

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

TESI DI LAUREA

IN

GESTIONE DELLE RISORSE ENERGETICHE DEL TERRITORIO

EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DELL'AREA GALVANICA DELLO  
STABILIMENTO M.B.D.A. Spa ITALIA A BACOLI

**RELATORE**

CH.MO PROF. ING. FRANCESCO CALISE

**CORRELATORE**

ING. MARIA VICIDOMINI  
ALESSANDRO CECERE

**CANDIDATO**

EMANUELE MARIANO CAPASSO  
MATR. M67/374

ANNO ACCADEMICO 2017 - 2018

## Introduzione

L'utilizzo dei tradizionali combustibili fossili diventa sempre più complesso. La loro reperibilità si fa man mano più bassa e le nuove politiche mondiali volte ad un utilizzo più razionale dell'energia da esse derivate e una preferenza verso fonti di energia a basso impatto ambientale rendono il loro utilizzo sempre meno vantaggioso. In questo quadro la sfida di tutti i paesi del mondo è creare condizioni per un sistema energetico più sicuro, più efficiente, a più basso contenuto di carbonio derivante dalle fonti fossili, con la conseguente riduzione delle emissioni, senza rallentare lo sviluppo economico e sociale e indirizzando il sistema energetico mondiale verso un percorso più sostenibile. Per tale motivo razionalizzare le risorse a disposizione e cercare di ottimizzare tutti i processi che comportano un dispendio di energie risulta ora più che in passato necessario. Questa è l'ottica in cui si è svolto questo lavoro di tesi nel quale si è affrontato un percorso di audit energetico mirato da una parte a mettere in luce i problemi dell'impianto esistente dall'altro proporre scenari di efficienza per ottimizzare le risorse e al contempo garantire un comfort dell'edificio migliore. Il lavoro si è svolto all'interno dello stabilimento di Bacoli di MBDA (Matra BAE Dynamics Alenia) Italia S.p.A. la quale ) è una delle aziende leader al mondo per la costruzione di missili e tecnologie per la difesa. E' detenuto congiuntamente da AIRBUS Gruppo (37,5%), BAE Systems (37,5%) e Finmeccanica (25%), e rappresenta l'unico gruppo europeo in grado di progettare e produrre missili e sistemi missilistici per soddisfare l'intera gamma di esigenze attuali e future delle tre forze armate (terra, mare e aria).L' edificio esaminato è l'area galvanica (Figura 1) dello stabilimento MBDA di Bacoli (Napoli), tale area è dotata di un impianto di riscaldamento caratterizzato da 9 aerotermi (SABIANA), il cui vettore caldo è il vapore prodotto dal cogeneratore generale di sito. Ogni singolo aerotermo è caratterizzato da una potenza installata di 11,9 kW per un totale di circa 107 kW. Nello specifico il fluido termovettore, oltre ad alimentare gli attuali aerotermi, è utilizzato per il riscaldamento di una parte delle vasche di trattamento, ivi presenti. Tali vasche eseguono un'attività di trattamento superficiale di pezzi e assiemi meccanici di fattura metallica e non metallica. I processi applicati sono:

- Trattamenti galvanici dei metalli (linea di cromatizzazione), linea costituita da 15 vasche di cui 5 riscaldate, 8 non riscaldate e le restanti in disuso;
- Trattamenti chimici di conversione superficiale, linea costituita da 31 vasche di cui 12 riscaldate (4 mediante vapore e le restanti con resistenza elettrica) 4 non riscaldate e le restanti in disuso.

Entrambe le linee lavorano 10 ore al giorno dal lunedì al venerdì, in più tale area è provvista di un impianto di illuminazione e 2-3 operai che vi lavorano dalle 08:00 alle 17:00 dal lunedì al venerdì. Tale locale nel corso degli anni ha sempre

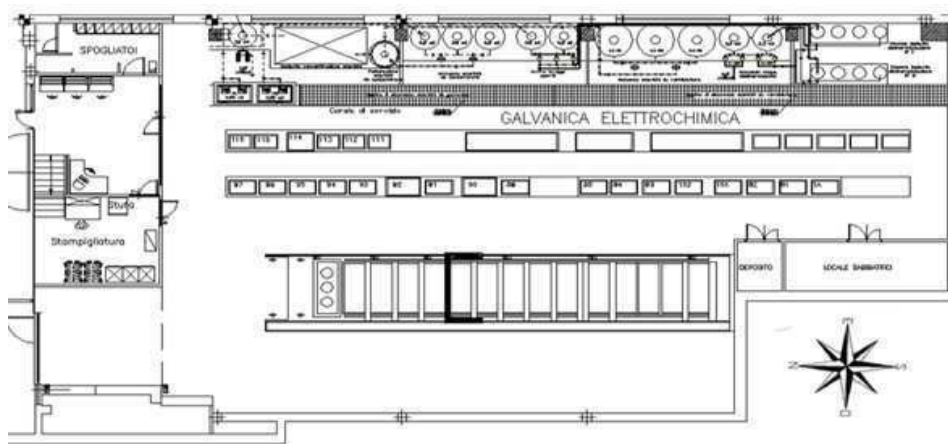


Figura 1: Planimetria dell'area galvanica

avuto numerose criticità le maggiori delle quali hanno portato allo studio svolto. In particolare le criticità maggiori possono essere riassunte in due punti:

1. Utilizzo di fluidi termo vettori, quali acqua calda e vapore non di pertinenza diretta MBDA;
2. Elevati consumi di energia termica dovuti al riscaldamento dell'ambiente e all'alimentazione delle vasche di trattamento.

Al fine di risolvere le precedenti criticità e ottenere un risparmio sia energetico che economico, rispetto all'attuale impianto termico, il seguente lavoro di tesi ha riguardato la realizzazione di modelli di simulazione dinamica in ambiente TRNSYS di interventi mirati all'efficientamento energetico dell'area galvanica.

## Analisi del sito

Per lo studio prefissato è risultato indispensabile l'analisi preliminare del sito in cui si sono valutate la composizione delle strutture murarie e i contributi termici dovuti alla presenza delle vasche nonché la determinazione delle portate di aspirazione dovuta alla presenza delle vasche stesse. Come già detto nel precedente paragrafo nel locale galvanica è presente un impianto di ventilazione tangenziale su tutte le vasche elencate attiva 24 ore al giorno per 7 giorni settimanali. Tale impianto ha lo scopo di aspirare e trattare l'aria esausta da inquinanti emessa dalle vasche, a causa dei processi chimici, e successivamente di immetterla in atmosfera. Il sistema di ventilazione è costituito da 7 sistemi di aspirazione, ai quali afferiscono le aspirazioni sulle singole vasche. Le emissioni 18, 19, 22 sono realizzate attraverso macchine denominate, colasit, costituite da una cappa con aspirazione laterale su uno solo dei lati. Le canalizzazioni di aspirazioni dedicate a ciascun colasit sono instradate a soffitto e convogliano esternamente l'aria esausta di inquinanti. Le emissioni 15, 16, 23 e 25 sono invece realizzate mediante una rete di canalizzazioni instradate sotto pavimento tecnico e connesse a dei ventilatori centrifughi installati in copertura. Sempre in copertura sono previsti dei filtri per l'abbattimento degli inquinanti prima dell'espulsione in ambiente. La maggior dispersione termica presente all'interno dell'area gal-



Figura 2: Rilievo delle canalizzazioni instradate sotto pavimento tecnico e dei ventilatori centrifughi in copertura

vanica viene causata dalla presenza della portata di aspirazione. Tale portata totale misurata è di circa 38000 m<sup>3</sup>/h. Le dimensioni e la stratigrafia degli

elementi opachi e trasparenti, sono state desunte da informazioni acquisite in precedenti tesi. A titolo di esempio, nella seguente tabella vengono riportate le caratteristiche tecniche delle mura perimetrali ovest est e nord dell'area galvanica. Sono stati raccolti successivamente anche i dati termoigrometrici misurati

Componente	Immagine	Descrizione dello strato	Spessore (cm)	Conducibilità termica (W/m K)	Densità (kg/m <sup>3</sup> )	Resistenza termica (m <sup>2</sup> K/W)	Spessore totale (cm)	Trasmittanza (W/m <sup>2</sup> K)
Pareti perimetrali Nord, Est, ovest		Strato liminare esterno	-	-	-	0,04	33	3,008
		Intonaco calce e cemento	4	0,9	1800	0,044		
		Muratura in tufo	25	3,4	2300	0,074		
		Intonaco calce e cemento	4	0,9	1800	0,044		
		Strato liminare interno	-	-	-	0,13		

Figura 3: Caratteristiche tecniche stratigrafiche mura perimetrali

in precedenti lavori per individuare ponti termici e problemi di condensa superficiale, umidità di risalita, infiltrazioni meteoriche, punti caldi negli impianti e nei relativi accumuli, ecc.

L'analisi dei carichi interni, invece, consiste nel determinare quei contributi d'energia termica che non derivano dall'impianto di riscaldamento, ma che provengono da sorgenti interne come persone, illuminazione, macchinari, dato che questi fattori influenzano l'andamento delle temperature di un ambiente e quindi i flussi termici. A titolo di esempio si riporta il calcolo dei contributi termici offerti dalle vasche della linea elettrolitica nel periodo estivo e invernale. Nel caso invernale a cui fa capo la Fig.4 si è considerata una temperatura esterna di 18 gradi mentre nel caso estivo esplicitato nella Fig.5 si è considerata una temperatura esterna di 26 gradi.

Temperatura Funzionamento vasca [°C]	$\Delta T$ [°C]	Potenza termica trasmessa [W]	Potenza termica trasmessa totale [W]
60	42	337,6	4132
70	52	418	

Figura 4: Valori di potenza termica trasmessa nel caso invernale.

Temperatura Funzionamento vasca [°C]	$\Delta T$ [°C]	Potenza termica trasmessa [W]	Potenza termica trasmessa totale [W]
60	34	273,3	3360
70	44	353,7	

Figura 5: Valori di potenza termica trasmessa nel caso estivo

## Analisi in regime dinamico

Attraverso i dati raccolti in sito e quelli messi a disposizione da precedenti lavori di tesi è stato possibile creare un modello dinamico del sistema edificio-impianto attraverso l'utilizzo del software Trnsys 17, software che consente di eseguire simulazioni dinamiche. Per la creazione del modello dell'edificio si è utilizzato TRNbuild un interfaccia di Trnsys che permette di assegnare delle differenti caratteristiche dei materiali che compongono ogni tipo di superficie e di calcolare la domanda di energia per il riscaldamento e il raffrescamento inserendo i carichi dell'edificio stesso (ventilazione, infiltrazione, luci, persone, macchine). Il software crea un file .idf che viene richiamato dal software Trnsys 17. Successivamente attraverso l'interfaccia Simulation Studio si è modellato il sistema. composto dall'installazione di una pompa di calore con un fancoil estivo ed uno invernale in luogo dell'impianto esistente. Il lavoro si è svolto dunque andando a considerare due tipologie di interventi:

- La coibentazione delle pareti nord ed est dell'edificio galvanico, con uno

strato di 10 cm di polistirene espanso ;

- L'installazione di una pompa di calore con un fancoil per il condizionamento estivo ed uno per quello invernale. In figura viene mostrato il modello simulato attraverso l'interfaccia di simulation studio.

Per quanto riguarda la pompa di calore è stata scelta una pompa di calore della società Aermec con una potenza termica di 349 Kw in regime invernale e 316 in regime estivo. Con i dati forniti dalla società è stato possibile creare una mappa di funzionamento della macchina capace di simulare il funzionamento della pompa di calore anche ai carichi parziali. Successivamente si riportano, a titolo di esempio, i risultati relativi allo scenario di intervento in cui si considera la sostituzione dell'attuale impianto termico. In particolare si mostra in Fig.6 l'andamento delle temperature in un giorno significativo dell'anno (invernale). Analizzando l'andamento delle temperature appare evidente che il sistema at-

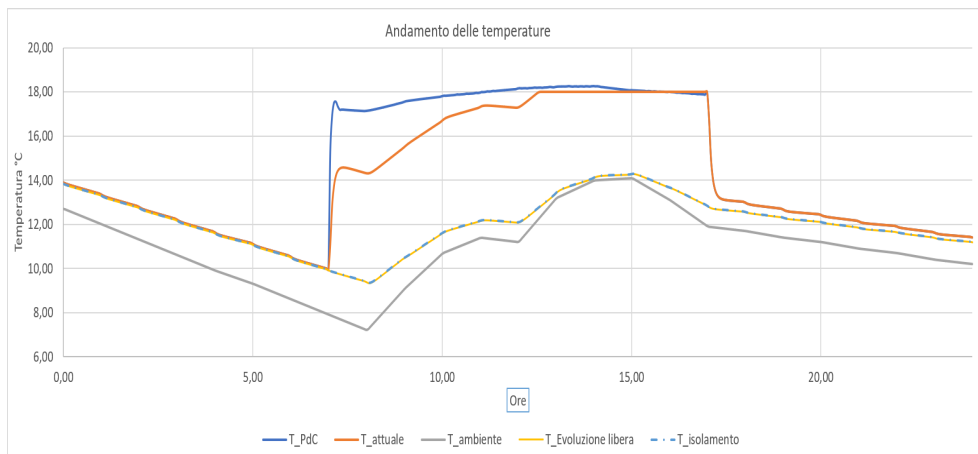


Figura 6: Andamento delle temperature

tuale non sia sufficiente per arrivare ad un set di temperatura di comfort. Nello scenario di evoluzione libera ovvero quello in cui i sistemi sono spenti, invece appare evidente, il condizionamento delle portate di aspirazione delle vasche. Tale portata assunta in questo studio pari a 8,5 volumi/ora influenzano ampiamente l'andamento della temperatura in evoluzione libera. Nel grafico infatti si può notare che le curve della temperatura ambiente e quella di evoluzione libera siano quasi coincidenti. Per quanto riguarda invece lo scenario di intervento con

l'utilizzo di una pompa di calore risulta una soluzione capace di garantire sin da subito, una temperatura di set adeguata al comfort dell'edificio. Infine appare evidente che con l'intervento di coibentazione termica delle pareti nord ed est, con 10 cm di polistirene espanso, non si registrino miglioramenti apprezzabili nell'economia dell'efficienza energetica. Nel grafico in Fig.7 si va ad illustrare lo schema dell'impianto così come è stato modellato in Trnsys. Nel grafico in Fig.

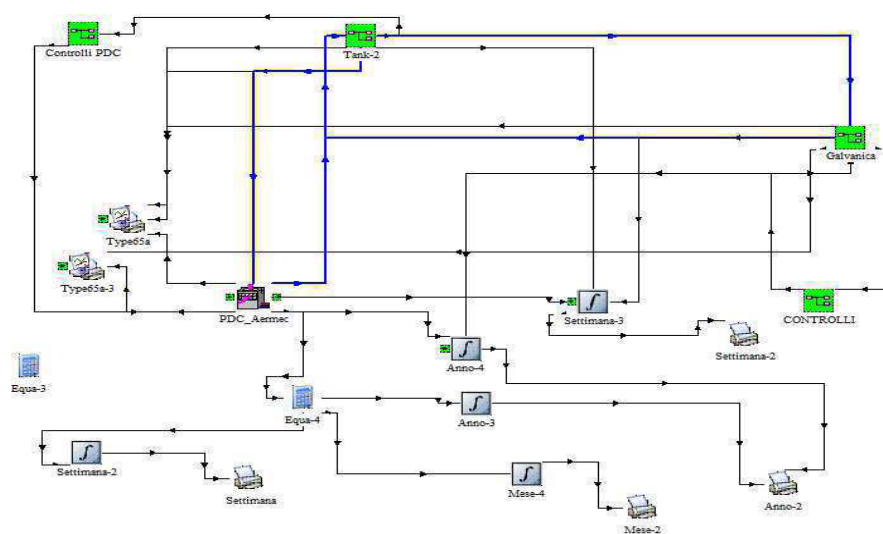


Figura 7: Schema dell'impianto in Trnsys

8 invece si mostra il funzionamento della pompa di calore andando ad esplicitare la potenza termica e quella elettrica e il COP.

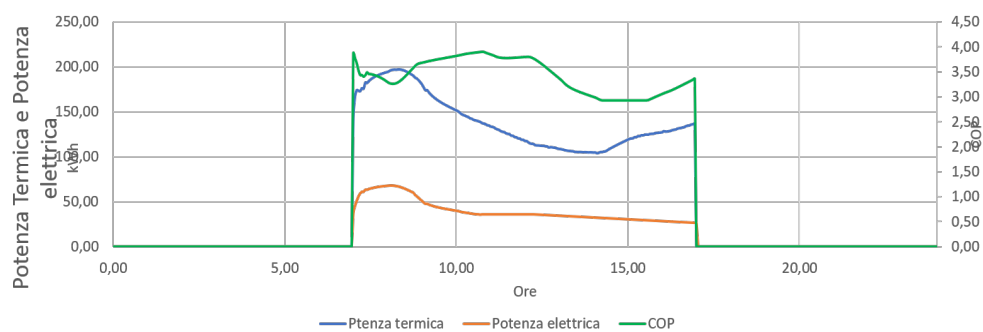


Figura 8: Andamento delle potenze e del COP

In particolare si ricorda che la pompa di calore utilizzata è dotata di inverter



ovvero la potenza viene modulata in base alla richiesta di calore. Si può notare un picco in corrispondenza dell'accensione della macchina a cui segue un periodo in cui la pompa di calore ha un funzionamento stabile. Questo andamento è tipico delle macchine che utilizzano inverter le quali dopo aver fornito una grande potenza all'inizio la modulano su regimi più bassi per poter mantenere il livello termico necessario. Il funzionamento della pompa di calore è regolato da un controllo della temperatura sulla mandata del tank di accumulo. In particolare questo controllo stacca il funzionamento della pompa di calore quando la temperatura in uscita dal tank è superiore ai 47 °C o inferiore ai 43 °C. Il controllo della pompa di calore tuttavia non è solo legato a questo parametro. In Trnsys si è implementato un sistema che tenesse conto delle effettive ore di funzionamento della pompa. Motivo per il quale il controllo complessivo tiene conto anche della stagione di funzionamento e delle ore giornalieri e settimanali. Infine si mostra l'andamento del COP. Il coefficiente di prestazione risulta essere accettabile quando il suo valore medio si attesta sopra il 3. Come è possibile vedere dal grafico il suo valore non scende mai al di sotto di questo valore. Questo indica che la macchina sta funzionando con alta percentuale di resa. Dallo stesso grafico è possibile notare che l'andamento del COP che ricordiamo essere calcolato come rapporto tra la potenza termica ceduta dalla macchina al fluido e la potenza elettrica della stesso sia variabile in un range assolutamente accettabile di valori. Dal grafico infatti si nota come il COP si attesti quasi sempre a valori superiori a 3 raggiungendo in alcune ore della giornata il valore di 4. Il COP dipende dalla temperatura esterna. Durante la giornata quando i valori di temperatura non sono particolarmente rigidi la pompa di calore lavora con carichi parziali e questo garantisce valori del COP maggiori. Di particolare interesse è il confronto tra l'energia termica mensile dello scenario proposto e quello di riferimento. In particolare nel grafico in Fig. 9 appare evidente che vi è un consumo di energia termica maggiore nello scenario di intervento. Questo è dovuto al fatto che lo scenario di riferimento non riesce a garantire per molte ore al giorno la temperatura di comfort nella zona galvanica al contrario del caso di utilizzo della pompa di calore. Questo andamento non è un problema in quanto lo scopo del lavoro è quello di garantire condizioni di comfort. Al contempo le elevate efficienze del sistema garantiscono un consumo di energia elettrica sicu-

ramente accettabile rispetto all'energia termica erogata. Nel grafico in figura 10 invece si stima per tutto l'anno l'energia termica e quella elettrica nello scenario proposto sia in caso di condizionamento invernale che estivo.

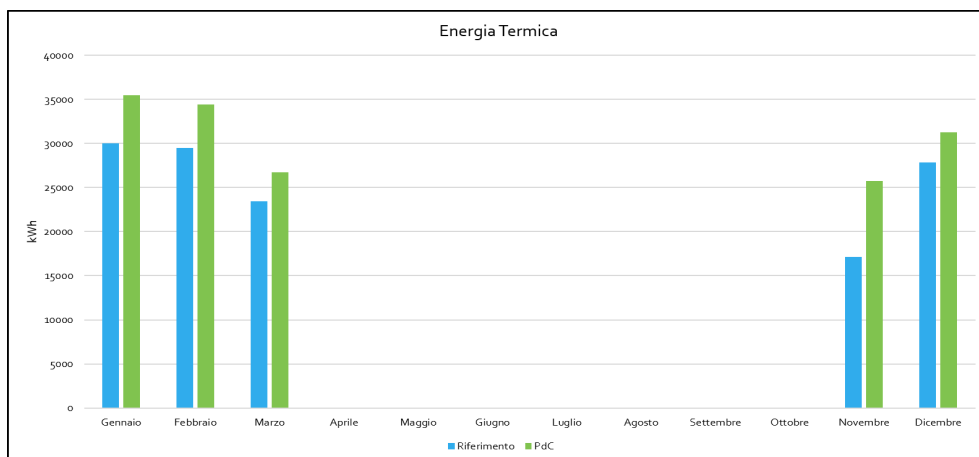


Figura 9: Confronto dell'utilizzo di energia termica tra scenario di riferimento e quello di intervento

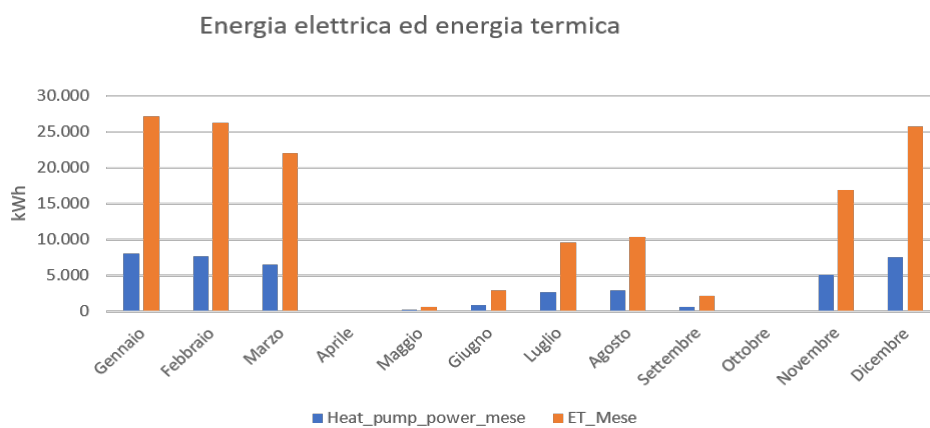


Figura 10: Energia termica ed elettrica nello scenario di intervento

## Analisi economica

Per l'intervento è stato fatto riferimento ad un sistema di riscaldamento tradizionale in cui il generatore di calore è rappresentato da una caldaia (con rendimento pari 0,9), dato che non è stato possibile reperire i costi di energia termica che l'azienda sostiene dall'attuale impianto di riscaldamento. In più, in tale analisi non si è tenuto conto dello scenario di intervento relativo all'isolamento dei muri est e nord, dato che quest'ultimo comporta un risparmio energetico molto ridotto. Tali indici sono stati calcolati assumendo la vita utile degli impianti proposti pari a 20 anni, il costo unitario di gas naturale pari a 0,8 (cent/Sm<sup>3</sup>) e il tasso di attualizzazione pari al 5%. Infine nel confronto in tabella sono stati messi a confronto i costi sostenuti per il condizionamento invernale ed estivo e sono stati messi a confronto con la situazione attuale dell'impianto.

	Riferimento	Pompa di Calore	Chiller
Investimento (euro)	0	47034	47034
Incentivo (euro/anno)	0	3057	-
Rendimento	0,9	-	-
COP	-	3,41	3,2
ET (MWh)	133	144	0
EF (MWh)	0	0	25
EP (MWh)	148	92	17
EE (MWh)		42	8
Costo Energia (€)	12324	8458	1603
$\Delta_{costo}$ (€)		3866	
$\Delta_{costo}$ %		0,61	
SPB		6,79	
DPB		8,51	
FA		12,46	
VAN		24757	
IP		0,53	

In definitiva è possibile affermare che:

- Gli attuali aerotermini dell'area galvanica sembrano sottodimensionati al fine di garantire una temperatura di  $18^{\circ}\text{C}$  , questo perché ad incidere sono i volumi di aria calda espulsi causati dall'impianto di aspirazione delle vasche;
- la coibentazione dei muri est e nord non comporta notevoli risparmi di energia
- L'installazione di una pompa di calore comporta un notevole risparmio energetico. Dal punto di vista economico l'investimento ha delle buone prospettive come dimostrano i valori di SPB e DPB citati nella tabella precedente.