



**REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA**  
**REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA**  
AGENZIA CUNSERVATORIA DE SAS COSTERAS DE SARDIGNA  
AGENZIA CONSERVATORIA DELLE COSTE DELLA SARDEGNA

**DOCUMENTO PRELIMINARE ALL'AVVIO DELLA PROGETTAZIONE DEGLI  
INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA, RESTAURO CONSERVATIVO E  
RIFUNZIONALIZZAZIONE DEL FARO DI RAZZOLI - COMUNE DI LA MADDALENA**

**ai sensi dell'art. 15, comma 5 e 6 del DPR 207/2010**

**ALLEGATO 3**

**Rapporto tecnico scientifico sui fabbisogni energetici e sui sistemi  
impiantistici più idonei per l'approvvigionamento idrico ed il trattamento  
con possibilità di recupero delle acque reflue**



**PROGRAMMA DI RICERCA FINALIZZATO ALL'AUTO-SOSTENIBILITÀ DI FARI,  
STAZIONI SEMAFORICHE E VEDETTE DEL PATRIMONIO MARITTIMO-COSTIERO  
DELLA SARDEGNA**

**Rapporto tecnico scientifico sui fabbisogni energetici e sui sistemi impiantistici più idonei per l'approvvigionamento idrico ed il trattamento con possibilità di recupero delle acque reflue**

**FARO DI RAZZOLI - COMUNE DI LA MADDALENA**

**Referenti scientifici: Prof. Paolo Giuseppe Mura**  
**Prof.ssa Alessandra Carucci**

**Gruppo di lavoro: Prof. Roberto Baccoli, Ing. Giovanna Cappai, Ing. Marco Pinna, Ing. Roberto Innamorati, Ing. Mario Garau**



## Sommario

Premessa.....	1
1. Soluzioni tecniche per la produzione dell'energia elettrica.....	1
2. Soluzioni tecniche per l'approvvigionamento idrico ed il trattamento reflui.....	4
2.1 Destinazione d'uso e fabbisogno idrico stimato .....	4
2.2 Approvvigionamento idrico.....	4
2.2.1 Approvvigionamento via mare .....	5
2.2.2 Produzione in loco tramite dissalazione per Osmosi Inversa .....	5
2.2.3 Raccolta e riutilizzo delle acque piovane .....	6
2.3 Trattamento dei reflui.....	6
2.3.1 Trattamento dei reflui con riutilizzo delle acque grigie.....	6
2.3.2 Trattamento dei reflui senza separazione e riutilizzo delle acque grigie.....	8
3. Utilizzo razionale dell'Energia.....	10
Riferimenti normativi.....	16



## Premessa

Il presente documento illustra le ipotesi di adeguamento impiantistico applicabili al progetto di messa in sicurezza, restauro conservativo e rifunzionalizzazione del Faro di Razzoli sito nell'Isola di Razzoli, Comune di La Maddalena.

Un aspetto che richiederà un'attenzione particolare sarà la necessità di un adeguamento impiantistico e tecnologico che si inquadri nel rigoroso panorama normativo e tenda al perseguimento di attuali standard di comfort e di sicurezza.

La particolare condizione di isolamento del faro di Razzoli e la mancanza di reti di alimentazione elettrica, idrica e di scarichi fognari rendono necessario prevedere la realizzazione di sistemi impiantistici per l'approvvigionamento energetico e idrico ed il trattamento delle acque reflue tali da garantire l'autosufficienza del fabbricato.

In linea generale ci si orienterà pertanto verso soluzioni tecniche di un impianto di produzione dell'energia elettrica che garantisca l'autosufficienza e la sostenibilità energetica.

Le soluzioni impiantistiche devono essere compatibili con i vincoli imposti dalle esigenze di tutela del bene e del contesto paesaggistico in cui esso è inserito.

### 1. Soluzioni tecniche per la produzione dell'energia elettrica

Per la stima del fabbisogno di energia elettrica del sito di Razzoli, si è effettuato uno studio preliminare, avvalendosi sia dei dati del Piano Energetico Ambientale della Regione Sardegna, sia delle pubblicazioni ENEA e GSE per utenze di tipo semi-ricettivo.

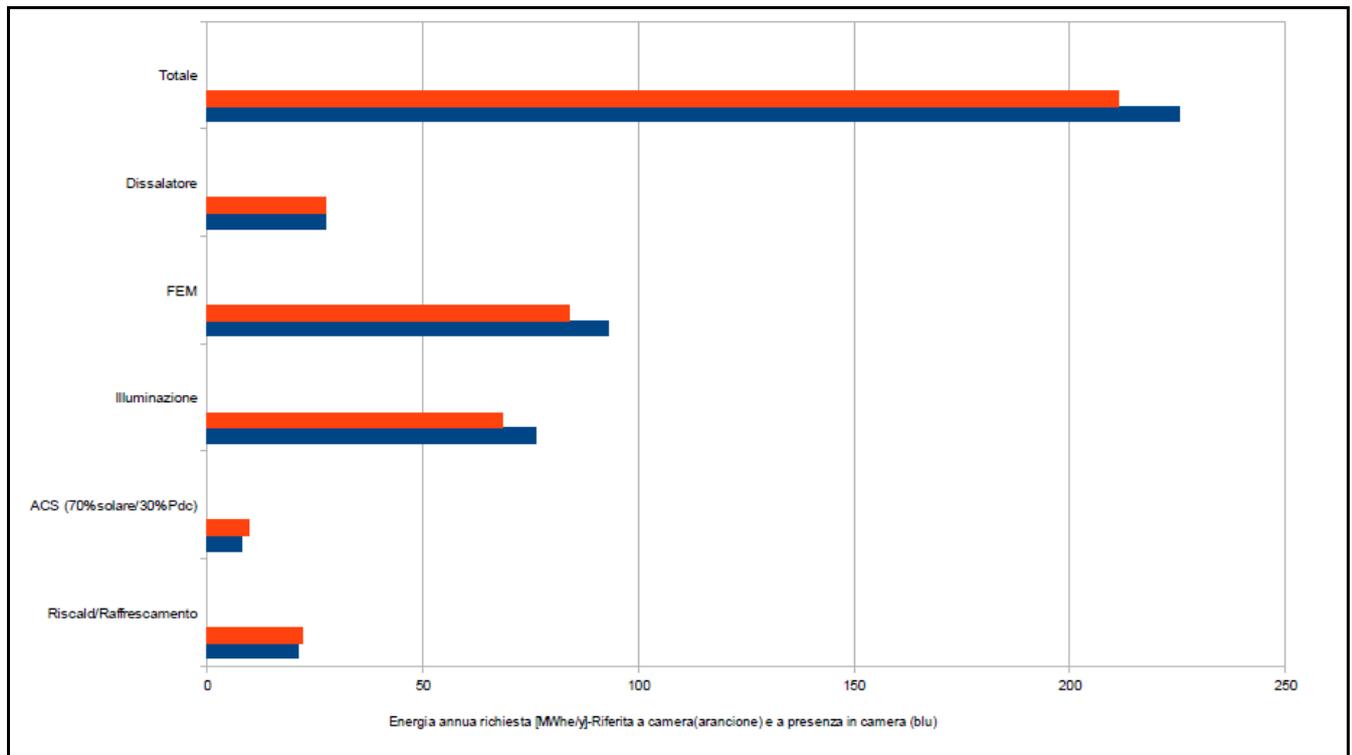
Per il sito in oggetto si è stimato un fabbisogno di energia elettrica di circa 225.000 kWh/anno.

I fabbisogni annuali di energia suddivisi per tipo di utenza, sono riportati nella tabella e nel grafico successivi (Tabella 1 e Figura 1).

La prima colonna si riferisce ai dati calcolati per camera, la seconda colonna si riferisce ai dati per presenza in camera.

**Tabella 1 Fabbisogno di energia elettrica in MWh, del faro di Razzoli, diviso per tipo di utenza**

<b>Riscald/Raffrescamento</b>	21	22,08
<b>ACS (70%solare/30%Pdc)</b>	7,92	9,64
<b>Illuminazione</b>	76,09	68,51
<b>FEM</b>	92,99	83,74
<b>Dissalatore</b>	27,38	27,38
<b>Totale</b>	225,38	211,34



**Figura 1 Fabbisogno di energia elettrica in MWh, del faro di Razzoli, diviso per tipo di utenza**

Considerando la mancanza delle infrastrutture di base, i consumi di energia elettrica possono essere garantiti con le soluzioni di seguito elencate:

- Impianto Stand Alone (in isola) fotovoltaico caratterizzato dall'assenza dell'allaccio alla rete di distribuzione elettrica. In questo caso l'impianto fotovoltaico provvede direttamente sia alla produzione dell'energia elettrica necessaria per l'intero fabbisogno dell'utenza sia all'accumulo dell'energia elettrica per le ore in cui è assente la fonte energetica alternativa. Un aspetto da valutare accuratamente è l'estesa superficie di copertura dei pannelli fotovoltaici e gli ingombri delle batterie di accumulo.
- Impianto Stand Alone eolico di piccola taglia (mini o microeolico). Essendo finalizzato all'autoconsumo, l'impianto mini-eolico è fisicamente collegato a un sito specifico di installazione e intrinsecamente abbinato a un obiettivo di efficienza energetica ed economica. Il primo aspetto essenziale da valutare in fase di fattibilità è se il sito dispone di vento sufficiente. Bisogna infatti assicurarsi che il vento soffi ad una velocità superiore a una soglia minima che consente l'attivazione dell'impianto eolico e, soprattutto, che tale condizione persista per un numero sufficiente di ore nell'arco di un anno. Le fonti rinnovabili vento e sole abbinate ad un impianto stand alone, devono essere approfondite per capire se localmente

esistono le condizioni tecniche ed economiche per produrre energia in un quantitativo adeguato alle esigenze del sito.

Uno dei principali problemi della produzione di energia da fonti rinnovabili è infatti quello dell'accumulo di energia e della capacità di stoccaggio. Sia gli impianti fotovoltaici solari che quelli eolici, per essere convenienti, non devono solo massimizzare la loro produzione, ma anche incorporare un metodo di gestione degli eccessi e dei cali di energia. I sistemi di accumulo di energia elettrica sono dispositivi statici, da selezionare in base alla tipologia di applicazione, e dimensionati in funzione della potenza e dell'autonomia che devono garantire.

- Gruppo di cogenerazione alimentato a gas che produce contemporaneamente energia elettrica ed energia termica. E' una soluzione tecnica adatta all'impiego in strutture dove c'è necessità sia di energia elettrica che di una grande quantità di acqua calda sanitaria. Per quanto riguarda la produzione di energia termica, il gruppo di cogenerazione funziona in abbinamento a una caldaia: entrambi i generatori di calore sono collegati all'impianto e provvedono a riscaldare l'acqua per il riscaldamento e l'acqua sanitaria (Figura 2).

Alla base del gruppo di cogenerazione vi è l'idea della produzione decentralizzata di energia: queste unità sono in grado di produrre energia elettrica per soddisfare il fabbisogno dell'utenza e allo stesso tempo il calore prodotto viene recuperato ed impiegato per il riscaldamento dell'acqua sanitaria e degli ambienti.

Il rendimento complessivo di un gruppo di cogenerazione può raggiungere il 96%, con un rendimento termico di circa il 64% e un rendimento elettrico di circa il 32%.

In questo caso gli aspetti da valutare sono il posizionamento del serbatoio del gas, e il posizionamento del gruppo di cogenerazione.

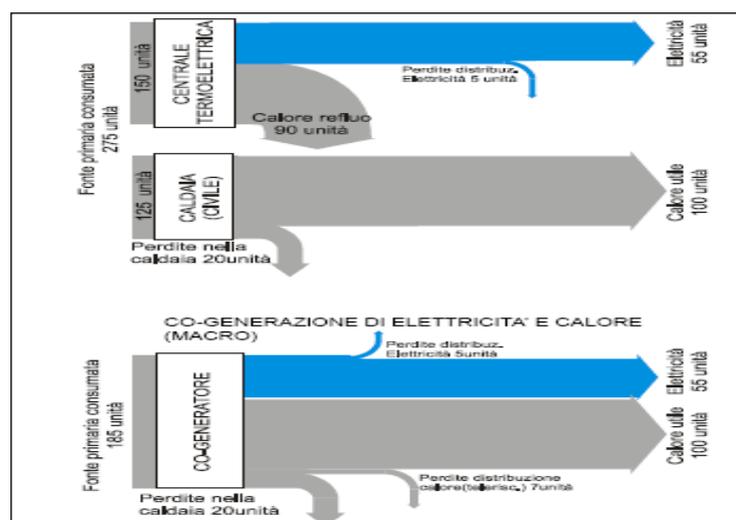


Figura 2 Confronto tra cogenerazione e generazione separata di elettricità e calore

- Soluzione ibrida con gruppo di cogenerazione a gas, in parallelo ad un impianto fotovoltaico e ad una piccola turbina eolica.

In questo caso l'energia elettrica di base viene prodotta dal gruppo di cogenerazione, ma l'impianto fotovoltaico e la turbina eolica, contribuiscono alla generazione dell'energia limitando la potenza del gruppo di cogenerazione.

## 2. Soluzioni tecniche per l'approvvigionamento idrico ed il trattamento reflui

Nella medesima direzione saranno orientate anche le scelte relative all'approvvigionamento idrico e al trattamento dei reflui.

### 2.1 Destinazione d'uso e fabbisogno idrico stimato

La nuova destinazione d'uso del Faro di Razzoli avrà una forte impronta culturale-divulgativa, ospitando uno spazio museale al quale sarà affiancato un bookshop. Dato l'isolamento e l'oggettiva difficoltà di raggiungimento, ai visitatori potrà essere fornita la possibilità di soggiornare all'interno della struttura.

Tra visitatori giornalieri, ospiti pernottanti e addetti del personale, si è stimato un numero di Abitanti Equivalenti pari a 35, che si traduce in un fabbisogno idrico totale stimato di circa  $5,5 \text{ m}^3/\text{d}$ , considerando un uso della risorsa idrica attenta ad evitare gli sprechi.

### 2.2 Approvvigionamento idrico

Sull'isola non è presente una rete di distribuzione dell'acqua né una rete fognaria o un sistema di raccolta dei reflui, così come non è presente la rete elettrica. Il faro è però dotato di due cisterne interrate, per una volumetria complessiva di  $100 \text{ m}^3$  d'acqua, che garantirebbe, a pieno regime, un'autonomia di oltre 18 giorni. L'approvvigionamento idrico può essere effettuato via mare, tramite Supply Vessels (barche cisterna) o in loco tramite dissalatore. In entrambi i casi è possibile, oltre che opportuno, affiancare all'approvvigionamento "primario" un sistema di riutilizzo delle acque grigie e di recupero delle acque meteoriche.



### 2.2.1 Approvvigionamento via mare

L'approvvigionamento via mare è possibile tramite un servizio di barche cisterna (supply vessels) adatte all'approdo nei pressi del faro, presumibilmente con basso fondale. Il numero di viaggi richiesti, fattore di maggiore influenza nella voce dei costi, dipende dalla capacità di carico delle barche. Andranno valutate le soluzioni tecniche più adatte al riempimento della cisterna interrata, dettate dalla distanza che separa la cisterna dal punto d'approdo.

### 2.2.2 Produzione in loco tramite dissalazione per Osmosi Inversa

La soluzione tecnica per la produzione di acqua dolce per dissalazione di acqua di mare di seguito proposta è quella dell'Osmosi Inversa (OI), un processo a membrana di larga diffusione e di comprovata affidabilità. L'osmosi inversa è il processo in cui si forza il passaggio delle molecole di solvente dalla soluzione più concentrata alla soluzione meno concentrata ottenuto applicando alla soluzione più concentrata una pressione maggiore della pressione osmotica. In pratica, l'osmosi inversa viene realizzata con una membrana che trattiene il soluto da una parte impedendone il passaggio e permette di ricavare il solvente puro dall'altra. La soluzione salina viene pompata in un contenitore chiuso dove è spinta, applicando una pressione, attraverso la membrana. A seguito del passaggio della soluzione salina attraverso la membrana, il contenuto in sali della parte rimanente (detta concentrato o salamoia) a monte aumenta. Per evitare l'eccessiva concentrazione di sali nella salamoia una parte di questa deve essere scaricata. Senza questa operazione di scarico la salamoia aumenterebbe notevolmente il suo contenuto in sali, creando numerosi problemi (precipitazione di sali super saturi e aumento della pressione osmotica attraverso la membrana).

L'adozione di moduli con membrane a fibre cave permette di assemblare un impianto molto compatto, con una potenzialità di 1 m<sup>3</sup>/h di acqua dolce.

I consumi energetici di un dissalatore a membrana (OI) sono legati alla concentrazione salina dell'acqua alimentata, ma i sistemi di moderna concezione, dotati di tecnologie di recupero energetico, consentono un notevole risparmio per questa voce dei costi. Il Mar Mediterraneo ha una concentrazione salina media di circa 30 g/l, che permette di stimare i consumi energetici in circa 2,5 kWh/m<sup>3</sup> di acqua dolce prodotta.

I costi energetici a regime dipenderanno dal costo unitario dell'energia elettrica.

Data la potenzialità ridotta dell'impianto, si può prevedere un'operatività leggermente inferiore alle condizioni ottimali, in modo da allungare la vita delle membrane e ritardare il fenomeno del "fouling" studiando opportuni metodi di pretrattamento che evitino l'innalzamento dei costi.

L'impatto ambientale dei dissalatori può variare a seconda dell'area di installazione e del numero di impianti installati, infatti il processo di OI produce una salamoia ad elevata concentrazione salina. Se



l'area è circoscritta l'impatto è avvertibile e merita uno studio accurato. Sarà presente un'opera di presa dell'acqua di mare lontana e sopra corrente rispetto agli scarichi della salamoia per evitare che l'esercizio sia influenzato dagli stessi. La salamoia di solito viene scaricata in una zona che permette una rapida dispersione, per cui il suo effetto sull'ambiente può essere ridotto al minimo. Le funzioni di miscelazione nel mare dovrebbero essere tali da non danneggiare la vita marina. Poiché la densità del concentrato è superiore a quella dell'acqua di mare, dovrà essere scaricato almeno 2 metri al di sopra del fondale marino per una migliore diluizione.

### **2.2.3 Raccolta e riutilizzo delle acque piovane**

Il recupero dell'acqua piovana si pone come una soluzione integrativa al sistema di dissalazione. I sistemi per il recupero dell'acqua piovana sono relativamente poco costosi e l'intero principio può godere di un'alta efficienza, l'unico limite è imposto dalla capacità del serbatoio di stoccaggio e dalla superficie di raccolta. Un sistema di recupero dell'acqua piovana è solitamente composto da 4 elementi: una superficie di raccolta (nella situazione più classica si tratta di un tetto), un sistema di collettamento, seguito da un filtro a sabbia o, per esigenze maggiori, a carboni attivi, che conduce l'acqua piovana recuperata in un contenitore di stoccaggio.

## **2.3 Trattamento dei reflui**

Il trattamento dei reflui potrà mirare verso l'autosufficienza e la minimizzazione degli sprechi, presentando un layout impiantistico pensato per il trattamento e riutilizzo delle acque grigie, oppure presentare un'unica linea di trattamento reflui, con altre soluzioni impiantistiche più semplici, ma che non consentiranno il recupero di parte della risorsa idrica.

Per lo smaltimento delle acque trattate occorrerà fare riferimento alla Direttiva in materia di "Disciplina Regionale degli Scarichi" (Delibera della Giunta Regionale n° 69/25 del 2008), al Testo Unico in materia ambientale 152/06, parte terza, e al D.M. 185/03.

### **2.3.1 Trattamento dei reflui con riutilizzo delle acque grigie**

Il layout impiantistico sarà caratterizzato da due linee di trattamento in parallelo, una destinata alle acque grigie, la seconda al trattamento di quelle nere.

#### **2.3.1.1 Linea acque grigie**

A monte sarà presente un collettore di raccolta della frazione delle acque grigie, ossia le acque provenienti da bagni, cucine, lavanderia e che derivano dai lavaggi, senza la presenza di feci e urine e



quindi a basso contenuto inquinante, che le separerà dai reflui provenienti dai servizi igienici (acque nere).

Le acque grigie rappresentano, in volume, circa il 90% dei reflui prodotti, con un contenuto organico attorno a 0,08 gBOD<sub>5</sub>/l.

Tale frazione è convogliata verso un degrassatore che rappresenta il pretrattamento della linea acque grigie con lo scopo di separare dall'acqua i grassi contenuti nei saponi e nei resti alimentari. Questi, infatti, hanno la tendenza ad indurirsi e ostruire le condutture fognarie o del sistema preposto al trattamento. Sarà opportuno prevedere un volume di circa 50 l per Abitante Equivalente.

Al pretrattamento con degrassatore segue un trattamento di fitodepurazione, un sistema di depurazione naturale delle acque reflue che riproduce il principio di autodepurazione tipico degli ambienti acquatici e delle zone umide.

Si opta per uno schema a flusso orizzontale subsuperficiale perché il carico organico non è elevato. Questo schema permette di ridurre a zero la produzione di cattivi odori e il proliferare di zanzare. La copertura vegetale potrà essere effettuata con la comune canna di palude (*Phragmites Australis*) o con piante autoctone.

Se il terreno di fondo non è naturalmente impermeabile, sarà necessario ricorrere all'impermeabilizzazione del letto in modo artificiale tramite specifici teli in materiale composito (es. PVC, HDPE, etc) o tramite uno strato di argilla di spessore idoneo.

L'isola di Razzoli è caratterizzata da diffuse intrusioni granitiche e una superficie topografica irregolare, condizioni che potrebbero rendere complicata l'individuazione di un'area destinata allo scavo per la fitodepurazione. Quindi potrebbe essere necessario optare per un sistema in rilevato.

La vasca di fitodepurazione a flusso orizzontale ha una profondità di almeno 0,6 m ed è riempita con un medium con porosità di circa 40%, disposto in modo tale da evitare cortocircuitazioni idrauliche che inficerebbero le capacità depurative del sistema e porterebbero problemi di intasamento. E' consigliabile adottare un tempo di ritenzione idraulica di almeno 2 giorni.

Le acque grigie depurate potranno poi essere riutilizzate nei servizi, per esempio come acque degli scarichi dei servizi igienici.

### **2.3.1.2 Linea acque nere**

Le acque nere sono convogliate ad una fossa Imhoff che dovrà essere completamente interrata all'esterno del fabbricato servito, ad una distanza di almeno 1 m dai muri di fondazione ed almeno 10 m dai serbatoi interrati, poggiante preferibilmente su un sottofondo di calcestruzzo magro e sovrastata da uno strato di sabbia di almeno 3 cm.



Secondo quanto previsto dall'allegato 3 della Direttiva in materia di "Disciplina Regionale degli Scarichi" (Delibera della Giunta Regionale n° 69/25 del 2008), i reflui provenienti da agglomerati non superiori ai 50 AE devono essere sottoposti a trattamenti appropriati che garantiscano la conformità dei corpi idrici recettori ai relativi obiettivi di qualità, e quindi recapitati su corpo idrico superficiale o sul terreno. I trattamenti appropriati dovranno essere dimensionati per garantire parametri in uscita non superiori ai valori di cui alla tabella A dell'allegato 1 della stessa Direttiva regionale (Tabella 2).

**Tabella 2. Valori limite allo scarico per agglomerati non superiori a 50 AE (all. 1, Tab. A, Direttiva regionale degli scarichi)**

Parametro <sup>1</sup>	Valore limite
Solidi sospesi totali (in mg/l) <sup>1</sup>	≤ 80
BOD <sub>5</sub> (in mg/l)	≤ 60
COD (in mg/l)	≤ 160
Per i reflui urbani con componente industriale e per i reflui assimilati ai domestici valgono tutti i restanti parametri della Tab. 3 dell'Allegato 5 alla parte terza del D.Lgs 152/06 limitatamente ai parametri caratteristici dei reflui che costituiscono lo scarico.	I valori limite di emissione prescritti dalla tabella 3 per scarichi in acque superficiali

<sup>1</sup> - Le analisi sugli scarichi provenienti da lagunaggio o fitodepurazione devono essere effettuati su campioni filtrati, la concentrazione di solidi sospesi non deve superare i 150 mg/L

La fossa Imhoff potrà essere seguita da subirrigazione con drenaggio (su terreni impermeabili o con fondo impermeabilizzato), con captazione finale che conduca in acque superficiali. Il collegamento tra la fossa Imhoff e la rete disperdente potrà essere effettuato a mezzo di pozzetto di tenuta in calcestruzzo o muratura e sifone di cacciata di immissione nella rete. Per la dispersione nel terreno possono essere impiegate condotte posate all'interno di trincee di subirrigazione.

### 2.3.2 Trattamento dei reflui senza separazione e riutilizzo delle acque grigie

Altra soluzione impiantistica è rappresentata dall'impiego di una sola linea di trattamento delle acque reflue, che quindi non contemplerà la separazione tra acque grigie e nere con il riutilizzo delle prime.

In questo caso, in alternativa alla fitodepurazione, eventualmente anche a flusso verticale, se realizzabile, si può ipotizzare un layout impiantistico che consti di un pretrattamento con degrassatore, al quale sarà convogliata l'intera portata di reflui, seguito da fossa Imhoff, adeguatamente dimensionata, che fungerà da sedimentatore primario.

Al trattamento primario seguirà quello biologico secondario. Il surnatante della Imhoff alimenterà un piccolo impianto a dischi biologici che assicurerà il rispetto delle prescrizioni per gli scarichi.

L'impianto a biodischi è composto da uno o più rulli in materiale plastico (es. polipropilene PP) ad elevata superficie specifica sulla quale si forma una pellicola biologica (biofilm) che viene aerata grazie alla lenta rotazione dei rulli solo parzialmente immersi (~40%) nella vasca di contenimento. Il biofilm, grazie all'ossigeno di cui può in tal modo disporre, provvede alla rimozione della sostanza organica contenuta nei reflui ed eventualmente all'ossidazione dell'azoto ammoniacale (nitrificazione). Il biorullo è installato in una vasca di acciaio o in cemento armato, adeguatamente protetta, che



dovrebbe far parte integrante della fornitura; inoltre è dotato di idonea copertura che limita l'impatto sull'ambiente circostante. Una costruzione robusta con un ingombro ridotto rispetto ai trattamenti biologici classici, unita ad una tecnologia semplice e collaudata, che richiede una ridotta attenzione offrendo la massima stabilità di processo.

I pregi più evidenti sono i minimi consumi di energia, con una potenza installata nell'ordine di 0,37 kW, il rendimento costante anche in fase di nitrificazione con carichi variabili, l'assenza di rumore, esalazioni sgradevoli e l'assenza di fanghi flottanti; inoltre non richiede la presenza di personale specializzato.

A seguire dovrebbe essere presente un sedimentatore secondario di dimensioni ridotte, visto l'esiguo numero di Abitanti Equivalenti. Lo spurgo dei fanghi dal sedimentatore potrebbe essere inviato al comparto fanghi della fossa Imhoff, in modo da ottimizzare la gestione dell'intera linea reflui.



### 3. Utilizzo razionale dell'Energia

La definizione di *uso razionale di Energia* (URE) può essere espressa come l'attitudine, con l'utilizzo di opportune tecnologie, a conseguire obiettivi di benessere di vita mediante l'identica produzione di beni, di servizi e di standard qualitativi di vivibilità, ma con un *minore prelievo di Energia Primaria* e quindi con minore danno all'ambiente.

In accordo con tali premesse, per un utilizzo razionale dell'energia sarà fondamentale anche la scelta di adeguati sistemi per la conversione dell'energia elettrica in energia termica per impianti tecnologici (riscaldamento, raffrescamento, produzione dell'acqua sanitaria) che rispondano all'imperativo dell'elevata efficienza energetica.

Nel rispetto dei principi del restauro conservativo si tenderà a soluzioni possibilmente non intrusive, non escludendo l'ausilio di moderne tecnologie, con l'obiettivo di non alterare irreversibilmente l'edificio e nel tentativo di raggiungere quel delicato equilibrio tra esigenze di conservazione e lecita volontà di riappropriazione e rifunzionalizzazione.

A questo proposito si propongono alcune soluzioni:

#### **1) Sistema a pompa di calore aria/aria e aria/acqua**

Le unità esterne sono alimentate elettricamente e devono essere installate all'esterno senza particolari accorgimenti. Contrariamente a quanto si crede, presentano un costo totale (investimento, costi di gestione e costi dell'energia) inferiore rispetto a quello delle installazioni tradizionali come caldaie a gas o ad olio (possono costare anche un 30% in meno a seconda delle casistiche di utilizzo). Il sistema a pompa di calore (Figura 3) è inoltre "reversibile"; consente cioè di "climatizzare" un dato ambiente per un intero anno (condizionamento estivo e riscaldamento invernale).

L'aria ha il vantaggio di essere disponibile ovunque e di non necessitare di autorizzazioni per il prelievo, contrariamente all'esecuzione di uno scambiatore nel terreno, di un pozzo di presa d'acqua di falda o di una presa d'acqua di lago o di mare; ma l'aria presenta variazioni di temperatura notevoli durante l'inverno, per cui è proprio quando fa freddo che la pompa di calore ha una efficienza energetica minore.

Tuttavia nei Comuni di pianura e costieri della Sardegna con clima mite e un valore di GG minore di 1000, la pompa di calore aria-aria e aria-acqua può avere efficienza media stagionale invernale non inferiore a 3; considerando la catena energetica complessiva con un rendimento di generazione elettrica inferiore a 0,36 per avere un sicuro vantaggio energetico, rispetto all'impianto a caldaia, è necessario che il coefficiente di prestazione (CdP) medio stagionale sia maggiore di 3.

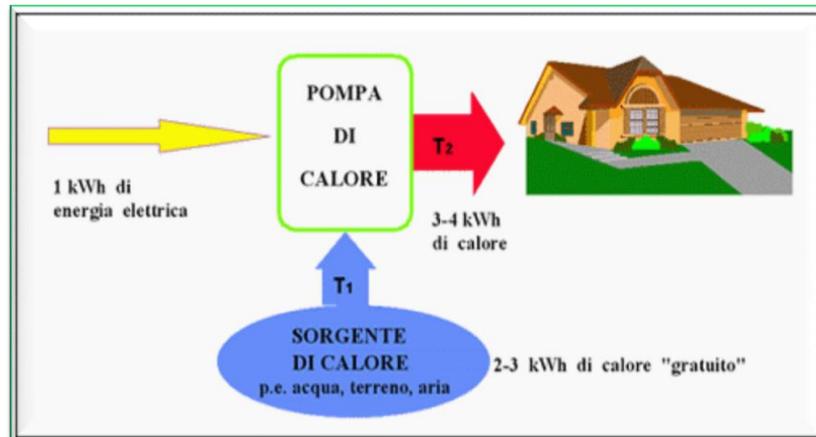


Figura 3 Schema funzionale semplificato di una pompa di calore

## 2) Sistema a pompa di calore geotermica

La Terra è in grado di fornire dell'energia termica, che si può considerare “quasi” rinnovabile, infatti sia le precipitazioni, sia le reazioni naturali che hanno luogo nel sottosuolo, sia il calore che fluisce dal nucleo della Terra verso la superficie, mantengono il sottosuolo a temperature praticamente costanti durante tutto l'anno (a parte i primissimi metri, che subiscono l'influenza dell'inverno), per effetto della grande inerzia termica della grande massa del sottosuolo.

Se la temperatura del sottosuolo, o dell'acqua da esso estraibile, è superiore alla temperatura ambiente, in pratica almeno 40 °C, essa ha una exergia sufficiente a renderla direttamente utile per alimentare processi che richiedono calore a bassa-media temperatura (preriscaldamento, impianti di riscaldamento con pannelli radianti a pavimento, etc.).

Poiché la temperatura del sottosuolo prossimo alla superficie alle nostre latitudini oscilla tra 12 e 17 °C, il sottosuolo può anche essere usato come pozzo di calore per il condensatore delle macchine frigorifere con funzione di accumulo dell'energia termica rilasciata d'estate, per poterla utilizzare nella successiva stagione invernale.

Questa differenza di temperatura è alla base del funzionamento delle pompe di calore geotermiche che, attraverso un opportuno fluido termovettore, possono estrarre calore d'inverno per riscaldare un ambiente e cedere il calore di condensazione durante il funzionamento frigorifero estivo per rinfrescare lo stesso ambiente. Tutto questo avviene avendo differenze di temperatura tra sorgente termica e ambiente da climatizzare inferiori rispetto a quanto si avrebbe utilizzando l'aria esterna come sorgente termica, pertanto si potrà avere un miglioramento dell'efficienza dell'impianto se si riesce a trasferire il calore dal frigorifero al suolo con piccoli gradienti di temperatura. Quando viene usata per la funzione di riscaldamento in regioni a clima mite, una tipica pompa di calore geotermica può avere un coefficiente di prestazione (CdP) compreso tra 3 e 5.

L'installazione di impianti geotermici può risultare vantaggiosa in generale nelle località in cui la temperatura media stagionale invernale è inferiore a 6 o 7 °C, e se il sottosuolo ha caratteristiche di diffusività termica buone. La pompa di calore geotermica può essere alloggiata in qualsiasi locale al chiuso, perché non necessita di ambienti aperti o dedicati e non necessita di canna fumaria. Tutto ciò consente un notevole recupero di spazi all'interno dell'edificio ed una riduzione degli oneri relativi alle opere murarie accessorie.

Gli impianti di climatizzazione geotermici rappresentano una delle tecnologie meno inquinanti, e più rispettose dell'ambiente. In questo tipo di impianti si ha la totale assenza di emissioni di CO<sub>2</sub> o di altre sostanze nocive (ossidi di azoto, ossidi di zolfo, polveri sottili, particolato, PM10, PM2,5, residui che si depositano nell'ambiente dove si vive o si lavora o anche policiclici aromatici cancerogeni, e diossine in caso di perdita di efficienza del bruciatore). Secondo il rapporto EPA (United States *Environmental Protection Agency - Air Emission, April 16, 2012*), gli impianti geotermici, sono il sistema che ha il più basso valore delle emissioni di CO<sub>2</sub> fra tutte le tecnologie disponibili per la climatizzazione e il più basso impatto ambientale complessivo. Durante l'estate poi, questi impianti non contribuiscono in alcun modo all'inquinamento termico dell'atmosfera, in quanto smaltiscono il calore nel sottosuolo, generando accumulo termico per la stagione invernale successiva.

### 3) Sistema a pompa di calore acqua-acqua

La pompa di calore acqua-acqua (Figura 4) ha il grande vantaggio che sia in estate (al condensatore) che in inverno (all'evaporatore), non scambia con una sorgente di calore come l'aria esterna che raggiunge basse temperature d'inverno e alte temperature d'estate, a discapito del rendimento della pompa di calore; ma scambia con l'acqua di mare che, data l'enorme inerzia termica, ha piccole variazioni della temperatura sia in estate che in inverno. L'acqua di falda sotterranea, di fiume o di lago costituisce anch'essa un'interessante sorgente termica. Il suo uso, tuttavia è limitato alle zone in cui è possibile estrarre l'acqua ad un costo piccolo (vicino alla riva di un fiume o del mare, o in presenza di falde a debole profondità).

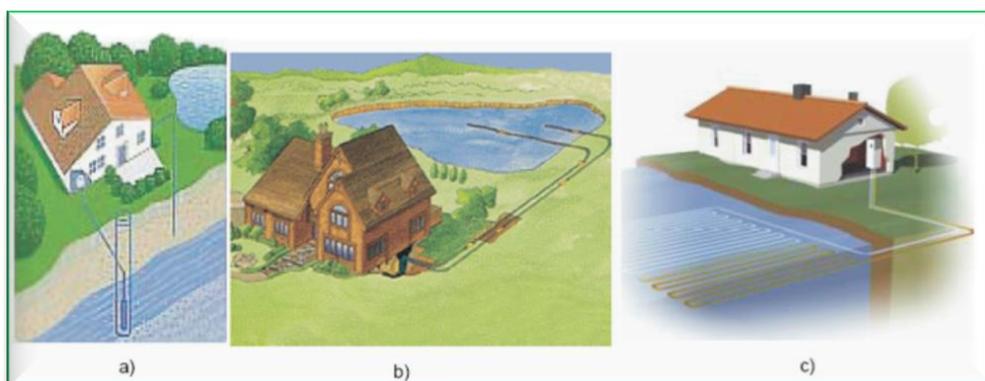


Figura 4 Esempi di pompe di calore del tipo acqua-acqua



L'acqua che cede o assorbe calore dallo scambiatore della pompa di calore è estratta da un pozzo o dal mare.

Questo schema è valido anche per le pompe di calore ad acqua di mare adottando scambiatori di cupro--nichel e tubi scotolabili per una buona e facile manutenzione. Per le strutture ricettive che si trovano in riva al mare questo tipo di impianto è fortemente consigliato se si vuole realizzare l'URE.

L'uso di entrambe le sorgenti suolo (con sonde geotermiche) e acqua necessita di specifica autorizzazione, che viene di norma concessa, a meno di conflitto con zone di protezione delle acque, di riserve o di captazioni idriche.

L'impianto a pompa di calore – macchina frigorifera ad acqua di mare è consigliato in tutte le strutture ricettive costiere; infatti con le temperature miti dell'acqua di mare si possono raggiungere CdP dell'ordine di 4 con grande risparmio di energia elettrica e quindi di energia primaria.

#### **4) Pompa di calore a cogenerazione alimentata a gas**

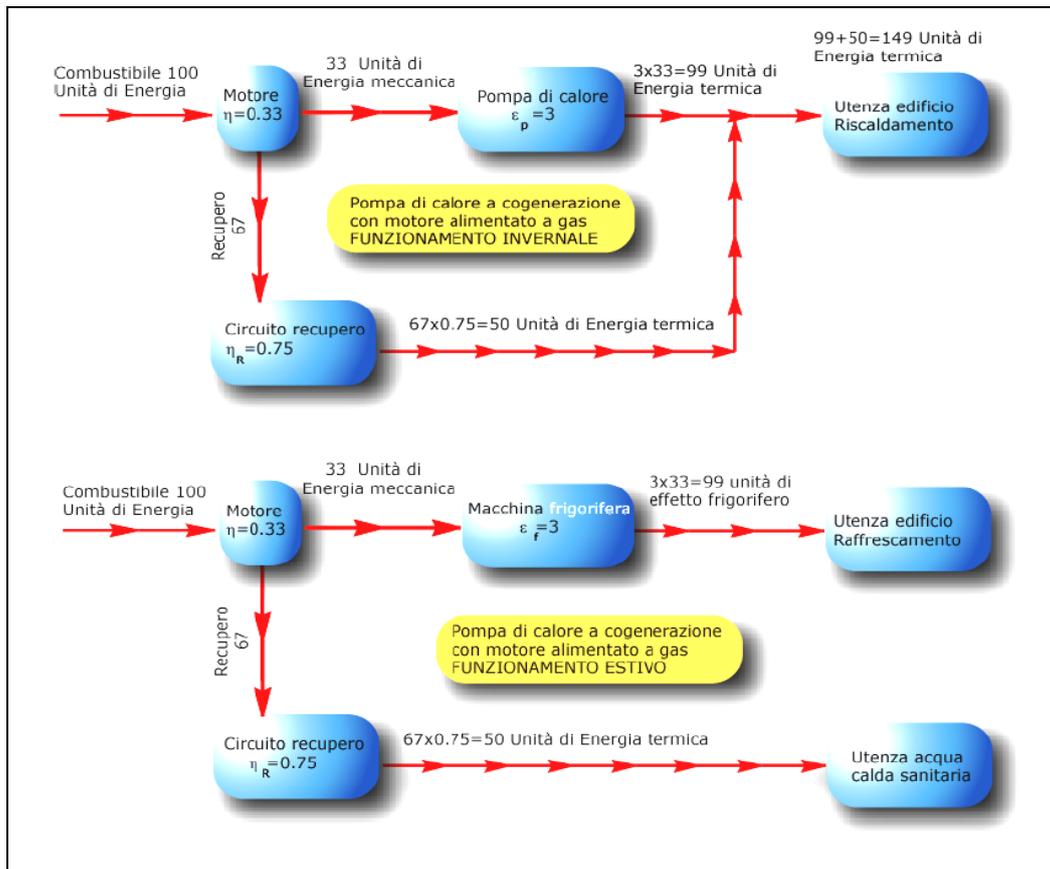
Per le utenze di tipo ricettivo è possibile utilizzare la pompa di calore a cogenerazione alimentata a gas (già oggi possibile con l'aria propanata) con motore endotermico che trascina il compressore del circuito frigorifero e consente il recupero del calore espulso dal motore endotermico (Figura 5); in tal modo si ottiene una efficienza energetica riferita alla energia primaria dell'ordine di 1,45 cioè quasi il doppio della efficienza di una normale caldaia.

A parità di potenza nominale, il costo di una pompa di calore a gas è superiore rispetto a quello di una elettrica di circa il 30%; ma l'economia di esercizio rende l'operazione conveniente, ove il gas combustibile venga venduto al prezzo che il metano ha nella penisola italiana.

#### **5) Impianto solare per il riscaldamento dell'acqua sanitaria**

La normativa vigente prevede che per tutte le nuove installazioni, il 50% del fabbisogno termico necessario per riscaldare l'acqua sanitaria, venga prodotto da fonte rinnovabile.

In questo caso, si può valutare la possibilità di adottare un impianto a collettori solari piani che avranno il compito di integrare il riscaldamento dell'acqua sanitaria prodotto con il gruppo di cogenerazione. L'impianto sarà posizionato a terra o su eventuale copertura, in modo da avere il minimo impatto con l'ambiente.



**Figura 5 Catena energetica di una pompa di calore - macchina frigorifera a cogenerazione alimentata a gas**

## 6) Sistema di illuminazione a basso consumo

Una consistente quota dei consumi (quasi il 50% dei consumi elettrici) può essere imputata al comparto dell'illuminazione.

Le lampade a fluorescenza sono particolarmente adatte per quegli ambienti in cui la luce rimane accesa per un tempo prolungato senza interruzioni e quindi per ambienti come la sala da pranzo, la cucina e la reception. Anche la scelta dei corpi illuminanti riveste una grande importanza: ove possibile si dovrebbero evitare i lampadari con molte luci perché molto meno efficienti rispetto ai lampadari singoli. Oltre all'uso di lampade ad alta efficienza, nei locali comuni sarebbe opportuno adottare sistemi di regolazione automatica dell'illuminazione (sensori di presenza e regolatori del flusso luminoso), che possono portare ad un risparmio di energia nelle aree comuni (es. corridoi e scale), variabile tra il 30 e il 60% dei consumi complessivi. Anche i dispositivi luminosi interni alle camere possono essere controllati con sistemi a chiavi magnetiche collegate alla rete elettrica che, estratte all'uscita dalla stanza, disattivano automaticamente tutte le luci evitando che queste vengano dimenticate accese.



Per l'illuminazione degli ambienti esterni come terrazze, giardini e viali di accesso, diventa conveniente l'utilizzo delle lampade al sodio che emettono una luce gialla e hanno un'efficienza mediamente superiore di 10 volte rispetto alle lampade ad incandescenza tradizionali. Una loro valida alternativa può essere rappresentata da lampioncini fotovoltaici che producono da sé energia durante il giorno attraverso un piccolo pannello fotovoltaico e alla sera, attivandosi automaticamente grazie alla presenza di un sensore luminoso, illuminano gli ambienti desiderati senza richiedere ulteriore energia elettrica.

Naturalmente una progettazione impiantistica orientata al massimo contenimento dei consumi energetici non può non essere accompagnata da adeguate scelte progettuali che mirino ad ottimizzare le prestazioni dell'involucro dell'edificio. L'inserimento armonioso di sistemi di isolamento termico sarà valutato in funzione della tipologia costruttiva e delle peculiarità architettoniche e compositive dell'edificio, tenendo conto dei vincoli derivanti dalla necessità di tutela del bene.

La presenza di forti discontinuità o di elementi puntuali fortemente disperdenti rende complesso il recupero e l'eliminazione dei ponti termici su questa tipologia costruttiva e suggerisce la scelta di interventi di isolamento termico. Gli ambiti di intervento finalizzati a migliorare l'isolamento termico dell'involucro e quindi a ridurre gli sprechi di energia sono molteplici. Tra i sistemi di isolamento, quello a "cappotto" consiste nell'applicare sull'intera superficie esterna delle pareti, uno strato di materiale coibente successivamente ricoperto da una protezione di intonaco esterna. Il costo dipende dallo spessore e dalla tipologia dell'isolante che si va ad applicare. Questo tipo di opera è consigliata ad esempio quando è previsto un rifacimento della facciata (risparmio energetico di circa il 15%), in caso contrario, si può optare per un più semplice intervento di isolamento dall'interno realizzabile anche autonomamente applicando uno strato di materiale isolante sulla superficie interna delle murature perimetrali (anche in questo caso il risparmio può arrivare al 15%). Molto meno dispendiosi sono invece gli interventi di isolamento dei serramenti: anche se sono già state effettuate le opere di risparmio energetico sulle pareti murarie dell'edificio, il calore può infatti continuare ad uscire dalle aperture.



## Riferimenti normativi

### Normativa in materia di impianti

**Legge n° 373 del 1976** “Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici”

**Legge n° 10 del 9 gennaio 1991** “Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia”

**DPR n° 412 del 26 agosto 1993** “Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici”

**DPR n° 551 del 21 Dicembre 1999** “Regolamento recante modifiche al DPR del 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia”

**Direttiva Europea 2002/91/CE del 16 Dicembre 2002** sul rendimento energetico degli edifici

**Dlgs n° 192 del 19 Agosto 2005** “Attuazione della direttiva 2002/91/Ce relativa al rendimento energetico nell'edilizia”.

**Dlgs n° 311 del 29 Dicembre 2006** “Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia”.

**DM n° 37 del 22 Gennaio 2008** “Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11 quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici”.

**Dlgs n° 115 del 30 maggio 2008**, “Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE”.

**DPR n° 59 del 2 Aprile 2009** “Regolamento di attuazione dell'art.4 comma 1, lettere a) e b) del decreto legislativo n° 192 del 19 Agosto 2005, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia”.

**DM 26 giugno 2009** – “Linee Guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”

**Dlgs N° 28 del 3 Marzo 2011** “Attuazione della direttiva 2009/28/Ce sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”.

**Decreto 22 Novembre 2012** “Modifica del decreto 26 Giugno 2009 recante, Linee Guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici” e modifica allegato A del decreto legislativo 19 agosto 2005 n° 192 recante “Attuazione della direttiva 2002/91/Ce relativa al rendimento energetico nell'edilizia”.



**DPR n° 75 del 16 Aprile 2013** “ Regolamento recante definizioni dei criteri generali in materia di esercizio, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda sanitaria per usi igienici sanitari, a norma dell'art. 4, comma 1, lettere a) e c) di attuazione dell'art.4 comma 1, lettere a) e b) del decreto legislativo n° 192 del 19 Agosto 2005”.

**Decreto n° 63 del 4 giugno 2013** Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.

**Legge n° 90 del 3 Agosto 2013** “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, recante disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia”

**UNI/TS 11300-01** Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale

**UNI/TS 11300-02** Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione ed invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

**UNI/TS 11300-03** Prestazione energetica degli edifici Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.

**UNI/TS 11300-04** Prestazione energetica degli edifici, utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per il riscaldamento di ambienti e preparazione dell'acqua calda sanitaria.

**UNI EN ISO 13790** Prestazione energetica degli edifici, calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e raffrescamento.

**UNI EN ISO 6946** Componenti ed elementi per l'edilizia, Resistenza termica e trasmittanza termica, metodo di calcolo.

**UNI EN ISO 10077-1** Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti, calcolo della trasmittanza termica, parte 1, generalità.

**UNI EN ISO 10077-2** Prestazione termica di finestre, porte e chiusure.,calcolo della trasmittanza termica, metodo numerico per i telai.

**UNI EN ISO 13786** Prestazione termica dei componenti per l'edilizia, caratteristiche termiche dinamiche, metodi di calcolo.

**UNI EN ISO 13789** Prestazione termica degli edifici, coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione, metodi di calcolo.

**UNI EN ISO 13370** Prestazione termica degli edifici, trasferimento del calore attraverso il terreno, metodi di calcolo.

**UNI 10339** Impianti aeraulici a fini di benessere, generalità, classificazione e requisiti.



### **Normativa in materia di inquinamento acustico**

**Legge n° 447 del 26 ottobre 1995** "Legge quadro sull'inquinamento acustico"

**Dlgs. n°194 del 19 agosto 2005** "Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e gestione del rumore ambientale".

**D.P.C.M. del 05 Dicembre 1997** "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici".

**D.P.C.M. del 14 novembre 1997** "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore".

**Decreto del Ministero dell'Ambiente del 16 marzo 1998** "Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico".

**UNI 11367** – Acustica in edilizia legge 26 ottobre 1995 n° 447, Legge quadro sull'inquinamento acustico.

### **Normativa in materia di acque reflue:**

**D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 e s. m. i.** - Norme in materia ambientale, parte terza;

**DM 185/2003** - "Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue";

Direttiva in materia di "**Disciplina regionale degli scarichi**" (**Delibera di Giunta regionale n. 69/25 del 10.12.2008**).