \frac{1}{0,439} = 2,27 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Non è stata scelta la trasmittanza fornita dalle raccomandazioni CTI [39] per tetto a falde in laterocemento non coibentato di 15 cm, pari a $2,77 \text{ W/m}^2\text{K}$, perché gli spessori non sono uguali.

Calcolo trasmittanza delle superfici vetrate

- **Finestre:**

La trasmittanza delle superfici vetrate dipende dalla tipologia dell'infisso, dalla tipologia del vetro e dal fattore di telaio (vedi appendice A). In questo caso si hanno sempre singoli vetri (con spessore di 3 mm per il primo piano e di 6 mm per il piano terra) e infissi in legno, con diversi fattori di telaio. Prendiamo come spessore del telaio un valore di 5 cm e una conducibilità del legno pari a $0,18 \text{ W/mK}$, per cui si ha una trasmittanza del telaio di $2 \text{ W/m}^2\text{K}$. La trasmittanza della finestra è quindi un valore pesato di quella della parte vetrata (pari a $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$) e quella della parte in legno (pari a $2 \text{ W/m}^2\text{K}$). Assumendo cautelativamente che il fattore di telaio sia pari al 60%, risulta una trasmittanza della superficie vetrata di **$4,22 \text{ W/m}^2\text{K}$** .

La resistenza interna R_{si} è pari a $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ e quella esterna pari a $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$, per tutte le finestre di tutti i casali.

Inoltre assumo i fattori di tendaggio e di ombreggiamento (vedi appendice A) esterno pari a 1.

Riporto qui sotto i dati raccolti sulle superfici finestrate e sulle loro caratteristiche. Saranno fondamentali per il calcolo degli apporti solari gratuiti, calcolati in seguito.

Tabella 1-5 : Prospetto dei dati caratteristici delle superfici finestrate

	Superficie totale	Superficie vetrata	Fattore di telaio	Fattore di ombreggiamento dovuto a ostacoli verticali	Particolari
Piano terra	m ²	m ²			
Parete SE	1,125	0,532	0,472889	0,92	Incassate e con scurini interni.
	1,125	0,532	0,472889	0,92	
	3,4	2,79	0,820588	1	
Parete NE	1,125	0,532	0,472889	1	
	1,125	0,532	0,472889	1	
Parete SE	0,42	0,225	0,535714	0,3	Loggiato esterno
	0,42	0,225	0,535714	0,3	
Primo piano					
Parete SE	0,88	0,468	0,531818	0,3	Loggiato esterno
	0,88	0,468	0,531818	0,3	
	0,77	0,495	0,642857	0,3	
Parete SW	0,88	0,468	0,531818	1	
Parete NE	0,88	0,468	0,531818	1	
	0,88	0,468	0,531818	1	
	0,77	0,495	0,642857	1	

Porte:

Le porte di ingresso sono o completamente in legno (quella di ingresso per il salone al piano terra) oppure in legno e vetro singolo per le portefinestre al piano superiore. Inoltre quella laterale di ingresso al piano terra è in metallo e vetro.

La trasmittanza delle portefinestra è calcolata facendo una media pesata delle trasmittanza del vetro e del legno in base alla rispettiva superficie. Ogni valore di trasmittanza dei materiali è stato ripreso da Termo 4 [40] e quindi dalla normativa. In particolare la trasmittanza del vetro singolo è di 5,7 W/m²K, mentre la conducibilità del legno è di 0,18 W/mK e la trasmittanza dipende dallo spessore della porta e include le resistenze interne ed esterne liminari. Queste ultime sono le stesse di quelle conteggiate per le finestre.

Comunque riporto la tabella seguente dei dati raccolti.

Tabella 1-6 : Prospetto dei dati caratteristici delle porte

	Superficie totale	Spessore	Descrizione	Trasmittanza
	m ²	cm		W/m ² K
Piano terra				
Parete NE	5	7	Portone di ingresso in legno	1,79
Parete SE	2,5	3	Portafinestra in metallo (superficie vetrata trascurabile)	5,8
Primo piano				
Parete SE	6	6	3 porte finestra in legno con portone esterno, loggiato esterno (considero l'apporto solare trascurabile). Fattore di telaio 0,3	3,1 (Solo legno U=1,98)

Ponti termici

Poiché la struttura non è isolata e poiché nella normativa UNI EN ISO 14683 i valori della trasmittanza termica lineica sono riferiti a pareti in qualche modo isolate, allora adoterò la procedura semplificata che consiste in un aumento percentuale della trasmittanza delle pareti perimetrali del 5% come prescritto nella raccomandazione CTI [39] per strutture omogenee in pietra (vedi tab. A-4).

Calcolo del coefficiente di dispersione termica per ventilazione

L'energia dispersa per ventilazione del locale si calcola in base alla tenuta d'aria dei serramenti. La ventilazione minima per assicurare il benessere ambientale corrisponde ad un tasso di ricambio orario di 0,3 V_n/h, ovvero a un numero di ricambi d'aria (n_a) di 0,3 h⁻¹. Invece nel caso di serramenti non a tenuta si può arrivare anche ad un tasso di ventilazione di 0,9 V_n/h, che comporta ingenti dispersioni di calore. In questo caso, gli infissi sono decisamente obsoleti e con notevoli spifferi, quindi assumo come numero di ricambi d'aria un valore di 0,9 h⁻¹.

Per cui il coefficiente di trasmissione per dispersione è pari a :

$$H_v = \rho_a c_a n_a V_n = 499 \text{ W/K}$$

Calcolo delle dispersioni tramite l'involucro

Si può quindi calcolare quanto l'involucro disperde verso l'ambiente esterno come la somma dei due contributi, per ventilazione e per trasmissione:

$$Q_v = \sum_{j\text{mese}} 24H_v (T_{\text{int}} - T_{\text{est}j}) n_{j\text{giorni}}$$

$$Q_t = \sum_{j\text{mese}} \sum_{k\text{simoelemento}} 24U_k A_k (T_{\text{int}} - T_{\text{est}j}) n_{j\text{giorni}}$$

La temperatura interna (T_{int}) è stata assunta pari a 20°C come prescritto per i dati convenzionali della normativa.

La temperatura esterna (T_{est}) è variabile mensilmente ed è quella riportata nei dati climatici all'inizio. Queste due informazioni valgono anche per tutti i casali successivi, anche se non le ripeterò.

Per il calcolo del fattore b che tiene conto della differenza tra temperatura dell'ambiente non riscaldato e temperatura esterna, occorre stimare le perdite per trasmissione dei locali non riscaldati (vedi appendice A).

Si stima che la zona non riscaldata di proprietà Salati abbia una quota di dispersioni per trasmissione pari all'ambiente riscaldato ($H_{\text{ui}} = H_{\text{ue}} = H_t$) perchè l'edificio è praticamente diviso a metà o poco meno e perché vi è la stessa configurazione quanto a finestre porte e struttura (trascuro la superficie delle centrali termiche). Invece le perdite per ventilazione sono maggiori nei locali non riscaldati (numero di ricambi d'aria pari a 1 h⁻¹, secondo la tabella A-1 dell'appendice A). Da ciò si ottiene un fattore correttivo b pari a 0,8. Si nota che è piuttosto alto, ciò è dovuto al fatto che la zona dell'edificio non riscaldata è molto ampia e disperde moltissimo verso l'esterno. Tale fattore, calcolato da me, risulta proprio pari a quello riportato dalla tabella dei valori nella UNI EN 12831 per locale non riscaldato con tre pareti esterne.

Inoltre il fattore correttivo per tener conto della temperatura del terreno, differenti da quella esterna, è pari a 0,8 nel caso di basamento su vespaio secondo la norma UNI EN 12831, come già detto prima.

Calcolo degli apporti termici totali

Per il calcolo degli apporti termici interni è stato utilizzato un valore medio mensile riportato nell'appendice K della UNI EN ISO 13790. Il valore convenzionale per edifici

occupati in modo continuativo (per esempio per edifici residenziali) è di 4 W/m². L'apporto interno medio convenzionale per gli edifici adibiti ad uffici è invece pari a 6 W/m². Entrambe le situazioni non sono veritiere (l'edificio non è occupato in modo continuativo e non ci sono veri e propri uffici), a causa della particolarità della destinazione d'uso. Si ritiene però accettabile assumere il valore di 4 W/m² come apporto medio interno, anche per tutti gli altri casali.

Per quanto riguarda invece il calcolo degli apporti solari, essi dipendono dai fattori riportati in tab.1-5 come descritto in appendice A: quindi si tiene presente tutti i fattori citati, l'orientamento delle superfici vetrate e la radiazione solare media mensile riportata nella UNI 10349.

Riporto qui la tabella riassuntiva che mette a confronto le quote di energia dispersa o di apporti gratuiti mese per mese nel periodo di riscaldamento (la caratteristica occupazionale- i giorni stimati di occupazione- è quella riportata inizialmente):

Tabella 1-7 : Prospetto dei flussi energetici stagionali in ingresso e in uscita dall'edificio

Mese	T _{est} media mensile	Energia scambiata per ventilazione e (Q _v)	Energia scambiata per trasmissione e attraverso elementi vetrate (Q _t)	Energia scambiata per trasmissione e attraverso pareti opache (Q _m)	Energia da apporti termici solari (Q _s)	Energia da apporti termici interni (Q _{int})
	°C	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh
gennaio	6,8	-632830	-82814,1	-1932739	41395,15	157440
febbraio	8,1	-570505	-74658,1	-1742393	50423,17	157440
marzo	10,3	-930068	-121712	-2840540	125407,5	314880
...						
novembre	11,7	-248697	-32545,3	-759551,6	27669,38	98400
dicembre	8,1	-1711516	-223974	-5227179	131682,8	472320
Totale stagionale (kWh)		-4093,62	-535,703	-12502,4	376,5781	1200,48

Da cui si ottiene il valore complessivo degli apporti energetici (Q_g) e delle dispersioni tramite l'involucro (Q_l):

$$Q_l = 17130 \text{ kWh / stag}$$

$$Q_g = 1576 \text{ kWh / stag}$$

Si può poi ricavare il valore del coefficiente di utilizzazione (η_{ut}) e il rapporto apporti/dispersioni (γ), attraverso la procedura descritta in appendice A. Occorre conoscere la trasmittanza (U) di ogni componente della struttura, e la relativa area; invece per quanto riguarda la determinazione della capacità termica areica (C) non sono riuscite a determinarne il valore per ogni componente della struttura a contatto con l'aria interna e quindi ho deciso di adottare il valore della capacità termica per unità di volume lordo riscaldato fornito dalle raccomandazioni CTI [39] e riportato in tabella A-10 in funzione della tipologia costruttiva del componente:

$$H_t = \sum A_i U_i = 1708 \frac{W}{K}$$

$$H_{tot} = H_v + H_t = 2208 \frac{W}{K}$$

$$C = \sum \chi_j A_j = \kappa V_{lordo} = 155479 \frac{Wh}{K}$$

$$\tau = \frac{C}{H_{tot}} = 70h$$

$$a = 0,8 + \left(\frac{\tau}{30} \right) = 3,14$$

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_t} = 0,092$$

$$\eta_{ut} = 0,999$$

Valutazione dei rendimenti alla situazione esistente

Rendimento di distribuzione:

Le due caldaie per riscaldamento e produzione di ACS sono in due stanze al piano terra che danno sull'esterno. Le tubazioni di adduzione sono sia esterne (su pareti perimetrali non isolate) che interne.

In base al valore del volume riscaldato e dell'altezza media dell'edificio (pari a 10 m), si assume come rendimento di distribuzione **0,955**.

Rendimento di emissione:

I corpi scaldanti sono costituiti da termosifoni in alluminio o ghisa e da ventilconvettori al piano terra. Essi sono posti in prevalenza sotto le finestre sulle pareti esterne non isolate e sono privi di pannelli riflettenti, quindi ad essi corrisponde un rendimento di emissione di 0,9. Ai ventilconvettori invece corrisponde un rendimento di emissione di 0,98.

Il rendimento di emissione è quindi di **0,94** (media tra i due valori).

Rendimento di regolazione:

La regolazione avviene manualmente sul termostato di caldaia. I radiatori e i ventilconvettori sono dotati di regolazione manuale. Il funzionamento dell'impianto, peraltro non frequente poiché sono edifici usati specialmente in estate, fino ad ora, avviene con spegnimento notturno. Perciò il valore riportato nel prospetto 2 della normativa UNI 10348 deve essere decrementato di 2 punti percentuali.

Ricavando dal calcolo delle dispersioni il valore del coefficiente di utilizzazione (η_{ut}) e il rapporto apporti/dispersioni (γ), possiamo calcolare il rendimento di regolazione come segue:

$$\eta_r = 0,94 - (0,6 * \gamma * \eta_{ut}) = \mathbf{0,884}$$

Rendimento di produzione medio stagionale:

Gli impianti termici per riscaldamento e per produzione di acqua calda sanitaria sono costituiti da due caldaie autonome. Le schede tecniche richieste alla casa costruttrice non sono pervenute. La prima, che serve il primo piano ha i seguenti dati ricavati dal sopralluogo e dal libretto di impianto:

Generatore di calore a GPL del tipo RIELLO RBL ATR 25C per solo riscaldamento di potenza nominale 32,2 kW.

Perdite di calore sensibile (perdite a bruciatore acceso) pari a 6,8%.

Caldaia a terra, con espulsione dei fumi tramite camino individuale a tiraggio naturale, e bruciatore atmosferico.

Coibentazione scadente.

Non è presente il serbatoio di accumulo.

La seconda, che serve il piano terra, ha invece i seguenti dati tecnici:

Generatore di calore a GPL del tipo RIELLO RBL 20 KS per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, di potenza nominale 25,4 kW.

E' una caldaia murale, con bruciatore atmosferico e scarico a parete.

Perdite di calore sensibile non segnate.

Buona coibentazione.

Non è presente il serbatoio di accumulo.

Il rendimento di produzione si stima come unico sia per il primo che per il secondo generatore. I dati mancanti relativi alle perdite di calore a bruciatore spento e all'involucro sono stati desunti dalla normativa UNI 10348.

Il rendimento globale è quindi stimabile pari a **0,75**.

Il rendimento globale medio stagionale è quindi pari a **0,59**.

Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

Una volta noti tutti i parametri dell'edificio-impianto, si può facilmente calcolare il fabbisogno di energia primaria per solo riscaldamento, come:

$$Q_{tr} = \frac{Q_l - \eta Q_g}{\eta_r \eta_{pr} \eta_d \eta_e} = 26249 \text{ kWh / stag}$$

$$Q_{tr} = 64 \text{ kWh / m}^2 \text{ stag}$$

2. Casale C

Edificio appartenente alla categoria E1 (edifici adibiti a residenza ed assimilabili)

Numero posti letto : 27 persone

Altezza edificio = 8 m

Altezza piano terra = 3,5 m

Ambienti attigui non riscaldati: centrale termica, scale, forno.

Superficie utile riscaldata (S_n) = 166 m²

Superficie lorda riscaldata (S_l) = 202 m²

Volume lordo dell'ambiente riscaldato (V_l) = 753 m³

Volume netto utile riscaldato (V_n) = 527 m³

Superficie disperdente laterale dei locali non riscaldati verso l'esterno (locale caldaia e forno) = 22,75 m²+ 19 m² = 42 m²

Superficie disperdente laterale dei locali riscaldati verso quelli non riscaldati = 16,6 m²

Superficie disperdente totale dell'edificio = 547 m²

Rapporto di forma (S/V)= 547 m² / 753 m³ = 0,73 m⁻¹

Tabella 2-1: Prospetto dei dati dimensionali della struttura

	Perimetro che delimita lo spazio riscaldato.	Superficie laterale disperdente verso l'ambiente esterno	Superficie lorda riscaldata	Superficie netta riscaldata	Spessore pareti
	m	m ²	m ²	m ²	m
Piano terra	48,6	137,447	126	103,3	0,45
Primo piano	35,2	112,3	76	62	0,5
Tetto	-	146,5	146,5	-	0,25
Pavimento	56,3	-	124,5	-	0,2/0,5
Totale	-	547	202	166	-

Calcolo delle trasmittanza delle pareti opache

- **Pareti esterne:**

La parete è della stessa tipologia di quelle dell'edificio precedente, ma ha spessore pari a 45 cm circa.

Riporto schematicamente la stratigrafia e i valori di conduttività dei vari strati.

Tabella 2-2 : Schema stratigrafico delle pareti esterne

Descrizione strato	Conduttività	Spessore	Resistenza termica
	W/mK	m	m ² K/W
Intonaco in calce e gesso	0,9	0,02	0,028
Muratura listata di mattoni	0,9	0,40	0,444
Intonaco in cemento e sabbia	1	0,02	0,02

Quindi si calcola la trasmittanza della parete così:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \frac{s_3}{k_3} + R_{se}} = \frac{1}{0,1428 + 0,028 + 0,444 + 0,02 + 0,04} = \frac{1}{0,6748} = 1,48 \frac{W}{m^2 K}$$

Nella zona dove la muratura è a vista e quindi non si ha intonaco esterno, la trasmittanza della parete è 1,52 W/m²K.

Adotterò un valore complessivo di 1,5 W/m²K.

▪ **Pareti interne e confinanti con ambienti non riscaldati:**

Le pareti interne e quelle che dividono l'ambiente riscaldato dai locali non riscaldati (la centrale termica e il forno) sono comunque in muratura di pietra come le precedenti, e l'intonaco è sia lato interno che esterno di calce e gesso. La loro trasmittanza è:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \frac{s_1}{k_1} + R_{si}} = \frac{1}{0,1428 + 0,028 + 0,444 + 0,028 + 0,1428} = \frac{1}{0,7856} = 1,27 \frac{W}{m^2 K}$$

Invece per valutare le dispersioni attraverso la parete confinante con le scale, ho adottato una trasmittanza molto bassa (0,1 W/m²K) corrispondente a una parete in muratura di spessore maggiore di un metro (vedi planimetrie in appendice F).

▪ **Basamento:**

Il basamento è costituito da una lastra non coibentata in mattoni e cemento su terra.

In mancanza di dati precisi sulla stratigrafia del basamento, adotto la trasmittanza consigliata dalle CTI [39] in base allo spessore del basamento, che, nel nostro caso, si assume essere di circa 25 cm. Verrà presa quindi la trasmittanza più bassa, di valore pari a 1,24 W/m²K. Questa è in accordo con il valore dato dal programma Termo 4, per pavimento su terra costituito da:

Tabella 2-3 : Schema stratigrafico del basamento

Descrizione strato	Conduttività	Spessore	Resistenza termica
	W/mK	m	m ² K/W
Piastrelle	1	0,02	0,02
Malta di cemento	1,379	0,04	0,029
Mattoni pieni	0,25	0,11	0,44
Calcestruzzo	1,15	0,08	0,07

La trasmittanza è quindi pari a :

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \frac{s_3}{k_3} + \frac{s_4}{k_4} + R_{se}} = \frac{1}{0,17 + 0,02 + 0,029 + 0,44 + 0,07 + 0,04} = \frac{1}{0,769} = 1,3 \frac{W}{m^2 K}$$

Inoltre bisogna calcolare il fattore correttivo delle temperature b.

Tenendo conto che nella UNI EN 12831 non vi sono indici del fattore b nel caso di pavimento controterra, la trasmittanza va in verità calcolata secondo il metodo riportato nella stessa normativa e riportato nell'appendice A. Dato che il valore di B' risulta pari a 4,23 m e il pavimento non è isolato, la trasmittanza equivalente è di 0,88 W/m²K e la trasmittanza già corretta rispetto alle temperature è di circa **0,31 W/m²K**. E' come se si considerasse un fattore b per il terreno pari a 0,3. Ho considerato come valori dei fattori correttivi quelli già specificati nell'appendice A.

▪ Copertura:

La copertura è costituita da un tetto a falde in laterizio coibentato e ventilato.

Lo strato di ventilazione è di circa 6 cm ed è realizzato tramite la messa in posa di listelli orizzontali e verticali sopra lo strato coibente e impermeabilizzante. Non si ha muratura dei coppi di colmo per permettere l'opportuna fuoriuscita di aria. Lo strato di ventilazione non viene chiuso in inverno. La resistenza dello strato di ventilazione viene calcolata tramite la norma UNI EN ISO 6946 di cui parlerò anche nei capitoli successivi. Adotto tale norma in questo caso e non nel capitolo 8 perché l'analisi è qui invernale e non estiva. La norma impone, per intercapedini fortemente ventilate (vedi definizione al termine dell'appendice C), di trascurare la resistenza termica dell'intercapedine e di tutti gli strati che separano questa dall'aria ambiente e di considerare come resistenza superficiale esterna un valore pari a quello interno, ovvero corrispondente all'aria immobile.

Riporto quindi la stratigrafia:

Tabella 2-5 : Schema stratigrafico della copertura

Descrizione strato	Conduttività W/mK	Spessore m	Resistenza termica m ² K/W
Tegole e coppi	1	0,04	0,04
Intercapedine d'aria	0,0242	0,06	
Strato impermeabilizzante non bituminoso	0,17	0,01	0,06
Sughero	0,05	0,04	0,8
Muratura di malta-calcestruzzo	1,4	0,02	0,014
Tavella	0,332	0,03	0,09

La resistenza interna è, secondo la norma UNI EN ISO 6946 per flussi termici ascendenti, pari a 0,1 m²K/W.

La trasmittanza è quindi pari a :

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \frac{s_3}{k_3} + R_{si}} = \frac{1}{0,1 + 0,09 + 0,014 + 0,8 + 0,06 + 0,1} = \frac{1}{1,164} = 0,86 \frac{W}{m^2K}$$

Calcolo trasmittanza delle superfici vetrate

- **Finestre:**

In questo caso le finestre sono tutte con vetri doppi (6-8-6) e telaio in legno. La trasmittanza della finestra si calcola come valore pesato di quella propria della parte vetrata (pari a 3,1 W/m²K) e quella della parte in legno (pari a 2 W/m²K, come per il Casale Spagnolo). Si assume cautelativamente che il fattore di telaio sia pari al 55%, quindi risulta una trasmittanza di **2,6 W/m²K**.

Riporto qui sotto i dati raccolti sulle superfici finestrate e sulle loro caratteristiche.

Tabella 2-6 : Prospetto dei dati caratteristici delle superfici finestrate

	Superficie totale	Superficie vetrata	Fattore di telaio	Fattore di ombreggiamento dovuto a ostacoli verticali	Fattore di ombreggiamento esterno	Particolari
Piano terra	m ²	m ²				
Parete SW	0,348	0,193	0,556	0,46	1	Incassata
Parete NE	0,99	0,456	0,460	1	1	Tenda interna rimovibile
	0,99	0,456	0,460	1	1	
Parete SE	0,2475	0,12	0,484	0,3	1	Incassata
Parete NW	0,95	0,56	0,589	0,82	0,6	
Primo piano						
Parete SE	1,33	0,72	0,541	0,95	1	Tenda interna rimovibile e zanzariera. Incassata
Parete SW	0,364	0,261	0,717	0,97	1	
Parete NW	1,035	0,45	0,434	0,7	0,8	
	1,17	0,52	0,444	0,82	0,8	
	0,2	0,091	0,455	0,3	0,8	

▪ **Porte:**

Le porte di ingresso sono tutte portefinestre in legno e vetro doppio.

Tutti i dati per il calcolo sono i medesimi del Casale Spagnolo eccetto che la trasmittanza del vetro che è di 3,1 W/m²K. Le porte finestra sono state considerate nel calcolo degli apporti solari. Comunque riporto la tabella seguente dei dati raccolti:

Tabella 2-7 : Prospetto dei dati caratteristici delle porte

	Superficie totale	Spessore	Descrizione	Trasmittanza
	m ²	m		W/m ² K
Piano terra				
Parete NE	5,2	5	Porta finestra di ingresso in legno e doppio vetro, con tenda interna rimovibile (fattore di telaio 0,5)	2,66
Parete SE	4,2	5	Porta finestra di ingresso in legno e doppio vetro (fattore di telaio 0,72)	2,85
Parete NW	2,7	5	Porta finestra di ingresso in legno e doppio vetro (fattore di telaio 0,5)	2,66
Primo piano				
Parete SE	2,1	5	Porta finestra di ingresso in legno e doppio vetro (vetro trascurabile)	2,23

Tengo conto dei **ponti termici** come detto per l'altro casale.

Calcolo del coefficiente di dispersione termica per ventilazione

In questo caso, gli infissi sono abbastanza nuovi e ben tenuti, ma non sono certificati a tenuta d'aria quindi assumo come tasso di ventilazione un valor medio di 0,5 V_n/h .

Per cui il coefficiente di trasmissione per dispersione è pari a :

$$H_v = \rho_a c_a n_a V_n = 89,8 \text{ W/K}$$

Calcolo delle dispersioni tramite l'involucro

Si può quindi calcolare quanto l'involucro disperde verso l'ambiente esterno come la somma dei due contributi, per ventilazione e per trasmissione:

$$Q_v = \sum_{j\text{mese}} 24 H_v (T_{\text{int}} - T_{\text{estj}}) n_{j\text{giorni}}$$

$$Q_t = \sum_{j\text{mese}} \sum_{k\text{esimoelemento}} 24 U_k A_k (T_{\text{int}} - T_{\text{estj}}) n_{j\text{giorni}}$$

Per il calcolo del fattore b che tiene conto della differenza tra temperatura dell'ambiente non riscaldato e temperatura esterna, occorre stimare le perdite per trasmissione dei locali non riscaldati.

Si stima che la zona non riscaldata abbia una quota di dispersioni per trasmissione e per ventilazione verso l'esterno pari a:

$$H_{ue} = 74 \text{ W/K}$$

$$H_{vuc} = 9,52 \text{ W/K}$$

Mentre la dispersione dalla zona riscaldata a quella non riscaldata è pari a :

$$H_{ui} = 22,1 \text{ W/K}$$

Da cui si ricava un fattore b pari a 0,79, consono ai valori dati dalla normativa UNI EN 12831 per locali con tre pareti esterne. Tale fattore non tiene conto però del fatto che la centrale termica ha una temperatura interna maggiore di un qualsiasi altro ambiente non riscaldato, per cui adotterò come fattore b, quello proposto dalla UNI EN 12831 per appartamenti non riscaldati con una parete esterna, pari a 0,5.

Del fattore correttivo (b) relativo al basamento su terra ne abbiamo già discusso precedentemente.

Per il calcolo degli **apporti termici totali** valgono le considerazioni fatte precedentemente.

Riporto qui la tabella riassuntiva che mette a confronto le quote di energia dispersa o di apporti gratuiti mese per mese nel periodo di riscaldamento (la caratteristica occupazionale- i giorni stimati di occupazione- è quella riportata inizialmente):

Tabella 2-8 : Prospetto dei flussi energetici stagionali in ingresso e in uscita dall'edificio

Mese	T _{est} media	Energia scambiata per ventilazione e (Q _v)	Energia scambiata per trasmissione e attraverso elementi vetrati (Q _f)	Energia scambiata per trasmissione e attraverso pareti opache (Q _m)	Energia da apporti termici solari (Q _s)	Energia da apporti termici interni (Q _{int})
	°C	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh
gennaio	6,8	-113528	-25105,8	-719990,1	38363,71	63744
febbraio	8,1	-102348	-22633,2	-649082	47348,65	63744
marzo	10,3	-166852	-36897,9	-1058167	119791,83	127488
...						
novembre	11,7	-53539	-11839,7	-339540,8	30854,89	47808
dicembre	8,1	-307043	-67899,7	-1947246	121061,06	191232
Totale (kWh)		-743,31	-164,376	-4714,026	357,4201	494,016

Da cui si ottiene il valore complessivo degli apporti energetici (Q_g) e delle dispersioni attraverso l'involucro (Q_t):

$$Q_t = 5621 \text{ kWh / stag}$$

$$Q_g = 851 \text{ kWh / stag}$$

Si può poi ricavare il valore del coefficiente di utilizzazione (η_{ut}) e il rapporto apporti/dispersioni (γ).

$$H_t = \sum A_i U_i = 725 \frac{W}{K}$$

$$H_{tot} = H_v + H_t = 815 \frac{W}{K}$$

$$C = \sum \chi_j A_j = \kappa V_{lordo} = 60663 \frac{Wh}{K}$$

$$\tau = \frac{C}{H_{tot}} = 74h$$

$$a = 0,8 + \left(\frac{\tau}{30} \right) = 3,27$$

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_t} = 0,151$$

$$\eta_{ut} = 0,998$$

Valutazione dei rendimenti alla situazione esistente

Rendimento di distribuzione:

La caldaia per riscaldamento e produzione di ACS è in centrale termica, al piano terra. Le tubazioni di adduzione sono sia esterne (su pareti perimetrali non isolate) che interne.

In base al valore del volume riscaldato e dell'altezza media dell'edificio (7,5 m) si assume come rendimento di distribuzione **0,95** (ho preso il valore minimo, perché ho considerato $V=1000 \text{ m}^3$ e una altezza pari a 5 m).

Rendimento di emissione:

I corpi scaldanti sono costituiti da termosifoni in alluminio. Essi sono posti in prevalenza sotto le finestre sulle pareti esterne non isolate e sono privi di pannelli riflettenti. Quindi il valore riportato nella tabella della UNI 10348 per impianto standard (pari a 0,96) deve essere decrementato di 4 punti percentuali per la prima caratteristica citata e di altri 2 per la seconda.

Il rendimento di emissione è quindi di **0,9**.

Rendimento di regolazione:

La regolazione avviene con centralina climatica. I termosifoni sono dotati di regolazione manuale. Il funzionamento dell'impianto, peraltro non frequente poiché sono edifici usati specialmente in estate, fino ad ora, avviene con spegnimento notturno. Il valore riportato nel prospetto 2 della normativa UNI 10348 deve essere decrementato di 2 punti percentuali.

Ricavando dal calcolo delle dispersioni il valore del coefficiente di utilizzazione (η_{ut}) e il rapporto apporti/dispersioni (γ), possiamo calcolare il rendimento di regolazione come segue:

$$\eta_r = 0,98 - (0,6 * \gamma * \eta_{ut}) = \mathbf{0,889}$$

Rendimento di produzione medio stagionale:

L'impianto è autonomo, per riscaldamento e per produzione di acqua calda sanitaria, ad integrazione dell'impianto a collettori solari. E' costituito da un generatore di calore a GPL del tipo Lamborghini Seal 315 PKTOP di potenza al focolare 34,65 kW. E' una caldaia a terra, con espulsione dei fumi a tiraggio naturale e a camera di combustione aperta.

I dati ricavati dalla scheda tecnica della caldaia sono i seguenti:

Potenza termica utile nominale = 30,38 kW

Potenza termica al focolare = 34,65 kW

Rendimento termico utile a carico nominale = 87,7%

Rendimento termico utile a carico ridotto del 30% = 84,45%

Rendimento di combustione = 90,2%

Perdite di calore attraverso l'involucro = 2,4%

Perdite al camino a bruciatore acceso = 9,9%

Perdite al camino a bruciatore spento = 0,1%

Dal libretto di caldaia si nota che le perdite per calore sensibile (o perdite a bruciatore acceso) sono 12,5%. Utilizzerò questo dato, perché più cautelativo dell'altro.

Il sistema è fornito di un serbatoio di accumulo di circa 200 litri.

Il rendimento di produzione, calcolato su un periodo di funzionamento del generatore di 30 giorni a stagione di riscaldamento, è di **75,4%**.

Il rendimento globale medio stagionale è quindi pari a **0,573**.

Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

Una volta noti tutti i parametri dell'edificio-impianto, si può facilmente calcolare il fabbisogno di energia primaria per solo riscaldamento, come:

$$Q_{ir} = \frac{Q_l - \eta Q_g}{\eta_r \eta_{pr} \eta_d \eta_e} = 8323 \text{ kWh} / \text{stag}$$

$$Q_{ir} = 50,14 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ stag}$$

3. Casale B

Edificio appartenente alla categoria E1 (edifici adibiti a residenza ed assimilabili)

Numero posti letto: 12

Altezza edificio = 7,2 m

Altezza piano terra = 2,8m

Altezza primo piano = 1,5 m e 4 m

Superficie utile riscaldata (S_n) = 216 m²

Superficie lorda riscaldata (S_l) = 263 m²

Volume lordo dell'ambiente riscaldato (V_l) = 634 m³

Volume netto utile riscaldato (V_n) = 444 m³

Superficie disperdente verso l'esterno(tetto, pavimento, superficie laterale) = 603 m²

Superficie disperdente esterna laterale (S_d) = 246 m²

Superficie disperdente verso locali non riscaldati = 40 m²

Superficie disperdente verso scale =14,4 m²

Perimetro al piano terra verso locali non riscaldati = 7,1 m

Rapporto di forma (S/V)= 603 m²/634 m³ = 0,95 m⁻¹

Fattore di riduzione della superficie = 0,82

Tabella 3-0-1: Prospetto dei dati dimensionali della struttura

	Perimetro dello spazio riscaldato	Superficie lorda riscaldata	Superficie netta riscaldata	Spessore pareti
	m	m ²	m ²	m
Piano terra	46,5	156	128	0,45
Primo piano	45,5	107	88	0,5
Tetto	-	195	-	0,25
Pavimento	53,2	156	-	0,2/0,5

Calcolo delle trasmittanza delle pareti opache

- **Pareti esterne:**

Le pareti, di 45 cm e 50 cm, hanno la stessa struttura e la stessa trasmittanza di quelle del Casale C, ovvero **1,48 W/m²K** al piano terra e poco meno al piano superiore. Perciò considero un solo valore di trasmittanza, anche se la parete del primo piano è leggermente più spessa.

▪ **Pareti interne e confinanti con ambienti non riscaldati**

Le pareti interne e quelle che dividono l'ambiente riscaldato dai locali non riscaldati (la centrale termica, le scale e il forno) hanno anch'esse la stessa struttura e trasmittanza di quelle corrispettive del casale C. Quindi il valore della trasmittanza è di **1,27 W/m²K**. Le scale vengono invece considerate come nel caso precedente.

▪ **Basamento:**

Il basamento è eguale a quello del casale C : è costituito da una lastra non coibentata in mattoni e cemento su terra.

Però la dimensione caratteristica del pavimento (B') risulta pari a 5,5 m, e quindi la trasmittanza equivalente è pari a 0,8 W/m²K. Adottando gli stessi valori per i fattori correttivi specificati nell'appendice A si ottiene quindi una trasmittanza complessiva di **0,29 W/m²K**.

▪ **Copertura:**

La copertura è costituita da un tetto a falde in laterizio non coibentato e non ventilato, di spessore 18 cm, la cui stratigrafia è circa:

Tabella 3-2 : Schema stratigrafico della copertura

Descrizione strato	Conduttività W/mK	Spessore m	Resistenza termica m ² K/W
Tegole e coppi	1	0,04	0,04
Strato impermeabilizzante (bitume)	0,17	0,01	0,06
Muratura in malta-calcestruzzo	0,95	0,03	0,0315
Mezzane	0,35	0,03	0,084
Muratura in malta-calcestruzzo	0,95	0,02	0,0315
Mezzane	0,35	0,03	0,084
Intonaco	0,9	0,01	0,01

La trasmittanza è quindi così calcolata.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \frac{s_3}{k_3} + \frac{s_4}{k_4} + \frac{s_5}{k_5} + R_{se}} =$$

$$= \frac{1}{0,1 + 0,01 + 0,084 + 0,0315 + 0,084 + 0,0315 + 0,06 + 0,04 + 0,04} =$$

$$= \frac{1}{0,481} = 2,1 \frac{W}{m^2 K}$$

Non adottato la trasmittanza fornita dalle raccomandazioni CTI [39] per tetto a falde in laterocemento non coibentato di 15 cm, pari a 2,77 W/m²K, perché gli spessori sono diversi.

Calcolo trasmittanza delle superfici vetrate

- **Finestre:**

In questo caso le finestre sono con vetri doppi e telaio in legno per il piano superiore e in parte quello inferiore, mentre al piano terra due finestre e tutte le portefinestra sono con vetri spessi ma singoli. Si assumono quindi i valori di trasmittanza già calcolati per il casale C (vetri doppi) pari a **2,6 W/m²K** e per le due finestre con vetri singoli si assume il valore già calcolato per il casale Spagnolo pari a **4,22 W/m²K**. La media pesata delle due trasmittanza dà un valore pari a **2,85 W/m²K**.

Riporto qui sotto i dati raccolti sulle superfici finestrate e sulle loro caratteristiche.

Tabella 3-3 :Prospetto dei dati caratteristici delle superfici finestrate

	Superficie totale	Superficie vetrata	Fattore di telaio	Fattore di ombreggiamento dovuto a ostacoli verticali	Particolari
Piano terra	m ²	m ²			
Parete SW	0,819	0,35	0,429	1	Scurini interni e zanzariera; incassata.
	0,819	0,352	0,429	1	
Parete NE	1,89	1,1	0,582	1	Tenda interna rimovibile
Parete SE	0,49	0,2025	0,413	0,7	Zanzariera
	0,16	0,075	0,46	0,61	
	0,16	0,075	0,46	0,61	
	0,56	0,42	0,75	0,7	

Tabella 3-3: Prospetto dei dati caratteristici delle superfici finestrate

Primo piano					Scurini interni e zanzariera; incassata.
Parete SE	0,9775	0,34	0,347	0,95	
Parete SW	1,725	0,875	0,507	0,97	
	1,035	0,45	0,434	0,97	
Parete NW	1	0,375	0,375	0,82	
	0,8	0,35	0,437	0,95	
Parete NE	0,56	0,27	0,482	1	

▪ **Porte:**

Le porte di ingresso sono o in solo legno o portefinestre in legno e vetro singolo spesso.

Il valore di trasmittanza medio pesato in base alla superficie è pari a **2,8 W/m²K**. Le porte finestra non sono considerate nel calcolo degli apporti gratuiti perché sono a nordovest e molto in ombra- sotto il porticato. Comunque riporto la tabella seguente dei dati raccolti:

Tabella 3-4 : Prospetto dei dati caratteristici delle porte

	Superficie totale m ²	Spessore m	Descrizione	Trasmittanza W/m ² K
Piano terra				
Parete SE	1,76	5	Porta finestra di ingresso (superficie vetrata trascurabile) in legno e doppio vetro	2,23
Parete SW	2,6	7	Porta di ingresso in legno	1,79
Parete NW	1,615	5	Porta finestra (fattore di telaio 0,53) in legno e vetro singolo. Sempre ombreggiata	4
	2,185	5	Porta finestra (fattore di telaio 0,55) in legno e vetro singolo. Sempre ombreggiata	4,1
Primo piano				
Parete SW	1,9	6	Porta finestra di ingresso (superficie vetrata trascurabile) in legno e doppio vetro	1,98

Tengo conto dei **ponti termici** come già detto precedentemente.

Calcolo del coefficiente di dispersione per ventilazione

Come per il casale C, gli infissi sono abbastanza nuovi e ben tenuti, ma non sono certificati a tenuta d'aria quindi assumo come ricambio d'aria un valor medio di 0,5 V_n/h.

Per cui il coefficiente di trasmissione per dispersione è pari a :

$$H_v = \rho_a c_a n_a V_n = 75,5 \text{ W/K}$$

Calcolo delle dispersioni tramite l'involucro

Si può quindi calcolare quanto l'involucro disperde verso l'ambiente esterno come la somma dei due contributi, per ventilazione e per trasmissione:

$$Q_v = \sum_{j\text{mese}} 24 H_v (T_{\text{int}} - T_{\text{estj}}) n_{j\text{giorni}}$$

$$Q_t = \sum_{j\text{mese}} \sum_{k\text{esimoelemento}} 24 U_k A_k (T_{\text{int}} - T_{\text{estj}}) n_{j\text{giorni}}$$

Per il calcolo del fattore b che tiene conto della differenza tra temperatura dell'ambiente non riscaldato e temperatura esterna, occorre stimare le perdite per trasmissione dei locali non riscaldati.

Si calcola che la zona non riscaldata abbia una quota di dispersioni per trasmissione e per ventilazione verso l'esterno pari a:

$$H_{vuc} = 9 \text{ W/K}$$

$$H_{ue} = 58 \text{ W/K}$$

Mentre la dispersione dalla zona riscaldata a quella non riscaldata è pari a :

$$H_{ui} = 51 \text{ W/K}$$

Da cui si ricava un fattore b pari a 0,53. Tale fattore non tiene conto però del fatto che la centrale termica ha una temperatura interna maggiore di un qualsiasi altro ambiente non riscaldato. Ad ogni modo lascerò tale valore perchè molto simile quello proposto dalla UNI EN 12831 per appartamenti non riscaldati pari a 0,5 con una sola parete esterna.

Anche in questo caso per il **calcolo degli apporti termici totali** valgono le considerazioni fatte per i precedenti casali.

Riporto qui la tabella riassuntiva che mette a confronto le quote di energia dispersa o di apporti gratuiti mese per mese nel periodo di riscaldamento (la caratteristica di occupazione- i giorni stimati di occupazione- è quella riportata inizialmente):

Tabella 3-4 : Prospetto dei flussi energetici stagionali in ingresso e in uscita dall'edificio

Mese	T _{est} media	Energia scambiata per ventilazione (Q _v)	Energia scambiata per trasmissione e attraverso elementi vetrati (Q _f)	Energia scambiata per trasmissione e attraverso pareti opache (Q _m)	Energia da apporti termici solari (Q _s)	Energia da apporti termici interni (Q _{int})
	°C	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh
gennaio	6,8	-95648,3	-39726,7	-1134864	23661,32	82944
febbraio	8,1	-86228,4	-35814,2	-1023097	28650,94	82944
marzo	10,3	-140574	-58386,2	-1667906	70696,68	165888
...						
novembre	11,7	-45106,8	-18734,8	-535191	18955	62208
dicembre	8,1	-258685	-107443	-3069291	75539,78	248832
Totale (kWh)		-626,242	-260,105	-7430,35	217,5046	642,816

Da cui si ottiene il valore complessivo degli apporti energetici (Q_g) e delle dispersioni tramite l'involucro (Q_t):

$$Q_t = 8316 \text{ kWh / stag}$$

$$Q_g = 860 \text{ kWh / stag}$$

Si può poi ricavare il valore del coefficiente di utilizzazione (η_{ut}) e il rapporto apporti/dispersioni (γ).

$$H_t = \sum A_i U_i = 1111 \frac{W}{K}$$

$$H_{tot} = H_v + H_t = 1187 \frac{W}{K}$$

$$C = \sum \chi_j A_j = \kappa V_{lordo} = 51076 \frac{Wh}{K}$$

$$\tau = \frac{C}{H_{tot}} = 43h$$

$$a = 0,8 + \left(\frac{\tau}{30} \right) = 2,23$$

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_t} = 0,1034$$

$$\eta_{ut} = 0,995$$

Valutazione dei rendimenti alla situazione esistente

Rendimento di distribuzione:

La distribuzione delle tubazioni è a due tubi male isolati con colonne montanti situate nei muri esterni non coibentati. La distribuzione orizzontale è nei locali del cantinato ed è isolata solo nel locale caldaia.

In base ai dati del volume netto riscaldato e dell'altezza media dell'edificio (6 m), si assume come rendimento di distribuzione **0,95** (ho preso il valore minimo, perché ho considerato $V = 1000 \text{ m}^3$).

Rendimento di emissione:

I corpi scaldanti sono costituiti da termosifoni in ghisa, eccetto che due fancoils nel salone refettorio al piano terra. Essi sono posti in prevalenza sotto le finestre sulle pareti esterne non isolate e sono privi di pannelli riflettenti. Per cui il loro rendimento è di 0,9. Invece il rendimento di emissione dei ventilconvettori è pari a 0,98.

Il rendimento di emissione complessivo è assunto paria **0,92** (valore leggermente cautelativo).

Rendimento di regolazione:

La regolazione avviene manualmente sul termostato di caldaia. I termosifoni e i ventilconvettori sono dotati di regolazione manuale. Il funzionamento dell'impianto, peraltro non frequente poiché sono edifici usati specialmente in estate, fino ad ora, avviene con spegnimento notturno. Il valore riportato nel prospetto 2 della normativa UNI 10348 deve essere decrementato di 2 punti percentuali.

Ricavando dal calcolo delle dispersioni il valore del coefficiente di utilizzazione (η_{ut}) e il rapporto apporti/dispersioni (γ), possiamo calcolare il rendimento di regolazione come segue:

$$\eta_r = 0,94 - (0,6 * \gamma * \eta_{ut}) = \mathbf{0,878}$$

Rendimento di produzione medio stagionale:

L'impianto è autonomo, per riscaldamento e per produzione di acqua calda sanitaria. E' costituito da un generatore di calore a GPL del tipo Kalard Beretta GO4P di potenza nominale 34,82 kW.

E' una caldaia a terra con corpo in ghisa, con espulsione dei fumi a tiraggio naturale e a camera di combustione aperta.

Riporto qui i dati forniti nella scheda tecnica:

Potenza termica utile nominale = 31,4 kW

Potenza termica al focolare = 34,82 kW

Rendimento termico utile a carico nominale = 90,2%

Rendimento termico utile a carico ridotto del 30% = 90,1%

Rendimento di combustione = 92,8%

Perdite di calore attraverso l'involucro = 1,3%

Perdite al camino a bruciatore acceso = 8,6%

Perdite al camino a bruciatore spento = 0,6%

Dal libretto di caldaia si nota che le perdite per calore sensibile (o perdite a bruciatore acceso) sono 8,1% e che le coibentazioni sono scadenti.

Il sistema è fornito di serbatoio di accumulo di circa 300 litri.

Si stima quindi che il rendimento di produzione sia pari a **0,762**.

Il rendimento globale medio stagionale è quindi pari a **0,58**.

Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

Una volta noti tutti i parametri dell'edificio-impianto, si può facilmente calcolare il fabbisogno di energia primaria per solo riscaldamento, come:

$$Q_{tr} = \frac{Q_l - \eta Q_g}{\eta_r \eta_{pr} \eta_d \eta_e} = 12789 \text{ kWh / stag}$$

$$Q_{tr} = 59,21 \text{ kWh / m}^2 \text{ stag}$$

4. Casale D

Edificio appartenente alla categoria E1 (edifici adibiti a residenza ed assimilabili)

Numero posti letto: 20

Altezza edificio = 4,4 m

Superficie utile riscaldata (S_n) = 132 m²

Superficie lorda riscaldata (S_l) = 151 m²

Volume lordo dell'ambiente riscaldato (V_l) = 528 m³

Volume netto utile riscaldato (V_n) = 370 m³

Superficie disperdente esterna (S_d) = 155 m²

Superficie disperdente (tetto, pavimento, superficie laterale) = 486 m²

Rapporto di forma (S / V) = 486 m² / 528 m³ = 0,92 m⁻¹

Tabella 4-1 : Prospetto dei principali dati dimensionali

	Perimetro	Superficie lorda riscaldata	Superficie netta riscaldata	Spessore pareti
	m	m ²	m ²	m
Piano terra	52,1	151	128	0,4
Tetto	-	180	-	0,2
Pavimento	48	136	-	0,25
Sottotetto 1	14,4	8,84	-	0,2
Sottotetto 2	11,4	6,8	-	0,2

Calcolo delle trasmittanza delle pareti opache

Pareti esterne:

Le pareti esterne hanno la stessa struttura di quelle degli altri casali, ma hanno uno spessore di 40 cm circa.

Riporto schematicamente la stratigrafia e i valori di conduttività dei vari strati:

Tabella 4-2 : Schema stratigrafico delle pareti esterne

Descrizione strato	Conduttività	Spessore	Resistenza termica
	W/mK	m	m ² K/W
Intonaco in calce e gesso	0,9	0,02	0,028
Muratura listata di mattoni	0,9	0,36	0,4
Intonaco in cemento e sabbia	1	0,02	0,02

Quindi si calcola la trasmittanza della parete così:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \frac{s_3}{k_3} + R_{se}} = \frac{1}{0,1428 + 0,028 + 0,4 + 0,02 + 0,04} = \frac{1}{0,63} = 1,58 \frac{W}{m^2 K}$$

Pareti interne e confinanti con ambienti non riscaldati:

Come locali non riscaldati vi sono due solai sottotetto, calpestabili, dove sono riposti i serbatoi di accumulo di acqua calda.

Il primo è situato sopra l'ingresso e il bagno riservato a disabili; l'altro è invece sopra la zona corridoio.

Per il primo sottotetto:

La superficie che scambia con il locali interni è di 31,5 m², mentre quella del tetto è di 9,7 m². Il volume totale dello spazio non riscaldato è di 18 m³.

La trasmittanza, in mancanza di dati più precisi, si stima pari a **1,68 W/m²K**, dato ricavato dai prospetti della Raccomandazioni CTI [39] per soletta in laterocemento, confinante con sottotetto, di 20 cm.

Secondo sottotetto:

La superficie che scambia con il locali interni è di 18,15 m², mentre quella del tetto è di 8,8 m². Il volume totale dello spazio non riscaldato è di 8,3 m³.

La trasmittanza, in mancanza di dati più precisi, si stima pari a **1,68 W/m²K**, dato ricavato dai prospetti della Raccomandazioni CTI per soletta in laterocemento, confinante con sottotetto, di 20 cm.

Basamento :

Il basamento è costituito da una lastra non coibentata in mattoni e muratura su vespaio.

In mancanza di dati precisi sulla stratigrafia del basamento, adotto la trasmittanza consigliata dalle raccomandazioni CTI [39] in base allo spessore del basamento, che stimiamo essere nel nostro caso di circa 25 cm . Verrà presa quindi la trasmittanza di valore pari a **1,53 W/m²K**.

Copertura:

La copertura è costituita da un tetto a falde in laterizio coibentato e ventilato di spessore totale pari a 20 cm circa.

Lo strato di ventilazione è di circa 5-6 cm ed è realizzato tramite la messa in posa di un pannello coibente e impermeabilizzante che ha già le scanalature (listellature e

controlistellature) e i supporti (materiale di fissaggio) per la messa in posa delle tegole di copertura. Tale pannello si chiama ISOSCOTCH [29] ed ha in questo caso spessore di 6 cm. Il valore della resistenza del pannello è dato dalla scheda tecnica dell'azienda ed è di 0,51 W/m²K. Come soluzione di gronda è stata adottata una semplice maglia "antipassero" e nel colmo non si è murata la linea di coppi, per permettere il flusso d'aria. L'inconveniente rispetto a un tetto ventilato tradizionale è che lo spazio effettivamente destinato al passaggio dell'aria, a parità di spessore frontale di gronda, è minore per la maggiore listellatura interna. Lo strato di ventilazione non viene chiuso in inverno. La resistenza dello strato di ventilazione viene calcolata tramite la norma UNI EN ISO 6946 di cui parlerò anche nel capitolo 8. Adotto tale norma in questo caso e non nel capitolo successivo perché l'analisi è qui invernale e non estiva. La norma impone, per intercapedini fortemente ventilate, di trascurare la resistenza termica dell'intercapedine e di tutti gli strati che separano questa dall'aria ambiente e di considerare come resistenza superficiale esterna un valore pari a quello interno, ovvero corrispondente all'aria immobile.

Riporto quindi la stratigrafia:

Tabella 4-3 : Schema stratigrafico della copertura

Descrizione strato	Conduttività W/mK	Spessore m	Resistenza termica m ² K/W
Tegole e coppi	1	0,04	0,04
Intercapedine d'aria		0,06	
ISOSCOTCH	0,03	0,06	1,96
Muratura in malta-calcestruzzo	1,4	0,02	0,014
Tavella	0,332	0,03	0,09

La resistenza interna è, secondo la norma UNI EN ISO 6946 per flussi termici ascendenti, pari a 0,1 m²K/W.

La trasmittanza è quindi pari a :

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_1}{k_1} + \frac{s_2}{k_2} + \frac{s_3}{k_3} + R_{si}} = \frac{1}{0,1 + 0,09 + 0,014 + 1,96 + 0,1} = \frac{1}{2,264} = 0,44 \frac{W}{m^2K}$$

Calcolo trasmittanza delle superfici vetrate

Finestre:

In questo caso le finestre sono dotate di vetri singoli spessi e telaio in legno. Si assumono quindi i valori di trasmittanza già calcolati per il Casale Spagnolo pari a **4,22 W/m²K**.

Riporto qui sotto i dati raccolti sulle superfici finestrate e sulle loro caratteristiche.

Tabella 4-4: Prospetto dei dati caratteristici delle superfici finestrate

	Superficie totale	Superficie vetrata	Fattore di telaio	Fattore di ombreggiamento dovuto a ostacoli verticali	Particolari
Piano terra	m2	m2			
Parete SW	0,39	0,22	0,564103	0,7	Incassata con zanzariera
	0,39	0,22	0,564103	0,7	Incassata
Parete NE	0,39	0,22	0,564103	0,9	Incassata
	0,39	0,22	0,564103	0,9	Incassata
Parete SE	0,39	0,22	0,564103	0,61	Incassata

Porte:

C'è solo una portafinestra di ingresso sulla parete sudovest in legno e vetro singolo spesso, con fattore di telaio pari a 0,5. Le dimensioni totali della porta sono 2mx2,12m. Lo spessore della porta è di 5 cm, e la superficie totale della porta è di 4,37 m².

La trasmittanza è calcolata pesando il risultato in base alle trasmittanza del vetro e del legno l'intera superficie della porta, come già fatto per gli altri casali, per cui si ottiene un valore di **3,9 W/m²K**.

Anche in questo caso valgono le considerazioni sui **ponti termici** fatte all'inizio per il Casale Spagnolo.

Calcolo del coefficiente di dispersione per ventilazione

Come per il casale C, gli infissi sono abbastanza nuovi e ben tenuti, ma non sono certificati a tenuta d'aria quindi assumo come ricambio d'aria un valor medio di 0,5 V_n/h.

Per cui il coefficiente di trasmissione per dispersione è pari a :

$$H_v = \rho_a c_a n_a V_n = 62,9 \text{ W/K}$$

Calcolo delle dispersioni tramite l'involucro

Si può quindi calcolare quanto l'involucro disperde verso l'ambiente esterno come la somma dei due contributi, per ventilazione e per trasmissione:

$$Q_v = \sum_{j\text{mese}} 24H_v (T_{\text{int}} - T_{\text{estj}}) n_{j\text{giorni}}$$

$$Q_t = \sum_{j\text{mese}} \sum_{k\text{simoelemento}} 24U_k A_k (T_{\text{int}} - T_{\text{estj}}) n_{j\text{giorni}}$$

Il fattore correttivo b che tiene conto del fatto che la temperatura non è pari a quella esterna, si ricava dai calcoli per i due sottotetti:

Primo sottotetto:

$$H_{ue} = 6,104 \text{ W/K}$$

$$H_{ui} = 59 \text{ W/K}$$

$$b = 0,1$$

Secondo sottotetto :

$$H_{ue} = 4,73 \text{ W/K}$$

$$H_{ui} = 35 \text{ W/K}$$

$$b = 0,13$$

Per entrambi ho tenuto conto di un numero di ricambi d'aria tra l'ambiente esterno e i locali non riscaldati (n_e) pari a $0,3 \text{ h}^{-1}$, il minimo, giacchè non vi sono aperture ed è ben sigillato. Il fattore b analogo riportato sulla UNI EN 12831, pari a 0,8 mi sembra decisamente eccessivo, dato che questi soppalchi non hanno aperture sull'esterno (il tetto è già ben ventilato).

Il fattore b per il basamento, che è della tipologia su vespaio, viene assunto pari a quello riportato in normativa, di 0,8.

Anche per il Casale D vale quanto già detto precedentemente per il **calcolo degli apporti termici totali**.

Riporto qui la tabella riassuntiva che mette a confronto le quote di energia dispersa o di apporti gratuiti mese per mese nel periodo di riscaldamento (la caratteristica occupazionale- i giorni stimati di occupazione- è quella riportata inizialmente):

Tabella 4-4 : Prospetto dei flussi energetici stagionali in ingresso e in uscita dell'edificio

Mese	T _{est} media	Energia scambiata per ventilazione e (Q _v)	Energia scambiata per trasmissione e attraverso elementi vetrati (Q _f)	Energia scambiata per trasmissione e attraverso pareti opache (Q _m)	Energia da apporti termici solari (Q _s)	Energia da apporti termici interni (Q _i)
	°C	Wh	Wh	Wh	Wh	Wh
gennaio	6,8	-79706,9	-10427,8	-707677	19018,78	50688
febbraio	8,1	-71857	-9400,81	-637982	22577,06	50688
marzo	10,3	-117145	-15325,7	-1040071	54214,04	101376
...						
novembre	11,7	-37589	-4917,65	-333734	15175,72	38016
dicembre	8,1	-215571	-28202,4	-1913945	61434,36	152064
Totale (kWh)		-521,869	-68,2744	-4633,41	172,42	392,832

Da cui si ottiene il valore complessivo degli apporti energetici (Q_g) e delle dispersioni tramite l'involucro (Q_t):

$$Q_t = 5223 \text{ kWh / stag}$$

$$Q_g = 565 \text{ kWh / stag}$$

Si può poi ricavare il valore del coefficiente di utilizzazione (η_{ut}) e il rapporto apporti/dispersioni (γ).

$$H_t = \sum A_i U_i = 677 \frac{W}{K}$$

$$H_{tot} = H_v + H_t = 740 \frac{W}{K}$$

$$C = \sum \chi_j A_j = \kappa V_{lordo} = 42536 \frac{Wh}{K}$$

$$\tau = \frac{C}{H_{tot}} = 57,47h$$

$$a = 0,8 + \left(\frac{\tau}{30} \right) = 2,7$$

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_t} = 0,1082$$

$$\eta_{ut} = 0,998$$

Valutazione dei rendimenti alla situazione esistente

Rendimento di distribuzione:

La caldaia per riscaldamento e produzione di ACS è posta all'esterno dell'edificio, addossata alla parete non isolata a nord-est. Le tubazioni di adduzione sono sia esterne (su pareti perimetrali non isolate) che interne.

In base ai dati del volume netto riscaldato e dell'altezza dell'edificio (4 m), si ha un rendimento di distribuzione di **0,95** (ho preso il valore minimo, perché ho considerato $V = 1000 \text{ m}^3$ e l'altezza pari a 5 m).

Rendimento di emissione:

I corpi scaldanti sono costituiti da termosifoni in alluminio. Essi sono posti in prevalenza sotto le finestre sulle pareti esterne non isolate e sono privi di pannelli riflettenti. Quindi il valore per impianto standard (pari a 0,96) deve essere decrementato di 4 punti percentuali per la prima caratteristica citata e di altri 2 per la seconda.

Il rendimento di emissione è quindi di **0,9**.

Rendimento di regolazione:

La regolazione avviene manualmente sul termostato di caldaia. I termosifoni sono dotati di regolazione manuale. Il funzionamento dell'impianto, peraltro non frequente poiché sono edifici usati specialmente in estate, fino ad ora, avviene con spegnimento notturno. Il valore riportato nel prospetto 2 della normativa UNI 10348 deve essere decrementato di 2 punti percentuali.

Ricavando dal calcolo delle dispersioni il valore del coefficiente di utilizzazione (η_{ut}) e il rapporto apporti/dispersioni (γ), possiamo calcolare il rendimento di regolazione come segue:

$$\eta_r = 0,94 - (0,6 * \gamma * \eta_{ut}) = \mathbf{0,875}$$

Rendimento di produzione medio stagionale:

L'impianto termico per riscaldamento e per produzione di acqua calda sanitaria è costituito da una caldaia autonoma. Le schede tecniche richieste alla casa costruttrice non sono pervenute, quindi per calcolare il rendimento di produzione mi sono basata sui dati ricavati dal sopralluogo e dal libretto di impianto, e sui valori presenti nella stessa normativa UNI 10348. Li riporto qui:

Generatore di calore a GPL del tipo Riello Domus 31 ISC di potenza nominale 34,86 kW.

Perdite di calore sensibile (perdite a bruciatore acceso) pari a 8,6%.

E' una caldaia a terra, con espulsione dei fumi a tiraggio naturale e a camera di combustione aperta. E' fornita di un serbatoio di accumulo di circa 300 litri, posto nel sottotetto dell'edificio.

La coibentazione è scadente: la caldaia è collocata all'esterno dell'edificio, in un box di metallo assolutamente non isolato. Quindi le perdite all'involucro saranno certamente molto elevate, e incideranno negativamente sul rendimento.

Si calcola quindi un rendimento di produzione medio stagionale di **0,64**.

Il rendimento globale medio stagionale è quindi pari a **0,47**.

Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

Una volta noti tutti i parametri dell'edificio-impianto, si può facilmente calcolare il fabbisogno di energia primaria per solo riscaldamento, come:

$$Q_{tr} = \frac{Q_l - \eta Q_g}{\eta_r \eta_{pr} \eta_d \eta_e} = 9729 kWh / stag$$

$$Q_{tr} = 73,7 kWh / m^2 stag$$

5. Confronto tra risultati ottenuti e limiti di legge

Effettuare un confronto tra i risultati ottenuti dal calcolo del fabbisogno di energia primaria e quelli che l'attuale sistema legislativo impone per edifici di nuova costruzione o che vengano ristrutturati più o meno integralmente, si ritiene utile per stabilire un valido termine di paragone e per individuare in prima analisi le criticità degli edifici in questione.

Secondo il decreto legislativo 311/06, i **valori di trasmittanza delle strutture** di un edificio di nuova costruzione o che venga ristrutturato totalmente o parzialmente, a partire dal 1 gennaio 2008, devono essere:

Trasmittanza delle pareti opache verticali: $U = 0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$

Trasmittanza del pavimento verso l'esterno: $U = 0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$

Trasmittanza delle coperture orizzontali o inclinate: $U = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$

Trasmittanza delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi: $U = 3 \text{ W/m}^2\text{K}$

Trasmittanza delle chiusure trasparenti della centrale termica: $U = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

Inoltre il valore limite dell'**indice di prestazione energetica EP_{lim}** (ovvero del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento, Q_{tr}) per edifici di nuova costruzione o che vengano ristrutturati integralmente, si calcola dalla tabella 1.1 e 1.2 dell'allegato C del d.lgs. 311/06 tramite interpolazione lineare rispetto ai valori del rapporto di forma (S/V), dei gradi giorno caratteristici del luogo e della destinazione d'uso dell'edificio stesso. Come già detto, si capisce che tali valori non sono obbligatori per gli edifici in questione, ma mettono in evidenza lo standard tecnologico delle prestazioni energetiche richieste oggi. Bisogna tener conto che tali valori limite della normativa si riferiscono ad un numero di giorni di funzionamento pari a quelli del periodo di riscaldamento (per la zona C sono 136 giorni): i valori di fabbisogno di energia primaria trovato con il calcolo precedente sono invece riferiti ad un periodo di riscaldamento di 30 giorni, quindi non possono essere confrontati tra loro. Riporto qui una tabella con i valori di fabbisogno energetico nel caso di occupazione parziale (quelli precedenti) e nel caso di occupazione continuativa: solo questi ultimi sono confrontabili con i valori limite imposti dalla normativa. Oltre al numero di giorni del periodo di riscaldamento, anche il rendimento di produzione medio stagionale aumenta ipotizzando un'occupazione continuativa, e così il rendimento globale medio stagionale (vedi tab.5-2).

Inoltre, per edifici non residenziali, come il Casale Spagnolo, l'indice di prestazione limite esposto in normativa è rapportato al volume lordo dell'edificio, e non alla superficie netta riscaldata. Quindi, soltanto in questo paragrafo e per il confronto con i limiti di legge si adotta tale indice espresso in kWh/m³. Ritengo opportuno invece usare successivamente l'indice di prestazione dell'edificio espresso per questo casale come per gli altri in kWh/m², per permettere una uniformità di simboli e un più facile confronto.

Tabella 5-1 : Valori del fabbisogno stagionale di energia primaria per riscaldamento (Q_{tr})

	Q _{tr} per occupazione parziale (kWh/m ² stagione)	Q _{tr} per occupazione continuativa (kWh/m ² stagione)	Valori limite imposti dalla normativa (kWh/m ² stagione)
Casale C	50,14	220	61,43
Casale D	73,7	308	76,9
Casale B	59,21	256	76,9
Casale Spagnolo	11,25 kWh/m ³ stagione	48,87 kWh/m ³ stagione	15,28 kWh/m ³ stagione

Il valore limite del **rendimento globale medio stagionale** e il valore del **rendimento termico utile nominale**, per interventi di ristrutturazione dell'impianto termico o per nuova installazione sono i seguenti, espressi in funzione della potenza utile nominale del generatore. Poiché la potenza installata è la stessa o quasi, tali valori limite sono pressappoco gli stessi per tutti i casali. I valori del rendimento termico utile nominale delle attuali caldaie è disponibile soltanto laddove abbiamo le schede tecniche. Anche per quanto riguarda il rendimento globale medio stagionale, esso va calcolato ipotizzando una occupazione continuativa per poter essere confrontato con i valori di legge. Quindi i valori riportati in tabella 5-2 sono diversi da quelli calcolati nei capitoli 1,2,3 e 4, casale per casale.

$$\eta_g = 75 + 3 \log(P_{nom}) = 79,6\%$$

$$\eta_{tut} = 90 + 2 \log(P_{nom}) = 93\%$$

Tabella 5-2 : Confronto tra i valori dei rendimenti globale e termico utile imposti dalla legge e attuali.

	η_g attuale	η_g limite	η_{tut} attuale	η_{tut} limite
Casale C	0,584	0,79	87,7%	93%
Casale Spagnolo	0,61	0,79	-	93%
Casale D	0,5	0,79	-	93%
Casale B	0,59	0,79	90,2%	93%

Si nota quindi che tutti i limiti imposti dalla normativa non sono assolutamente rispettati.

Sono prescritti inoltre nell'allegato I del decreto citato, per gli ambiti di intervento prima menzionati, le seguenti verifiche:

- Installazione di dispositivi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o zone aventi caratteristiche d'uso ed esposizioni simili.
- Verificare che la massa superficiale delle pareti opache sia maggiore di 230 kg/m^2 se nel mese di massima insolazione si ha un valore medio su piano orizzontale di 290 W/m^2 .
- Verificare l'efficacia dei sistemi schermanti (obbligatori solo per edifici con superficie utile $>1000 \text{ m}^2$) e utilizzare al meglio le condizioni ambientali esterne per favorire la ventilazione naturale.
- Il progetto dell'impianto termico deve prevedere una copertura del fabbisogno annuo di energia primaria per produzione di ACS con l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile pari almeno al 50%.

Si vedrà come queste verifiche e questi accorgimenti proposti dall'ultimo decreto vengano presi in considerazione in larga parte in questo studio.

6. Fabbisogno di energia termica utile per produzione di acqua calda sanitaria

Il calcolo si effettua attribuendo valori convenzionali di fabbisogno specifico di acqua calda sanitaria per occupante e tenendo conto di un fattore di occupazione variabile con l'utilizzo dell'edificio.

Quindi il fabbisogno di energia utile per la produzione di ACS (Q_{hw}) è dato da:

$$Q_{hw} = V_w \rho c_p n (T_w - T_0)$$

dove

V_w è il volume di acqua calda sanitaria giornaliero richiesto durante il periodo di calcolo misurato in l/giorno.

ρ è la densità dell'acqua.

c_p è il calore specifico dell'acqua pari a 4186 J/kgK.

n è il numero di giorni nel periodo di calcolo.

T_w è la temperatura di erogazione dell'acqua (40°C).

T_0 è la temperatura della rete dell'acquedotto (10°C).

Per edifici assimilabili a collegi ed altre comunità, la raccomandazione CTI [39] propone un valore del fabbisogno di acqua calda sanitaria pro capite giornaliero pari a 50 l/giorno/persona. Inoltre occorre tener conto del fattore di occupazione: nel caso attuale esso verrà sempre preso pari a 1 perché nei giorni di occupazione (estate ed inverno) dei casali, si suppone una piena occupazione.

Quindi il volume di ACS richiesta è data da:

$$V_w = 50 n_{\text{presenze}}$$

Dove il numero di presenze è dato dal numero di utenti ipotizzato casale per casale moltiplicato per il fattore di occupazione, ovvero, nel nostro caso, dal numero di posti letto.

Oltre alla produzione di acqua calda per scopi igienici, vi è una richiesta di acqua calda per uso cucina: nel casale B è presente la cucina-refettorio per tutte le persone presenti nell'oasi (valutabile in un numero massimo di persone presenti contemporaneamente pari a 57). Mentre la cucina posta al primo piano del Casale C non viene usata quasi mai e quindi non le associo un fabbisogno di acqua calda. Perciò viene aggiunta la seguente quota ([8],[11]):

Vitto e lavaggio stoviglie: 20 l/persona giorno di acqua calda a 50°C.

E' comunque opportuno fornire un prospetto del numero di bagni e delle caratteristiche degli apparecchi sanitari presenti casale per casale, dati ricavati da un sopralluogo.

Tabella 6-1 : Prospetto degli apparecchi sanitari presenti nei casali

	Numero bagni	Lavabo	Vaso	Bidet	Docce	Cucina
Casale B		2 senza miscelatore 3 con miscelatore	4 ad unica mandata	1 con miscelatore	2 con miscelatore 1 senza miscelatore	Lavello con premiscelatore e rompigitto
Casale C		8 senza miscelatore con pedali	6 a unica mandata	3 con miscelatore	6 a pulsante	Lavello con premiscelatore
Casale D		5 con pedali 1 con premiscelatore	5 ad unica mandata		3 a pulsante	
Casale Spagnolo		6 senza miscelatore	4 a unica mandata	4 senza miscelatore	2 senza miscelatore	

Per quanto riguarda le docce dotate di temporizzatore (attivato da un pulsante), esse forniscono acqua con una portata di circa 14 l/min, e una temperatura prefissata da un termostato. La durata di un azionamento del pulsante è di circa 2 minuti e 20 secondi, e quindi per ogni azionamento vengono erogati circa 35 litri di acqua calda (a circa 40°C).

Come si vede, ipotizzando almeno un duplice azionamento (una doccia di almeno 5 minuti) il fabbisogno di acqua calda supera la quota consigliata di 50 l/giorno/persona.

Alla luce di questi dati, adotto come consumo pro capite giornaliero per i Casali C e D un valore di 70 l. Mentre per il Casale B, dal momento che non ha docce temporizzate, mantengo il valore delle raccomandazioni CTI.

Per quanto riguarda invece il valore per uso cucine, occorre tener conto che il rompigitto opera una riduzione di flusso e quindi di acqua consumata. Supponendo (non vi sono dati precisi) che il rompigitto operi una riduzione di portata del 40% (valore plausibile dei rompigitto attualmente in commercio), allora si considererà una riduzione del fabbisogno di acqua calda sanitaria del 35%, per tener conto che magari verrebbe tenuto in azione per maggior tempo l'apparecchio.

Tutt'altra situazione è quella del Casale Spagnolo, in cui il consumo di ACS è decisamente basso, nonostante la presenza di due docce, poco utilizzate, al primo piano. Quindi assumo che l'edificio sia assimilabile a un edificio destinato ad uffici o ad attività scolastiche, il cui

fabbisogno è, secondo la guida ISES [11], stimato pari a 5 l/persona/giorno di acqua calda sanitaria a 40°C. Il problema è poi stabilire quante persone frequentano l'edificio e usufruiscono degli apparecchi sanitari. Tale stima è molto aleatoria: viene comunque assunta una occupazione media di trenta persone. Inoltre nel soppalco vi è un posto letto, per cui aggiungo la richiesta di acqua calda sanitaria pro capite precedentemente stimata di 50 l/persona/giorno. Suppongo inoltre che in estate la spesa di acqua calda rimanga solo per l'eventuale presenza di un occupante nel soppalco: si ipotizza che chi usufruisce delle sale riunioni e della biblioteca non usi acqua calda nei mesi estivi.

Quindi si può riassumere il valore di fabbisogno di energia termica così:

$$Q_{hw}(usisanitari) = V_w \rho c_p n (T_w - T_0) = \mathbf{7,32} \text{ MJ/persona/giorno per i Casali C e D}$$

$$Q_{hw}(usisanitari) = V_w \rho c_p n (T_w - T_0) = \mathbf{5,24} \text{ MJ/persona/giorno per i Casali B e Spagnolo}$$

$$Q_{hw}(usisanitari) = V_w \rho c_p n (T_w - T_0) = \mathbf{0,52} \text{ MJ/persona/giorno per il Casale Spagnolo}$$

$$Q_{hw}(usocucine) = V_w \rho c_p n (T_{wcucine} - T_0) = \mathbf{1,9} \text{ MJ/persona giorno.}$$

Ipotizzando, come detto dal WWF, che i casali nei giorni di occupazione stimati siano pienamente occupati e, conoscendo il numero massimo di presenze di ogni casale, si ottiene quindi il fabbisogno mensile di energia termica utile (Q_{hw}) per produzione di acqua calda a scopi domestici.

Occorre poi calcolare il rendimento medio del sistema di produzione di ACS, per poter convertire l'energia termica utile prima ricavata in energia primaria richiesta a monte del sistema di produzione-erogazione-distribuzione-regolazione, così come si è fatto per il sistema di riscaldamento. Se per quest'ultimo vi è una norma ad hoc (UNI 10348), che fornisce il metodo di calcolo dei rendimenti di sottosistema, invece nel caso di produzione di ACS, occorre attenersi al salvifico documento delle Raccomandazione CTI [39]. In ogni casale, eccetto che in quello Spagnolo, come già specificato precedentemente, l'impianto di produzione di ACS è combinato (ovvero la caldaia provvede sia al riscaldamento che alla produzione di ACS) e dotato di accumulo.

Si definiscono quindi due periodi di funzionamento:

- Il periodo invernale, in cui funziona sia l'impianto di produzione di ACS che quello di riscaldamento e quindi le perdite del primo sono considerate tutte recuperabili (ovvero hanno un effetto positivo secondario poiché contribuiscono al riscaldamento dell'edificio) dal fatto che il secondo è attivo;

- Il periodo estivo in cui tutte le perdite del sistema di produzione di ACS sono considerate non recuperabili (il riscaldamento dell'edificio non è un effetto utile richiesto).

Inoltre sono definiti quattro sottosistemi, quattro relativi rendimenti e perdite energetiche:

- Il sottosistema di erogazione, il cui rendimento (η_{wer}) è assunto pari a 0,95, e per cui non vengono conteggiati i fabbisogni di energia elettrica. Le perdite energetiche di tale sottosistema sono considerate tutte non recuperabili e definite da:

$$Q_{wer} = Q_{hw} \frac{1 - \eta_{wer}}{\eta_{wer}}$$

- Il sottosistema di distribuzione, il cui rendimento è dato dalla formula:

$$\eta_{wd} = \frac{Q_{hw} + Q_{wer}}{Q_{hw} + Q_{wer} + Q_{wd}}$$

Il calcolo delle perdite Q_{wd} viene effettuato tenendo conto che in inverno esse sono considerate in parte recuperabili e in estate sono invece totalmente non recuperabili, secondo le seguenti formule:

$$Q_{wd} = \frac{Q_{hw}}{\eta_{wer}} f_{wd}$$

$$Q_{rwd} = f_{rwd} Q_{wd}$$

Per impianti autonomi e combinati (sia riscaldamento che produzione di ACS) e di potenza installata minore di 35 kW, come nel nostro caso, si possono utilizzare i dati del prospetto fornito, ovvero:

f_{rwd} = coefficiente di recupero = 0,5

f_{wd} = coefficiente di perdita = 0,15

- Il sottosistema di accumulo, il cui rendimento è dato dalla formula :

$$\eta_{ws} = \frac{Q_{hw} + Q_{wer} + Q_{wd}}{Q_{hw} + Q_{wer} + Q_{wd} + Q_{ws}}$$

Le perdite di accumulo si calcolano in base all'entità e alle caratteristiche della superficie disperdente dell'accumulatore e alla differenza di temperatura media della superficie e la temperatura media dell'ambiente in cui esso è installato. In mancanza di dati precisi, si stimano tramite il coefficiente di accumulo f_{ws} , tabellato [39] in funzione del volume di accumulo e della durata del periodo di funzionamento (t_s).

$$Q_{ws} = t_s f_{ws}$$

Nel nostro caso, per tutti i casali (B, C, D) il volume di accumulo è di 300 litri e quindi il coefficiente di accumulo è pari a 120 W. Inoltre tali perdite sono considerate del tutto recuperabili in inverno se il serbatoio di accumulo è collocato in un ambiente riscaldato (ciò è vero soltanto nel caso del casale D, per il quale quindi non si conteggiano le perdite di accumulo).

- Il sottosistema di produzione ci permette di calcolare il fabbisogno effettivo di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria (Q_{pw}), a monte di tutte le perdite dei sottosistemi.

$$Q_{pw} = \frac{Q_{hw}}{\eta_{wr}\eta_{ws}\eta_{wd}} = Q_{hw} + Q_{wr} + Q_{ws} + Q_{wd}$$

Da qui, conoscendo il rendimento di produzione di tutte le caldaie e maggiorandolo per un incremento del fattore di carico (inserisco sempre il valore di 0,78), si ricava il fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS come:

$$Q_{ACS} = \frac{Q_{pw}}{\eta_{pr}}$$

Per il Casale Spagnolo, si ha al primo piano un serbatoio a resistenza elettrica per la produzione di ACS. Per questo, ovvero per un generatore autonomo, non combinato, di ACS, la raccomandazione CTI [39], fornisce il valore del rendimento convenzionale di produzione, pari a 0,9. Inoltre va convertita l'energia elettrica utilizzata in energia primaria tramite il rendimento medio del parco elettrico nazionale (0,36): quindi risulterà un rendimento medio di 0,324. Al piano terra invece l'acqua calda sanitaria viene prodotta dalla caldaia, che è però sprovvista di serbatoio di accumulo, quindi valgono i calcoli precedenti, ma non viene conteggiato il sottosistema di accumulo. Attribuirò metà del fabbisogno di ACS al piano superiore e metà al piano terra e così peserò i rendimenti di produzione di ACS secondo le due tipologie.

Si può quindi determinare l'effettivo fabbisogno di energia termica per produzione di acqua calda, per ogni casale, come riportato nella tabella 6-2.

Si nota da questa che il rendimento del casale Spagnolo è molto minore degli altri, perché viene usata energia elettrica "pregiata" ottenuta tramite il parco di centrali elettriche nazionali, anch'esse dotate di un rendimento di produzione. Quindi occorre moltiplicare i due rendimenti per ottenere il valore di energia primaria: ciò a conferma della maggiore spesa energetica per produzione di ACS tramite resistenza elettrica.

Tabella 6-2 : Fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria

Mese	Giorni di occupazione	Casale B	Casale C	Casale D	Casale Spagnolo
		kWh/mese	kWh/mese	kWh/mese	kWh/mese
η_{wd} nel periodo di riscaldamento		0,92	0,92	0,92	0,92 (piano terra)
η_{wd} negli altri mesi		0,85	0,85	0,85	0,85 (piano terra)
η_{wer}		0,95	0,95	0,95	0,95 (piano terra)
η_{ws}		0,95-0,96	0,95-0,96	1	1
η_{pr}		0,78	0,78	0,7	0,324 (primo piano) 0,78 (piano terra)
Rendimento medio globale		0,624	0,624	0,567	0,474 (medio)
Gennaio	4	290,72	332,94	262,6	56,2
Febbraio	4	290,72	332,94	262,6	56,2
Marzo	8	581,4	665,88	525,2	112,41
Aprile	23	1671,6	1914,4	1510	349,8
Maggio	23	1671,6	1914,4	1510	349,8
Giugno	30	2180,4	2497,06	1969,6	118,1
Luglio	31	2253	2580,3	2035,2	122,06
Agosto	31	2253	2580,3	2035,2	122,06
Settembre	9	654,12	749,12	590,8	136,88
Ottobre	7	508,76	582,64	459,5	106,46
Novembre	5	363,4	416,17	328,2	70,25
Dicembre	12	872,16	998,82	787,8	168,62
Totale fabbisogno (kWh/anno)		13591,2	15565,06	12277,4	1768,91
kWh/m ² anno		66,35	99	98	4,3
KWh/m ² stagione		10,25	15,3	15,15	1,04

6.1 Valutazione della produzione di acqua calda sanitaria dell'impianto solare termico installato nel casale C

Inoltre una parte del fabbisogno termico per la produzione di acqua calda sanitaria del casale C è fornita dall'impianto solare termico a collettori piani e quindi va sottratta dal fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS appena calcolato. Questo è stato installato nel 1994 sul tetto spiovente rivolto a sud-ovest (vedi foto 9.4-1). I dati tecnici dei collettori sono qui stimati per moduli a copertura singola e con piastra non selettiva. Il circuito primario è chiuso e il serbatoio di accumulo, di capacità pari a 300 litri, ha uno scambiatore interno a serpentino. Il riscaldamento ausiliario avviene tramite la caldaia a GPL. Purtroppo dati più precisi non sono disponibili. Le dimensioni del collettore sono di 2 m x 2,1 m. Inoltre il collettore è parzialmente ombreggiato dall'albero ad ovest. Ne ho tenuto conto semplicemente moltiplicando l'energia solare giornaliera media mensile incidente sul collettore per un fattore riduttivo pari a 0,9. Calcoliamo quindi in base al metodo *carta-f* sviluppato da Duffie e Beckman [6], riportato nell'appendice B, la frazione percentuale annua del fabbisogno termico supplito dall'impianto a collettori piani (f). All'appendice B rimando e mi riferisco per tutti i simboli e il significato dei parametri usati successivamente, compreso il procedimento del metodo *carta-f*.

Riporto nella tabella 6.1-1 i risultati ottenuti, assumendo come **parametri di ingresso** i seguenti dati:

Efficienza dello scambiatore a serpentino (ϵ) = 0,8

Coefficiente di scambio globale (U_C) = 8 W/m²K

Fattore di rimozione (F_R) = 0,9

Prodotto efficace trasmittanza-assorbanza normale ($\tau\alpha_n$) = 0,88

Temperatura di erogazione acqua calda (T_W) = 40°C

Temperatura dell'acqua dell'acquedotto (T_0) = 15°C

Angolo di inclinazione del collettore solare (β) = 50°

Fattore di riduzione per ombreggiamento del pannello = 0,9

Angolo azimutale del collettore = -35° (sud-ovest)

Capacità di accumulo = 50 kg/m²collettore

Ho considerato il carico termico mensile (L) alla stregua del fabbisogno di energia termica utile per la produzione di ACS, senza considerare i rendimenti dei singoli

sottosistemi, come richiesto dal metodo *carta-f*. Inoltre il calcolo della frazione di copertura (f), prevede che il carico termico sia uniformemente distribuito all'interno del mese, perché associa la richiesta di ACS giornaliera alla radiazione media mensile giornaliera: quindi, solo per il calcolo, si ipotizza che vi sia una occupazione continuativa e costante in tutti i giorni del mese. Se non si usasse questo accorgimento, ricaveresti per assurdo altissime percentuali di copertura del carico nei mesi invernali, perché i casali vengono occupati pochi giorni e la richiesta totale mensile risulta bassa; ma non terrei conto che essa è concentrata in quei pochi giorni e che certo non è altrettanto possibile concentrare temporalmente la risorsa solare a nostro piacimento! L'energia mensile incidente (E_c) su una area unitaria è stata ricavata dai dati UNI 10349 (vedi appendice B) ed è stata modificata in base all'angolo di inclinazione del pannello e al fatto che non è orientata a sud bensì a sud-ovest (225°).

Tabella 6.1-1 : Parametri e risultati dell'applicazione del metodo carta-f per ricavare la copertura solare annua

	L (occupazione continua)	E_c	X	Y	$f_{mensile}$	L (occupazione parziale)	fL
	kWh/mese	Wh/m ²				kWh/mese	kWh/mese
gennaio	1702	2677,675	7,80	0,86	0,32041	219,6	11,80
febbraio	1537	3514,741	7,69	1,118	0,48083	219,6	21,95
marzo	1702	3826,018	3,75	0,602	0,31686	439,2	45,80
aprile	1647	4438,213	1,26	0,243	0,15661	1262,8	172,95
maggio	1702	4969,498	1,20	0,26	0,18122	1262,8	194,26
giugno	1647	5098,091	0,87	0,207	0,14707	1647,1	271,64
luglio	1702	5551,71	0,82	0,218	0,16112	1702,0	307,39
agosto	1702	5396,877	0,82	0,21	0,15967	1702,0	304,63
settembre	1647	4782,568	2,92	0,669	0,41041	494,1	78,24
ottobre	1702	4234,558	4,00	0,761	0,42003	384,3	48,60
novembre	1647	2860,655	5,91	0,728	0,30619	274,5	18,23
dicembre	1702	2349,158	2,56	0,251	0,08901	658,9	26,17
Totale annuale	20040					10267,1	1501,65
$f_{annuale}$							15%
$f_{stagionale}$							6,8%
$f_{festiva}$							16%

Si assume quindi che l'impianto copra una percentuale annuale del fabbisogno attuale di energia primaria per produzione di ACS pari al 15%.

Una volta noto quanto appena detto, si possono calcolare gli effettivi valori del fabbisogno di energia primaria per produzione di acqua calda sanitaria: per il casale C la percentuale di fabbisogno termico coperta dal solare termico nella stagione di riscaldamento è assunta pari al 7% (arrotondata per eccesso).

Tabella 6-3 : Prospetto del fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS (Q_{ACS})

	Casale C	Casale Spagnolo	Casale D	Casale B
Q_{ACS} (kWh/m ² stagione)	14,23	1,04	15,15	10,25

Volendo adesso confrontare la spesa energetica calcolata con quella effettiva, per produzione di acqua calda sanitaria nel periodo metà aprile-agosto compresi, riporto un grafico con le rispettive quote. Viene poi decurtato il fabbisogno termico del casale C della percentuale (f) coperta dalla produzione dell'impianto solare nei mesi in questione. Viene presa una percentuale media del periodo in questione pari al 16%:

Tabella 6-4 : Confronto tra consumi di combustibile calcolati ed effettivi

	Q_{ACS}	Quantità di combustibile speso	Periodo temporale	Quantità di combustibile speso
	kWh/stagione estiva	l/stagione estiva		l/periodo specificato
Casale B	9192	1392	15 aprile-10 agosto	2550
Casale C	8843	1339	10 agosto-30 agosto	600
Casale D	8304	1258		
Casale Spagnolo	861	65		
Totale (l/periodo)		4054		3150

Come si vede, seppure non precisamente eguali, i consumi effettivi sono simili a quelli calcolati. La difficoltà maggiore è in questa situazione stimare precisamente i giorni di occupazione e il numero di persone che occupano i casali. Inoltre la richiesta di acqua calda per il Casale Spagnolo risulta particolarmente difficile da determinare.

7. Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento e produzione di ACS

Dai dati e calcoli precedentemente effettuati si può quindi stabilire, casale per casale, il fabbisogno di energia primaria per riscaldamento e produzione di ACS nella stagione di riscaldamento, semplicemente sommando i due contributi (quello per produzione di ACS considerato solo nel periodo di riferimento). Inoltre si può associare a tale fabbisogno energetico una corrispondente spesa di combustibile.

Tale processo permette in un certo modo di classificare tali edifici.

Tabella 7-1 : Prospetto del fabbisogno di energia primaria totale dei casali nel periodo di riscaldamento.

	Q_{tr} (kWh/m ² stagione)	Q_{ACS} (kWh/m ² stagione)	Fabbisogno di energia primaria (kWh/m ² stagione)	Combustibile speso per il fabbisogno di energia primaria (l/stagione)
Casale C	50,14	14,23	64,4	1619
Casale Spagnolo	64	1,04	65	4037
Casale D	73,7	15,15	88,8	1776
Casale B	59,21	10,25	69,46	2273
Totale				9705

La stessa operazione può essere fatta su periodo annuale, riferendosi alla tab.6-2. Nel casale C si tiene conto di una percentuale di copertura annua media del 15%.

Tabella 7-2 : Prospetto del fabbisogno annuale di energia primaria totale dei casali

	Q_{tr} (kWh/m ² anno)	Q_{ACS} (kWh/m ² anno)	Fabbisogno di energia primaria (kWh/m ² anno)	Combustibile speso per il fabbisogno di energia primaria (l/anno)
Casale C	50,14	84,15	134,3	3377
Casale Spagnolo	64	4,3	68,3	4242
Casale D	73,7	98	171,7	3434
Casale B	59,21	66,35	125,5	4107
Totale				15160

Come si nota dalle ultime colonne dei grafici precedenti, la attuale effettiva spesa di combustibile (pari a 5300 l/anno) non corrisponde assolutamente a quella teorica calcolata sui giorni di occupazione forniti dal WWF. Ciò vuol dire che ad oggi, l'occupazione invernale è stata molto inferiore rispetto a quella stimata, e non si sono occupati tutti gli edifici presenti nell'oasi.

8. Prestazioni e comportamento estivo degli edifici

E' ormai noto che un edificio non ha soltanto la funzione di proteggere e mantenere gli utenti in condizioni di benessere durante i mesi invernali, ma anche durante quelli estivi. Creare un ambiente confortevole e realizzare le condizioni di benessere in inverno soltanto può portare ad uno squilibrio del carico termico ed elettrico di raffrescamento rispetto a quello di riscaldamento e in definitiva ad un fabbisogno di energia primaria dell'edificio comunque globalmente alto. Negli ultimi anni si è verificato un ingente aumento della richiesta elettrica per condizionamento estivo degli edifici a fronte di condizioni climatiche estive di maggior emergenza: basti ricordare che il picco del carico elettrico nazionale si è spostato negli ultimi anni dal periodo invernale a quello estivo, e che per convertire una unità di energia elettrica (kWhel) in una unità di energia termica (kWhth) occorre tener conto di un rendimento elettrico nazionale di 0,36.

Tutto ciò fa capire l'importanza dello studio del comportamento di un edificio anche in condizioni estive, al fine di progettare schermature solari della radiazione solare diretta in estate, di ventilare le facciate e le coperture, di aumentare la capacità termica degli elementi, in definitiva per evitare o limitare la necessità installare macchine di condizionamento.

Nel caso degli edifici dell'oasi di Orbetello, non vi sono impianti di condizionamento e gli accorgimenti adottati durante la ristrutturazione si riducono principalmente all'installazione del tetto ventilato nei casali C e D.

Inoltre le pareti perimetrali esterne dei casali sono, come già visto, tutte in muratura di pietra con ricorso di mattoni, e di spessore variabile da 40 a 60 cm. La capacità volumetrica di tale materiale da costruzione è di 2000 kg/m^3 . Quindi la massa superficiale delle pareti perimetrali esterne avrà valori che oscillano tra i 1000 e gli 800 kg/m^2 . Le coperture hanno invece spessore molto minore (15-20 cm) e diversa composizione. Assumendo come valori di massa volumetrica quelli riportati qui sotto, si stima la massa superficiale per ogni casale:

Tabella 8-1 : Valori della massa superficiale delle pareti esterne e della copertura

	Massa volumetrica di alcuni materiali usati(kg/m ³)		Massa superficiale della copertura (kg/m ²)	Massa superficiale delle pareti perimetrali (kg/m ²)
Mattoni e sassi	1800-2000	Casale B	240	820
Mezzane e tavella	1400-1800	Casale C	184	820
Intonaco interno	1600	Casale D	120	800
ISOSCOTCH	28	Casale Spagnolo	228	1000
Sughero	200			

Tutto ciò è utile per la verifica dei limiti imposti dalla legge 311/06 (allegato I) sulla massa superficiale in corrispondenza di elevati valori di irraggiamento. Il limite imposto è di 230 kg/m², per località in cui il valore medio mensile dell'irraggiamento su piano orizzontale, nel mese di massima insolazione, sia maggiore o uguale a 290 W/m², come detto nel paragrafo 5. Come si nota dalla tabella dei dati climatici riportata in appendice D nel caso studio 2, tale valore di irraggiamento viene superato nei mesi estivi.

Il limite imposto è rispettato con ampio margine per le pareti perimetrali esterne; per le coperture invece il margine non sussiste e nel caso dei Casali D e C le coperture ventilate presentano valori al di sotto della soglia. Ma occorre precisare che il d. lgs. 311 (allegato I-art.11, comma 11) dice anche *“Gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei suddetti valori di massa superficiale delle pareti opache possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecnologie e materiali innovativi che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare”*. Tra queste tecnologie citate vi è certamente quella della ventilazione delle coperture.

Vorrei soffermarmi proprio sull'aspetto della riduzione del calore entrante nell'edificio, per valutare effettivamente quale sia il loro contributo al benessere estivo.

La ventilazione dei tetti

Per l'esecuzione “a regola d'arte” di un tetto a falde in laterizio è fondamentale assicurare una efficace ventilazione del manto di copertura. Essa può essere più o meno accentuata: si parla quindi di microventilazione sottotegola o di ventilazione vera e propria.

Microventilazione

Nel caso delle coperture in laterizio la microventilazione assume particolare importanza perché le tegole laterizie sono prodotti caratterizzati da una microporosità diffusa che comporta un imbibimento degli elementi durante le precipitazioni meteoriche: è necessario quindi che nel più breve tempo possibile venga rilasciata l'acqua e l'umidità assorbita, riportando la copertura allo stato termoigrometrico precedente. L'evaporazione dell'acqua è chiaramente favorita da una buona microventilazione.

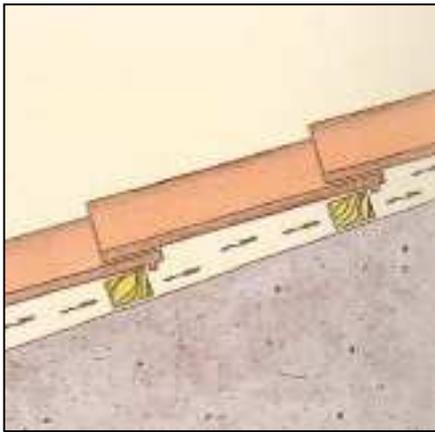


Figura 8-4 Esempio di microventilazione sottotegola [25]

Essa è quindi prevista sempre in tali strutture ed è resa possibile dalla posa in opera di elementi di supporto in legno (listelli) in modo parallelo alla linea di gronda che supportino la messa in posa dei coppi e delle tegole, e allo stesso tempo permettano un flusso d'aria ascendente, che va dalla linea di gronda fino al colmo delle falde. Il meccanismo di sviluppo del moto convettivo dell'aria è noto.

La sua origine è nel punto più basso della falda, ovvero lungo la linea di gronda; al livello della prima fila di tegole posate sulla listellatura di legno, l'aria può trovare un naturale accesso e si distribuisce così nel sottomanto; man mano che viene riscaldata per azione delle tegole sovrastanti a temperatura molto alta (riscaldate dal sole estivo fino a 80°C [27]), l'aria tende a salire dirigendosi verso la linea di colmo e richiamando al contempo aria nuova lungo la gronda.

Assume particolare importanza lo studio della linea di colmo, che deve permettere un libero sfogo di uscita per il moto convettivo dell'aria: gli elementi di colmo (coppi) devono essere fissati e ancorati saldamente al supporto del manto di copertura senza che però venga ostruito il passaggio dell'aria (ovvero distanziandoli opportunamente dai supporti lignei sottostanti). E' quindi sconsigliabile murare gli elementi di colmo alla struttura sottostante, mentre è accettabile allettare gli elementi in questione su uno strato di malta steso solo sulla linea di contatto tra coppo di colmo e tegole sottostanti, in modo tale che l'aria fluisca via lateralmente. Ad integrazione di tale metodo è opportuno adottare tegole di aerazione entro la copertura (di solito una ogni cinque tegole comuni), in special modo nella penultima fila e in una fila iniziale, tali che amplifichino la circolazione di aria.

Ventilazione

La ventilazione delle coperture riguarda non solo il sottomanto (come nel caso della microventilazione) ma il tetto nel suo complesso, ed ha effetti molto maggiori in termini non solo di benessere del tetto, ma anche del locale interno.

Esistono svariate modalità di intervento. Le principali sono tre:

Il **primo** riguarda lo spazio interno del sottotetto, che può essere opportunamente ventilato a mezzo di aperture contrapposte (finestre o lucernari) nel sottotetto, o utilizzando una struttura portante di tipo discontinuo.

Figura 8-3,4 Esempi di ventilazione del sottotetto [25]

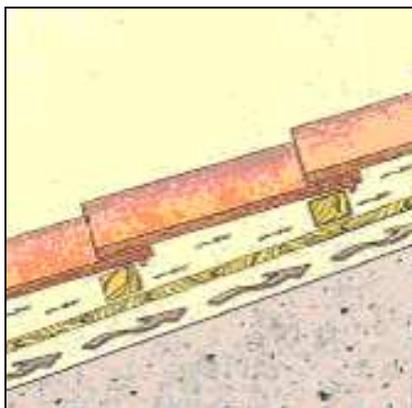
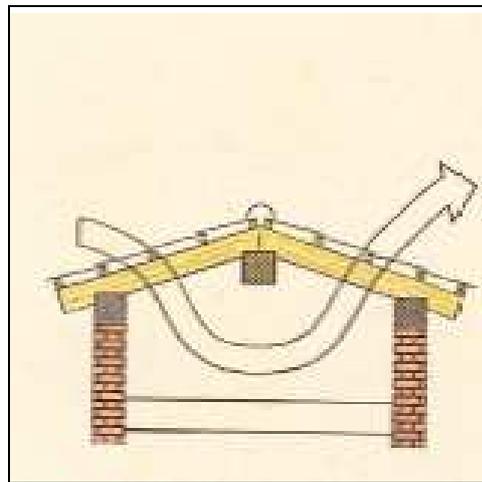
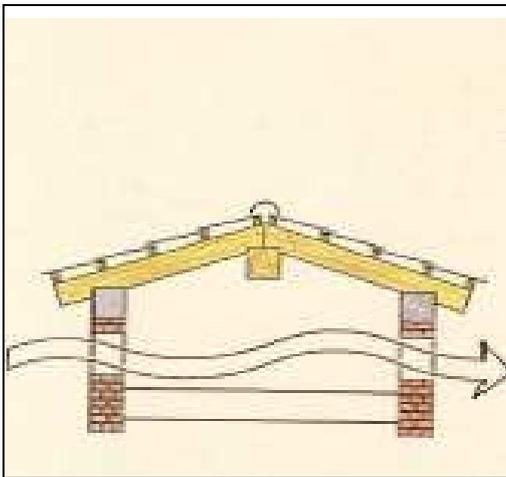


Figura 8-5: Esempio di ventilazione con tavolato [25]

Il **secondo** tipo di ventilazione prevede la divisione delle due tipologie di ventilazione da un tavolato continuo. Al di sotto, a contatto con l'estradosso del solaio di falda, vengono fissati travicelli di legno in modo perpendicolare alla linea di gronda, che sostengano il tavolato e che creino, tra solaio e tavolato, una intercapedine d'aria per l'instaurarsi di un processo convettivo di ventilazione. Sopra il tavolato invece vengono fissati i listelli di supporto dei coppi di copertura che creano anche una microventilazione

sottotegola.

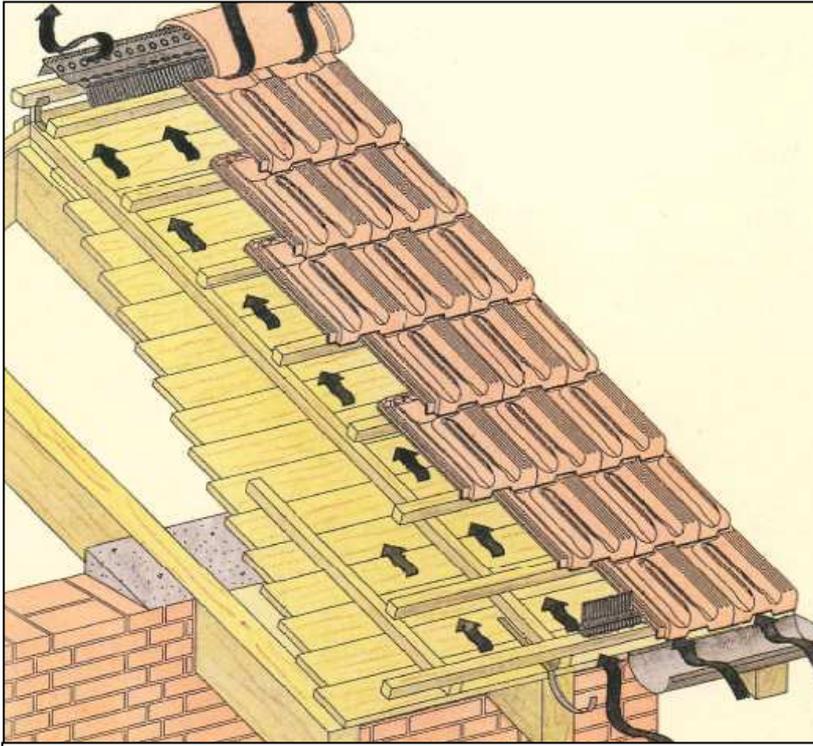


Figura 8-6 : Schema di ventilazione della copertura [25]

La **terza** modalità di intervento, più semplice e che poi verrà presa in considerazione, è quella che prevede la posa in opera sull'estradosso del solaio di falda di una prima fila di travicelli perpendicolari alla linea di gronda, e sopra questi la posa dei listelli paralleli alla linea di gronda, su cui poi verranno posti i coppi di copertura. I primi creano la ventilazione vera e

propria, ovvero un flusso di aria direzionato e un moto convettivo di essa dalla gronda al colmo. I secondi invece sono necessari per la posa dei coppi e interrompendo il flusso d'aria ascensionale creano una microventilazione sottotegola.

Valutazione della diminuzione del carico termico estivo da raffrescare

Il risparmio energetico delle strutture ventilate si apprezza principalmente (oltre all'introduzione di un isolamento invernale, se essa viene chiusa) perché viene così diminuita notevolmente la quota di energia termica entrante nel locale per insolazione e quindi la necessità di raffrescamento.

Si deve ricordare poi che nel calcolo del carico di raffrescamento di un locale, la quota imputabile allo scambio attraverso la copertura risulta veramente rilevante, specialmente per i locali sottotetto e ad un solo piano come quelli presenti nei Casali C e D, raggiungendo anche il 50% della potenza termica entrante totale.

Tale risparmio energetico, indicato con S , viene calcolato percentualmente come rapporto tra la variazione del flusso termico entrante con ventilazione (Q) e il flusso termico entrante senza ventilazione (Q_0), ovvero:

$$S = \frac{Q_0 - Q}{Q_0}$$

Il flusso energetico Q_0 si può interpretare in prima approssimazione come il flusso entrante nel caso di intercapedine chiusa.

L'analisi sviluppata dal Dipartimento di Energetica ([21],[22],[23],[24]) riporta uno studio e una espressione di tale risparmio percentuale in base ai cinque parametri adimensionali caratteristici della struttura. Nell'appendice C vi è il calcolo e la schematizzazione dettagliata del problema fisico, e il procedimento che ho seguito per la stima dell'indice di risparmio. Ad essa si rimanda anche per il significato dei simboli.

Per applicare tale trattazione occorre innanzitutto definire i dati di ingresso.

I dati e le proprietà fisiche dell'aria fluente utilizzate sono le seguenti, valutate a 300 K:

Conducibilità termica dell'aria = 0,026 W/mK

Viscosità dinamica dell'aria = $1,85 \cdot 10^{-5}$ kg/ms

Calore specifico dell'aria = 1004 J/kgK

Temperatura esterna = 28°C

Temperatura interna = 24°C

Coefficiente di assorbimento della radiazione solare da parte della copertura = 0,7

Il procedimento di calcolo del risparmio percentuale S parte da una prima fase in cui si fanno le seguenti ipotesi valide per entrambi i casali:

- $R_t = R_{to}$, ovvero $\chi = 1$
- $R_e = R_{e0}$, ovvero $z = z_0$
- $H = 0$
- $T_{tegole} = 60^\circ\text{C}$
- $T_{copertura} = 30^\circ\text{C}$
- $R_0 = 0,167 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Irraggiamento = 400 W/m^2
- $f_{in} = 0,5$
- $f_{out} = 1$

Invece poi si distinguono i dati propri dell'edificio (per il Casale D ho assunto il valore più cautelativo dello spessore dell'intercapedine):

Casale C (tetto principale)

Spessore dell'intercapedine = 6 cm

Pendenza della falda = 17°

Lunghezza della falda (nel verso dell'inclinazione) = 4,4 m

Larghezza della falda = 11 m

Resistenza conduttiva del sottotetto (R_B) = 0,964 m²K/W

Resistenza conduttiva delle tegole (R_A) = 0,04 m²K/W

Resistenza termica di parete chiusa (r_0) = 0,158 m²K/W

Da cui ricaviamo i valori di R_{to} , R_{eo} e z_0 :

$$R_{to} = 1,369 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{eo} = 0,157 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$z_0 = 0,115$$

Casale D

Spessore dell'intercapedine = 5 cm

Pendenza della falda = 20°

Lunghezza della falda (nel verso dell'inclinazione) = 5,2 m

Larghezza della falda = 17 m

Resistenza conduttiva del sottotetto (R_B) = 2,064 m²K/W

Resistenza conduttiva delle tegole (R_A) = 0,04 m²K/W

Resistenza termica di parete chiusa (r_0) = 0,156 m²K/W

Da cui ricaviamo i valori di R_{to} , R_{eo} e z_0 :

$$R_{to} = 2,47 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{eo} = 0,158 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$z_0 = 0,0639$$

Purtroppo da tale analisi si ottengono valori del numero di Reynolds, per entrambi i casali, dell'ordine di 1800-2000, e corrispondenti valori del numero di Graetz maggiori del valore soglia (pari a 20) necessario per classificare il moto come laminare: le due tipologie di moto appartengono quindi alla zona di transizione per cui non è possibile applicare

nessuna delle due trattazioni esposte in appendice C. Ciò è attribuibile principalmente al fatto che lo spessore di ventilazione è piccolo, ma non tanto piccolo da corrispondere a un flusso laminare. Per il Casale D, però, siamo molto prossimi a tale situazione, perché il numero di Graetz è di poco superiore a 20.

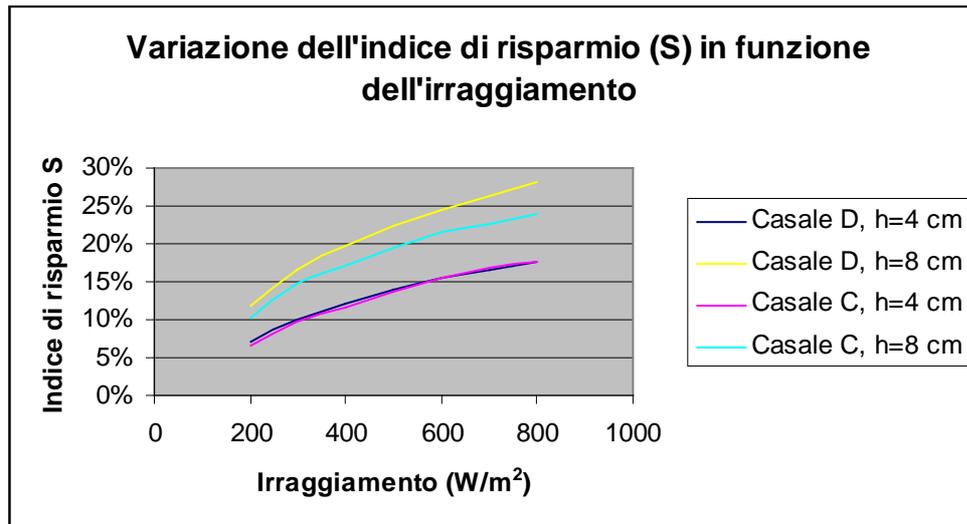
Inoltre, nell'approssimazione del moto a quello laminare, occorre tenere ben presente la presenza di listellature, che fa sì che si interrompa continuamente lo strato limite e si creino vortici e separazioni della vena fluida. Questo fatto viene preso in considerazione dallo studio qui applicato e riportato in appendice C, ma richiederebbe ulteriori verifiche, non effettuate in questa sede. Vi è comunque una estesa trattazione della microventilazione nelle coperture ([21],[22],[23],[24]), in cui viene investigato sia il caso di moto turbolento, che quello di moto laminare.

Ho deciso quindi di calcolare l'indice di risparmio nei due casi limite appartenenti alle due differenti tipologie di moto e di farne una media seguendo l'andamento della curva.

Per il Casale C si è dapprima ipotizzato che lo spessore sia di 8 cm, cui corrisponde un numero di Reynolds pari a 2645 circa, quindi appena sopra la soglia associata al moto turbolento. Si è poi seguito la stessa procedura spiegata precedentemente ottenendo un valore di risparmio pari al 17,5%.

In un secondo tempo si è invece ipotizzato che lo spessore dell'intercapedine sia di 4 cm, cui corrisponde un numero di Reynolds pari a 635, ottenuto utilizzando le corrette formule dei coefficienti di attrito e delle perdite di carico per flussi laminari (specificate in appendice C). Da tale calcolo si ottiene un indice S pari all'11,7%.

Per il casale D si è effettuato la stessa procedura ottenendo un indice di risparmio del 19,8% in caso di intercapedine di spessore 8 cm e del 12% nel caso di spessore pari a 4 cm. E' quindi stato ripetuto il calcolo iterativo al variare dell'irraggiamento incidente sulla copertura. Si è notato che, mentre per il Casale C il numero di Reynolds rimane sempre nella zona di transizione, per il Casale D invece, al diminuire dell'irraggiamento (per valori di 200-300 W/m²), il flusso diviene subito laminare. Questo induce a pensare che anche per valori di irraggiamento maggiori di quelli specificati, ovvero nella zona di transizione, l'indice di risparmio S si mantenga più vicino alla situazione laminare che non a quella turbolenta.



Si può quindi stimare che il risparmio energetico S per i due Casali si attesti intorno a valori del **15%** circa, per condizioni di irraggiamento medie (400 W/m^2).

Tale valore calcolato trova accordo e conferma nel grafico più dettagliato, riportato in [22], prima citato, riferito a due tipologie di copertura (VR1 e VR2) con due angoli di inclinazione diversi.

Purtroppo per i due casi esistenti nell'oasi, non mi posso ricondurre a nessuna delle due curve.

Grafico 8-1 : Variazione dell'indice S al variare dello spessore dell'intercapedine [22]

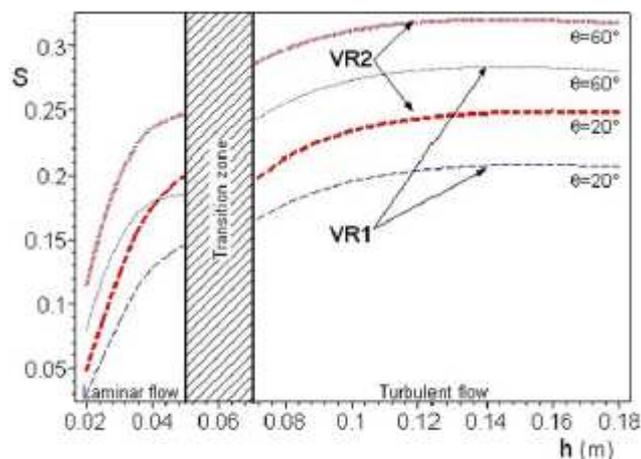


Fig. 9. Laminar and turbulent flow. Variation of S with h : $\theta = 20^\circ$ (dashed lines), $\theta = 60^\circ$ (dotted lines) ($L = 10\text{m}$, $G = 400 \text{ Wm}^{-2}$).

9. Ipotesi di intervento

Nel valutare gli interventi attuabili su edifici esistenti è utile sapere che si possono suddividere principalmente in quattro tipologie, differenziate secondo aree di pertinenza: la prima riguarda la messa in efficienza dell'involucro, ovvero riguarda la possibilità di coibentare le pareti perimetrali esterne o di sostituire gli infissi o di installare schermature dall'irraggiamento esterno o altro. Molti di questi interventi nel caso in questione sarebbero auspicabili: infatti nessuna parete perimetrale esterna è isolata, le finestre del Casale Spagnolo hanno vetri singoli decisamente obsoleti, e così il casale D e in parte il C. Ma tali interventi nella realizzazione pratica vanno a scontrarsi con la presenza di vincoli della Soprintendenza per i Beni Culturali, cui è soggetto il Casale Spagnolo e il Casale D. Occorre conoscere opportunamente, e ancora non si sa, quali siano le possibilità effettive di intervento.

La seconda tipologia riguarda gli interventi sugli impianti termici, ovvero il cambiamento del sistema di riscaldamento, la contabilizzazione del calore, il miglioramento della regolazione dell'impianto e altri. Vedremo che alcuni di questi sono stati presi in considerazione, specialmente per quanto riguarda la regolazione dell'impianto termico e la generazione tramite uso di cippato prodotto in loco o nelle vicinanze: questa integrazione permetterebbe una maggiore autosufficienza dell'oasi e potrebbe essere un intervento applicabile anche in altre realtà del WWF in cui siano disponibili combustibili naturali derivanti dalla pulizia delle aree boschive.

La terza riguarda l'impianto elettrico: gestione e ottimizzazione del contratto di fornitura, domotica, automatizzazione del sistema di accensione delle luci, sistemi di illuminazione ad alta efficienza... Tali interventi, visto l'attuale e passato utilizzo prevalentemente estivo dei locali, rivestono un'importanza minore. Ma, poiché a lungo termine vi è la volontà di occupare maggiormente i locali, nel corso dell'anno, è bene prenderli in considerazione e già stato fatto da parte del WWF (presenza di dispositivi di illuminazione a basso consumo e automatizzati in parte nel Casale D). Inoltre non vengono qui presi in considerazione perché spesso sono di facile e semplice realizzazione, anche senza progettazione. Un altro intervento potrebbe riguardare il cambiamento del contratto di fornitura elettrica, passando da quello tradizionale a quello "verde", la cui energia sia prodotta da fonti rinnovabili.

L'ultima categoria appunto riguarda l'utilizzo di risorse rinnovabili, e questo è stato largamente preso in considerazione perché più complesso e interessante: riguarderà

principalmente la produzione di acqua calda sanitaria da solare termico, la generazione termica con biomasse e la messa in funzione dell'impianto fotovoltaico presente.

Ma è possibile distinguere e classificare gli interventi proposti anche in base alle risorse che vengono utilizzate. Per risorsa, e risorsa naturale, si intende la disponibilità, in un dato ambiente e sotto determinate condizioni, di energia e materia. E' necessario che lo sfruttamento di queste sia il più possibile frequente ed esteso, ma anche controllato ed efficiente. Perciò, per esempio, se è auspicabile che la risorsa solare venga il più possibile considerata come tale e quindi sfruttata dall'uomo, allo stesso tempo per quella costituita da biomasse vegetali è opportuno valutare bene quando vi sia effettivamente disponibilità di materiale vicino e sarebbe opportuno che la tecnologia di conversione fosse sufficientemente buona.

Perciò, nell'ambito della messa in efficienza degli edifici dell'oasi di Orbetello, rimangono tali le aree della messa in efficienza dell'involucro e degli impianti termico ed elettrico, ma si potranno individuare altre tre tipologie di intervento legate all'uso ottimale delle risorse naturali: quella legata alla risorsa "sole", alla risorsa "acqua" e alla risorsa "territorio".

Classificherò quindi così i possibili interventi da fare nei quattro casali presenti nell'oasi.

9.1 Messa in efficienza dell'involucro

Per quanto riguarda la messa in efficienza dell'involucro, i principali interventi riguardano la coibentazione delle mura perimetrali esterne, la sostituzione degli infissi e la ristrutturazione del tetto del casale B affinché venga ventilato e isolato. Ciascuno di questi interventi si ripercuote positivamente sul fabbisogno di energia primaria per riscaldamento diminuendolo perché fa sì che l'energia dispersa per trasmissione diminuisca.

9.1.1 Coibentazione delle pareti perimetrali esterne

La soluzione più efficace per isolare le pareti perimetrali esterne sarebbe quella di un isolamento a cappotto. Con questo termine si intende un completo rivestimento esterno delle pareti con pannelli di 4-5 cm di materiale isolante. Tale intervento non viene qui preso in considerazione: non verrebbe approvato dalla Sovrintendenza perché molto invasivo. Quindi ipotizzo un intervento più semplice e ben applicabile, anche se certamente meno efficace: una coibentazione esterna tramite la sostituzione dell'intonaco esterno con un termoisolante. Vi sono in commercio molte tipologie di intonaco termoisolanti, con differenti valori di trasmittanza. Io ho adottato un intonaco termoisolante premiscelato in polvere, composto da leganti idraulici, perle vergini di polistirene espanso perfettamente sferiche e a granulometria costante, e da additivi specifici che ne migliorano le prestazioni e la lavorabilità. Riporto le caratteristiche tecniche di maggior interesse [28]:

Coefficiente di conduttività termica = 0,051W/mK

Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo = 9

Potere fonoisolante su parete = 39 dB

Granulometria massima dell'aggregato = 3 mm

Ipotizzo di applicare uno strato di intonaco di **4 cm** su ogni parete esterna di ogni casale, che corrisponde ad una resistenza termica di 0,78 m²K/W.

Per tale applicazione bisogna tenere bene in conto il potere assorbente e la natura del supporto su cui applicare l'impasto (la parete deve essere ruvida, compatta, assorbente, priva di olii e polveri). Nel caso esso non riesca a sostenere lo strato di intonaco, sarà necessario utilizzare un ponte di adesione e di uniformità del supporto.

La trasmittanza termica totale diminuirà quindi secondo i valori qui riportati in tabella 9.1.1-1. Conseguentemente l'energia dispersa per trasmissione diminuisce e così il fabbisogno termico per riscaldamento nel periodo di calcolo. Ma, a dispetto di tale vantaggio, si ha una diminuzione del rendimento di produzione, perché il carico termico di riscaldamento è diminuito e il generatore lavorerà più lontano dal punto nominale.

E' invece da considerare, e con molto interesse, che il rendimento di emissione viene incrementato, a seguito di questo intervento, di 4 punti percentuali (per i casali con radiatori come terminali di erogazione), perché tutte le pareti retrostanti i corpi scaldanti

risultano isolate, con trasmittanza minore di $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, come richiesto dalla normativa UNI 10348.

Tabella 9.1.1-1 : Prospetto dei risultati dell'intervento di coibentazione delle pareti esterne

	Prima dell'intervento		Dopo l'intervento				Diminuzione percentuale di Q_{tr}	Risparmio combustibile
	U	Q_{tr}	U	Q_{tr}	η_{pr}	η_e		
	$\text{W/m}^2\text{K}$	kWh/m^2 stagione	$\text{W/m}^2\text{K}$	kWh/m^2 stagione				l/casale stagione
Casale B	1,48	59,21	0,69	48,13	0,73	0,95	18,7%	362
Casale C	1,48	50,14	0,69	35,46	0,716	0,94	29%	369
Casale D	1,58	73,7	0,71	59,3	0,59	0,94	19,5%	288
Casale Spagnolo	1,2	64	0,66	58,31	0,735	0,96	8,8%	353

A tale riduzione del fabbisogno di energia termica si è associata una conseguente mancata spesa di combustibile.

I dati che più ci interessano del combustibile usato, ovvero del gas di petrolio liquefatto (detto GPL), sono il suo potere calorifico e la sua massa volumica media. Riporto in tabella questi valori e infine il potere calorifico inferiore associato ad un litro di combustibile liquefatto, valore utilizzato nella tabella precedente e in tutte quelle successive:

Tabella 9.1.1-2 : Caratteristiche fisiche del combustibile GPL

Caratteristiche tecniche utili		Potere calorifico inferiore (PCI)
		12,78 kWh/kg GPL
Massa volumica media allo stato liquido a 15°C	0,51 kg/dm^3 o kg/l	6,6 kWh/l GPL
Massa volumica media allo stato gassoso a 15°C	1,87 kg/m^3	23,4 kWh/m^3 GPL

9.1.2 Sostituzione degli infissi nel Casale Spagnolo

Come si è potuto notare dalle tabelle del calcolo del fabbisogno energetico per riscaldamento dei Casali (tabb.1-7,2-8,3-4,4-4), la seconda quota di dispersione dell'involucro è attribuibile alla ventilazione. Le perdite per ventilazione sono principalmente associate alla tenuta dei serramenti. Nel Casale Spagnolo, in particolare, gli infissi sono decisamente obsoleti e non a tenuta per cui il numero di ricambi d'aria è stato assunto pari a $0,3 \text{ h}^{-1}$; in tutti gli altri casali invece il numero di ricambi d'aria è stato assunto pari a $0,5 \text{ h}^{-1}$, poiché gli infissi sono relativamente nuovi. Inoltre alla tipologia dell'infisso è anche connessa la quota di energia dispersa per trasmissione, sempre: di nuovo, nel Casale Spagnolo i serramenti (finestre e portefinestre) sono tutte dotate di vetro singolo, e così nel casale D (anche se il vetro unico è spesso). A questi sono quindi collegate un maggior valore di trasmittanza e una maggior quota di dispersione del calore verso l'esterno. D'altro canto, sostituire infissi a vetro singolo con infissi a vetro doppio comporta una lieve diminuzione della quota di apporti gratuiti solari, giacché il fattore di trasmissione dell'energia solare perpendicolare (g_p) all'elemento vetrato passa dal valore 0,85 a 0,75 (vedi tabella A-5).

Ipotizzo che l'intervento di sostituzione degli infissi avvenga solo per il Casale Spagnolo, perché nel Casale D questi sono piuttosto nuovi e ben tenuti, e hanno una tenuta d'aria accettabile. Inoltre la quota di dispersione attraverso elementi vetrati è molto bassa (nonostante siano vetri singoli), perché la superficie vetrata totale dell'edificio è veramente esigua.

Quindi ipotizzo che:

-Venga sostituita la porta in metallo e vetro (di trasmittanza pari a $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.) con una porta in legno di circa 6 cm con trasmittanza pari a $1,98 \text{ W/m}^2\text{K}$.

-Vengano sostituite tutte le porte finestra del primo piano (di trasmittanza pari a $3,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.) con portefinestra dotate dello stesso fattore di telaio, ma con doppi vetri (6-12-6). La loro trasmittanza diviene quindi pari a $2,24 \text{ W/m}^2\text{K}$

-Vengano sostituite tutte le finestre presenti con quelle a vetro doppio (6-12-6) la cui trasmittanza quindi diviene pari a $2,48 \text{ W/m}^2\text{K}$. Per ricavare tale valore ho lasciato inalterato il fattore di telaio assunto pari al 60%.

Inoltre ipotizzo che tutti gli infissi installati siano certificati a tenuta per cui il numero di ricambi d'aria può essere assunto pari a $0,3 \text{ h}^{-1}$.

Quindi procedo con il calcolo del fabbisogno di energia termica per riscaldamento per il Casale Spagnolo, prima e dopo l'intervento. Dal momento che il carico termico di riscaldamento è diminuito, il generatore lavorerà più lontano dal punto nominale e il rendimento di produzione diminuisce. Ogni intervento ha infatti effetti molteplici e vanno tenuti in considerazione tutti quanti.

Tabella 9.1.2-1 : Prospetto dei risultati dell'intervento di sostituzione degli infissi nel Casale Spagnolo

Casale Spagnolo	Prima dell'intervento	Dopo l'intervento	Risparmio equivalente di combustibile	Risparmio percentuale di Q_{tr}
	kWh/stagione	kWh/stagione	l/stagione	
Dispersioni per ventilazione (Q_v)	-4093	-1447	401	
Dispersioni attraverso le finestre (Q_f)	-535	-316	33,8	
Dispersioni tramite pareti opache (comprese le porte) (Q_m)	-12502	-12379	18,6	
Apporti termici gratuiti solari (Q_s)	376	343	-5	
η_{pr}	0,75	0,725		
Q_{tr}	64	54,27	603	15%

Come si nota il risparmio globale non è uguale alla somma dei singoli risparmi, poiché entrano in gioco il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti e i rendimenti dei singoli sottosistemi, che non rimangono invariati; comunque l'intervento agisce su più fronti e fornisce un risparmio energetico non trascurabile.

9.1.3 Ristrutturazione della copertura del Casale B : isolamento e ventilazione

La copertura ventilata è un provvedimento da adottare anche per il Casale B, che ne è sprovvisto, per i motivi precisati precedentemente: un'ottima aerazione estiva, una diminuzione del carico di raffrescamento estivo, un isolamento invernale nel caso vengano chiusi l'ingresso e l'uscita. Inoltre, in occasione di tale intervento ipotizzo anche un isolamento della copertura. L'isolamento ha due effetti positivi: riduce il fabbisogno di energia termica in inverno e allo stesso tempo comporta un aumento dell'indice di risparmio S, rispetto al caso di copertura senza isolamento (fig. 9.1.3-1).

La stratigrafia della copertura del Casale B e gli altri dati relativi ad essa sono qui riportati. Vi ho aggiunto uno strato di isolante costituito da 5 cm di sughero, come è presente nel Casale C.

Tabella 9.1.3-1 : Schema stratigrafico della copertura del casale B

Descrizione strato	Conducibilità	Spessore	Resistenza termica
	W/mK	m	m ² K/W
Tegole e coppi	1	0,04	0,04
Intercapedine		0,1	
Strato impermeabilizzante (bitume)	0,17	0,01	0,06
Sughero	0,05	0,04	0,8
Muratura in malta-cacestruzzo	0,95	0,03	0,0315
Mattoni pieni	0,35	0,03	0,084
Muratura in malta-cacestruzzo	0,95	0,02	0,0315
Mattoni pieni	0,35	0,03	0,084
Intonaco	0,9	0,01	0,01

I dati caratteristici del problema sono i seguenti:

Spessore dell'intercapedine ipotizzato = 10 cm

Pendenza della falda = 22°

Lunghezza della falda (nel verso dell'inclinazione) = 7,2 m

Larghezza della falda = 11 m

Resistenza conduttiva del sottotetto (R_B) = 1,101 m²K/W

Resistenza conduttiva delle tegole (R_A) = 0,04 m²K/W

Resistenza termica di parete chiusa (r_0) = 0,16 m²K/W

Quindi si è considerato come parametro variabile del problema soltanto l'irraggiamento incidente sulla copertura (I).

I dati e le proprietà fisiche dell'aria fluente utilizzate sono le seguenti, valutate a 300 K:

Conducibilità termica dell'aria = 0,026 W/mK

Viscosità dinamica dell'aria = 1,85 10⁻⁵ kg/ms

Calore specifico dell'aria = 1004 J/kgK

Temperatura esterna = 28°C

Temperatura interna = 24°C

Coefficiente di assorbimento della radiazione solare da parte della copertura = 0,7

Il procedimento di calcolo del risparmio percentuale S parte da una prima fase in cui faccio le seguenti ipotesi:

- $R_t = R_{to}$, ovvero $\chi = 1$
- $R_e = R_{e0}$, ovvero $z = z_0$
- $H = 0$
- $T_{tegole} = 60^\circ\text{C}$
- $T_{copertura} = 30^\circ\text{C}$
- $R_0 = 0,167 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Irraggiamento = 400 W/m^2
- $f_{in} = 3,8$
- $f_{out} = 5,9$

Le prime due ipotesi comportano il fatto che le resistenze non dipendono dal moto dell'aria entro l'intercapedine. Tale condizione risulta molto approssimata nel caso di valori di z piccoli o prossimi a uno, come accadrà in questo caso.

I valori del coefficiente di attrito in ingresso e in uscita sono stati calcolati [41] nelle ipotesi di griglia di imbocco e sbocco caratterizzata da un rapporto area vuota/area piena di 0,5, e nella ipotesi di griglia con forature non raccordate e quindi scabre. Con tali valori si trovano indici di risparmio energetico (S) minori rispetto all'uso dei coefficienti standard [24]. Come si vede tale assunzione è quindi una stima cautelativa rispetto all'uso dei coefficienti di attrito trovati negli articoli analizzati, che andrebbe validata da successive prove sperimentali.

Ricaviamo quindi i valori di R_{to} , R_{e0} e z_0 :

$$R_{to} = 1,51 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{e0} = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$z_0 = 0,1059$$

Ho seguito quindi il procedimento illustrato in appendice C.

Il numero di Reynolds risulta pari a 3403, quindi si tratta di un moto turbolento, pienamente sviluppato. Il fattore di attrito f è risultato pari a 0,11.

La percentuale S di risparmio è pari a **35%**.

Segue quindi la seconda fase in cui si ricavano le due resistenze convettive con il procedimento indicato in appendice. Il valore di Nusselt risulta pari a 11,5 e quindi le due resistenze risultano di $0,66 \text{ m}^2\text{K/W}$ ciascuna. Da qui ricaviamo i valori di R_e e R_t :

$$R_e = 0,154 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_t = 1,499 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$z = 0,1027$$

$$\chi = 1,007$$

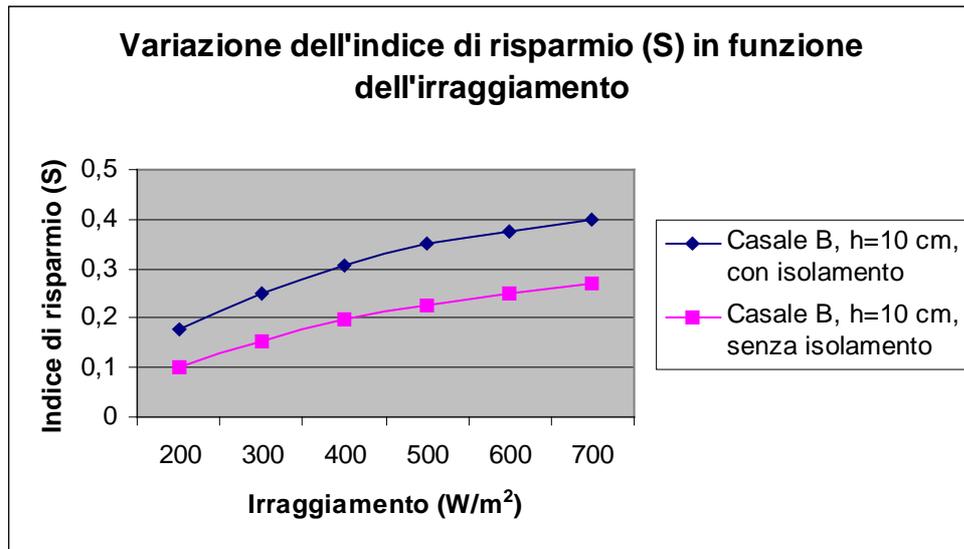
$$H = 0,19$$

Ripetendo di nuovo il procedimento iterativo precedente si nota che la percentuale di risparmio si è abbassata sensibilmente al **30%**.

Inoltre l'installazione dello strato di isolante migliora moltissimo le prestazioni estive della copertura aumentandone l'indice di risparmio (S). Infatti, ripetendo l'intero procedimento effettuato precedentemente, nel caso di copertura non isolata, il valore di risparmio appena calcolato (30%) cala drasticamente al 20%. Questo è imputabile alla diminuzione della resistenza conduttiva del sottomanto, sia considerando l'intercapedine aperta che chiusa, e mette in evidenza l'importanza di interventi combinati e ben studiati sugli edifici.

Tra le condizioni di funzionamento del tetto ventilato, un parametro variabile interessante è l'irraggiamento incidente sul tetto stesso. Al variare di esso l'indice di risparmio S varia sensibilmente, come riportato in figura 9.1.3-1. Come si vede dal grafico, all'aumentare dell'irraggiamento aumenta l'indice di risparmio S . Questo perchè la temperatura esterna aria-sole e , conseguentemente il coefficiente ϕ e la temperatura media T_m aumentano, e allo stesso tempo diminuiscono le resistenze convettive, essendo aumentato il numero di Reynolds, favorendo così la ventilazione. Riporto inoltre in figura sia il caso di copertura isolata che non isolata.

Figura 9.1.3-1 : Andamento dell'indice di risparmio S al variare dell'irraggiamento



Inoltre, dal momento che è stato aggiunto uno strato di isolante, anche il comportamento invernale e quindi il fabbisogno di energia termica per riscaldamento cambiano. In particolare la trasmittanza passa dal valore precedente l'intervento, di 2,1 W/m²K, a quello di 0,76 W/m²K. Quindi il risparmio di energia termica e di combustibile è quello riportato in tabella tenendo conto però che, poiché il carico termico di riscaldamento è diminuito, anche il rendimento di produzione diminuisce.

Tabella 9.1.3-2 : Risultati dell'intervento di isolamento della copertura del Casale B

	Prima dell'intervento	Dopo l'intervento		Risparmio percentuale di Q_{tr}	Risparmio di combustibile
	Q_{tr}	η_{pr}	Q_{tr}		
	kWh/m ² stagione		kWh/m ² stagione		l/stagione
Casale B	59,21	0,723	44,48	25%	482

9.1.4 Installazione di dispositivi di chiusura della aperture per le coperture ventilate

Come già visto nella descrizione delle coperture ventilate dei Casali D e C, e come precisato nell'intervento precedente, non è presente alcuna chiusura delle sezioni di ingresso e di uscita dell'aria dell'intercapedine. Tale condizione, fa sì che d'inverno, in corrispondenza di elevati valori di irraggiamento incidente sul tetto, si possa avviare il meccanismo di convezione naturale per cui l'aria entro l'intercapedine inizia a fluire dall'ingresso verso l'uscita, asportando calore al sottomanto e in definitiva al locale interno. Tale situazione, molto dannosa per il riscaldamento dell'interno, può in verità verificarsi svariate volte in inverno. Andrebbe dunque evitata, utilizzando dei sistemi di chiusura mobile, che permettano di chiudere l'intercapedine in inverno e riaprirli in primavera. Tale intervento fa sì che la trasmittanza delle coperture non sia quella precedentemente usata, ma diminuisca. Infatti, secondo la UNI EN ISO 6946 la resistenza di intercapedini non ventilate, ovvero "quelle in cui non vi è una specifica configurazione affinché l'aria possa attraversarla", è data dai valori nel prospetto 2 (vedi appendice C). Viene definita intercapedine non ventilata anche quella con piccole aperture verso l'esterno, purché esse siano minori di 500 mm^2 per metro quadrato di superficie di copertura. Quindi questa categoria è certamente riconducibile al nostro caso. Dunque, per spessori di intercapedine di 5-10 cm e per flusso di calore ascendente (caso invernale) la resistenza termica a intercapedine chiusa è pari a $0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Quindi la resistenza esterna liminare della copertura passa dal valore di $0,1 \text{ m}^2\text{K/W}$ (valore comprensivo della resistenza conduttiva delle tegole) a quello di $0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$ per il casale B, e a quello di $0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$ anch'esso per i Casali C e D, dove questi ultimi valori devono ancora essere maggiorati per la resistenza delle tegole di copertura. Il rendimento di produzione varia, a fronte del diminuito carico termico, di neanche mezzo punto percentuale, e quindi lo ritengo costante. Riassumendo, riporto qui i valori di resistenza e di fabbisogno termico per riscaldamento, prima e dopo l'intervento:

Tabella 9.1.4-1 : Risultati dell'intervento di chiusura delle intercapedini della copertura.

	Prima dell'intervento		Dopo l'intervento		Risparmio percentuale di Q_{tr}	Risparmio di combustibile
	U	Q_{tr}	U	Q_{tr}		
	$\text{W/m}^2\text{K}$	kWh/m^2	$\text{W/m}^2\text{K}$	kWh/m^2		l/stagione
Casale B	0,76	44,48	0,698	43,22	2,8%	41
Casale C	0,86	50,14	0,766	49,32	1,6%	15
Casale D	0,44	73,7	0,416	73,19	0,6%	31

9.2 Messa in efficienza dell'impianto termico ed elettrico

Sotto questa area di pertinenza classifico gli interventi che riguardano l'impianto termico, ovvero il miglioramento dei rendimenti di distribuzione, emissione, regolazione e produzione, e l'impianto elettrico, considerato nei suoi sottosistemi di utilizzo e fornitura della stessa.

Per quanto riguarda l'impianto termico, dal momento che l'uso degli edifici in inverno non è ancora molto prolungato, bisogna valutare bene la convenienza degli interventi. Non penso sia necessario un grado di automatizzazione o regolazione molto spinto, come invece è auspicabile nel caso di abitazioni residenziali. Invece sono secondo me auspicabili quegli interventi che mantengono la loro efficienza anche in caso di utilizzo saltuario dell'edificio, interventi quindi connessi alle strutture fisse (installazione di pannelli riflettenti nel retro dei radiatori), o alla natura e bontà stessa dell'impianto di generazione di energia termica per riscaldamento.

Per quanto riguarda questo ultimo punto, ho preso in considerazione (e ne discuterò approfonditamente nel capitolo 9.5) la radicale sostituzione delle caldaie presenti con impianti nuovi alimentati con biomasse o con il combustibile attualmente usato. Questo per vari motivi, primo tra tutti quello per cui non sono riuscita a trovare i dati tecnici di alcune caldaie: esse sono ormai decisamente obsolete e con prestazioni lontane da quelle delle attuali macchine. Quindi rimando al capitolo 9.5 per il miglioramento del rendimento di produzione.

Oltre agli interventi detti, bisogna tener presente le attuali normative vigenti, che non ammettono più la semplice regolazione manuale del termostato di caldaia e quindi è auspicabile un intervento in tal senso (vedi capitolo 5).

Riporto dunque nei punti 9.2.1, 9.2.2 e nel capitolo risorsa "territorio" gli interventi ipotizzati per la messa in efficienza dell'impianto termico.

Per quanto riguarda invece l'efficienza dell'impianto elettrico si deve ben considerare lo stato attuale di questo e la presenza di apparecchi illuminanti presenti nei casali. Come rilevato dal sopralluogo la percentuale di corpi illuminanti a risparmio energetico (lampade a basso consumo energetico) rispetto al totale dei dispositivi è a volte pari al 100%, anche per gli impianti di illuminazione esterna: è questo il caso dei casali D e C, mentre nel casale B la percentuale è di circa l'80% e nel caso del casale Spagnolo al primo piano si

hanno tutte lampade a basso consumo, mentre nel salone del piano terra vi sono quelle tradizionali. Si nota quindi che gli interventi per avere sistemi di illuminazione più efficienti sono già stati fatti, e una integrazione e una completa sostituzione anche degli apparecchi ancora tradizionali porta un contenuto miglioramento. D'altro canto, non ritengo conveniente in questa sede un intervento di automatizzazione dell'accensione e dello spegnimento delle luci nei locali o all'esterno, o altre tipologie di telecontrollo e gestione energetica spinta della rete di illuminazione (domotica o building automation). Questo perché non si tratta di edifici commerciali o uffici o comunque strutture molto frequentate, e quindi il vantaggio sarebbe limitato dall'uso saltuario del sistema stesso. Propongo quindi nel paragrafo 2.3 alcuni altri accorgimenti che ritengo migliori e comunque di semplice attuazione.

9.2.1 Installazione di pannelli riflettenti nelle pareti perimetrali esterne del lato posteriore del corpo scaldante

Tale intervento va ad incidere positivamente sul rendimento di emissione che viene incrementato, nel caso di radiatori come corpi scaldanti, di circa due punti percentuali. Spiego brevemente la ragione di tale incremento.

Il rendimento di emissione tiene conto delle disuniformità di temperatura che vengono indotte all'interno dei locali e dell'incremento delle dispersioni termiche per trasmissione e ventilazione dovute al tipo di terminale di erogazione. In particolare i moti convettivi generati dal terminale vanno ad aumentare in alcune zone della superficie del locale il valore del coefficiente liminare interno, incrementando di conseguenza la trasmittanza della parete e quindi il calore disperso. Inoltre essi causano un aumento della temperatura nelle zone più alte del locale e quindi un aumento delle dispersioni dovute alla disuniformità della temperatura ambiente. Per ultimo, la radiazione emessa dal terminale di erogazione verso le strutture disperdenti limitrofe (la parete sul lato posteriore del corpo scaldante) produce un aumento della temperatura superficiale e un incremento delle dispersioni di tale parete.

Si capisce dunque che un accorgimento da adottare per migliorare il rendimento di emissione consiste nel realizzare un buon isolamento termico sulla parete retrostante la posizione del terminale di erogazione (effettuato isolando le pareti perimetrali esterne, vedi il paragrafo 9.1.1): in tal modo si riducono le dispersioni dovute alla presenza di un microclima ubicato sul retro del corpo scaldante in corrispondenza del quale la temperatura

dell'aria è maggiore di quella ambiente. Un altro accorgimento semplice è quello di installare uno strato riflettente sulla parete retrostante la posizione del terminale di erogazione, in modo che venga ridotto lo scambio termico per irraggiamento fra corpo scaldante e parete.

Ipotizzo quindi che venga installato un foglio sottile riflettente, costituito da una bolla d'aria inerte compresa tra due strati di polietilene ricoperti su entrambe le facce da un foglio di alluminio puro. Tale prodotto, presente in commercio [32], ha spessore di 3 mm, ed è facilmente inseribile e applicabile nell'intercapedine tra radiatore e parete esterna. Poiché l'azienda non fornisce il valore di resistenza termica del solo foglio, ma quella del foglio entro una intercapedine di aria di 4 cm, lo si stima conoscendo i valori della conduttività dei materiali. Si assume che il polietilene abbia spessore di 1 mm da un lato e dall'altro e che abbia conducibilità di 0,05 W/mK; per l'aria interna, la conducibilità è pari a 0,026 W/mK e lo spessore si assume pari a 1 mm. Da ciò si ottiene e si stima una resistenza complessiva di 0,0784 m²K/W. Come si nota, in virtù del piccolissimo spessore (necessario per lo scopo) la bontà di tale intervento non sta nell'isolamento della parete esterna, giacché il valore della resistenza non cambia sensibilmente, ma nella riflessione del calore irraggiato dal corpo scaldante.

Si calcola quindi il risparmio in termini di mancata spesa di combustibile e diminuzione del fabbisogno termico e di incremento del rendimento di emissione:

Tabella 9.2.1-1 : Risultati dell'intervento di installazione dei pannelli riflettenti

	Prima dell'intervento		Dopo l'intervento		Diminuzione percentuale di Q _{tr}	Risparmio di combustibile conseguito
	η _e	Q _{tr}	η _e	Q _{tr}		
		kWh/m ² stagione		kWh/m ² stagione		l/casale stagione
Casale B	0,92	59,21	0,94	57,95	2,1%	41
Casale C	0,9	50,14	0,92	49	2,2%	27
Casale D	0,9	73,7	0,92	72,1	2%	30
Casale Spagnolo	0,94	64	0,95	63,35	1%	40

9.2.2 Installazione di centralina climatica con sonda esterna per regolazione climatica centralizzata

Tale intervento va ad incidere positivamente sul rendimento di regolazione, che, per i casali B, D e casale Spagnolo, viene incrementato di 4 punti percentuali.

Infatti nei tre casali citati la regolazione della temperatura dell'acqua di mandata viene effettuata soltanto mediante il termostato di caldaia. E questa risulta insufficiente per i motivi seguenti. Il rendimento di regolazione è una misura della capacità del sistema presente di regolare istantaneamente l'emissione del corpo scaldante qualora nel locale si verificano variazioni termiche dovute alle variazioni della temperatura esterna, degli apporti gratuiti o delle dispersioni. Quindi dipende molto dalla precisione, dalla sensibilità, dalla velocità di risposta e dalla corretta taratura del dispositivo di regolazione, ovvero dalla capacità del sistema di mantenere costante nel tempo la temperatura interna dei locali e di mantenerla uniforme da locale a locale entro l'edificio. Nel caso si abbia soltanto una regolazione manuale mediante termostato di caldaia, la distribuzione del fluido termovettore viene effettuata a temperatura costante durante tutta la stagione di riscaldamento, senza che venga percepita la variazione di temperatura esterna. Tutto ciò comporta una temperatura interna spesso diversa da quella di progetto, e conseguentemente una maggiore spesa energetica.

Perciò è preferibile una regolazione climatica centralizzata mediante valvola a tre vie comandata da una sonda termometrica che tenga conto almeno della variazione della temperatura esterna. I dati di questa, una volta rilevati, giungono alla centralina di regolazione che va ad agire sulla valvola a tre vie o direttamente sul bruciatore, impostando la temperatura di mandata richiesta.

Sia il primo (regolazione manuale sul termostato di caldaia) che il secondo (regolazione climatica centralizzata) metodo di regolazione citati dipendono dall'entità degli apporti gratuiti e dal fattore di utilizzazione di questi; soltanto, il secondo è incrementato rispetto al primo di 4 punti percentuali. Riporto qui le espressioni dei due rispettivi rendimenti, avendole già decurtate di due punti percentuali perché si tratta di regime di funzionamento intermittente (con spegnimento notturno):

$$\eta_r = 0,94 - (0,6\eta_{ut}\gamma)$$

$$\eta_r = 0,98 - (0,6\eta_{ut}\gamma)$$

Si ipotizza quindi che venga effettuato tale intervento di installazione delle sonde esterne e dei dispositivi per una regolazione centralizzata (valvola a tre vie, centralina di regolazione...).

Si valuta così il miglioramento del rendimento di regolazione per i tre casali e la diminuzione del loro fabbisogno termico:

Tabella 9.2.2-1 : Risultati dell'intervento di installazione delle centraline climatiche

	Prima dell'intervento		Dopo l'intervento		Diminuzione percentuale di Q_{tr}	Risparmio di combustibile conseguito
	η_r	Q_{tr}	η_r	Q_{tr}		
		kWh/m ² stagione		kWh/m ² stagione		l/casale stagione
Casale B	0,878	59,21	0,918	56,63	4%	84
Casale D	0,875	73,7	0,915	70,48	4%	64
Casale Spagnolo	0,88	64	0,924	61,25	4%	170

9.2.3 Possibili interventi per l'ottimizzazione del contratto di fornitura elettrica e per la sensibilizzazione dell'utenza al risparmio energetico

Ricollegandosi a quanto detto nell'introduzione al presente capitolo 9.2, propongo due possibili interventi: il primo, considerando che si tratta di edifici del WWF, potrebbe essere quello di una ottimizzazione del contratto di fornitura e un passaggio dal contratto attuale a quello detto "Enel Green" che assicura al contraente la fornitura di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili.

Spiego brevemente di cosa si tratta:

La società Enel Energia ha lanciato un nuovo contratto denominato Energia Verde [30],[31], destinato alle grandi Aziende clienti particolarmente sensibili alle tematiche ambientali, quindi adatto all'ente WWF. Grazie al progetto Energia Verde, Enel Energia può offrire loro la fornitura di energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili mediante l'acquisto di certificati RECS, il sistema di finanziamento volontario della produzione di energia verde accreditato a livello internazionale. Il progetto RECS (Renewable Energy Certificate System) è nato in ambito europeo per favorire lo sviluppo, sulla base di una certificazione standard, di un mercato volontario e internazionale di attestati di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Tali certificati vengono attribuiti all'energia

elettrica prodotta da fonti rinnovabili e vengono emessi nel paese dove è avvenuta la produzione, ma possono essere commercializzati o scambiati sui mercati internazionali. Grazie, infatti, al riconoscimento che il sistema dei RECS effettua sulla quantità di energia verde prodotta, Enel Energia può vendere al cliente la stessa quantità di energia elettrica, ma con l'attestazione che si tratta di energia "verde", con evidenti impatti positivi per distinti soggetti: per l'azienda che produce e vende energia pulita, per l'impresa cliente che compra l'energia verde e per il cliente finale che acquista il prodotto/servizio e che è sensibile alle tematiche ambientali.

Un altro intervento semplice, ma che ritengo importante per portare avanti un processo di formazione della coscienza del risparmio energetico da parte degli utenti dell'oasi, è quello di localizzare i contatori dell'energia elettrica, ma anche del combustibile e dell'acqua spesi, bene in evidenza, in modo che si prenda familiarità con le grandezze in gioco e con gli effetti che alcuni accorgimenti banali (spengere le luci quando si abbandona un locale, chiudere il rubinetto dell'acqua quando possibile) provocano sulla quota di risorsa spesa.

9.3 Risorsa “acqua”

Il problema della sempre minore disponibilità di acqua e dell'aumento costante del consumo di essa da parte nostra (e del suo prezzo) è una realtà ormai a cui dobbiamo far fronte. Ci sono tanti semplici interventi attraverso cui potremmo ridurre l'uso o riciclarla. Tra l'altro alcuni sono decisamente sperimentati: fino a pochi decenni fa e ancora oggi in qualche casa di campagna, il recupero delle acque piovane era, diciamo, già compreso nell'idea di podere e di abitazione. Quindi se non sono presenti determinati accorgimenti è solo per una questione di attenzione e lungimiranza. Oppure l'installazione di dispositivi tecnici per la riduzione o la regolazione della portata di acqua degli apparecchi sanitari, risulta un accorgimento piuttosto semplice e immediato.

Insomma numerosi sono gli interventi praticabili che consentono un notevole risparmio idrico verso i quali c'è stata recentemente una crescita di interesse da parte sia del mondo scientifico che delle autorità politiche e competenti. Esistono apparecchi che permettono di risparmiare fino al 50% di acqua fredda e calda: dimezzare il fabbisogno di acqua comporta non solo un risparmio di acqua potabile (il cui uso principale è appunto quello di essere bevuta, non di essere usata per lavarsi e quant'altro!), ma anche di combustibile per la produzione di ACS e, nel nostro caso, anche un dimensionamento minore dell'impianto solare termico e di ogni altro impianto a valle della rete interna di acqua. I vantaggi quindi e l'importanza dell'oculatezza nel consumo di acqua sono veramente notevoli. D'altro canto vi è poi il tema del trattamento delle acque, a monte del loro utilizzo: è opportuno ricordare che specialmente negli edifici di campagna non collegati alla rete fognaria è molto frequente rilevare impianti di depurazione delle acque di scarico interne decisamente insufficienti.

Quindi vorrei dare un prospetto dei possibili interventi da attuare nei casali per una corretta gestione dell'acqua e per un oculato sfruttamento di tale preziosa risorsa.

9.3.1 Installazione dei dispositivi di economizzazione idrica

Abbiamo citato prima i dispositivi che permettono una riduzione del fabbisogno idrico dell'edificio: di comune e semplice utilizzo sono i sistemi di riduzione del flusso idrico applicabile sulla rubinetteria e sulle docce, ed i sistemi per il risciacquo WC.

Riduttori di flusso

Nel mercato esiste un'ampia offerta di dispositivi che razionalizzano il consumo dell'acqua: rubinetti con temporizzatore, con sistemi elettronici a sensori, limitatori di flusso, diffusori, rubinetti monocomando, limitatori di pressione ecc... Nel caso dell'oasi, però non occorre secondo me installare apparecchi complicati e che possono rompersi facilmente (penso alle prime due tipologie), perché l'utenza, bisogna ricordare, è principalmente costituita da ragazzi. Quindi un dispositivo adatto potrebbe essere il diffusore. Il suo principio di funzionamento è semplice: l'acqua in uscita dal rubinetto viene miscelata con l'aria, in qualsiasi condizione di richiesta di acqua (sia per bassa che per alta pressione di esercizio) tramite un aeratore cilindrico posto all'estremità dell'apparecchio e bene in vista. Sono forniti anche di un limitatore di flusso (detto anche regolatore di apertura), che regola meccanicamente il passaggio massimo della portata di acqua; esso viene regolato manualmente (con un cacciavite) al momento dell'installazione ed è posto fra la chiave di chiusura e il flessibile, nel caso di installazione su rubinetti, e tra il rubinetto e il flessibile nel caso di applicazione a docce: l'effetto prodotto è un aumento di volume dell'acqua, in modo che, con un flusso minore, si ottengano lo stesso effetto con la stessa comodità. Il risparmio di acqua stimato dipende dalla regolazione effettuata, ma si stima essere complessivamente tra il 30% e il 70%. Può darsi eventualmente che l'apparecchio a parità di utilizzo venga tenuto in funzione per un numero maggiore di secondi, e quindi bisognerà essere cautelativi nella stima del risparmio, che comunque risulta notevole. Occorre inoltre accertarsi che l'acqua non sia troppo ricca di calcare, che porterebbe in breve a problemi di otturazione, e, chiedere al rivenditore, un dispositivo adatto (magari in plastica).

Un'altra tipologia di rubinetto, molto diffusa oggi (in commercio sono quasi tutti di questa tipologia) sono i rubinetti monocomando, ovvero quelli in cui è presente una sola manopola di azionamento e di miscelazione: ciò permette una regolazione più veloce e migliore del flusso d'acqua e della sua temperatura, evitando sprechi di acqua ogni qualvolta si debba ritrovare il punto ottimale delle condizioni di erogazione. Un eguale dispositivo, applicato però alla doccia, è l'interruttore meccanico di flusso, che permette di interrompere il flusso e riattivarlo mantenendo le stesse condizioni di temperatura.

Sistemi per risciacquo WC

Un semplice sistema di riduzione del consumo idrico per risciacquo WC applicabile ad apparecchi convenzionali presenti è quello dei limitatori di scarico: sono dispositivi che vengono incorporati nel bacino di traboccamento o sopra la valvola di scarico del vaso. Quando si aziona normalmente la cisterna, il dispositivo fa sì che la valvola si chiuda dopo uno scarico di pochi litri. Se si ha bisogno di uno scarico maggiore, basterà tener premuto il pulsante più a lungo. Un altro semplice sistema è quello con un meccanismo di interruzione dello scarico: la cassetta di scarico ha un unico pulsante, che interrompe lo scarico dell'acqua se viene premuto una seconda volta oppure quando si smette di premerlo. Questo sistema è disponibile per moltissime marche di sanitari e permette uno svuotamento parziale (4-6 litri) o totale (9-12 litri) della cisterna. In alternativa ai sistemi già citati, esiste lo scarico con doppio pulsante. A seconda del pulsante utilizzato, si ha svuotamento parziale o totale della cisterna.

Stimiamo ora vantaggi dell'applicazione di tali dispositivi e le conseguenze nel caso del fabbisogno idrico e di energia termica per produzione di ACS.

Ipotizzo che vengano installati i diffusori su tutti i lavelli e tutte le docce (eccetto nella cucina del Casale B dove già sono presenti), con percentuale di riduzione del flusso del 30%. Essa è stata considerata così bassa per tenermi cautelativa e per considerare che magari, seppure sia ridotto il flusso, comunque l'apparecchio potrebbe essere tenuto in funzione per maggior tempo. Lo stesso, considero un cambiamento di tutti i sistemi di risciacquo dei vasi, in modo che consumino invece di 15 litri di acqua per scarico (come da valore di riferimento [8]) una media di 9 litri per scarico.

Per tutti gli usi tradizionali precedenti all'intervento, mi sono riferita ai seguenti valori riportati in [8]:

Pulizie personali giornaliere (acqua fredda) = 60 l/giorno/persona

Usi igienici (scarico WC) = 60 l/giorno/persona (15 l/scarico)

Doccia (acqua calda) = 50 o 70 l/persona/giorno

Vitto e lavaggio stoviglie (acqua calda) = 20 l/giorno/persona

Vitto e lavaggio stoviglie (acqua fredda) = 20 l/giorno/persona

Per quanto riguarda il casale Spagnolo si assumono le richieste di acqua calda già dette nel capitolo 6 e una richiesta complessiva di acqua fredda pari a 10-15 l/giorno/persona per

uso lavabo e a 15 l/giorno/persona per usi igienici. Invece per quanto riguarda l'unico occupante previsto, la richiesta d'acqua è la stessa del casale B.

Riporto qui sotto il fabbisogno idrico (Q_w) precedente e successivo all'intervento, sia in termini di acqua calda che fredda. Il numero di giorni di occupazione nella stagione di riscaldamento è assunto pari a 30, mentre su periodo annuale si hanno 187 giorni di occupazione (come inizialmente specificato in tab.0-1).

Tabella 9.3.1-1 : Fabbisogno idrico prima dell'intervento di riduzione di esso

	Numero di utenti dell'edificio	Quantità acqua calda giornaliero	Quantità acqua calda e fredda giornaliero	Quantità totale di acqua calda	Quantità totale di acqua calda e fredda
		l/giorno persona	l/giorno persona	l/giorno	l/giorno
Casale B	12 + servizio cucina	50+13*57 (servizio cucina)	170 + 26*57	1341	3522
Casale C	27	70	190	1890	5130
Casale D	20	70	190	1400	3800
Casale Spagnolo	1 fisso + 30	50 + 5	170+30	200	1070
Totale stagionale					405 m³/stagione
Totale annuo					2528 m³/anno

Tabella 9.3.1-2 : Fabbisogno idrico dopo l'intervento di installazione degli apparecchi economizzatori

	Quantità acqua calda giornaliero	Quantità acqua calda e fredda giornaliero	Quantità totale di acqua calda	Quantità totale di acqua calda e fredda
	l/giorno persona	l/giorno persona	l/giorno	l/giorno
Casale B	35 + 13*57 (servizio cucina)	113+ 26*57	1161	2838
Casale C	50	128	1323	3456
Casale D	50	128	980	2560
Casale Spagnolo	3,5 + 35	20 + 113	140	713
Totale stagionale				287 m³/stagione
Totale annuo				1789 m³/anno

Quindi il risparmio percentuale della risorsa idrica è pari al **29%**, sia nella stagione di riscaldamento che su base annuale.

Oltre alla riduzione di acqua prelevata dall'acquedotto, tale intervento comporta anche la riduzione della spesa energetica per produzione di acqua calda sanitaria. Riporto quindi un prospetto con i risultati dell'intervento, in termini di riduzione del fabbisogno di energia primaria per produzione di ACS, di riduzione complessiva di acqua spesa e di riduzione di combustibile utilizzato. Si assume che la percentuale di carico coperta dall'impianto solare nel casale C dopo l'intervento sia pari al 20% nel periodo invernale e al 9,4% su periodo annuale (nel capitolo 9.4.1 verifico tale assunzione e riporto il calcolo): questi due valori di copertura solare sono maggiori rispetto ai corrispondenti valori precedenti all'intervento (pari a 15% di copertura annua e 6,8% di copertura nella stagione di riscaldamento). Questo conferma la bontà di questo intervento sotto molti punti di vista. La tabella riporta nei due periodi temporali analizzati il fabbisogno di energia primaria per produzione di ACS rispettivamente prima e dopo l'intervento.

Tabella 9.3.1-3 : Risultati dell'intervento di installazione dei dispositivi per l'economizzazione idrica

	Periodo stagionale		Periodo annuale		Diminuzione percentuale Q_{ACS}	Risparmio di combustibile
	Q_{ACS}	Q_{ACS}	Q_{ACS}	Q_{ACS}		
	kWh/m ² stagione	kWh/m ² stagione	kWh/m ² anno	kWh/m ² anno		l/anno
Casale B	10,25	9,18	66,35	59	11%	240
Casale C	14,23	10	84,15	57,6	30%	667
Casale D	15,15	10,87	98	70	30%	560
Casale Spagnolo	1,04	0,728	4,3	3	30%	81
	7002 kWh/stagione	5376 kWh/stagione	42999 kWh/anno	32775 kWh/anno		1548 (1 GPL/anno)
Risparmio annuale e stagionale					23,7%	

Ancora una volta si capisce come i consumi stimati qui in via teorica e quelli effettivi ricavabili dalle bollette risultano diversi. Nel caso del consumo di acqua la stima annuale fatta da me è di 2549 m³/anno, mentre quella effettiva è di 1100 m³/anno, già comprensivi però della presenza di un impianto di riciclo delle acque chiare. La differenza è comunque imputabile al numero di giorni di occupazione forniti dal WWF, che non corrispondono a quelli di effettivo utilizzo degli edifici negli anni passati. Per questo sono molto importanti i valori percentuali, e non assoluti, di diminuzione del fabbisogno idrico e di energia primaria.

9.3.2 Secondo intervento: Riciclo delle acque grigie, sostituzione degli impianti presenti nei casali D e C e creazione ex-novo nel casale B

Oltre ai precedenti accorgimenti, vi sono interventi che operano una riduzione del consumo di acqua non a monte dell'utilizzo, bensì riciclando le acque usate o recuperando quelle meteoriche che andrebbero altrimenti perse.

A riguardo sono possibili i seguenti interventi: il recupero delle acque piovane e il riciclo delle acque grigie.

Il recupero delle acque piovane, in questo caso specifico, non mi sembra molto proficuo perché la caratteristica occupazionale dimostra che gli edifici sono occupati a pieno carico nei mesi estivi, durante i quali notoriamente le precipitazioni sono minori: il serbatoio di accumulo fornirebbe acqua solo per i primi giorni di utilizzo e dopo verrebbe ricaricato raramente. Inoltre, poiché non sono presenti le grondaie, occorrerebbe costruirle ex novo, sempre che sia consentito dai vincoli della Sovrintendenza.

Ho trovato più interessante la tipologia di recupero delle acque grigie da docce e lavabi, perché è svincolata dai dati climatici e perché lega insieme consumo di acqua potabile da parte dell'utente, ricarica del deposito d'acqua e successivo consumo di acqua riciclata. Inoltre, cosa assolutamente da non trascurare, sono già presenti ben due impianti a questo scopo, che è necessario sostituire perché inefficienti.

Gli impianti presenti sono asserviti al Casale D e al Casale C e sono della stessa tipologia: consistono cioè di un pozzetto per filtrare inizialmente l'acqua di scarico e poi di un serbatoio interrato di circa 1000 litri, in cui periodicamente gli utenti inseriscono delle pastiglie a base di cloro. Le acque riciclate vengono reimmesse nel circuito di alimentazione del risciacquo dei WC. I due impianti sono, a detta degli utenti, decisamente obsoleti e inefficienti, fornendo un'acqua mal depurata e poco igienica.

Quindi ho ipotizzato di sostituire gli impianti esistenti per il recupero delle acque delle docce e dei lavabi, con tre nuovi asserviti ai casali C, D e B che però sfruttino le condotte già presenti di adduzione delle acque da riciclare e quelle asservite all'alimentazione dei WC. Non ho ipotizzato l'installazione di un impianto simile nel Casale Spagnolo perché ha una produzione di acqua riciclabile e una richiesta di acqua riciclata minori rispetto agli altri casali (ad esempio le docce non vengono praticamente mai usate), ma ciò non toglie che in un secondo momento non possa essere esteso l'intervento anche in questo casale.

Il riutilizzo delle acque grigie deve essere progettato in modo da garantire un appropriato trattamento prima del riutilizzo, tale da rispettare ogni norma igienico-sanitaria; e una adduzione separata dalla normale rete dell'acqua potabile ai sevizi per i quali è possibile utilizzare l'acqua riciclata. Quest'ultima cosa è già presente nei Casali D e C perché asservita all'attuale impianto. Inoltre il serbatoio di accumulo va ben dimensionato per le effettive necessità e produzioni di acqua da riciclare.

I sistemi di trattamento che è possibile utilizzare sono principalmente tre, quello che utilizza un sistema di fitodepurazione (vedi paragrafo successivo), quello a membrana (MBR), quello invece che agisce con filtri automatici e igienizzazione UV (SBR).

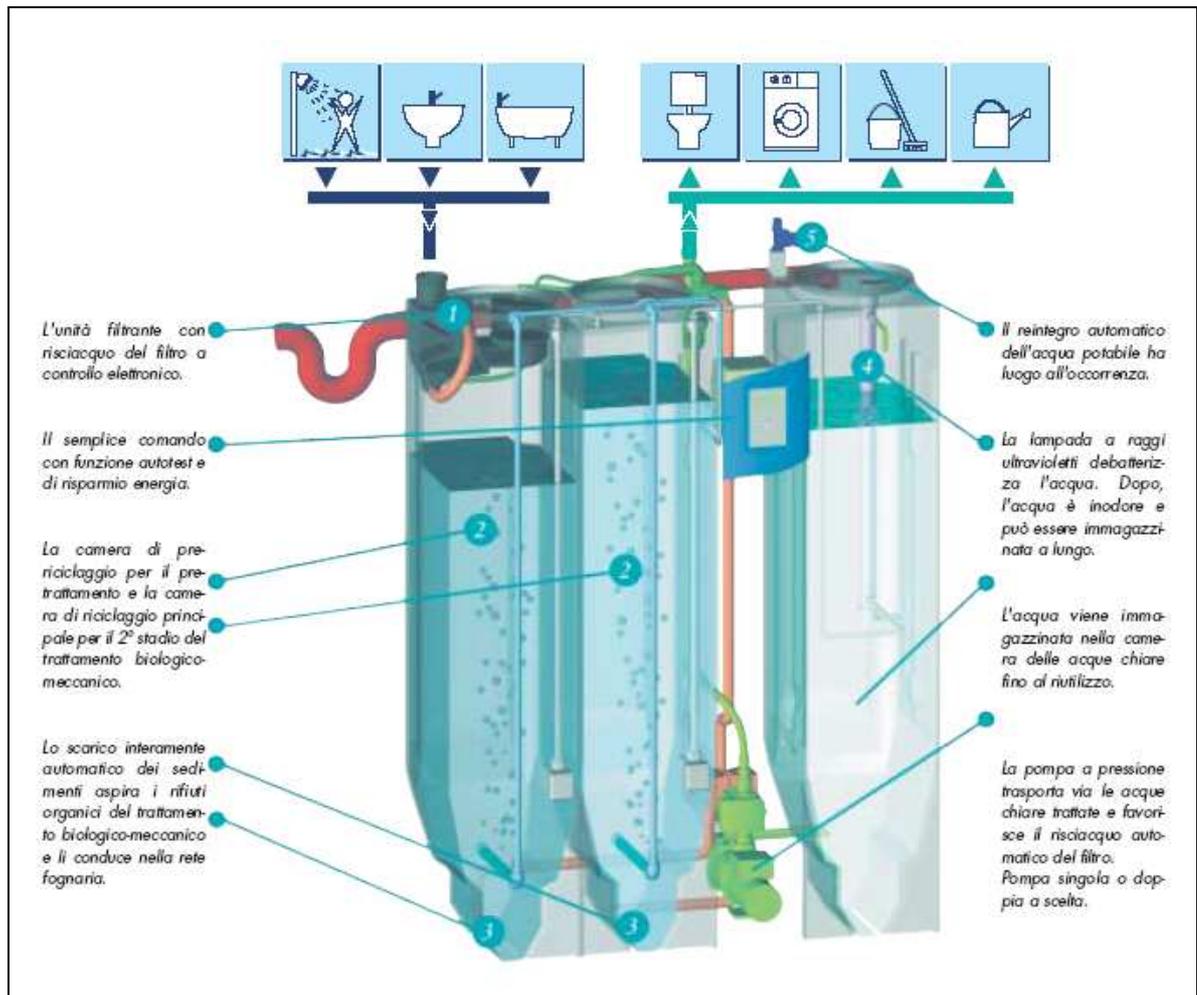
Ho preso in considerazione questo ultimo tipo di depurazione perché ritengo sia il più tecnologicamente avanzato e allo stesso tempo comporta un minor volume di deposito necessario. Inoltre il filtro di pretrattamento per la depurazione da capelli e sedimenti vari è già incorporato nel sistema. Bisogna però considerare che gli attuali depositi sono interrati, mentre questo sistema prevede l'alloggio in locali interni.

Uno dei produttori di tali sistemi di recupero acque con sistema SBR è l'azienda tedesca PONTOS [15].

Il sistema brevettato Aquacycle® si può suddividere in varie fasi:

- Prefiltraggio delle acque provenienti da docce e lavabi con risciacquo automatico del filtro. La lanugine e i capelli e ogni altra particella più grande viene qui filtrata prima di passare agli stadi successivi.
- Primo trattamento nella camera di prericiclaggio con colture biologiche che decompongono la sporcizia contenuta nell'acqua.
- Secondo trattamento biologico nella camera principale di riciclaggio
- Scarico costante in rete fognaria dei sedimenti organici formati nelle due camere durante il trattamento biologico (vengono aspirati).
- Debatterizzazione e igienizzazione tramite raggi UV dell'acqua proveniente dalla camera di prericiclaggio. Prima di giungere nel serbatoio delle acque chiare, l'acqua attraversa una lampada a raggi ultravioletti che la igienizza e che fa sì che soddisfi i requisiti della direttiva UE per le acque di balneazione.
- Reintegro automatico con acqua potabile in caso di basso livello del serbatoio delle acque chiare per garantire sempre alimentazione ai carichi.

Figura 9.3.2-1 : Schema di funzionamento dell'impianto per il riciclo delle acque grigie PONTOS



Valutazione e dimensionamento di massima dell'impianto

Occorre ora valutare la taglia dell'impianto da installare.

Come già notato, vi sono alcuni interventi che condizionano fortemente il dimensionamento e le prestazioni di altri interventi successivi. In questo caso, se viene realizzato l'intervento che prevede l'installazione di riduttori di flusso e diffusori in ogni doccia e lavabo, e viene ridotto il consumo di acqua per risciacquo WC, allora il dimensionamento dell'impianto di recupero di tali acque subisce una notevole riduzione.

Ipotizzo quindi che questo intervento di recupero delle acque grigie sia posteriore all'installazione di economizzatori idrici per essere cautelativa sul dimensionamento dell'impianto.

La produzione di acqua da docce e lavabi dei casali B, C e D si può calcolare così come fatto per l'intervento precedente in base al riferimento [8] e al modello di calcolo di Kessel GmbH [14], e vengono qui riportati per chiarezza :

Consumo idrico doccia in presenza di riduttori per casale B = 35 l/giorno/persona

Consumo idrico doccia in presenza di riduttori per casali C e D = 50 l/giorno/persona

Consumo per pulizia personale = 60 l/giorno/persona

Consumo per pulizia personale in presenza di riduttori = 42 l/giorno/persona

Consumo per vaso tradizionale WC = 15 l/scarico

Consumo medio per vaso a doppia mandata = 8-10 l/scarico

Consumo giornaliero per vaso a doppia mandata = 40 l/persona/giorno

Consumo pulizie di casa = 2 l/persona/giorno

Non sono presenti lavatrici.

Purtroppo l'acqua riciclata non può essere utilizzata per sciacquare le stoviglie.

Si possono quindi stimare in base al numero di occupanti, la quota di acqua di scarico prodotta da docce e lavabi; e la quota di acqua riciclata richiesta per il risciacquo WC, per le pulizie di casa, per innaffiaggio, che coincide con la quota massima di acqua che è possibile risparmiare, non prelevare dalla rete dell'acquedotto. Inoltre l'acqua riciclata può essere utilizzata anche per il lavaggio degli indumenti, nonostante non ci siano lavatrici.

Tabella 9.3.2-1 : Valutazione della richiesta di acqua riciclabile e della produzione di acque grigie

	Occupanti	Produzione acqua riciclabile	Richiesta acqua riciclata
		l/giorno	l/giorno
Casale B	12	924	504
Casale C	27	2484	1134
Casale D	20	1840	840
Acqua risparmiata (l/giorno)			2478

La disparità tra produzione di acqua riciclabile e richiesta di acqua riciclata è abbastanza marcata, ma vi sono molti usi, come quello per innaffiare e per lavaggio indumenti che io non ho considerato perché non è attualmente presente, ma che potrebbero invece svilupparsi in futuro. Inoltre ho forse sovrastimato il consumo di acqua per igiene personale.

Quindi sono ipotizzabili le seguenti installazioni :

Nel Casale D e B è possibile installare l'impianto AquaCycle® 900, che permette il trattamento di 600 litri di acqua al giorno. Seppure non tratti tutta l'acqua prevista prodotta da docce e lavabi, occorre ricordare che comunque il fabbisogno di tale acqua riciclata non è tale da scegliere l'impianto di taglia superiore (che tratta 1000 litri al giorno). Inoltre bisogna verificare che vi sia un opportuno luogo di installazione perché i depositi, seppure compatti, rimangono abbastanza grandi (le dimensioni in questo caso sono di 1,8x1,35x0,64 m³)

Nel Casale C è possibile invece installare l'impianto AquaCycle® 1500, che permette il trattamento di 1000 litri d'acqua al giorno, e ben si adatta al carico previsto. Anche in questo caso occorre trovare un corretto luogo di installazione, perché le dimensioni di ingombro sono di 1,8x2x0,66 m³.

Volendo ora, dopo il dimensionamento, fare una stima di massima dell'acqua che si evita di prelevare adottando tale intervento, occorre moltiplicare la quota di acqua riciclata prodotta giornalmente per il numero di giorni di occupazione annuali, pari a 187. Da ciò si ottiene una riduzione percentuale di acqua conseguita pari al 23% rispetto al valore annuo di 1789 m³/anno posteriore all'intervento di installazione di economizzatori idrici (vedi tab.9.3.1-2).

Tabella 9.3.2-2 : Valutazione del risparmio di acqua dopo l'intervento di recupero delle acque grigie

	Occupanti	Numero di giorni annui di occupazione	Richiesta acqua riciclata	Produzione di acqua riciclata	Acqua risparmiata
		giorni	l/giorno	l/giorno	l/anno
Casale B	12	187	504	600	112200
Casale C	27	187	1134	1000	187000
Casale D	20	187	840	600	112200
Acqua risparmiata (m ³ /anno)					411 (riduzione del 23%)

9.3.3 Impianto di fitodepurazione delle acque interne di scarico

Prima di trattare dell'intervento in sé per sé, occorre capire il trattamento convenzionale dei reflui civili e quello invece attualmente presente delle acque di scarico nei casali.

Ogni edificio può essere provvisto di due tipologie di reti di scarico, ovvero di tubazioni che scaricano i liquami all'esterno dello stesso, e che li trattano prima dell'immissione in ambiente[8]:

-La rete di scarico delle acque piovane (acque meteoriche)

-La rete di scarico interna e le successive eventuali fosse settiche di trattamento dei liquami di scarico (acque nere e acque grigie).

Senza entrare nello specifico e nel dimensionamento di tali reti di scarico, già peraltro esistenti perchè trattiamo di edifici esistenti, si può dire che la rete di scarico delle acque piovane si compone di tratti orizzontali (canali di gronda), di tratti verticali (canali pluviali) e di tratti di raccolta dei pluviali detti collettori. In base alla piovosità del sito, alla tipologia e alla pendenza del tetto, alla superficie di esso, si avranno diversi diametri e tipologie dei canali di gronda e dei pluviali. Il collettori sono situati a terra e convogliano l'acqua raccolta nelle fosse di scarico. Nel caso dell'oasi di Orbetello la rete di scarico delle acque piovane non esiste in nessun casale.

La rete di scarico interna invece si compone di tratti orizzontali che raccolgono gli scarichi degli apparecchi sanitari piano per piano (diramazioni), di tratti verticali che raccolgono gli scarichi delle diramazioni (colonne), di tratti orizzontali posto sotto il piano terra che raccolgono gli scarichi delle colonne e sono detti collettori.

A valle della rete di scarico interna degli edifici si hanno i collettori dei liquami prodotti.

I collettori di scarico della rete portano il materiale scaricato all'interno di recipienti di raccolta in cui il materiale subisce una depurazione detta "chiarificazione" e quindi si scarica nella rete fognaria, se esiste, oppure viene disperso a terra o in mare o nei corsi d'acqua. Se lo scarico dei liquami chiarificati deve avvenire nel terreno, esso deve effettuarsi in modo tale da disperdere il liquido nel terreno e non concentrarlo in una zona: ciò si ottiene con una rete di tubazioni immerse in profondità nel terreno dette "fogne perdenti" o tramite un solo pozzo forato alla base, detto "pozzo perdente", ciò nel caso in cui il terreno sia sufficientemente poroso da disperdere il liquame in un ampio raggio. Tali sistemi di smaltimento devono avvenire a una distanza di almeno 30 metri da eventuali pozzi di approvvigionamento di acqua.

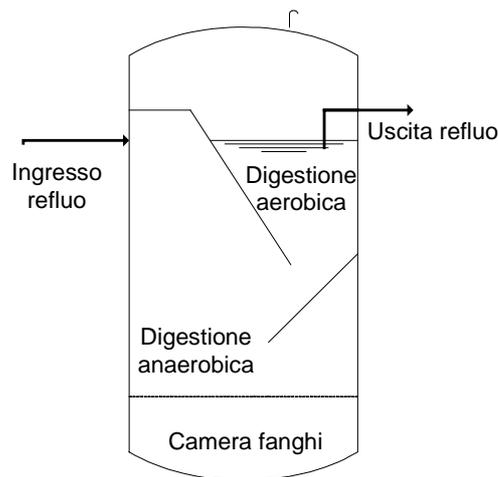
Il fenomeno di chiarificazione che precede lo scarico all'esterno dei liquami si può suddividere in due fasi successive:

-La prima, detta anaerobica, avviene fuori del contatto con l'aria ad opera di microorganismi che vivono in un ambiente privo di ossigeno. In tale fase il liquame si trasforma in liquido con sostanze in sospensione.

-La seconda, detta aerobica, avviene a contatto dell'aria ambiente o in particolari recipienti detti filtri nitrificatori (riservati questi ultimi a grossi impianti). In tale fase microorganismi che vivono in presenza di ossigeno trasformano la sospensione ottenuta precedentemente in soluzione limpida.

In piccoli impianti le due azioni possono avvenire nello stesso recipiente detto "fossa settica" o "pozzo nero", la prima nella parte inferiore, fuori dal contatto dell'aria, la seconda superiormente, a contatto con l'aria.

Figura 9.3.3-1: Schema della fossa settica



Inoltre nelle fosse settiche si ha una prima fase di sedimentazione del refluo. Le fosse settiche prendono varie forme con maggiore diffusione di quella cilindrica per il minore ingombro in pianta che ne facilita l'installazione. Le fosse settiche hanno un volume totale che è proporzionale alla quantità di scarico trattato e quindi al numero di utenti servito e inoltre sono progettate in modo tale che il tempo di permanenza sia opportuno e la turbolenza non causi un rimescolamento del refluo chiarificato della zona inferiore con quello superiore. Il comparto inferiore della fossa settica serve per le sostanze sedimentate che non vengono trasformate e quindi scaricate. Una volta riempita tale parte inferiore di fanghi, la fossa non funziona più e dovrà quindi essere ripristinata con lo svuotamento dei fanghi (manutenzione ordinaria).

E' necessario che nelle fosse settiche non venga scaricata l'acqua piovana poiché è ricca di ossigeno e creerebbe una volta giunta nella parte inferiore della fossa un ambiente aerobico, nocivo e non opportuno per i microrganismi che agiscono in tale fase.

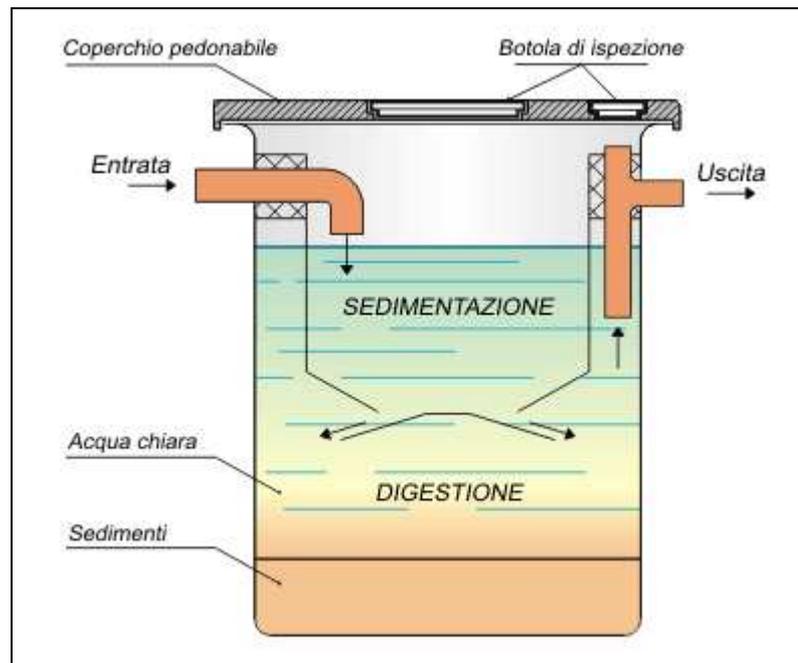
Per trattare invece i grassi contenuti negli scarichi della cucina, occorre adottare degli accorgimenti in più: questi infatti, ponendosi alla superficie del liquido e solidificando, sarebbero di ostacolo alla vita dei microrganismi che agiscono alla superficie della fossa. Perciò viene installata in uscita dagli apparecchi sanitari della cucina, prima della colonna di scarico che porta alla fossa, una camera condensa-grasso, in cui il grasso solidifica on superficie e permette al di sotto di esso un normale flusso di liquame verso la fossa settica. Occorre periodicamente asportare la condensa superficiale. Se non si ha tale installazione, allora è bene che gli scarichi della cucina abbiano una propria fossa settica, da cui periodicamente si debba asportare la crosta superficiale di condensa -grasso e che effettua una chiarificazione parziale.

Un effetto analogo al grasso è creato dalle schiume derivanti da detersivi, per cui è opportuno accertarsi che essi non creino schiume permanenti.

In alternativa alla fossa settica singola, si possono avere più serbatoi dedicati alla sedimentazione e alle digestioni aerobica e anaerobica separatamente, detti tricamerati.

Il trattamento dei materiali liquidi sanitari negli edifici del casale della Giannella avviene tramite tre fosse settiche semplificate, dette fosse "Imhoff" [16], [18]. Queste, che sono le più diffuse negli edifici rurali privi di allacciamento alla rete fognaria, non permettono di effettuare interamente il procedimento di chiarificazione prima esposto: infatti sono composte da due scomparti sovrapposti ed in comunicazione idraulica tra di loro. Quello superiore, conformato a tramoggia con fessure di fondo, consente la sedimentazione delle sostanze sospese contenute nel liquame che lo attraversa longitudinalmente, mentre lo scomparto inferiore, conformato a piramide rovescia al fondo, è destinato all'accumulo progressivo ed alla conseguente digestione anaerobica del fango che vi perviene in continuità, attraverso le fessure di fondo del soprastante vano. Si nota quindi che non vi è la seconda fase di trattamento aerobico del refluo.

Figura 9.3.3-1: Vasca biologica IMHOFF per smaltimento reflui [16]



Esse sono tutte collocate nelle vicinanze dell'utenza: una asservita al trattamento degli scarichi del casale spagnolo e del casale D; le altre due asservite ai due casali B e C. Giacché non vi è un collegamento con la rete fognaria locale, ogni fossa settica ha poi un proprio pozzo perdente che disperde il refluo chiarificato nel terreno vicino.

Normativa vigente per il trattamento dei reflui degli edifici

Per quanto riguarda le acque reflue (nere e grigie) la normativa vigente (quella nazionale sotto riportata, così come quella regionale) obbliga a dotarsi di opportuni sistemi di trattamento delle acque o in alternativa ad allacciarsi alla rete fognaria. Infatti secondo il testo unico sull'ambiente 152/2006 così come il Decreto Legislativo 152/1999: “Gli scarichi degli impianti di trattamento con potenzialità inferiore o uguale a 2000 abitanti equivalenti per scarichi in acque dolci ed in acque di transizione [...] devono essere sottoposti ad un trattamento appropriato che garantisca la conformità dei corpi idrici recettori ai relativi obiettivi di qualità o la tutela delle acque sotterranee nel caso di scarico nel suolo...”. In particolare il Regolamento Regionale indica tra le varie tipologie dei trattamenti depurativi appropriati, per piccoli insediamenti, la fitodepurazione, perché semplice ed economica da gestire. Inoltre il trattamento in situ delle acque reflue sono spesso maggiormente ecosostenibili rispetto all'allaccio alla pubblica fognatura (che

peraltro andrebbe progettato ex novo per i locali dell'oasi) in quanto consentono di recuperare nutrienti che andrebbero perduti (logica del riciclaggio) e eventualmente recuperare le acque in uscita dall'impianto di fitodepurazione con conseguente utilizzo per scopi secondari – irrigazione e altro.

Inoltre la tipologia di depurazione attualmente presente nell'oasi, poco spinta, potrebbe costituire una possibile fonte di inquinamento delle falde freatiche e della laguna stessa, essendo questa a pochi metri dagli edifici stessi.

Dunque gli impianti di smaltimento presenti nell'oasi, che non ha allacciamento alla rete fognaria, non sono più accettabili.

Impianto di fitodepurazione: principio di funzionamento [17]

La tecnica della fitodepurazione si basa sulla naturale capacità di alcune essenze arboree (canna palustre e altre) di assimilare i nutrienti e trasferire l'ossigeno captato dagli apparati fogliari esterni e ceduto dalle radici alle acque o semplicemente diffuso dalla superficie della vasca verso l'interno: si viene così a creare un ambiente ricco di microrganismi in grado di ridurre le sostanze inquinanti in esse presenti. Tutto ciò è associato alla capacità del suolo stesso di depurare ciò che in esso arriva e permane.

L'impianto consiste in una prima sezione di sedimentazione primaria dei reflui (le fosse "Imhoff" già presenti), e poi da un pozzetto con un filtro poliuretano inserito in un cestello estraibile realizzato in materiale plastico. Questo filtro impedisce alle particelle che non si dovessero sedimentare prima, di entrare nel bacino di fitodepurazione. In seguito il refluo entra nella vera e propria vasca (o bacino) di fitodepurazione. Questo è costituito da un vaso impermeabilizzato (tramite uno strato di base argilloso o una membrana sintetica per evitare l'infiltrazione di acque non depurate nel sottosuolo) riempito con materiale inerte (ghiaia, pietrisco, sabbia, torba) in stratigrafia e granulometria controllata. Questo costituisce il supporto su cui si sviluppano le radici delle piante emergenti. All'interno del materiale drenante verranno poste le tubazioni in pvc di drenaggio e di scarico. Superficialmente le vasche saranno piantumate con piante classiche da fitodepurazione (*tipha*, *phragmites australis*) o piante classiche autoctone (*lauro ceraso*, *salix rosmarinifolia*...) o piante da aiuola (*canna indica*, *iris levigata*, *cotoneaster*...). Tali piante, trovandosi in una zona umida artificiale innescano una serie di processi biologici e non biologici: l'assorbimento di nutrienti biochimici attraverso le

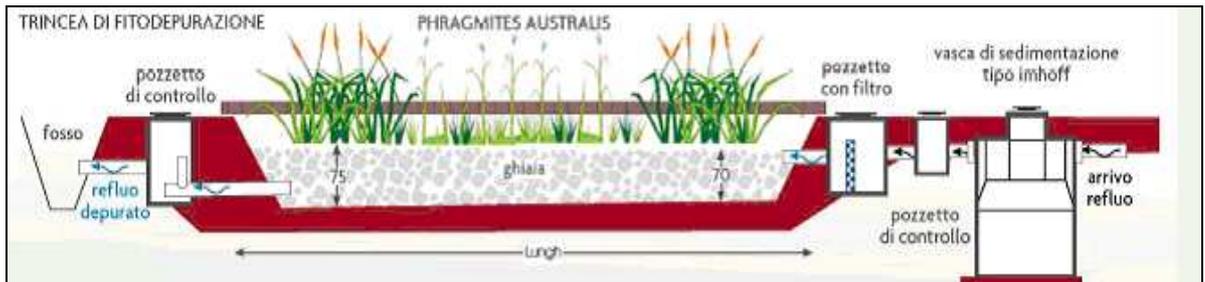
radici delle piante; l'azione di filtrazione meccanica da parte del terreno; l'adsorbimento e lo scambio di ioni nelle divisioni stabili del terreno; la decomposizione microbica...Il reale meccanismo di depurazione si basa così non solo sulle piante del canneto, ma in primo luogo sui microrganismi che colonizzano gli apparati radicali delle piante e le particelle del terreno. La vegetazione, con le sue radici e rizomi sotterranei, provvede ad una buona permeabilità e aerazione del terreno, ad una buona ossidazione del refluo e alla creazione di una alternanza di zone aerobiche e anaerobiche, perciò ad un ambiente adatto alla produzione di diverse famiglie di microrganismi. Questi però sono la reale causa del processo di abbattimento dei nutrienti e delle sostanze patogene contenute nel refluo. Nel processo depurativo è questo il meccanismo decisivo, molto più significativo dell'assorbimento operato dalle piante. I composti di carbonio e azoto vengono mediante i microrganismi, completamente trasformati in prodotti finali quali CO₂ e N₂. I composti del fosforo e i metalli pesanti invece vengono fissati per assorbimento sul materiale di riempimento sottostante, per cui quando esso non sarà più in grado di ricevere fosforo (dopo circa 20 anni di funzionamento), occorrerà rinnovare il terreno dell'impianto. In uscita dalla vasca di fitodepurazione si ha il refluo di scarico che, dopo il passaggio attraverso il pozzetto di ispezione, per un controllo del processo e delle caratteristiche dell'acqua, potrà essere riutilizzato per irrigare e innaffiare.

Nonostante tale descrizione appena fatta sia generale e valida per qualsiasi tipologia di sistema di depurazione, comunque si distinguono due differenti tipi di fitodepurazione, in base alla tipologia di flusso realizzato nel bacino.

▪ **Sistemi di fitodepurazione a flusso sommerso orizzontale:**

Tale tipologia di impianto detta anche "lagunaggio" è la più semplice e riproduce il funzionamento delle paludi: risulta inoltre particolarmente compatibile e adatta alla situazione dell'oasi della Laguna di Orbetello. Il flusso di acqua rimane costantemente al di sotto della superficie del vassoio assorbente e scorre in senso orizzontale grazie ad una leggera pendenza del fondo del letto (0,5-5%) ottenuta con uno strato di sabbia sottostante il manto impermeabilizzante. L'alimentazione del refluo è quindi costante e a pistone. È importante che la distribuzione del flusso d'acqua sia uniforme sulla superficie trasversale per evitare cortocircuiti idraulici.

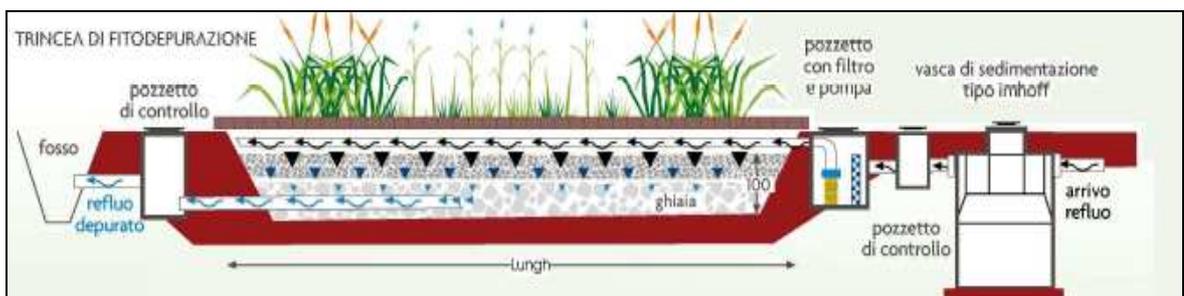
Figura 9.3.3-2 : Schema di vasca di fitodepurazione a flusso orizzontale [17]



▪ **Sistemi di fitodepurazione a flusso sommerso verticale:**

La configurazione di questi sistemi è del tutto simile a quelli a flusso sommerso orizzontale. La differenza consiste nel fatto che il refluo da trattare scorre verticalmente nella zona centrale della vasca di riempimento tramite percolazione e viene immesso nelle vasche con carico alternato discontinuo. Questa metodologia con flusso intermittente implica normalmente l'impiego di un numero minimo di due vasche in parallelo per ogni linea che funzionano a flusso alternato in modo da poter regolare i tempi di riossigenazione del letto variando la frequenza e la quantità di carico. Le essenze impiegate sono le medesime dei sistemi a flusso orizzontale, mentre variano le caratteristiche del letto di riempimento. La granulometria del materiale non è costante, ma si compone di uno strato di pietrame sul fondo, di alcuni strati di ghiaia di dimensioni variabili, e, superficialmente, di un manto di sabbia di circa 30 cm. Con questo metodo, relativamente nuovo sul mercato, si ottiene una migliore diffusione dell'ossigeno anche negli strati più profondi della vasca, infatti il fondo del letto è ben aerato. Il refluo giunge superficialmente nello strato di sabbia, che ne diminuisce la velocità, favorendo sia la denitrificazione che l'assorbimento del fosforo presente nel refluo da parte della massa solida filtrante. È importante che la distribuzione del refluo in superficie sia il più possibile uniforme. Inoltre occorre sempre verificare che in questa zona non si creino fenomeni di intasamento permanente dovuti al continuo apporto di solidi sospesi. Dopodiché il refluo percola attraverso gli altri strati di ghiaia e infine giunge alla sezione di uscita.

Figura 9.3.3-3 : Schema di vasca di fitodepurazione a flusso verticale [17]



Dimensionamento di massima della vasca di trattamento:

Sebbene il problema posto non si possa trattare facilmente e certamente non in questa sede, comunque la superficie di trattamento dipende principalmente dalla qualità e dalla tipologia di reflujo richiesto in uscita. In linea di massima servono circa 0,25-5 m²/abitante equivalente. L'abitante equivalente (a.e.) è una unità di misura standardizzata per valutare l'effettiva produzione di liquame da smaltire e per dimensionare i sistemi di trattamento. Essa dipende quindi dalla tipologia dell'edificio. Nel nostro caso, assimilato a "complesso ricettivo" occorre associare ad ogni posto letto un a.e.; nel caso la camera da letto abbia superficie superiore a 14 m², allora bisogna aggiungere un a.e. Inoltre per utilizzo stagionale è opportuno riferirsi alla potenzialità massima dell'edificio.

Tabella 9.3.3-1 : prospetto per il calcolo del numero di a.e. del complesso dei casali

	Numero di posti letto	Camere da letto con superficie > 14 m ²	Numero a.e.
Casale B	12	1	13
Casale C	27	2	30
Casale D	20	2	22
Casale Spagnolo	1	1	1
Totale			65

Quindi, indicativamente, la superficie della vasca di trattamento, presa una richiesta di circa 1 m²/a.e. è di 65 m².

Vi sono nello spazio verde vicino ai casali molti posti incolti e disponibili per installare la vasca di fitodepurazione, come si vede nella foto.



Fotografia 9.3.3-1 : Luogo antistante il casale C dove è possibile ubicare l'impianto di fitodepurazione

Riassumendo, i maggiori vantaggi della tecnica di fitodepurazione sono:

- Sistema conveniente in casi in cui l'impianto di scarico della rete urbana non è agevolmente collegabile o proprio non è collegato, ad esempio in zone di campagna: questa è un'ottima soluzione a basso costo rispetto alla creazione di tubazioni di collegamento e altro.
- Assenza di rifiuti da smaltire (come invece vengono prodotti dal sistema a fanghi attivi).
- Consumo di energia elettrica nullo eccetto che nei flussi sommersi verticali.
- Ridotta e facile manutenzione, che può essere eseguita dal personale dell'oasi
- Formazione di un'area verde perennemente irrigata e che non ha un impatto visivo negativo
- La possibilità di riutilizzare l'acqua depurata ancora ricca di nutrienti per irrigare l'orto o il giardino
- La creazione di acqua non potabile da utilizzare eventualmente all'interno della casa (ricarica vasi o altro)
- Minimo impatto ambientale
- Semplice funzionamento
- Creazione di biotopi umidi
- Riqualificazione degli ambienti degradati o non utilizzati
- Diffusione della tecnologia e dell'attenzione verso il risparmio idrico nei confronti degli utenti dell'oasi

9.4 Risorsa “sole”

L'energia solare è tra le fonti energetiche quella in maggiore abbondanza sulla Terra. L'interazione tra radiazione solare e edificio è veramente importante sotto molti aspetti: fornisce i già citati apporti gratuiti solari che contribuiscono al mantenimento della temperatura di progetto in inverno; la radiazione solare è fondamentale nell'illuminazione naturale e quindi nella mancata spesa elettrica; in estate d'altro canto, ne va tenuto conto per evitare che contribuisca al riscaldamento dei locali, quindi è da schermare; inoltre è grazie alla radiazione solare e al riscaldamento delle coperture che si stabiliscono i moti convettivi di raffreddamento dei tetti con la ventilazione trattati precedentemente. Potrei dire tanti altri motivi per cui la risorsa “sole” è spesso il centro dello studio per il risparmio energetico negli edifici. Ma vi sono anche dei contributi diretti forniti dalla radiazione solare, vi sono cioè due meccanismi di conversione diretta e immediata di questa in energia termica o elettrica che noi comunemente usiamo. Sono gli impianti che chiamiamo solare termico e solare fotovoltaico. In particolar modo ritengo che la produzione di energia termica dal sole sia particolarmente conveniente sotto molteplici aspetti.

Infatti il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria rappresenta attualmente una voce piuttosto significativa del bilancio energetico nazionale: inoltre in molti casi viene ancora utilizzata a questo scopo energia elettrica (come nel casale Spagnolo), ovvero una forma di energia pregiata dal punto di vista termodinamico e che dovrebbe essere riservata ad altro uso. E d'altra parte, il carico termico richiesto è a bassa temperatura (40-50°C) ed è quindi perfettamente adatto alla temperatura del fluido termovettore dei collettori piani. Un motivo in più a favore di tale intervento nel caso dell'utenza di Orbetello è rappresentato dalla caratteristica occupazionale degli edifici: la richiesta di acqua calda sanitaria è molto maggiore in estate che in inverno, perché maggiormente occupati, e quindi si ha una favorevole coincidenza del massimo carico con la massima radiazione solare disponibile annua. Altri vantaggi immediati di questa tecnologia sono il risparmio economico, grazie alla possibilità di svincolarsi dall'uso del combustibile, la salvaguardia dell'ambiente e l'assenza di emissioni di CO₂, grazie alla sostituzione dell'uso di sistemi tradizionali con l'utilizzo di una energia pulita e rinnovabile, come quella solare. In aggiunta, occorre ricordare che anche la legge vigente (vedi paragrafo 5) prescrive la produzione di acqua calda sanitaria da fonti rinnovabili (meglio sarebbe dire da solare termico) per una quota pari al 50%.

Ciò spinge senza dubbi, a prevedere un migliore uso della risorsa solare nell'oasi, attraverso il potenziamento e l'estensione ad altri due casali dell'impianto solare termico già esistente nel Casale C.

Per quanto riguarda gli impianti fotovoltaici, essi sono già presenti nell'oasi e quindi ritengo doveroso che siano ripristinati o sostituiti in modo che tornino a funzionare.

Impianto solare termico: stato attuale e interventi possibili

Negli edifici dell'oasi è presente attualmente soltanto un impianto solare termico, asservito al casale C e di cui riporto una fotografia:



Fotografia 9.4-1 : Fotografia del collettore solare piano sul tetto del casale C

Tutti i dati necessari per calcolarne la produzione di acqua calda sanitaria e la percentuale (f) annua e stagionale di copertura del carico sono già riportati in appendice B, quindi non sto qui a ripeterli. A questa mi riferirò anche per la simbologia usata.

Propongo invece alcune variazioni e una sostanziale estensione del modello anche agli altri casali.

Non parlerò mai nel seguente progetto né di studio delle ombre, né di spazi disponibili, semplicemente perché saranno tutti quanti impianti installati a terra (come precisato a seguire) e perché vi è disponibilità di spazio sufficientemente vicino ai rispettivi edifici, affiancato ai moduli fotovoltaici. Dovranno invece essere ben considerati in una seconda fase i vincoli eventualmente imposti dalla Sovrintendenza.

4.1 Progetto di installazione e ampliamento dell'impianto solare termico

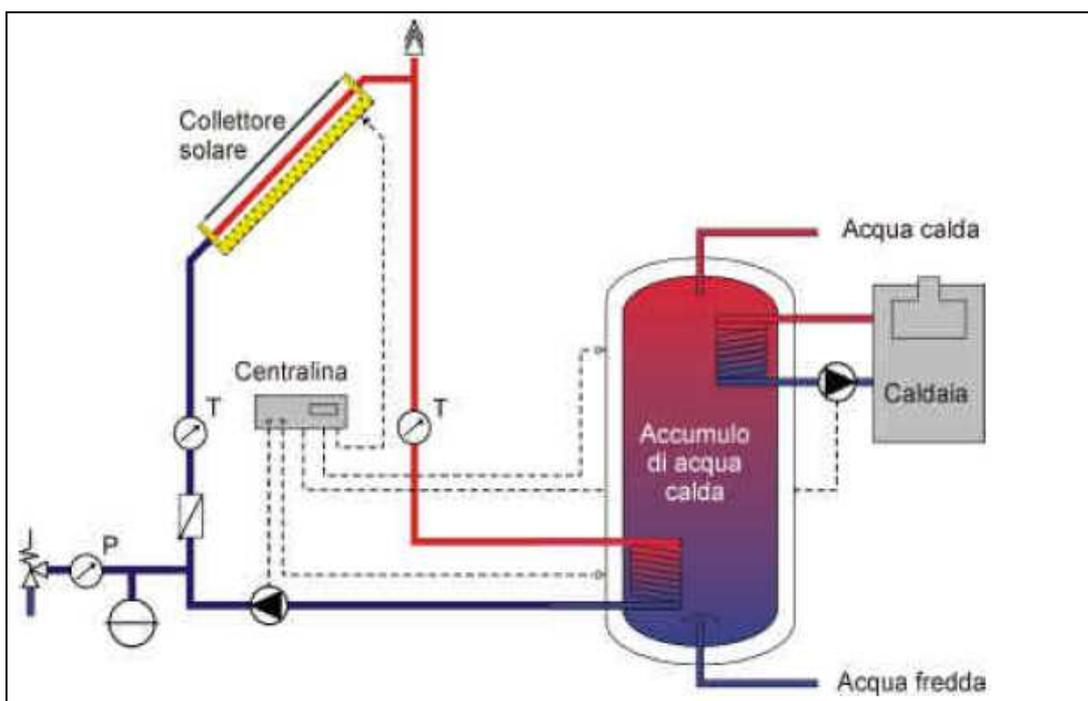
Il progetto prevede di installare ex novo due impianti a terra che servano i casali D e B, e di lasciare inalterato quello già presente nel casale C.

Ho parlato di impianti a terra perché lo spazio a disposizione e allo stesso tempo vicino agli edifici e quindi ai serbatoi di accumulo è vasto; inoltre l'installazione sul tetto potrebbe con ogni probabilità essere ostacolata dalla Soprintendenza ai Beni Culturali e per l'Architettura. In aggiunta, i tetti con falda rivolta a sud non ci sono, mentre un collettore a terra può essere orientato nel miglior modo e quindi pienamente a sud.

La tipologia dell'impianto è stata ipotizzata essere la più semplice, ovvero quella a singolo serbatoio e con circuito primario chiuso, come si vede in figura.

La fonte ausiliaria di riscaldamento dell'acqua calda sanitaria saranno le singole caldaie di ogni casale.

Figura 9.4.1-1 : Schema dell'impianto ipotizzato per la produzione di ACS da solare



Quindi in base al metodo di calcolo detto “*carta-f*” sviluppato da Duffie e Beckman [6] e analizzato in dettaglio nell’appendice B, ho calcolato la frazione del fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS supplita dal sistema solare (f): tale frazione è stata calcolata su periodo mensile, sulla stagione di riscaldamento, nei mesi estivi (aprile, maggio, giugno, luglio, agosto) e annuale. Inoltre sono stati presi in esame due casi: quello precedente l’intervento di installazione di riduttori di flusso e quello posteriore a tale intervento.

Caso1 : Calcolo della frazione di energia primaria per la produzione di ACS supplita dall’impianto solare senza aver effettuato gli interventi di riduzione del fabbisogno idrico.

Riporto ora i risultati ottenuti, assumendo come **parametri di ingresso** i seguenti dati:

Efficienza dello scambiatore a serpentino (ϵ) = 0,85

Coefficiente di scambio globale (U_C) = 4,5 W/m²K

Fattore di rimozione (F_R) = 0,9

Prodotto efficace trasmittanza-assorbanza normale ($(\tau\alpha)_n$) = 0,88

Temperatura di erogazione acqua calda = 40°C

Temperatura dell’acqua dell’acquedotto = 15°C

Angolo di inclinazione del collettore solare = 30°

Angolo azimutale del collettore = 0° (sud)

Capacità di accumulo = 75 kg/m²collettore

Ho considerato il carico mensile alla stregua del fabbisogno di energia termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria in caso di occupazione continua in tutti i giorni del mese (L_{continua}), anche se poi riferirò la percentuale di copertura solare così calcolata all’effettivo carico mensile per occupazione parziale (L_{parziale}). Come già detto nel paragrafo 6.2, tale accorgimento è fondamentale per associare correttamente il periodo di richiesta di ACS con il periodo di disponibilità della risorsa solare.

L’energia mensile incidente (E_c) su una area unitaria è stata ricavata dai dati UNI 10349 (vedi appendice D) ed è stata modificata in base all’angolo di inclinazione del pannello. Questo ultimo è stato scelto pari a 30° perché è l’angolo che massimizza l’energia termica prodotta annualmente dal sistema, tenendo conto anche della copertura invernale. Infatti l’adozione di un angolo di inclinazione di 20° mantiene inalterata la frazione annua solare, ma decrementa di molto la frazione coperta nella stagione di riscaldamento. Comunque,

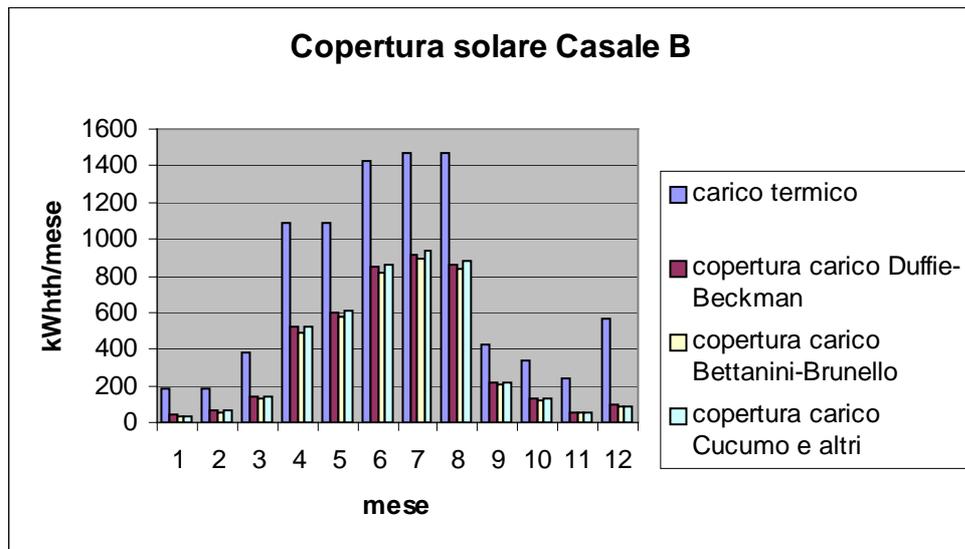
una variazione di tale angolo entro un range di 10° non varia significativamente i risultati. L'analisi effettuata prevede che la variabile primaria sia la superficie del collettore, mentre mantengo fisse le altre variabili, ovvero la tipologia del collettore, il carico termico (che vedremo però cambierà nel prossimo paragrafo), l'efficienza dello scambiatore e la capacità di accumulo. Riporto inizialmente casale per casale una tabella con i parametri in dettaglio del metodo *Carta f*, assumendo la superficie del collettore come parametro fisso. Inoltre è riportato per entrambi i Casali un grafico con la copertura del carico termico calcolata attraverso le tre versioni del metodo *carta f* riportate in appendice B: quella sviluppata da Duffie e Beckman e riportata in [6], quella riportata invece in [7] e quella semplificata esposta in [8]. Come si vede nei grafici seguenti, le differenze tra le diverse versioni del metodo *Carta-f* sono decisamente trascurabili, prova del fatto che il metodo risulta accettabile e condivisibile, e che quindi non sarà più necessaria una differenziazione in tal senso: dove non specificato, viene adottato il metodo sviluppato da Duffie e Beckman e riportato in [6].

Casale B

L'area dei collettori è stata ipotizzata pari a 8 m^2 .

Tabella 9.4.1-1 : Prospetto di calcolo della frazione mensile di copertura del fabbisogno energetico per produzione di ACS

	L_{continua}	E_c	X	Y	f_{mensile}	L_{parziale}	fL_{parziale}
	kWh/mese	Wh/m ²	-	-		kWh/mese	kWh/mese
gennaio	1474,17	2706,95	1,37	0,30	0,20	190,22	38,60
febbraio	1331,51	3723,01	1,50	0,46	0,33	190,22	63,49
marzo	1474,17	4359,07	1,32	0,50	0,37	380,43	140,85
aprile	1426,61	5433,78	1,32	0,64	0,48	1093,74	525,59
maggio	1474,17	6382,01	1,22	0,73	0,55	1093,74	601,38
giugno	1426,61	6700,60	1,20	0,79	0,59	1426,61	847,44
luglio	1474,17	7247,11	1,12	0,82	0,62	1474,17	919,62
agosto	1474,17	6747,40	1,12	0,77	0,58	1474,17	862,36
settembre	1426,61	5586,20	1,20	0,66	0,50	427,98	214,52
ottobre	1474,17	4553,12	1,23	0,51	0,39	332,88	129,46
novembre	1426,61	2926,74	1,34	0,34	0,24	237,77	56,81
dicembre	1474,17	2343,84	1,35	0,26	0,17	570,65	94,33
Totale annuo	17357,14					8892,56	4494,45
Totale stagione							365,62
f_{annuo}							51%
f_{stagione}							25%
f_{estivo}							56%

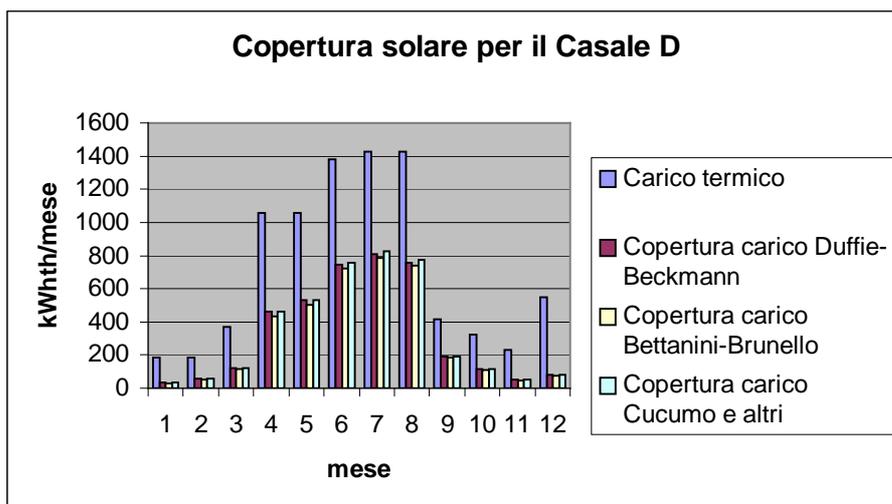


Casale D

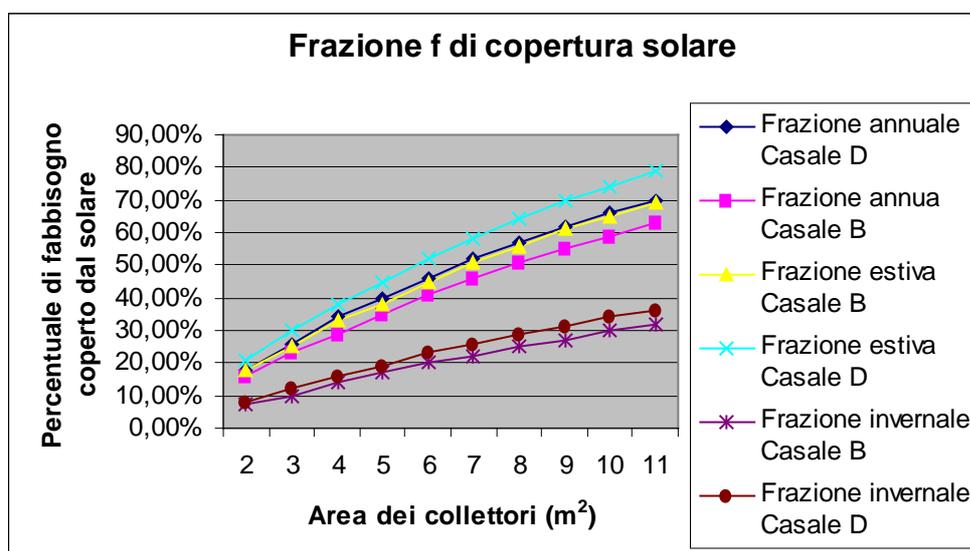
L'area dei collettori è stata ipotizzata pari a 7 m².

Tabella 9.4.1-2 : Prospetto di calcolo della frazione mensile di copertura del fabbisogno energetico per produzione di ACS

	L _{continua}	E _c	X	Y	f _{mensile}	L _{parziale}	fL _{parziale}
	kWh/mese	Wh/m ²	-	-		kWh/mese	kWh/mese
gennaio	1260,77	2706,956	1,040863	0,229069	0,19	162,68	34,10
febbraio	1138,76	3723,019	1,136309	0,352556	0,32	162,68	55,99
marzo	1260,77	4359,079	1,001774	0,376808	0,36	325,36	124,18
aprile	1220,10	5433,782	1,0017	0,485364	0,47	935,41	462,76
maggio	1260,77	6382,018	0,925832	0,551675	0,54	935,41	529,08
giugno	1220,10	6700,608	0,909377	0,598522	0,59	1220,10	745,12
luglio	1260,77	7247,112	0,847655	0,626455	0,62	1260,77	808,33
agosto	1260,77	6747,403	0,849889	0,58326	0,59	1260,77	758,42
settembre	1220,10	5586,208	0,908223	0,49898	0,50	366,03	188,85
ottobre	1260,77	4553,123	0,933649	0,389438	0,39	284,69	114,13
novembre	1220,10	2926,746	1,01901	0,258675	0,23	203,35	50,16
dicembre	1260,77	2343,841	1,026344	0,196208	0,15	488,04	83,36
Totale annuo	14844,52					7605,28	3954,49
Totale stagione						1240	322
f _{annuo}							52%
f _{stagione}							26%
f _{estivo}							58%



Il seguente grafico, invece, mostra la variazione della frazione solare di copertura in funzione dell'area dei collettori: ciò viene effettuato su periodo annuale, estivo e sulla stagione di riscaldamento. Si nota però che all'aumentare dell'area dei collettori non corrisponde un proporzionale aumento della frazione di copertura solare, e quindi risulta accettabile una frazione di copertura del 50-60% fin qui adottata. Inoltre appare evidente come al periodo estivo, caratterizzato da maggior risorsa solare, siano associati i maggiori valori di copertura del carico termico per produzione di ACS.



Tale progetto si riflette in un risparmio di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria, e quindi in una mancata spesa di combustibile. Riporto qui sotto i risultati ottenuti annualmente (tutti i parametri di ingresso adottati sono quelli precedentemente specificati) e nella stagione di riscaldamento:

Tabella 9.4.1-3 : Risultati di diminuzione annua di Q_{ACS}

	Area dei collettori	Percentuale annua coperta (f_{annuo})	Q_{ACS} precedente all'intervento	Q_{ACS} posteriore all'intervento	Risparmio di combustibile conseguito
	m^2		kWh/m^2 anno	kWh/m^2 anno	l/anno
Casale B	8	51%	66,35	32,51	1107
Casale D	7	52%	98	47,04	1019

Tabella 9.4.1-4 : Risultati di diminuzione di Q_{ACS} nella stagione di riscaldamento

	Area dei collettori	Percentuale coperta nella stagione di riscaldamento	Q_{ACS} precedente all'intervento	Q_{ACS} posteriore all'intervento	Risparmio di combustibile conseguito
	m^2		kWh/m^2 stagione	kWh/m^2 stagione	l/anno
Casale B	8	25%	10,25	7,68	84
Casale D	7	26%	15,15	11,21	79

Caso 2 : Realizzazione combinata degli interventi di riduzione del fabbisogno idrico e installazione di collettori solari per la produzione di ACS

Nel caso si realizzi anche una riduzione del fabbisogno di ACS tramite l'installazione di riduttori di flusso ed economizzatori sugli apparecchi sanitari, allora il carico termico sarebbe minore così come la superficie di collettori necessari per coprire la stessa quota di richiesta energetica.

Mantenendo inalterate le condizioni operative del problema precedente, si ha dunque una maggiore percentuale di carico coperto dal solare. Anche per il casale C, nel caso venga ridotto il fabbisogno idrico e quindi di energia termica per produzione di acqua calda sanitaria, l'attuale impianto di collettori solari avrebbe un indice di copertura maggiore di quello attuale.

Vediamo in dettaglio tale intervento combinato casale per casale; riporto in fondo l'andamento della percentuale coperta (f) al variare dell'area dei collettori, così come fatto nel precedente paragrafo:

Casale B

L'area dei collettori è stata ipotizzata pari a $8 m^2$.

Tabella 9.4.1-5 : Prospetto di calcolo della frazione mensile di copertura di Q_{ACS}

	$L_{continua}$	E_c	X	Y	$f_{mensile}$	$L_{parziale}$	$fL_{parziale}$
	kWh/mese	Wh/m ²	-	-		kWh/mese	kWh/mese
gennaio	1310,8	2706,9	1,54	0,34	0,23	169,15	38,19
febbraio	1184,0	3723,0	1,68	0,52	0,37	169,15	62,45
marzo	1310,8	4359,07	1,48	0,56	0,41	338,29	138,40
aprile	1268,6	5433,78	1,48	0,72	0,53	972,59	514,01
maggio	1310,8	6382,01	1,37	0,82	0,60	972,59	586,52
giugno	1268,6	6700,60	1,35	0,89	0,65	1268,60	824,83
luglio	1310,8	7247,11	1,26	0,93	0,68	1310,89	894,13
agosto	1310,8	6747,40	1,26	0,86	0,64	1310,89	840,05
settembre	1268,6	5586,20	1,34	0,74	0,55	380,58	209,71
ottobre	1310,8	4553,12	1,38	0,58	0,43	296,01	127,16
novembre	1268,6	2926,74	1,51	0,38	0,27	211,43	56,12
dicembre	1310,8	2343,84	1,52	0,29	0,18	507,44	93,45
Totale annuo	15434,6					7907,62	4385,01
Totale stagionale						1289	360,6
f_{annuo}							55%
$f_{stagione}$							28%
f_{estate}							62%

Casale C

Tabella 9.4.1-6 : Prospetto di calcolo della frazione mensile di copertura di Q_{ACS}

	$L_{continua}$	E_c	X	Y	$f_{mensile}$	$L_{parziale}$	$fL_{parziale}$
	kWh/mese	Wh/m ²	-	-		kWh/mese	kWh/mese
gennaio	1218,40	2975,19	1,59	0,18	0,07	157,21	11,67
febbraio	1100,49	3905,26	1,74	0,25	0,14	157,21	21,52
marzo	1218,40	4251,13	1,53	0,25	0,14	314,43	44,90
aprile	1179,09	4931,34	1,53	0,29	0,19	903,97	168,83
maggio	1218,40	5521,66	1,41	0,31	0,21	903,97	189,35
giugno	1179,09	5664,54	1,39	0,33	0,22	1179,09	264,45
luglio	1218,40	6168,56	1,29	0,34	0,25	1218,40	298,88
agosto	1218,40	5996,53	1,30	0,34	0,24	1218,40	296,25
settembre	1179,09	5313,96	1,39	0,32	0,22	353,73	76,23
ottobre	1218,40	4705,06	1,43	0,27	0,17	275,12	47,53
novembre	1179,09	3178,50	1,56	0,19	0,09	196,52	17,98
dicembre	1218,40	2610,17	1,57	0,15	0,06	471,64	26,00
Totale annuo	14345,65					7349,69	1463,61
Totale stagionale						1197	113
f_{annuo}							20%
$f_{stagione}$							9,4%
f_{estate}							22%

Tale valore è valutato senza considerare il decadimento delle prestazioni negli anni. Si vede comunque che rispetto alla frazione stimata al capitolo 6.1 l'impianto copre una maggiore percentuale di carico. Questi valori sono quelli riportati nella stima del fabbisogno di energia primaria a capitolo 9.3.1.

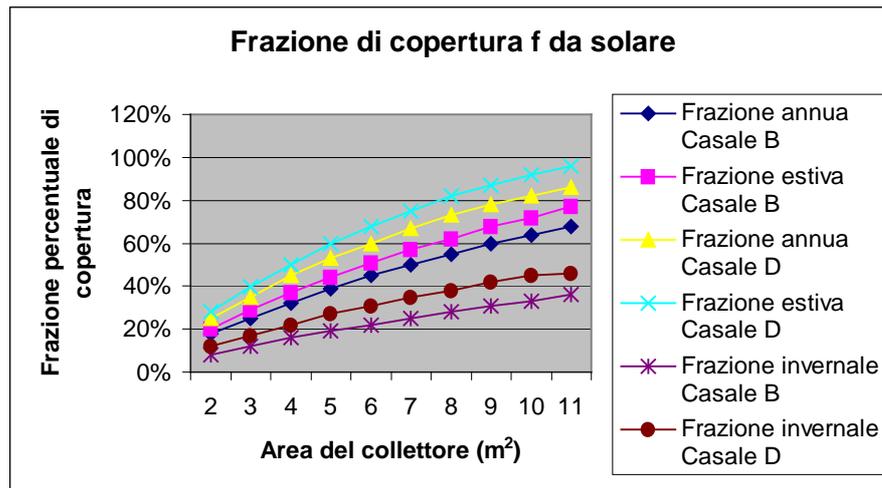
Casale D

L'area dei collettori è stata ipotizzata pari a 7 m².

Tabella 9.4.1-7 : Prospetto di calcolo della frazione mensile di copertura di Q_{ACS}

	L _{continua}	E _c	X	Y	f _{mensile}	L _{parziale}	fL _{parziale}
	kWh/mese	Wh/m ²	-	-		kWh/mese	kWh/mese
gennaio	902,5	2706,9	1,98	0,44	0,28	116,45	32,89
febbraio	815,1	3723	2,17	0,67	0,45	116,45	52,98
marzo	902,5	4359	1,91	0,72	0,50	232,91	117,16
aprile	873,4	5433,7	1,91	0,93	0,64	669,61	429,68
maggio	902,5	6382	1,76	1,05	0,73	669,61	486,77
giugno	873,4	6700,6	1,73	1,14	0,78	873,40	680,93
luglio	902,5	7247,1	1,62	1,19	0,82	902,52	736,07
agosto	902,5	6747,4	1,62	1,11	0,77	902,52	694,99
settembre	873,4	5586,2	1,73	0,95	0,67	262,02	175,12
ottobre	902,5	4553,1	1,78	0,74	0,53	203,79	107,52
novembre	873,4	2926,7	1,94	0,49	0,33	145,57	48,16
dicembre	902,5	2343,8	1,96	0,37	0,23	349,36	80,84
Totale annuo	10626,41					5444,21	3643,13
Totale stagione						887	308
f_{annuo}							67%
f_{stagione}							35%
f_{estate}							75%

Come si vede, nonostante abbia diminuito il carico del 10% circa per il casale B e del 30% per il casale D (vedi tab.9.3.1-3), la percentuale coperta non è aumentata altrettanto.



Valgono anche in questo caso tutte le considerazioni fatte nel precedente paragrafo.

Tale ipotesi di intervento si riflette in un risparmio di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria, e quindi in una mancata spesa di combustibile. Riporto qui sotto i risultati ottenuti annualmente e stagionalmente. I risultati del Casale C sono proprio quelli riportati anche al paragrafo 9.1.3:

Tabella 9.4.1-8 : Risultati di diminuzione annua di Q_{ACS}

	Area dei collettori	Percentuale annua coperta (f_{annuo})	Q_{ACS} precedente all'intervento	Q_{ACS} posteriore all'intervento	Risparmio di combustibile conseguito
	m ²		kWh/m ² anno	kWh/m ² anno	l/anno
Casale B	8	55%	59	26,55	1062
Casale D	7	67%	70	23,1	938
Casale C	4	20%	57,6	57,6	-

Tabella 9.4.1-9 : Risultati di diminuzione di Q_{ACS} nella stagione di riscaldamento

	Area dei collettori	Percentuale coperta nella stagione di riscaldamento ($f_{stagionale}$)	Q_{ACS} precedente all'intervento	Q_{ACS} posteriore agli interventi	Risparmio di combustibile conseguito
	m ²		kWh/m ² stagione	kWh/m ² stagione	L/stagione
Casale B	8	28%	9,18	6,6	84
Casale D	5	35%	10,87	7	76
Casale C	4	9,4%	10	10	-

Come si nota dalle due tabelle precedenti, la riduzione della richiesta idrica porta ad un incremento della percentuale di copertura solare stagionale e annuale, pur lasciando inalterati tutti gli altri parametri (prestazioni e area del collettore). E, conseguentemente, il fabbisogno di energia primaria Q_{ACS} è molto diminuito rispetto ai valori in tab.9.4.1-3, 9.4.1-4.

Bisogna ricordare l'importanza della realizzazione combinata degli interventi: non è assolutamente proficuo realizzare un impianto solare termico senza aver prima analizzato i possibili interventi di riduzione del fabbisogno idrico. Il rischio è quello di realizzare un impianto solare sovradimensionato perché successivamente a tale intervento è diminuito il fabbisogno idrico e quindi il fabbisogno di energia termica per produzione di ACS.

Impianto solare fotovoltaico: stato attuale e interventi possibili

Nell'oasi sono presenti due impianti fotovoltaici, non funzionanti. Le informazioni disponibili sono molto confuse e non vi è documentazione tecnica reperibile. Comunque dai dati raccolti si evince che il **primo** di questi impianti fu donato dall'Enel nel 1983-4 al WWF ed è servito per un po' di anni ad alimentare in parte i carichi elettrici dei casali. Si tratta di un impianto stand-alone che adesso ha una serie di batterie e un inverter decisamente obsoleti. Le informazioni tecniche raccolte sono le seguenti:

Numero di moduli: 48

Numero stringhe: 8

Inclinazione moduli: 60° sud

Superficie totale dei moduli: 21,12 m²

Dimensioni di un modulo: 0,34 x 1,3 m²

Tipologia modulo: policristallino, della casa Ansaldo AP35

Potenza di picco installata: 1,5 kWp

In disuso da svariati anni.

L'impianto (in foto) e i moduli sono decisamente rovinati in superficie e non più riutilizzabili.



Fotografia 9.4-2 : Impianto fotovoltaico n°1

L'unico possibile intervento da fare è smantellare l'impianto obsoleto (con attenzione alle batterie, che vanno smaltite opportunamente), utilizzare la struttura di sostegno presente, orientarla con il giusto angolo di inclinazione e installare un nuovo impianto (nuovi moduli e nuovi inverter) connesso alla rete.

Per quanto riguarda invece il **secondo** impianto, anche su questo le informazioni sono poche. Tale impianto risale al 1994 ed è stato in funzione presso altri edifici dell'oasi di Orbetello per qualche anno come impianto stand alone. Dal 1998 è stato portato al centro "Peccei", in cui non è mai entrato in funzione. E' ora posizionato proprio accanto all'altro impianto.

Le informazioni tecniche raccolte, correlate di foto, sono le seguenti:

Numero di moduli: 20

Numero stringhe: 4

Inclinazione moduli: 60° sud

Superficie totale dei moduli: 6,8 m²

Dimensioni di un modulo: 0,54x0,63 m²

Tipologia modulo: monocristallino, della casa Helios Technology

Potenza di picco installata: 1,5 kWp

In disuso da svariati anni.



Figura 9.4-3 : Impianto fotovoltaico n°2

Su questo secondo impianto le informazioni fornite sono poco attendibili: infatti la potenza di picco non può essere 1,5 kWp, altrimenti il rendimento nominale di un modulo sarebbe decisamente eccessivo (22% circa). I dati sul modulo non sono presenti in commercio e la ditta non riesce a fornirli. Occorre quindi stimare il rendimento iniziale, il decadimento di esso dovuta al tempo trascorso e ai due fenomeni intrinseci di ogni cella fotovoltaica (vedi Appendice E), infine la producibilità attuale. Tutto ciò verrà conteggiato con angolo di inclinazione dei moduli ottimale (30°) giacché è possibile inclinare la struttura di sostegno. Va ricordato che tale valutazione è soggetta a molta approssimazione.

Iniziamo quindi col progetto di sostituzione dei moduli del primo impianto con moduli nuovi.

4.2 Progetto di sostituzione del primo impianto fotovoltaico

In questo paragrafo faremo riferimento alla trattazione del problema nell'appendice E, e all'appendice D per il calcolo della radiazione solare disponibile, con riferimento al caso studio 2.

Quindi occorre prima di tutto definire i vincoli di carico e lo scopo di tale intervento:

l'impianto progettato sarà connesso alla rete, perché non si tratta di un utenza isolata che giustifichi l'installazione di un proprio generatore di energia elettrica. Inoltre lo scopo dell'impianto sarà la massimizzazione dell'energia solare captata dai collettori, una volta decisa la tipologia di essi, senza nessun vincolo di copertura del carico.

Trattandosi di un impianto esistente, dotato di supporti, occorre verificare che il sito dell'attuale installazione non sia ombreggiato dagli alberi presenti. Questo non è da escludere se non viene fatta una manutenzione e potatura opportuna degli alberi presenti sul lato posteriore della struttura, ma allo stato attuale non li considero ombreggiati. Inoltre non vi sono file parallele di collettori poste sullo stesso piano, quindi non si pone il problema delle ombre sistematiche tra le une e le altre.

Un vincolo importante di cui invece bisogna tener conto è lo sfruttamento del supporto presente. Si tratta di due strutture uguali, asservite ciascuna a 24 moduli, in acciaio costituite da un cilindro di supporto orizzontale centrale distante circa 1,5 metri da terra, su cui sono fissati quattro travetti anch'essi in acciaio, distanti a due a due circa 80 cm. Su questi vengono ancorati i moduli fotovoltaici. Il cilindro orizzontale è fissato a terra da due travi cilindriche anch'esse. Tutto ciò si vede bene dalla foto precedentemente riportata.

Si nota quindi che, in mancanza sul mercato di un modulo fotovoltaico con le stesse dimensioni dei precedenti, occorre tener presente i vincoli dimensionali per poterlo ancorare alla struttura presente: ogni modulo deve essere largo circa 1,2-1,3 m; l'altezza del modulo è meno importante, perché determina il numero di moduli ogni due travetti.

Cercando tra i moduli attualmente in commercio, ho trovato che l'unico tipo dotato di dimensioni simili a quelle degli attuali è quello monocristallino della casa costruttrice Helios Technology, classificato come HTD120, di potenza di picco pari appunto a 120 W con le seguenti caratteristiche tecniche, fornite dalla casa costruttrice e ricavate dalle relazioni discusse in appendice E.

Tabella 9.4.2-1 : Caratteristiche tecniche modulo HTD120

Tipologia e nome del modulo	HTD120 Helios Technology Monocristallino
Numero di celle e loro dimensioni	32 celle con dimensioni 156x156 mm ²
Dati di costruzione	Rivestimento posteriore in tedlar; Incapsulamento EVA; Cornice in alluminio anodizzato.
Dimensioni totali	1,335 x 0,664 m ²
Potenza di picco	120 W
Rendimento STC	13,67%
Tolleranza di potenza	± 5%
Tensione alla massima potenza	16,3 V
Corrente alla massima potenza	7,4 A
Tensione a circuito aperto	20 V
Corrente di corto circuito	7,9 A
Coefficiente di temperatura (ΔV)	-0,4%/°C
Coefficiente di temperatura (ΔI)	-0,05%/°C
Coefficiente di temperatura (ΔP)	-0,4%/°C
Tensione massima a -10°C	22,8 V
Tensione minima a 70°C	13,36 V

Date le dimensioni del modulo si stima che per ogni struttura di supporto vi si possano installare quattro colonne di 3 moduli, per un totale di 12 moduli per struttura. Egualmente si possono installare altri 12 moduli nell'altra struttura di supporto, per un totale di 24 moduli dell'impianto e di 21,27 m² di area dei collettori.

La potenza totale di picco installata è quindi di 2880 W.

Occorre poi effettuare una scelta dell'inverter da correlare ai moduli e quindi il numero di stringhe in cui suddividerli. Riporto le caratteristiche tecniche di due inverters da me scelti del tipo modulare :

Tabella 9.4.2-2 : Caratteristiche tecniche degli inverter scelti

Tipologia e nome dell'inverter	Sunny Boy 2500 SMA	Fronius IG 30
Dati di costruzione	Scatola standard in acciaio inox; Display e interfaccia di comunicazione; ridotte dimensioni e ingombro.	Scatola standard in acciaio inox; Display e interfaccia di comunicazione; dimensioni 500x435x225 mm
Potenza massima consigliata in ingresso	3000 Wp	2500-3600 Wp
Potenza massima in corrente continua	2700 W	-
Tensione massima in corrente continua	600 V	500V
Range di tensione MPPT	224V-600V	150V-400 V
Corrente massima in ingresso	12 A	19 A
Numero di stringhe massimo	3 in parallelo	-
Potenza massima in corrente alternata	2500 W	2650 W
Potenza nominale in corrente alternata	2300 W	2500 W
Rendimento (range)	93,2%-94,1%	92,7%-94,3%

Per il primo inverter, il numero massimo di moduli collegabili entro una stringa è, secondo la relazione riportata in appendice E, pari a 26; il numero minimo invece è pari a 16. Quindi tale scelta non risulta adatta al nostro caso.

Per il secondo inverter invece il numero massimo di moduli collegabili in una stringa è pari a 21, mentre quello minimo è pari a 12. Per quanto riguarda il numero di moduli, questo inverter risulterebbe perfetto, giacchè potremmo suddividere l'impianto in due stringhe da 12 moduli. Occorre ora però verificare che la massima corrente di parallelo delle stringhe non superi la corrente massima tollerata in ingresso dall'inverter. Il numero massimo di stringhe che è possibile collegare all'inverter risulta, dal calcolo, pari a 2. Quindi questo secondo inverter risulta adatto a collegare due stringhe, ciascuna di 12 moduli.

Per calcolare la producibilità, secondo il metodo di calcolo riportato in appendice E, occorre prendere come riferimento quindi le tabelle del caso studio 2 (Orbetello) dell'appendice D, relative ad un angolo di inclinazione fisso ottimizzato per massimizzare la radiazione captata annualmente. Ricordiamo che i due angoli ottimizzati risultano pari a 30° per quello di inclinazione, e pari a 0° per quello azimutale.

Riporto quindi una tabella riassuntiva con la quota globale di radiazione solare captata da i moduli, con la temperatura delle celle, con il rendimento al netto del decadimento per condizioni operative diverse da quelle standard e per decadimento iniziale della potenza, e

quindi dell'energia elettrica prodotta nel primo anno di funzionamento. Inoltre occorre considerare il rendimento del sistema dei componenti ausiliari (η_{BOS}) pari a 0,8. Adotto tutti i parametri e i valori riportati nella suddetta appendice E.

Tabella 9.4.2-3 : Prospetto dell'energia elettrica ricavabile dall'impianto n°1

	Energia globale captata media mensile (E_g)	Temperatura delle celle	Rendimento reale	Energia elettrica prodotta
	Wh/m ²	°C	%	KWh/mese
Gennaio	2706,956	26,53831	13,10885	186,5664
Febbraio	3723,019	28,43403	13,00837	229,9863
Marzo	4359,079	31,48394	12,84733	294,4388
Aprile	5433,782	34,90779	12,66643	350,1898
Maggio	6382,018	39,63436	12,41666	416,6299
Giugno	6700,608	43,9829	12,1873	429,3477
Luglio	7247,112	48,20879	11,96441	455,8728
Agosto	6747,403	47,61331	11,99584	425,554
Settembre	5586,208	44,33951	12,16877	345,8683
Ottobre	4553,123	38,9276	12,4547	298,1467
Novembre	2926,746	32,25247	12,80706	190,7136
Dicembre	2343,841	27,52622	13,05687	160,8995
Totale (kWh/anno)	1788			3784,214

Quindi l'energia elettrica prodotta per kWp di potenza installata è di 1300 kWh/kWp annuo.

La producibilità negli anni successivi va stimata considerando il decadimento annuo di potenza di un modulo cristallino, come già detto in appendice E. Prendendo un fattore di diminuzione di potenza annua pari al 0,5% [4], si ottiene, anno per anno:

Tabella 9.4.2-4 : Prospetto decadimento della produzione annua di energia elettrica

Anno	2008	2010	2020
Energia elettrica ottenuta (kWh/anno)	3784	3746	3563

Se poi venisse inclinata la struttura di supporto in modo stagionale o addirittura mensile, allora l'energia captata dai moduli sarebbe maggiore e così l'energia elettrica prodotta.

Riporto quindi un prospetto simile al precedente, ma calcolato con angoli di inclinazione del modulo differenziati mensilmente e poi stagionalmente:

Tabella 9.4.2-5 : Prospetto dell'energia elettrica ricavabile dall'impianto n°1 con inclinazione variabile

	E _g con angoli ottimizzati stagionalmente	Energia elettrica prodotta	E _g con angoli ottimizzati mensilmente	Energia elettrica prodotta
	Wh/m ² giorno	KWh/mese	Wh/m ² giorno	KWh/mese
Gennaio	3197	220,3408	3197	220,3408
Febbraio	4073	251,606	4096	253,0268
Marzo	4442	300,0398	4446	300,31
Aprile	5340	344,1458	5433	350,1394
Maggio	6548	427,4655	6552	427,7266
Giugno	7052	451,8635	7064	452,6324
Luglio	7548	474,7999	7551	474,9886
Agosto	6693	422,1229	6791	428,3037
Settembre	5625	348,2701	5628	348,4559
Ottobre	4784	313,265	4914	321,7776
Novembre	3390	220,9003	3390	220,9003
Dicembre	2827	194,0673	2827	194,0673
Totale (kWh/anno)	1873	3968,887	1885	3992,669

Come si vede, l'energia elettrica prodotta viene incrementata di circa il 5% nel caso di inclinazione variabile stagionalmente, e di circa il 5,5% nel caso di inclinazione variabile mensilmente. Come già previsto, non conviene ipotizzare una variazione mensile di tali angoli, perché più complicata e perché comporta un vantaggio trascurabile.

4.3 Stima della producibilità attuale dell'impianto 2

Come già ricordato, i dati tecnici di tale impianto non sono disponibili. Quindi occorre fare le seguenti ipotesi:

Rendimento di un modulo monocristallino prodotto nell'anno 1994 = 12%

Decadimento della potenza nelle prime ore di esposizione = 8%

Coefficiente di temperatura per variazione della potenza = 0,4%/°C

Rendimento B.O:S. = 80%

Inoltre, dal sopralluogo si conoscono le dimensioni e quindi l'area totale collettrice (6,8 m²); si sa inoltre che non è presente alcun inverter, bensì le batterie, che vanno tutte sostituite perché obsolete e non in funzione da anni. Purtroppo non è possibile prevedere quale inverter sia adatto perché occorrono i dati elettrici dei moduli. Per quanto riguarda l'inclinazione dei moduli, adatterò anche in questo caso quella che massimizza l'energia solare raccolta annua (eventualmente variabile stagionalmente). Tale inclinazione, pari a

30°, non è quella attuale (60°), ma è possibile attuare questa modifica perché la struttura di supporto lo consente (così come nel primo impianto).

Si stima quindi che il primo anno di funzionamento (1994) il secondo impianto abbia fornito la seguente energia elettrica:

Tabella 9.4.3-1 : Prospetto dell'energia elettrica ricavabile dall'impianto n°2

	Energia globale captata media mensile (E _g)	Temperatura delle celle	Rendimento reale	Energia elettrica prodotta
	Wh/mq	°C	%	KWh/mese
Gennaio	2706,956	26,53831	10,97033	50,07965
Febbraio	3723,019	28,43403	10,88621	68,34907
Marzo	4359,079	31,48394	10,75144	79,03543
Aprile	5433,782	34,90779	10,60004	97,13377
Maggio	6382,018	39,63436	10,391	111,8346
Giugno	6700,608	43,9829	10,19906	115,2484
Luglio	7247,112	48,20879	10,01253	122,3684
Agosto	6747,403	47,61331	10,03883	114,2301
Settembre	5586,208	44,33951	10,18356	95,93507
Ottobre	4553,123	38,9276	10,42286	80,03078
Novembre	2926,746	32,25247	10,71775	52,89924
Dicembre	2343,841	27,52622	10,92683	43,18996
Totale (kWh/anno)	1788			1030,334

Attualmente, invece, dopo 14 anni, con un fattore di decadimento della potenza annuo pari al 0,5% [4], la producibilità è calata a **960 kWh/anno**.

Calcolo della copertura del carico elettrico dell'utenza

E' utile conoscere anche quanto i due impianti fotovoltaici riescano a coprire il carico elettrico delle utenze (i quattro casali). Dai dati storici di consumo raccolti si stima che la spesa elettrica annua di tutti i quattro casali sia attualmente di circa **13100 kWh/anno**. Si ritiene inoltre che questa spesa non varierà molto, poiché tutti gli interventi proposti non prevedono una diminuzione del carico elettrico (vedi il capitolo sulla messa in efficienza dell'impianto elettrico), ma in alcuni casi potrebbe anche aumentare un po' per l'introduzione di nuove pompe di circolazione o altro. D'altro canto la spesa elettrica delle bollette del 2007 risulta molto minore delle corrispettive del 2006, questo fa pensare forse che o l'occupazione è stata maggiore nel 2006, o non erano ancora stati installati gli apparecchi elettrici a basso consumo. Ritengo quindi che tale valore di spesa rimanga

inalterato. Confrontando questo dato con la produzione elettrica annua dei due impianti fotovoltaici, si nota che, se venissero ripristinati entrambi e venisse variato stagionalmente l'angolo di inclinazione del primo impianto, la produzione elettrica annua sarebbe di **4928 kWh/anno** e la copertura del carico annua sarebbe del **37,6%**.

9.5 Risorsa “territorio”

Un'altra particolare attenzione nel progetto di riqualificazione degli edifici del WWF consiste nell'integrarli intelligentemente all'interno del territorio circostante.

Questo aspetto riguarda non soltanto l'architettura dell'edificio, la sua coerenza con l'ambiente esterno, ma anche la capacità di sfruttare le risorse che il territorio offre. Mi riferisco in questo caso ad una corretta gestione delle aree boschive dell'oasi per la produzione in loco di biomasse derivanti dalla manutenzione ordinaria di queste stesse. Tutto ciò risulta secondo me di particolare importanza per gli edifici che costituiscono il punto di accoglienza dell'oasi di Orbetello. Il WWF ha, tra i suoi obiettivi, l'integrazione con il territorio e la sensibilizzazione del pubblico e dei soci verso una corretta e proficua convivenza tra ambiente e uomo; parallelamente potremmo dire tra territorio e edificio in cui l'uomo abita.

Ecco quindi la proposta di sfruttare la biomassa presente e reperibile nelle aree boschive di proprietà WWF e situate nel territorio circostante Orbetello, trasformandola in combustibile adatto all'alimentazione delle caldaie per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria degli edifici.

Si intende per biomasse qualsiasi sostanza organica residuale, di origine vegetale o animale, destinata a fini energetici o alla produzione di materiale ammendante agricolo. La brevità del periodo di ripristino fa sì che le biomasse rientrino tra le fonti rinnovabili, in quanto il tempo di sfruttamento è paragonabile a quello di rigenerazione e l'apporto di CO₂ nell'atmosfera durante la combustione complessivamente pareggia quella impiegata per la crescita della pianta.

Le principali tipologie di caldaie per piccole e medie utenze sono realizzate per bruciare tre categorie di combustibili vegetali:

- 1) cippato (legno sminuzzato)
- 2) pellet (pastiglie di legno macinato e pressato)
- 3) legna da ardere (a ciocchi)

Si definisce cippato, il risultato della sminuzzatura dei residui legnosi irregolari o scadenti e di piante in generale (a piccolo o a grande fusto). Attraverso l'azione meccanica delle macchine cippatrici il legname viene ridotto in chips di dimensioni più o meno standard (40x20x10mm³), con un contenuto di umidità fortemente variabile (20-60%) in funzione

della tipologia di legno e del tempo di essiccamento cui è stato sottoposto. E' questo il combustibile che più ci interessa perché si può ben ricavare dalla gestione delle risorse boschive dell'oasi.

I pellets sono invece cilindretti che si ottengono pressando i residui dalla lavorazione del legno; il prodotto ottenuto presenta caratteristiche termochimiche e merceologiche superiori sia in termini qualitativi che di omogeneità rispetto a quelle del cippato e della legna tal quale: maggiore contenuto energetico, minore contenuto di acqua, pezzatura più uniforme e costante. Queste qualità rendono il pellet di più facile gestione e trasportabilità, e consentono periodi di immagazzinamento più lunghi: per tali motivi il prodotto può essere commercializzato economicamente su un raggio distributivo più ampio.

Per quanto riguarda l'uso della legna a ciocchi si dovrebbe preferire quella con un contenuto di umidità non superiore al 25%, ottenibile con almeno un anno di stagionatura all'aria e sotto una tettoia. La scarsa umidità riduce la formazione di condensati corrosivi e la fumosità. Tra i migliori legnami ai fini della combustione possono essere presi in considerazione le conifere o i legni leggeri come il pioppo, anche se i migliori risultati, specialmente in termini di durata della combustione, si ottengono con essenze forti come robinia, faggio e quercia.

Invece per quanto riguarda i sistemi di combustione della biomassa, esiste ormai un'ampia gamma di caldaie e di termocaminetti dedicati: negli ultimi anni inoltre tutti i sistemi di riscaldamento a biomasse hanno subito una notevole evoluzione tecnologica e hanno raggiunto livelli di efficienza e di affidabilità pari a quelli degli impianti tradizionali a gas o gasolio. In particolare, vi sono caldaie a pellet, a cippato, caldaie a policombustibile (pellet e gasolio ad esempio) e termocaminetti.

Due elementi preliminari decisivi per la scelta del generatore sono la disponibilità di spazio per alloggiare la caldaia con il relativo serbatoio, e la automaticità dell'alimentazione. I termocaminetti e le caldaie a legna prive di serbatoio di alimentazione automatica necessitano di una ricarica di combustibile frequente, e sono quindi adatte per abitazioni dove l'utente è spesso presente (si pensi al termocaminetto ubicato nel soggiorno delle abitazioni). Nel caso degli edifici dell'oasi invece questo non accade e quindi ho ritenuto opportuno sostituire semplicemente le caldaie attuali con caldaie a cippato dotate di serbatoio di alimentazione capiente e automatizzate. Resta da verificare opportunamente la disponibilità di spazio per alloggiare il generatore e il serbatoio di combustibile.

9.5.1 Progetto di sostituzione delle caldaie esistenti con caldaie a cippato

Tale ipotesi presenta due vantaggi principali: il primo consiste nello sfruttamento della biomassa presente nell'oasi o, in caso di insufficienza, l'utilizzo di cippato proveniente da luoghi vicini ad Orbetello; l'altro è quello di sostituire le caldaie presenti, ormai obsolete, con caldaie dotate di rendimento più elevato. Inoltre tali caldaie forniranno l'integrazione termica alla produzione di acqua calda sanitaria da solare termico.

Disponibilità e caratteristiche della biomassa

Il primo dato da verificare è la presenza e la disponibilità di sufficiente biomassa e la tipologia di questa.

L'oasi della Laguna di Orbetello ad oggi possiede circa 850 ettari di terreno, con varia tipologia di flora e alberi presenti. Sui bordi della laguna, separate da ampie fasce di canna comune, si sviluppano boschi di pioppo bianco, robinia, frassino, olmo, eucalipto e la quercia da sughero. Verso ponente invece è cosparsa di isolotti di limo bordati di salicornia; il tombolo sabbioso comprende una fascia a macchia mediterranea, con presenza di brugo, una pineta e zone a cespugli. Se questi boschi venissero potati regolarmente o se, come nelle intenzioni del WWF, venisse diminuita la presenza di pini silvestri, molto abbondanti in zona, allora sarebbe presente una rilevante quantità di legna (ramaglie, cimature, tronchi interi, potature) da poter utilizzare per alimentare le caldaie degli edifici. Altrimenti, come è stato detto, vi è la possibilità di approvvigionarsi di cippato prodotto in loco da vivaisti e altre aziende. Quindi si considera che la disponibilità di cippato in loco sia più che sufficiente.

Per quanto riguarda la tipologia di legno e biomasse accettabili per la combustione in caldaia, occorre fare un breve richiamo ad alcune proprietà fisiche, chimiche ed energetiche della biomassa legnosa, importanti per interpretare i processi stessi.

Dal punto di vista energetico, le biomasse possono essere considerate come energia radiante, trasformata dalle piante in energia chimica e stoccata sotto forma di molecole complesse (polimeri) ad alto contenuto energetico, grazie al processo di fotosintesi.

I principali polimeri delle biomasse forestali sono la cellulosa, l'emicellulosa e la lignina.

Oltre a questi tre componenti principali, nel legno sono presenti numerosi altri composti organici, localizzati nel lume e nella parete cellulare: terpeni, resine, grassi, gomme, tannini, cere, ecc..., e altrettanto numerosi composti inorganici (sali di calcio, magnesio,

sodio, potassio, silicio, ecc.), che solitamente si ritrovano, in seguito alla combustione, nelle ceneri.

In particolare la presenza di non trascurabili quantità di resina può rappresentare in alcuni casi, un vincolo tecnologico e può far scartare la scelta di alcune caldaie in commercio. Infatti essa può causare un maggiore sporcamento dei tubi scambiatori entro la caldaia (e quindi una diminuzione del rendimento) e un'occlusione della griglia di supporto del materiale: alcune case costruttrici, come la Riello e la Unical, hanno definitivamente posto il veto per l'alimentazione con cippato resinoso. Altre case costruttrici invece non hanno tale limite: ho preso ad esempio a riferimento la casa costruttrice austriaca KOB. Il combustibile in ingresso, secondo le loro richieste, deve essere analizzato e deve rispettare determinati requisiti tecnici, che riporterò successivamente. Il fatto rilevante è che non è escluso assolutamente l'uso di cippato proveniente da pino e altre resinose, purchè rispettino tutti i requisiti chimici e fisici prescritti. Una conferma della possibilità di usare tale biomassa proviene dal caso dell'impianto a biomasse KOB, funzionante dal 2003, situato a Casole d'Elsa: il cippato utilizzato è provenuto molte volte dai boschi di abeti o da alcune pinete situate in loco e la combustione è stata buona come sempre e non sono state necessarie manutenzioni ordinarie aggiuntive o straordinarie.

Riguardo alla sua composizione elementare [34], il legno –anche se vi sono variazioni tra i diversi tipi– è composto quasi interamente da tre elementi: carbonio (49-51%), ossigeno (41-45%), idrogeno (5-7%). A differenza di altri combustibili (quali, ad esempio, il carbone), esso contiene relativamente basse quantità d'azoto, tracce di zolfo ed altri elementi minerali che vanno a costituire le ceneri (0,5-1,5%). Il rapporto percentuale tra i principali elementi (in particolare, i rapporti H/C e O/C) influisce in maniera determinante sul valore del legno come combustibile: un alto contenuto di carbonio e idrogeno determina un più alto potere calorifico, mentre elevate presenze di ossigeno, azoto e ceneri hanno un effetto opposto.

Oltre all'analisi chimica della biomasse è necessario conoscere le principali caratteristiche fisiche del legno: l'umidità e il peso specifico. La prima assume una significativa importanza perché, oltre ad agire sui meccanismi di combustione, ha un'influenza sulle caratteristiche chimiche del legno e sul suo peso specifico. La quantità d'acqua nel legno è estremamente variabile: al momento del taglio può assumere valori diversi in funzione della specie, dell'età, della diversa parte della pianta, della stagione. In genere si hanno valori più bassi di umidità nelle latifoglie rispetto alle conifere, nelle parti basse rispetto alle parti alte della pianta, in estate rispetto all'inverno. Il peso specifico invece si definisce

come il rapporto tra la densità basale del legno (il rapporto tra la massa del legno secco e il volume del legno con umidità ,esclusa la corteccia) e la densità dell'acqua a 4°C. La densità basale, e così il peso specifico, del legno varia da 0,3 a 0,7 kg/m³ in funzione delle condizioni stazionali,della specie, dell'età, della parte della pianta, della forma di governo boschivo e gestione e di altri fattori ancora [34].

Una volta analizzata chimicamente e fisicamente la biomasse forestale, occorre stabilirne il potere calorifico inferiore (PCI), che è fortemente dipendente e variabile in funzione dell'analisi precedente. A parità di peso, il legno di conifere ha un potere calorifico maggiore rispetto a quello delle latifoglie: ciò è dovuto alla presenza di resine e a più elevate quantità di lignina. Ma hanno altre tipologie di problemi, come quelli della stabilità e durata della fiamma, e del maggiore fattore di sporcamento delle tubazioni di scambio.

Nella sono presentati valori approssimativi del potere calorifico delle due grandi categorie legnose (conifere e latifoglie) con due diversi valori di umidità [34].

Tabella 9.5.1-1 : Prospetto del potere calorifico inferiore di alcuni tipi di biomasse [34]

	Potere calorifico inferiore (PCI) (kcal/kg)
Latifoglie (umidità 20%)	3400
Conifere (umidità 20%)	3560
Latifoglie (umidità 35%)	2600
Conifere (umidità 35%)	2760

Trattamento e conservazione della biomassa

Se si vuole produrre il combustibile entro i confini dell'oasi, è importante curare il trattamento del legno e della biomasse per ottenere un cippato con buone caratteristiche energetiche e che risponda alle specifiche indicate dal costruttore della caldaia. Occorre che il legname e la biomassa siano essiccate per almeno un anno, in funzione della sua umidità in origine e delle richieste del costruttore della caldaia. Successivamente, è necessaria una macchina cippatrice che lo sminuzzi opportunamente e che di nuovo rispetti le dimensioni richieste nella specifica. Di queste macchine, ne esistono svariate in commercio [37], e il loro funzionamento si basa su sistemi di rulli idraulici o di martelli a velocità variabile e di un disco cippatore dotato di due coltelli che fanno sì che il materiale legnoso venga ridotto in piccoli frammenti di 0,5-2 cm (chips) adatto sia come combustibile negli impianti di riscaldamento, che come materiale di protezione naturale delle superfici (paciamatura). Proprio a questo scopo, e per non dover bruciare i residui della potatura della massa verde dell'oasi, tale macchina era già stata richiesta dal personale dell'oasi. Quindi almeno per

questa prima fase di trattamento del legno, l'intervento proposto rientra in un progetto già previsto.

Una volta preparato il combustibile occorre stoccarlo in un luogo riparato e poi rifornire le tramogge delle singole caldaie.

Tipologia di caldaie adottata

Occorre poi valutare la tipologia di caldaia da installare e la sua potenza nominale.

La potenza massima di progetto per i vari Casali rimarrà la stessa di quella attuale, sebbene il carico termico di produzione di ACS sia minore perché in parte coperto da solare termico.

L'unico cambiamento proposto riguarda le caldaie installate nel casale Spagnolo. Come noto, sono presenti due caldaie, di cui una (asservita al primo piano) per solo riscaldamento. Al momento di sostituirle, è opportuno metterne una sola che avrà potenza nominale inferiore alla somma delle due. Riporto un breve e semplice calcolo per ricavare la potenza di progetto da installare per il solo riscaldamento di tutto il casale Spagnolo:

La temperatura interna di progetto (T_{int}) è di 20°C.

La temperatura esterna di progetto ($T_{estprogetto}$) a Orbetello (Grosseto) è di 0°C.

Il coefficiente globale di dispersione termica dell'edificio (H_{tot}) è pari a 2208 W/K.

La potenza da installare per mantenere i locali alla temperatura di progetto è di:

$$P_{progetto} = H_{tot} (T_{estprogetto} - T_{int}) = 44kW$$

Tale potenza supplisce sicuramente ad ogni richiesta termica per acqua calda sanitaria (per il piano terra e per il primo piano), che comunque risulta, in tale casale, molto esigua. Inoltre con ciò sarebbe possibile smantellare lo scaldabagno elettrico che fino ad ora ha supplito alla produzione di ACS per il primo piano. Un altro vantaggio consiste nella disponibilità, una volta tolta una delle due caldaie, di un nuovo locale libero. Resta però da capire quanto complicato sia fare i necessari allacciamenti e adattare i circuiti idraulici alla nuova configurazione.

Quindi fornisco in tabella 9.5.1-2 un prospetto delle potenze installate per tutti i casali.

Tabella 9.5.1-2 : Prospetto delle potenze delle caldaie nei vari Casali

	Potenza al focolare
	kW
Casale B	34,82
Casale C	34,65
Casale D	34,86
Casale Spagnolo	44

La caldaia scelta per questo intervento è la PYROMAT-DYN [35] (codice KPM-DYN) costruita dalla casa austriaca KOB, ed ha due possibilità di alimentazione e di combustibile: può bruciare cippato automaticamente estratto dal serbatoio di stoccaggio attraverso una coclea, o bricchetti di legna ed è quindi ad alimentazione manuale dal portellone anteriore. Riporto alcune delle caratteristiche tecniche della caldaia, di potenza adatta a quella richiesta, e una figura della macchina:

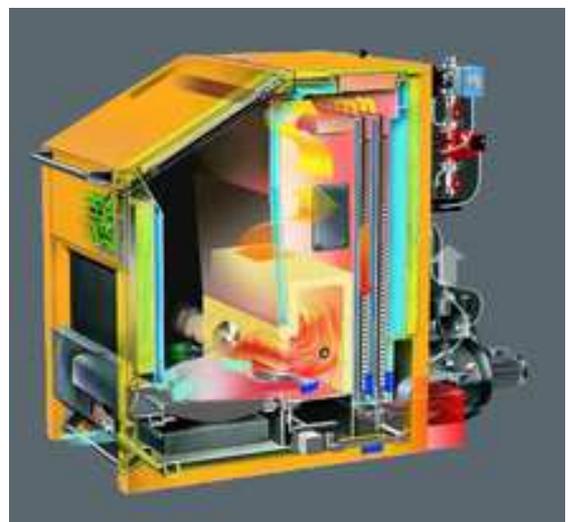
Tabella 9.5.1-3 : Caratteristiche tecniche della caldaia [35] [36]

	KPM-DYN 30/5	KPM-DYN 45
Potenza nominale massima	30 kW	49 kW
Potenza minimo	9 kW	14,7 kW
Rendimento nominale della caldaia	92,4%	92,4%
Lunghezza massima del ciocco di legna	0,5 m	0,5 m
Dimensioni camera di caricamento	550x300x550 mm ³	550x300x550 mm ³
Dimensioni massime del cippato	sezione max 5 cm ² ; lunghezza max 12 cm	
Massimo contenuto d'acqua del cippato	35%	35%
Limite massimo cloro	300 mg/kg	
Limite massimo zolfo	1000 mg/kg	
Limite massimo ceneri	15 g/kg	
Ossidi alcalini nelle ceneri	1 g/kg	
Temperatura di inizio sinterizzazione ceneri	1000°C	
Limite presenza di particelle <1 mm	10% massa totale (senza preessiccatore del cippato)	
Non devono essere presenti nel cippato corpi estranei, come resti metallici o pietre.		

Figura 9.5.1-1 : Fotografia della caldaia PYROMAT-DYN



Figura 9.5.1-2: Schema della caldaia e del suo funzionamento



La combustione in caldaia avviene in due camere, la prima, anteriore con carica dall'alto, in calcestruzzo refrattario, la seconda (camera di post-combustione) posteriore. L'accensione avviene automaticamente, mentre la combustione e l'alimentazione dell'aria avvengono in modo motorizzato e regolato dalla sonda lambda. Abbinata ad un accumulatore, consente di regolare perfettamente la caldaia anche quando viene utilizzata al minimo (funzionamento solo per acqua calda in estate). A funzionamento normale la brace viene trasportata automaticamente dalla camera di combustione principale (posteriore) a quella anteriore, dove può completare il processo e trasformarsi infine in cenere. Questa viene rimossa automaticamente e depositata in un ampio vano sottostante. Le superfici verticali dello scambiatore di calore vengono costantemente pulite da molle elicoidali motorizzate. Per garantire la massima sicurezza, durante l'alimentazione automatica, contro il ritorno di fiamma ha luogo il dosaggio preciso del combustibile proveniente dalla coclea tramite un sistema di fotocellule entro il dosatore.

Della stessa casa costruttrice KOB vi è anche una caldaia alimentata con tronchetti di legna, ma con la possibilità di un funzionamento anche a gas o gasolio o GPL.

Per stimare la richiesta e il consumo di cippato, e per valutare la bontà dell'intervento, ho calcolato i nuovi valori del rendimento di produzione, e il fabbisogno di energia primaria annua. Quest'ultima è stata calcolata senza conteggiare tutte le possibili diminuzioni dovute agli interventi proposti. Invece per il casale Spagnolo, ho ipotizzato che venga smantellato lo scaldabagno elettrico del primo piano e che tutta l'acqua calda sanitaria sia fornita da un'unica caldaia, di cui abbiamo parlato precedentemente. Durante tale intervento di sostituzione delle caldaie presenti, si prevede anche un isolamento dell'involucro della caldaia esterna del Casale D.

Propongo qui un prospetto dei risultati ottenuti in termini percentuali e di fabbisogno di energia primaria globale, rispetto al caso iniziale esposto in tab.7-1 e 7-2.

Tabella 9.5.1-4 : Prospetto dei risultati prestazionali ottenuti con l'intervento di sostituzione della caldaia

	η_{pr}	η_g	Q_{tr}	Q_{ACS}	Q_{ACS}	Fabbisogno energia primaria annuo
			kWh/m ² stagione	kWh/m ² stagione	kWh/m ² anno	kWh/m ² anno
Casale B	87%	66%	52	9,3	60,18	112,2
Casale D	84%	62%	56,83	12,6	77,5	134,4
Casale Spagnolo	86,7%	67,9%	55,4	0,55	2,29	57,7
Casale C	84,7%	63%	44,6	10,8	73,4	118

Tabella 9.5.1-5 : Prospetto dei valori di riduzione percentuale del fabbisogno di energia primaria

	Diminuzione percentuale stagionale di Q_{tr}	Diminuzione percentuale stagionale di Q_{ACS}	Diminuzione percentuale stagionale di energia primaria	Diminuzione percentuale annuale di Q_{ACS}	Diminuzione percentuale annuale di energia primaria
Casale B	12%	9,2%	11,7%	9,2%	10,6%
Casale D	22,8%	17%	21,8%	20,9%	21,7%
Casale Spagnolo	13%	47%	13,9%	46,7%	15,5%
Casale C	11%	6,8%	10,6%	8,2%	9,4%

Calcolo del fabbisogno di cippato per una completa alimentazione dei casali:

Il fabbisogno di cippato annuo o stagionale necessario a coprire (nelle ipotesi di occupazione sempre ipotizzate) il carico termico per riscaldamento e produzione di ACS fornito nella tabella sopra, si stima in base al potere calorifico inferiore PCI di tabella 9.5.1-1. Ne prenderemo un valore medio di 3000 kcal/kg, ovvero 3,48 kWh/kg.

Tabella 9.5.1-6 : Prospetto del fabbisogno di cippato annuo

	Fabbisogno di energia primaria annuo kWh/anno	Fabbisogno cippato con caratteristiche medie kg/anno
casale B	24235	6964
casale D	17740	5097
Casale Spagnolo	23657	6797
casale C	19588	5628
Totale cippato		24486

Come si nota è fondamentale sapere indicativamente il potere calorifico e la bontà del cippato ricavabile dalla manutenzione e potatura della zona boschiva dell'oasi.

10. Conclusioni e criteri generali per la definizione di un modello di oasi

Dopo una analisi dettagliata di alcuni possibili interventi per il risparmio energetico negli edifici dell'oasi, è utile stabilire un obiettivo, ovvero l'applicazione contemporanea di tutti gli accorgimenti adottati, e poi stabilire un modello e dei valori percentuali di miglioramento che siano un riferimento per la ristrutturazione degli altri locali delle oasi italiane.

Se venissero applicati contemporaneamente gli interventi proposti nei capitoli 9.1, 9.2, 9.3, 9.4 e 9.5 avremmo un risparmio di energia primaria veramente ingente. Riporto un prospetto con la situazione iniziale e finale in termini di fabbisogno di energia primaria degli edifici:

Tabella 10-1 : Prospetto dei miglioramenti ottenibili stagionalmente dall'applicazione combinata degli interventi proposta

	Prima degli interventi		Dopo gli interventi		Diminuzione percentuale Q _{ACS}	Diminuzione percentuale Q _{tr}	Diminuzione percentuale di energia primaria
	Q _{tr}	Q _{ACS}	Q _{tr}	Q _{ACS}			
	kWh/m ² stagione	kWh/m ² stagione	kWh/m ² stagione	kWh/m ² stagione			
Casale B	59,21	10,25	25,19	6	41%	58%	55%
Casale C	50,14	11,6	29,41	9,37	19%	41%	39%
Casale D	73,7	15,15	39,13	5,88	61%	46%	49%
Casale Spagnolo	64	1,04	27	0,39	62%	57%	57,8%
Risparmio globale					42%	53%	45%

Tabella 10-2: Prospetto dei miglioramenti ottenibili annualmente dall'applicazione combinata degli interventi proposti (non riporto l'energia per riscaldamento perché uguale alla precedente tabella)

	Prima degli interventi	Dopo gli interventi	Diminuzione percentuale Q _{ACS}	Diminuzione percentuale di energia primaria
	Q _{ACS}	Q _{ACS}		
	kWh/m ² anno	kWh/m ² anno		
Casale B	66,35	24,21	63%	60%
Casale C	80	53,52	33%	38%
Casale D	98	18,4	81%	66%
Casale Spagnolo	4,3	1,6	62%	58%
Risparmio globale			59%	56%

Se invece si riassumono le due situazioni precedenti e posteriori agli interventi dal punto di vista dei singoli rendimenti dei sottosistemi di regolazione, di emissione, di produzione e di distribuzione medi stagionali, si nota che il miglioramento è meno marcato. Si nota addirittura che nel Casale B il rendimento di regolazione, nonostante l'intervento per la regolazione climatica centralizzata, diminuisce a fronte della diminuzione delle dispersioni. Quest'ultimo cambiamento, infatti, provoca un aumento del rapporto apporti/dispersioni, da cui il rendimento di regolazione dipende.

Vi sono quindi ancora ampie possibilità di miglioramento in questo settore.

Tabella 10-4: Prospetto della variazione dei rendimenti del sistema edificio-impianto prima e dopo gli interventi ipotizzati.

	Prima degli interventi					Dopo gli interventi				
	η_e	η_r	η_d	η_{pr}	η_g	η_e	η_r	η_d	η_{pr}	η_g
Casale B	0,92	0,87	0,95	0,76	0,58	0,97	0,86	0,95	0,82	0,68
Casale C		0,89	0,95	0,75	0,57	0,96	0,85	0,95	0,817	0,63
Casale D	0,9	0,87	0,95	0,64	0,47	0,96	0,89	0,95	0,814	0,68
Casale Spagnolo	0,94	0,88	0,95	0,75	0,59	0,97	0,924	0,95	0,855	0,72

Inoltre anche l'energia elettrica spesa e l'acqua diminuiscono molto a seguito degli interventi proposti:

Tabella 10-3 : Prospetto della riduzione dell'uso delle risorse naturali

	Prima degli interventi	Dopo gli interventi	Risparmio percentuale
Spesa teorica acqua (m ³ /anno)	2540	1378	45%
Spesa effettiva energia elettrica (kWhel/anno)	13100	8356	37%

Come si vede, sono stati sfruttati gli ampi margini di miglioramento presenti e gli interventi proposti portano ad una forte diminuzione del fabbisogno energetico degli edifici, fino oltre la metà rispetto ai valori precedenti. Inoltre, nelle ipotesi fatte, il combustibile utilizzato proviene interamente dalle aree dell'oasi e anche le prestazioni estive degli edifici sono state nettamente migliorate.

Tale panoramica di interventi possibili è molto utile anche per la definizione di alcuni criteri generali per la ristrutturazione e la messa in efficienza degli edifici anche di altre oasi. Il miglioramento ottenibile è in questo caso pressoché pari alla metà o meno delle

risorse sfruttate. E penso che in molti altri edifici del WWF possa essere questo l'obiettivo da perseguire.

Per facilitare l'applicabilità del modello ad altre realtà, sono stati suddivisi gli interventi in aree tematiche di semplice interpretazione:

- Messa in efficienza degli impianti termico ed elettrico
- Risorsa "acqua"
- Risorsa "sole"
- Risorsa "territorio"

Alcuni interventi sono strettamente correlati con altri, per cui è bene avere, prima di iniziare i lavori, una idea complessiva di ciò che si vuole fare e di ciò che verrà fatto.

La ripetibilità degli interventi qui proposti anche in altre oasi non è assoluta, ma occorre, caso per caso, valutare i vincoli e gli scopi, l'area di pertinenza su cui vi sono maggiori margini di miglioramento o che si reputa di maggior interesse. A tutto ciò però va sempre premessa una corretta diagnosi energetica e una analisi del comportamento estivo degli edifici.

Un obiettivo che le oasi WWF potrebbero proporsi è quello di essere, oltre che efficienti energeticamente, anche il più possibile autosufficienti in materia di approvvigionamento di combustibile (biomasse), idrico e di energia elettrica. Questo porta inevitabilmente ad un uso più attento e corretto delle risorse naturali da parte dell'utenza e quindi incrementa un atteggiamento virtuoso da parte dell'utenza stessa.

In tal modo l'oasi diventa un modello capace di educare gli utenti e renderli partecipi delle varie attività, e un punto di riferimento per gli enti presenti nel territorio.

In conclusione, si propone quindi un'oasi che, partendo da una situazione di spesa energetica e di risorse non eccellente, giunge ad un forte miglioramento delle sue prestazioni e ad un impatto ambientale molto minore. Tutto ciò è di particolare interesse perché le oasi del WWF rappresentano il progetto di conservazione della biodiversità e di promozione di uno stile di vita attento al territorio naturale circostante più importante del WWF Italia. Esse sono sempre state un punto di riferimento e un esempio per gli utenti, svolgendo un ruolo di sensibilizzazione, di educazione, di sperimentazione sui temi ambientali. Quindi è opportuno che anche nel campo del risparmio energetico nell'edilizia esse siano eccellenti e degradino le risorse naturali il meno possibile: costituiscano quindi un modello di edilizia a basso impatto ambientale che ogni utente possa vedere, sperimentare ed emulare.