

PROGETTO DI RISPARMIO ENERGETICO

PISCINA COMUNALE DI FORLÌ

DATI DI CONSUMO UTENZE.

- **Metano** 265.890 mc/anno;
- **Energia Elettrica** 1.075.640 kWh/anno;
- **Acqua** 51.384 mc/anno;

Altri dati forniti sono il numero di presenze giornaliere ed i giorni di apertura al pubblico.

- **numero utenti medio giornaliero:** 750 persone/giorno;
- **giorni di apertura in un anno:** 260 gg/anno.

Dati di consumi ipotizzati:

1. consumo pro capite di acqua per doccia in ingresso piscina:.... fredda **2,5 l/pers**
calda **2,5 l/pers**
2. consumo pro capite di acqua per doccia in uscita:.....fredda **5 l/pers**
calda **25 l/pers**
3. consumo pro capite di acqua (fredda) per servizi igienici:..... **12 l/pers**
4. consumo totale pro capite di acqua fredda:..... **19,5 l/g**
5. consumo totale pro capite di acqua calda:.....**27,5 l/g**
6. consumo totale/giorno di acqua fredda: $19,5 \text{ l/pers} \times 750 \text{ p.p./g} = \dots\dots\dots$ **14.625 l/g**
7. consumo totale/giorno di acqua calda: $27,5 \text{ l/pers} \times 750 \text{ p.p./g} = \dots\dots\dots$ **20.625 l/g**
8. consumo annuo di acqua fredda: $14.625 \text{ l/g} \times 260 \text{ g/anno} = \dots\dots\dots$ **3.802.500 l/anno**
9. consumo annuo di acqua calda: $20625 \text{ l/g} \times 260 \text{ g/anno} = \dots\dots\dots$ **5.362.500 l/anno**
10. consumo annuale di acqua per docce e servizi:
 $3.802.500 \text{ l/anno} + 5.362.500 \text{ l/anno} = \dots\dots\dots$ **9.165.000 l/anno**
11. consumo annuale di acqua per evaporazione dalle vasche:.....**143,750 m³**
12. consumo annuale di acqua per irrigazione**500,000 m³**
13. consumo annuale per ricambio acqua piscina:
 $[51.384 - (9.165,000 + 143,750 + 500,000)] \text{ m}^3/\text{anno} = \dots\dots\dots$ **41.575,250 m³/anno**

14. consumo giornaliero per ricambio acqua piscina:

$(41.575,250/350) = \dots\dots\dots 118,786 \text{ m}^3/\text{g}$

Volumi piscina:

- a) volume piscine piccola 1: $(8 \times 8 \times 0,7) = \dots\dots\dots 44,80 \text{ m}^3$
- b) Volume piscina piccola (baby) 2: $(12 \times 5 \times 0,7) = \dots\dots\dots 42,00 \text{ m}^3$
- c) volume piscina sub: $(12 \times 8 \times 4,5) = \dots\dots\dots 432,00 \text{ m}^3$
- d) volume piscina grande 1: $(25 \times 16,6 \times 1,7) = \dots\dots\dots 705,50 \text{ m}^3$
- e) volume piscina grande 2: $(25 \times 12,5 \times 1,7) = \dots\dots\dots 531,25 \text{ m}^3$
- f) volume vasca compenso grande: $(15 \times 2 \times 1,6) = \dots\dots\dots 48,00 \text{ m}^3$
- g) volume vasca compenso grande + sub: $(17 \times 6,5 \times 1) = \dots\dots\dots 110,50 \text{ m}^3$
- h) volume vasca compenso piccola: $(8 \times 1,5 \times 1) = \dots\dots\dots 12,00 \text{ m}^3$
- i) **Volume totale acqua in piscina:.....1.926.05 m³**

A) Calcolo delle dispersioni degli specchi d'acqua

La dispersione del calore, dagli specchi d'acqua verso l'ambiente interno, contribuisce al riscaldamento dello stesso, conferendo una quantità di energia che integra quella apportata dagli impianti di riscaldamento.

La quantità di energia dispersa dalle vasche nell'arco delle 24h risulta essere:

3.482.155 kWh/g

Le dispersioni calcolate sono da considerarsi nel periodo compreso tra ottobre e maggio, escludendo il periodo estivo giugno – settembre.

Solo come nota informativa riportiamo il dato inerente alla quantità di acqua che annualmente evapora dalle vasche verso l'ambiente, che risulta essere **143,75 m³**.

B) Calcolo energia termica per riscaldamento acqua di rinnovo

Nella valutazione energetica, di notevole rilievo, è la quantità di energia termica occorrente al riscaldamento dell'acqua giornalmente ricambiata.

Questa, dai calcoli effettuati, risulta essere circa il 6,169 % del volume totale delle piscine e delle relative vasche di compenso, che come riportato al punto "i" di pag. 2, risulta essere di 1.926,05 m³;

Ricambio totale acqua in piscina:.....118,795 m³ g

- temperatura media dell'acqua di rete nel periodo di utilizzo delle piscine interne è di 9,1 °C;
- ricambio acqua piscine a 28 °C = 102,926 mcg;
- ricambio acqua piscine a 33 °C = 5,353 mcg;
- ricambio acqua contenuto nelle vasche di compenso a 33°C 0,740 mcg
- ricambio acqua contenuto nelle vasche di compenso a 28°C 9,776 mcg

Energia termica per piscine a 28 °C:

$$(19^{\circ}\text{C} \times (102.926\text{l} + 9.776\text{l}) \times 1,163)/1000 = \mathbf{2.490,376 \text{ kWh/g}}$$

Energia termica per piscine a 33 °C:

$$(24^{\circ}\text{C} \times (5.353\text{l} + 740\text{l}) \times 1,163)/1000 = \mathbf{170,068 \text{ kWh/g}}$$

La quantità di energia occorrente nelle 24h per il riscaldamento dell'acqua di rinnovo risulta essere:

2.660,444 kWh/g

C) Tabelle riepilogative (situazione attuale)

Tab.C1.0) CONSUMO ACQUA.

DESCRIZIONE	QUANTITA' m ³ g	QUANTITA' m ³ anno
ACQUA FREDDA SERVIZI E DOCCE	14,625	3.802,500
ACQUA CALDA SANITARIA	20,625	5.362,500
ACQUA DI RINNOVO	[118,795 - (0,00857l x350)]	41.575,250
ACQUA EVAPORATA	0,553	143,750
ACQUA PER IRRIGAZIONE	Dato non desumibile per quantità giorno	500,000
TOTALE	154,639	51.384,000

Tab.C 2.0) CONSUMO DI METANO

DESCRIZIONE	ENERGIA TERMICA kWh/ anno	Resa effettiva in kWh per Nmc di metano	Consumo annuale di metano Nmc
PRODUZIONE ACQUA CALDA SANITARIA	1.223,330 x 260gg	7,629	41.691,698
RISCALDAMENTO ACQUA DI RINNOVO	2.660,444 x 260gg	7,629	90.669,214
Dispersioni verso l'ambiente	3.482,155 x 240gg	7,629	109.544,790
Riscaldamento degli ambienti	1.228,220 x 160gg	7,629	24.149,037
TOTALE	2.029.731,440	7,629	266.054,739

D) Calcolo energia termica per produzione acqua calda sanitaria

Dai dati riportati al punto 7 della pagina 1 è stata ricavata l'energia termica occorrente attualmente per la produzione di 27,5 l/g pro capite per 750 utenti-giorno. Con un opportuno trattamento di dechlorazione sarà possibile riutilizzare l'acqua di ricambio che differentemente dovrebbe essere riversata in fogna, con l'ulteriore vantaggio di riscaldare acqua con una temperatura di partenza di ben 25°C/26°C. Premesso ciò calcoliamo la quantità di energia che giornalmente verrà impiegata per il riscaldamento dell'acqua sanitaria ad una temperatura di 50°C recuperando l'acqua di ricambio:

$$[(20.625 \text{ l/g} \times \Delta t \text{ 25 } ^\circ\text{C} \times 1,163)/1000] = 599,672 \text{ kWh}$$

E) RECUPERI

I recuperi che si possono praticare sono totalmente da effettuarsi sull'acqua di rinnovo. Da questa sarà possibile recuperare sia l'energia termica sia parte della stessa acqua da riutilizzare successivamente per le docce e per gli scarichi dei servizi igienici.

E.1 recupero acqua.

La quantità di acqua che quotidianamente viene ricambiata nelle vasche, come precedentemente riportato, è di **118,795 m³g**. Da tale quantitativo possiamo recuperare la seguente quantità:

consumo pro capite di acqua per doccia in ingresso piscina:..... a 26°C 5,0 l/pers

consumo pro capite di acqua per servizi igienici:.....fredda 12,0 l/pers

consumo pro capite di acqua per docce:.....calda 27,5 l/pers

consumo pro capite di acqua per miscelazione doccia caldafredda 5,0 l/pers

quantità recuperabile pro capite:..... 49,5 l/g

quantità recuperabile giornalmente: 49,5 l/pers x 750 p.p./g =.....37.125 l/g

L'acqua recuperata e destinata alle docce, prima di essere riutilizzata dovrà subire un procedimento di dechlorazione. Mentre per i servizi igienici ci sarà un semplice stoccaggio di **9,0 m³**.

Tab.E.1) Recupero acqua.

DESCRIZIONE	QUANTITA' m ³ g	QUANTITA' m ³ anno
ACQUA FREDDA SERVIZI E DOCCE INGRESSO	16,500	4.290,000
ACQUA CALDA SANITARIA	20,625	5.362,500
ACQUA PER IRRIGAZIONE	-----	500,000
TOTALE	31,50	10.152,500

E.2 recupero del calore.

Riutilizzando **31.5 m³/g** dell'acqua di rinnovo, restano a disposizione del recupero di calore **87,295 m³/g** che, valorizzato, verrà riutilizzato per il riscaldamento dell'acqua di rinnovo in ingresso dalla rete.

Per il recupero e la valorizzazione dell'energia dell'acqua di rinnovo, verrà utilizzato una macchina termodinamica appositamente studiata. In sede di sopralluogo abbiamo misurato la temperatura dell'acqua scaricata nella rete fognaria, rilevando una temperatura media di **26 °C**. Per evitare eventuali problemi di congelamento si è deciso di effettuare il recupero fino alla temperatura di **4,5 °C**. La pompa di calore sarà del tipo acqua/acqua a doppio stadio. Nel primo stadio avverrà il recupero di **50,922 kWh**, mentre nel secondo il recupero di energia sarà di **34,554 kWh**. Per il suo funzionamento e di tutti i suoi componenti occorrerà una potenza elettrica massima di **9,39 kWh**. L'energia totale recuperabile per ogni ora di funzionamento sarà, quindi: **85,476 kWh**, avendo un **COP** di **9,1**.

Il consumo elettrico giornaliero sarà:

$$9,39 \text{ kWh} \times 24\text{h/g} = 89,46 \text{ kWh/g.}$$

Quello annuale sarà:

$$89,46 \text{ kWh/g.} \times 260\text{gg/anno} = 23.259,60 \text{ kWh/anno}$$

E.3 Produzione di Acqua Calda Sanitaria.

Attualmente la struttura consuma giornalmente per la produzione di acqua calda sanitaria la seguente quantità di metano:

$$(20.625,000 \text{ l/g} \times \Delta t 51^\circ\text{C} \times 1,163)/1000 = 1.223,330 \text{ kWh/g}$$

$$1.223,330 \text{ kWh/g} / 7,629 \text{ kWh/Nm}^3 = 160,353 \text{ Nm}^3/\text{g}$$

$$160,353 \text{ Nm}^3 \times 260\text{gg} = 41.691,698 \text{ Nm}^3$$

Il recupero dell'acqua consente di risparmiare oltre che sui consumi idrici, anche sul consumo di metano. Ipotizzando di utilizzare l'attuale sistema di produzione di acqua calda il risparmio di metano sarà:

- temperatura di partenza acqua 25°C;

- temperatura di produzione 60°C:

- quantità acqua da riscaldare 25 l/p x 750 pp = 18.750l/g .

$$(18.750 \text{ l/g} \times \Delta t 35^\circ\text{C} \times 1,163)/1000 = \mathbf{763,218 \text{ kWh/g}}$$

$$763,218 \text{ kWh/g} / 7,629 \text{ kWh/Nm}^3 = \mathbf{100,042 \text{ Nm}^3/\text{g}}$$

$$100,042 \text{ Nm}^3/\text{g} \times 260\text{gg} = \mathbf{26.010,920 \text{ Nm}^3}$$

$$\mathbf{41.691,698 \text{ Nm}^3 - 26.010,920 \text{ Nm}^3 = 15.680,78 \text{ Nm}^3}$$

Per eliminare quasi totalmente il consumo di metano, potrà essere installato un impianto solare termico.

La radiazione **giornaliera media annua**, alla latitudine di Forlì, per unità di superficie, è di 4,2kWh, con orientamento a sud ed inclinazione 45°. Un collettore solare selettivo rende mediamente 2,01 kWh/m² giorno, volendo coprire il **50%** del fabbisogno medio annuale occorrerà installare un impianto a circolazione forzata composto da **166 collettori solari**. L'energia mediamente producibile in un giorno da 165 collettori solari termici sarà: 165 x 2,3m²x 2,01kWh/m² giorno = **767,418 kWh/g**, tale energia risulta essere pari a quella occorrente per la totale produzione di acqua calda, infatti:

$$767,418 \text{ kWh/g} / 7,629 \text{ kWh/Nm}^3 \times 260\text{gg}/\text{anno} = \mathbf{26.153,976 \text{ Nm}^3}$$

Durante il periodo estivo si potrà utilizzare l'impianto solare termico per il riscaldamento delle piscine esterne. Non contabilizziamo tale energia in quanto attualmente le piscine esterne non sono riscaldate, quindi, l'amministrazione non sostiene alcun costo a riguardo.

F.2 Riscaldamento acqua di rinnovo.

Dall'acqua di scarico la pompa di calore riuscirà a recuperare giornalmente una quantità di energia pari a **2.051,424 kWh/g**, per cui inferiore a quella richiesta per il suo riscaldamento. Come riportato nella tabella C 2.0, la quantità di energia richiesta giornalmente è di **2.588,170 kWh/g**, quindi occorrerà integrare energia termica per **536,746 kWh/g**, mentre quella annua ammonta a:

$$536,746 \text{ kWh/g} \times 260\text{gg} = \mathbf{139.553,960 \text{ kWh}/\text{anno.}}$$

Questa quantità di energia potrà essere integrata da un recuperatore di calore a ciclo di compressione da inserire in serie allo scarico delle acque bianche con l'integrazione dell'impianto solare termico nei giorni soleggiati.

Considerando che la disponibilità di energia per l'integrazione del solare termico, è strettamente legata alle condizioni meteorologiche, prudenzialmente siamo costretti a dimensionare un recuperatore in grado di fornire tutta l'energia a completamento del fabbisogno. Considerando un **COP 6**, possiamo calcolare l'energia elettrica che consumerà considerando che il recuperatore a compressione, per integrare totalmente l'energia mancante per il riscaldamento dell'acqua di rinnovo, dovrà funzionare solo nelle ore di utenza della struttura, per cui per **9h/g**, per cui avremo:

$$536,746 \text{ kWh/g} / 9\text{h/g} = 59,64 \text{ kW}$$

L'assorbimento elettrico nominale sarà:

$$59,64 \text{ kW} / 6 = 9,94 \text{ kW}$$

Il consumo elettrico giornaliero sarà:

$$9,94 \text{ kW} \times 9\text{h/g} = 89,46 \text{ kWh/g.}$$

Quello annuale sarà:

$$89,46 \text{ kWh/g.} \times 260\text{gg/anno} = 23.259,6 \text{ kWh/anno}$$

Il dato appena riportato tiene conto del solo funzionamento del recuperatore, ma da tale consumo elettrico va detratto l'apporto dell'impianto solare termico che, in base all'andamento delle radiazioni solari nei diversi mesi dell'anno potrà integrare per il 40% . Quindi il consumo effettivo di energia elettrica sarà:

$$23.259,6 \text{ kWh/anno} \times 0,4 = 9.303,84 \text{ kWh/anno}$$

$$23.259,6 \text{ kWh/anno} - 9.303,84 \text{ kWh/anno} = 13.956,06 \text{ kWh}$$

Con l'impiego delle tecnologie fin qui esposte la tabella energetica 2.0 potrebbe subire un'ulteriore ritocco come sotto riportato:

F.3) CONSUMO DI METANO

DESCRIZIONE	ENERGIA TERMICA kWanno	Resa effettiva in kWper Nm ³ di metano	Consumo annuale di metano m ³
PRODUZIONE ACQUA CALDA SANITARIA	Recupero + Solare	7,629	-----
RISCALDAMENTO ACQUA DI RINNOVO	Recupero + Solare	7,629	-----
Dispersioni verso l'ambiente	3.561,686 x 240gg	7,629	112.046,748
Riscaldamento degli ambienti	1.228,220 x 150gg	7,629	24.149,000
TOTALE	1.168.472,121	7,629	136.195,748

G) RIEPILOGO

Per ogni centro di costo ci saranno le seguenti variazioni:

G.1) METANO

	Prima dell'intervento	Dopo l'intervento
Consumo Nm ³	265.890,000	136.195,748
Costo unitario €/Nm ³	0,7	0,7
Totale consumo €	186.123,00	95.337,02
SALDO ATTIVO		90.785,98

G.2) Acqua

	Prima dell'intervento	Dopo l'intervento
Consumo m ³	51.384,000	41.231,500
Costo unitario €/m ³	1,42	1,42
Totale consumo €	72.965,26	58.548,73
SALDO ATTIVO		14.416,53

G.3) ENERGIA ELETTRICA

	Prima dell'intervento	Dopo l'intervento
Consumo kWh	1.075.640	1.112.855,66
Costo unitario €/ kWh	0,12	0,12
Totale consumo €	129.076,85	133.542,68
SALDO NEGATIVO		- 4.465,83

Il risparmio totale annuo ammonta a € 100.736,68

H) CONCLUSIONI.

Gli interventi previsti sono essenzialmente di tre tipi:

- 1) installazione di una pompa di calore bistadio per il recupero del calore contenuta nell'acqua di rinnovo;
- 2) installazione di un serbatoio di stoccaggio dell'acqua da riutilizzare completo di sistema di sterilizzazione acqua;
- 3) installazione di un recuperatore di calore dalle acque bianche;
- 4) installazione di un impianto solare termico.

Tutti gli interventi non sono invasivi, infatti, durante l'esecuzione dei lavori la struttura potrà continuare indisturbata la sua attività. Per l'inserimento dei sistemi descritti nei punti 1, 2, 3 non necessita la sosta degli impianti. Per stabilire il costo degli interventi necessita una progettazione esecutiva, ma a grandi linee possiamo dare un costo approssimativo per ognuno di essi.

- 1) Recuperatori di calore, montaggio e messa in esercizio € 230.000,00 pay back 4 anni circa;
- 2) recupero acqua e dechlorazione, montaggio e messa in esercizio € 65.000,00 pay back 5 anni circa;
- 3) solare termico, montaggio e messa in esercizio € 86.000,00 pay back 4,5 anni circa.

Gli importi sopra riportati sono indicativi, basati su dati statistici medi e valutazioni tecniche che per quanto accurate sono affette da imprecisione intrinseca, e, pertanto, vengono utilizzati come dati di riferimento e non come valori certi.

I dati sono al netto delle imposte. Sono suscettibili di variazione anche in relazione dell'andamento dei costi delle materie prime.