

Università degli Studi di Padova

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE
Corso di Laurea in Ingegneria Energetica

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**Diagnosi e ottimizzazione energetica
di centri natatori
con definizione di metodi standard
di monitoraggio e controllo**

Candidato:
Caneva Federico

Relatore:
Chia.mo Prof. Arturo Lorenzoni

Correlatori:
**Ing. Alberto Bordignon
Ing. Mirco Pavan**

Anno Accademico 2016-2017

Sommario

L'obiettivo di questa tesi di laurea è la valutazione di possibili soluzioni di ottimizzazione dei processi energetici di centri natatori, partendo dall'esperienza maturata nell'analisi di tre piscine coperte situate a Vicenza, Bologna e Perugia. La grande sfida portata avanti nel corso della stesura delle diagnosi energetiche è stata la definizione di un sistema di monitoraggio e regolazione che vada a automatizzare le normali procedure e che abbia tra le variabili di controllo il numero di bagnanti effettivi.

Si evidenzierà nel corso di questa trattazione che le considerazioni di ottimizzazione fatte sono applicabili solamente su piscine coperte, dato che per impianti scoperti le variabili in gioco sono tante e sicuramente di difficile previsione e non si ha quindi la certezza di ottenere risparmi apprezzabili.

Indice

1	Introduzione	7
2	Redazione di una diagnosi energetica: aspetti teorici	11
2.1	Diagnosi energetica: Definizione	11
2.2	Normativa di riferimento	11
2.3	Fasi della diagnosi energetica	13
3	Centri natatori: stato dell'arte	19
3.1	Centri natatori: normative di riferimento	19
3.1.1	Delibera CONI n.1379-2008	19
3.1.2	Conferenza Stato Regioni: seduta del 16 gennaio 2003	21
3.1.3	Norma UNI 10367-2015	23
3.2	Centri natatori: struttura energetica	26
3.3	Centri natatori: impianto di trattamento acqua	28
4	Centri natatori: svolgimento di una diagnosi energetica	41
4.1	Elaborazione dei modelli	41
4.2	Metodologie di analisi	46
4.2.1	Energia elettrica: curve di carico	46
4.2.2	Energia termica: metodi di calcolo	49
4.3	IPE: Indici di Prestazione Energetica	61
5	Centri natatori: soluzioni di efficienza energetica	67
5.1	Recuperatore di calore per l'acqua di rinnovo e/o delle docce	68
5.2	Unità di trattamento aria ad alta efficienza	72
5.3	Sistema di accumulo: puffer stratificato	79
5.4	Tecnologia LED	80
5.5	Miscelatori d'aria	81
5.6	Coperture per piscine	83
5.7	Sistema di monitoraggio, controllo e regolazione	84
5.7.1	Progetto SportE2	85
5.7.2	Sistema di monitoraggio e regolazione	88
5.8	Altre raccomandazioni	99
5.8.1	Generazione	99
5.8.2	Acqua	103
6	Conclusioni	107
	Bibliografia	111

Capitolo 1

Introduzione

Negli ultimi anni si è riscontrata una crescente sensibilizzazione sui temi inerenti al consumo energetico. L'Unione Europea ha introdotto una direttiva con lo scopo di ridurre la produzione di energia primaria del 20% entro il 2020.

Dato che il 40% dei consumi energetici è connesso agli edifici, per raggiungere i target prefissati è sicuramente necessario un accurato approfondimento.

All'interno del mondo dell'edilizia, gli impianti sportivi rappresentano una delle categorie più energivore; in particolar modo sono degni di nota i centri natatori.

Questa tesi è il risultato del lavoro svolto presso la ditta *Encore S.r.l.*, ESCo certificata, e consiste nella redazione di diagnosi energetiche (o audit) relative a tre piscine coperte. Un audit ha come oggetto la valutazione degli usi e consumi interni ai confini del Sistema al fine di individuare possibili azioni di riduzione degli sprechi. Nel caso in esame si vogliono trovare delle soluzioni di ottimizzazione energetica nei siti specifici con l'ottica di acquisire la conoscenza necessaria per la realizzazione di nuovi impianti ad alta efficienza.

Sicuramente, un sistema di questo tipo deve essere a basso consumo energetico e deve essere in grado di lavorare in maniera intelligente in funzione dei parametri di interesse.

Da qui nasce l'idea di automatizzare le normali procedure giornaliere, cercando di far coesistere e lavorare in maniera ottimale i vari sistemi di generazione e distribuzione. La sfida vera e propria è basare la variazione nel funzionamento degli impianti sul numero di persone che usufruiscono del servizio piscina. È infatti inutile, per esempio, far funzionare tutte le pompe di ricircolo o di filtrazione se l'affluenza in vasca è bassa, come, al contrario, è necessario spingere al massimo qualora si preveda un elevato numero di bagnanti. Si tratta quindi di ottimizzare i consumi e ridurre gli sprechi.

La tesi è strutturata in quattro capitoli principali.

Nel primo si farà una panoramica sulle metodologie di redazione di una diagnosi energetica, con un accenno alla relativa legislazione e con approfondimento riguardante la stesura dei report in questione.

Nel secondo si parlerà dello stato dell'arte nel mondo natatorio; in particolar modo l'attenzione sarà posta su ciò che lo caratterizza maggiormente, ossia il trattamento acqua, facendo riferimento alla normativa vigente e alle caratteristiche dell'impiantistica, tra le quali spicca in particolar modo il sistema di filtrazione.

Nel terzo capitolo si entrerà più nel dettaglio in merito a ciò che è stato fatto per quantificare i consumi, ovvero l'elaborazione dei modelli con l'analisi delle curve di

carico orarie per quanto riguarda la parte elettrica e la scissione dei consumi termici tra le varie voci (riscaldamento ambienti, riscaldamento acqua piscine e acqua calda sanitaria) , definendo poi quali sono gli Indicatori di Prestazione Energetica (IPE) scelti per un benchmark tra i vari siti. La scelta di questi indici e, in particolare, delle variabili con cui andare a normalizzare i consumi, è sicuramente spinosa; in questa parte si ricercheranno le voci più significative per l'applicazione in questione.

Nel quarto capitolo si analizzeranno possibili soluzioni impiantistiche che possono essere utili per creare nuove strutture ad alta efficienza, derivanti dall'esperienza maturata grazie alla collaborazione diretta con produttori, installatori e operatori interni. In questa parte verrà dato ampio spazio alla definizione di un sistema di monitoraggio e regolazione che tenga conto del numero effettivo di persone presenti nelle vasche natatorie.

Si vuole precisare che l'obiettivo di questa trattazione non è quello di entrare nel dettaglio delle singole realtà analizzate, ma di approfondire in maniera generale le problematiche inerenti a questo settore, che necessita sicuramente di un massiccio e accurato intervento di riduzione dei consumi.

Verranno poi riportate le conclusioni, in cui saranno riassunte le considerazioni effettuate. Verranno inoltre forniti degli spunti di riflessione da cui partire per approfondire ulteriori tematiche.

Per comprendere meglio la realtà che si ha di fronte e quali sono gli obiettivi di questo lavoro, può essere utile una metafora. Se si paragonasse un centro natatorio a un organismo vivente, sicuramente:

- Il cuore, fondamentale per la vita dell'organismo, sarebbe rappresentato dalla centrale termica, ove sono presenti tutti gli impianti di generazione che producono l'acqua calda, vitale per la struttura stessa;
- Il sistema circolatorio consisterebbe nell'anello idrico, che comprende tutte le tubazioni all'interno delle quali scorre l'acqua e le annesse elettropompe;
- L'apparato respiratorio sarebbe assimilabile al sistema di trattamento aria, che consente alla struttura di mantenere parametri di comfort e di salubrità negli ambienti e il cui fulcro (i polmoni) è rappresentato dall'UTA;
- Il fegato, indispensabile filtro per le impurità dell'organismo, sarebbe equiparabile all'impianto di filtrazione, che pulisce l'acqua in uscita dalla vasca e decide che sostanze immettere in modo da ottenere in immissione dei parametri ottimali;
- L'apparato tegumentario, e in particolare la pelle, sarebbe rappresentato dagli ambienti e, in particolare, dalle vasche, ovvero ciò che è visibile, l'output del "lavoro sporco" svolto internamente dagli altri organi.

Ora, se questo organismo venisse sottoposto a continui controlli, si mantenesse in forma facendo attività fisica e mangiando in maniera equilibrata, diventerebbe più forte e l'avanzare dell'età si farebbe sentire meno. Ciò che però manca per rendere questa entità un essere intelligente e intelligibile è il sistema nervoso, rappresentato, in questo caso, dal sistema di monitoraggio, regolazione e controllo. Attualmente, la quasi totalità dei centri natatori è sprovvista di tale importante strumento e basa la propria attività e gestione su procedure manuali che, per quanto corrette, sono

imprecise. Per permettere a queste strutture di fare un ulteriore passo in avanti, evolvendo da semplici organismi viventi a organismi razionali, è necessario fornire loro un mezzo, un organo, che consenta di coadiuvare e gestire al meglio e con esattezza tutti i parametri: una sorta di sistema nervoso centrale, rappresentato appunto dal sistema di regolazione. In figura 1.1 è rappresentata la sottocentrale di un sito analizzato. dove sono presenti molti dei dispositivi sopra citati.

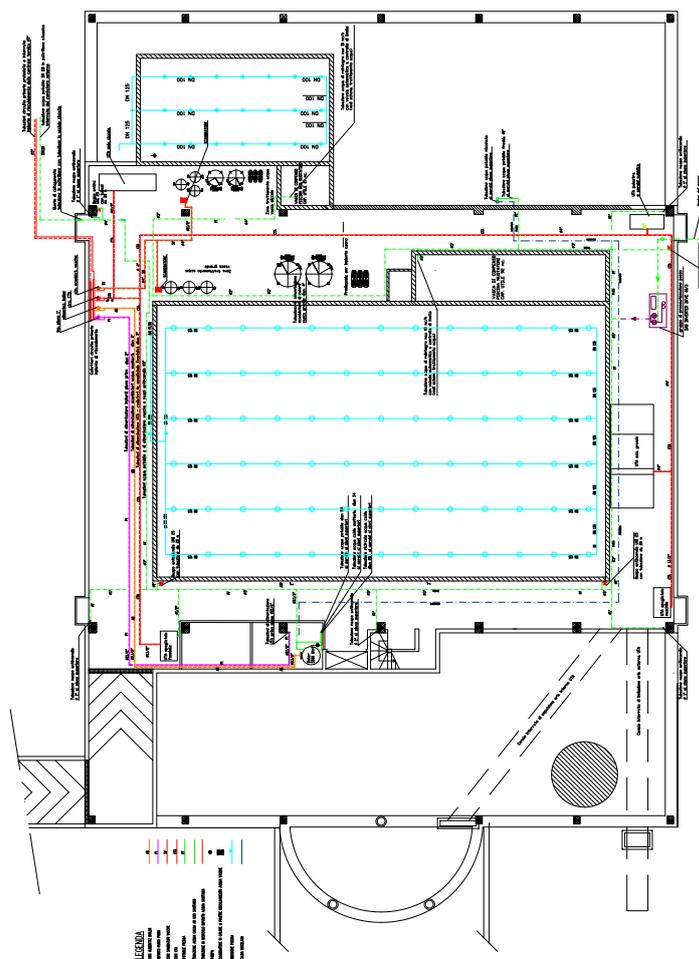


Figura 1.1: Schema di una tipica sottocentrale termica di un centro natatorio

Concludendo, questo lavoro non vuole essere una semplice tesi, scritta per conseguire il titolo di laurea e poi messa da parte, dimenticata, ma ha il proposito, quasi la presunzione, di essere una guida utile, consultabile da tutti coloro che vogliono fare efficienza energetica in questo settore che necessita di migliorare, progredire e, per richiamare la metafora precedente, evolvere.

Capitolo 2

Redazione di una diagnosi energetica: aspetti teorici

Questo capitolo si soffermerà sugli aspetti normativi, fondamentali per la stesura di una diagnosi energetica, concentrandosi in particolar modo sulla metodologia seguita per la redazione delle relazioni in oggetto. Si vuole precisare come gli audit relativi ai siti analizzati non rientrano nel filone delle diagnosi obbligatorie per legge, ma hanno l'obiettivo di maturare una conoscenza di base sul mondo piscine, in modo da trovare la soluzione ottimale dal punto di vista impiantistico.

2.1 Diagnosi energetica: Definizione

La diagnosi energetica viene definita, nell'ambito della legislazione che regola l'efficienza energetica negli usi finali dell'energia, come la “*procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di un'attività o impianto industriale o di servizi pubblici o privati, ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio sotto il profilo costi/benefici e riferire in merito ai risultati*”¹.

Ha quindi l'obiettivo di fornire una panoramica dei consumi energetici dello stabilimento e contestualmente verificare la presenza e la fattibilità tecnico-economica di interventi che li riducano.

Si tratta di una procedura molto diversa dalla più nota Certificazione Energetica perché studia nel profondo le specificità di ciascuna azienda, il processo produttivo, gli orari di operatività e le procedure utilizzate, tutto con dati reali calcolati anziché utilizzare valori standardizzati.

2.2 Normativa di riferimento

Il *Decreto Legislativo 102/2014*, approvato il 20 luglio 2014, recepisce le regole europee della *Direttiva 27 sull'efficienza energetica* e introduce l'obbligo di effettuare una diagnosi energetica aziendale per tutte le imprese che hanno almeno uno dei seguenti requisiti:

- oltre 250 dipendenti;

¹La “Diagnosi Energetica” o “Diagnosi”.

- fatturato superiore a 50 mln €;
- bilancio annuo oltre 43 mln €.

Lo stesso obbligo vige anche per tutte le imprese "energivore", a prescindere da dipendenti e fatturato.

Dal 2014 è inoltre disponibile la serie di norme *UNI CEN EN 16247*, che detta le linee guida per tutte le tipologie di audit (dagli edifici, ai processi fino al trasporto persone e merci) e che nasce come superamento della *UNI CEI TR 11428*, che risultava scarsa ed in molti punti lasciava libera interpretazione a chi la leggeva.

Questa normativa è suddivisa in quattro parti, a cui se ne aggiunge una inerente alle competenze degli auditor:

- a. Parte 1: "*Diagnosi energetiche- Requisiti generali*": definisce i requisiti, la metodologia comune e i prodotti delle diagnosi energetiche e si applica a tutte le tipologie aziendali e organizzative, a tutte le forme di energia e di utilizzo della stessa, con l'esclusione delle singole unità immobiliari residenziali. Tale parte è utile sia per gli specifici audit energetici relativi a edifici sia per processi industriali e trasporti.
- b. Parte 2: "*Diagnosi energetiche- Edifici*": definisce i requisiti e la metodologia per redigere una diagnosi energetica relativa a un edificio o a un gruppo di edifici, escludendo le singole residenze private.
- c. Parte 3: "*Diagnosi energetiche- Processi*": definisce la procedura di stesura di un audit energetico nell'ambito di un processo, relativamente a:
 - (a) organizzazione e conduzione della diagnosi;
 - (b) analisi dei dati ottenuti;
 - (c) presentazione e documentazione dei risultati.
- d. Parte 4: "*Diagnosi energetiche- Trasporto*": le procedure di norma si applicano alle diverse modalità di trasporto (stradale, ferroviario, marittimo, aereo), oltre che ai differenti ambiti (locale, a lunga distanza) e all'oggetto trasportato (fondamentalmente merci e persone).

Inoltre, ai fini della norma *UNI CEN EN 16247*, una diagnosi deve possedere i seguenti requisiti:

- **Completezza:** per ogni sistema è necessario tenere in considerazione tutti gli aspetti energetici più rilevanti;
- **Attendibilità:** i dati reali devono essere acquisiti in numero e qualità sufficienti per costruire un buon inventario energetico, a partire da bollette, misure sul campo e sopralluoghi; è poi richiesto di verificare che i consumi siano compatibili con i dati effettivamente ricavati;
- **Tracciabilità:** deve essere possibile risalire ai calcoli svolti all'interno della diagnosi energetica e alle valutazioni del tecnico estensore, dato che essa può servire anche a distanza di anni per implementare progressivamente gli interventi proposti; per questo motivo è necessario tenere traccia delle ipotesi e delle assunzioni fatte in corso d'opera;

- **Utilità:** i miglioramenti e ottimizzazioni proposti devono essere analizzati e valutati tenendo conto del rapporto costi/benefici, con specifico riferimento al profilo di consumo individuato sul sito. La comunicazione degli interventi deve essere effettuata in maniera chiara, tramite documentazione adeguata e specifica per gli obiettivi e le peculiarità settoriali;
- **Verificabilità:** occorre prevedere una procedura di validazione dei dati proposti, con la possibilità di installare strumenti di misura per verificare l'effettiva efficacia degli interventi migliorativi realizzati a seguito della diagnosi energetica.

L'aspetto della diagnosi energetica aziendale che risulta più utile e importante è il poter fornire informazioni specifiche per ogni singola realtà; tanto più l'analisi è mirata e gli indicatori tagliati su misura, tanto più gli output risultano effettivamente utilizzabili a scopo di attuazione: se è noto che gli investimenti che portano al risparmio energetico sono tra quelli più remunerativi, la conoscenza precisa del profilo di consumo consente di prendere decisioni più corrette e di andare ad aggredire gli sprechi energetici più gravi con interventi che hanno rapidi tempi di ritorno, senza rischiare di procedere "alla cieca" in interventi potenzialmente meno efficaci.

Per i suddetti motivi, si può affermare che la diagnosi energetica, oltre che un obbligo, si configura come un'opportunità per tutte le aziende interessate, anche alla luce degli incentivi disponibili per l'efficienza energetica, come ad esempio i Certificati Bianchi (o Titoli di Efficienza Energetica TEE).

In particolare, i Certificati Bianchi sono titoli negoziabili che certificano il raggiungimento di risparmi energetici negli usi finali di energia attraverso progetti di ottimizzazione energetica; ognuno di essi corrisponde al risparmio di una tonnellata equivalente di petrolio (tep).

Attraverso il *decreto 28 dicembre 2012*, sono stati definiti gli obiettivi nazionali del settore energetico; possono presentare progetti per il rilascio dei Certificati Bianchi le imprese distributrici di energia elettrica e gas con più di 50.000 clienti finali ("soggetti obbligati"), le società controllate da tali imprese, i distributori non obbligati, le società operanti nel settore dei servizi energetici, le imprese e gli enti che si dotino di un energy manager o di un sistema di gestione dell'energia in conformità alla *ISO 50001*.²

Alla luce di tutto ciò si nota come queste norme, decreti e disposizioni sono utili strumenti che consentono a ESCo (=Energy Service Company) e società di servizi energetici di avere delle linee guida chiare e precise e metodi di applicazione omogenei a livello europeo. È poi a discrezione di ognuno decidere se seguirne o meno i principi.

2.3 Fasi della diagnosi energetica

In generale, l'analisi segue un percorso crescente che conduce alla verifica di tutte le caratteristiche e specificità dell'organizzazione che si sta sottoponendo a audit.

Nel settore industriale, per esempio, sarà opportuno preliminarmente effettuare un censimento dei macchinari necessari per il processo, insieme a una valutazione

²Sistemi di gestione dell'energia - Requisiti e linee guida per l'uso.

dello specifico schema di produzione utilizzato. In secondo luogo, si procederà all'analisi del sito produttivo, con particolare attenzione a impianti elettrici, sistemi di climatizzazione, uffici e aree adibite a deposito; infine, è funzionale anche una verifica dei trasporti interni al sito per creare una baseline di consumi aggiornata.

Il profilo di consumo individuato va poi confrontato con gli storici ricavabili dagli ultimi anni di bollette per i diversi vettori energetici (elettricità, gas, gasolio,...) e calibrato per ottenere un modello coerente. In genere è bene analizzare almeno gli ultimi 3 anni di consumi, in modo da avere un andamento della gestione energetica e vedere se il trend è positivo o meno.

In figura 2.1 si possono vedere gli step tipici seguiti per redigere una diagnosi energetica.

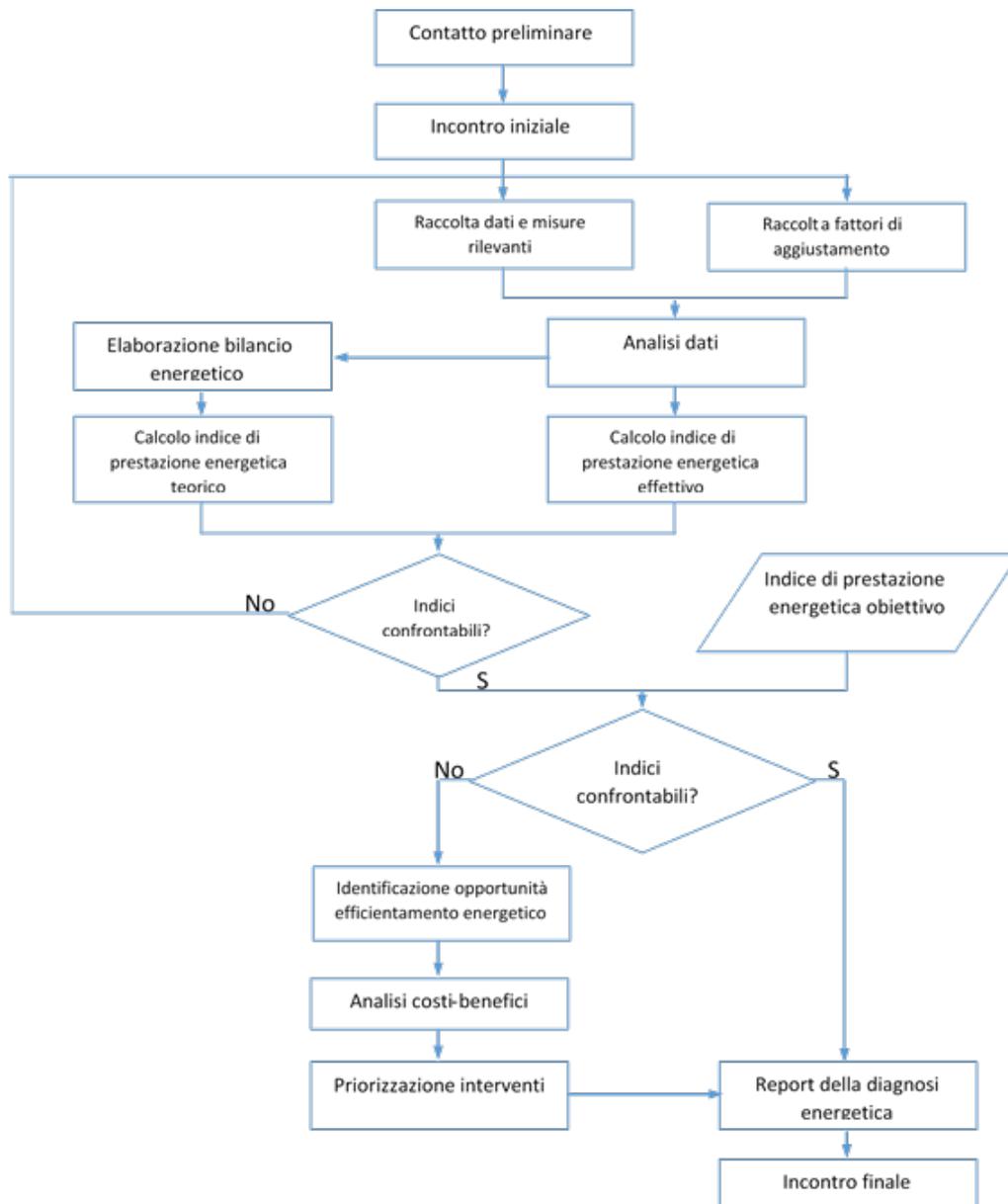


Figura 2.1: Diagramma a blocchi dell'iter di una diagnosi energetica.

Come indicato in figura 2.1 e nella normativa di riferimento, uno dei primi passi è acquisire i dati resi disponibili da tutti i sistemi di misura esistenti, sia tramite lettura

diretta sia tramite analisi delle relative bollette (assieme ai dati di produzione).

Per i sistemi/sottoinsiemi energeticamente significativi di cui eventualmente è costituito l'oggetto della diagnosi, occorre che vi sia la presenza di contatori dedicati. Nel caso non siano disponibili è possibile fare ricorso a stime basate su calcoli, utilizzando valori progettuali, dati di targa, ore di utilizzo, rendimenti tipici di sistemi/componenti, corroborandoli, ove possibile, con misure ad hoc con strumentazione portatile.

Sicuramente delicata è la ricerca degli indicatori di riferimento, che servono per confrontare i valori di consumo individuati in più siti per valutare la qualità energetica dell'oggetto della diagnosi: per un'attività produttiva, ad esempio, si può ragionare in termini di kWh di energia per unità di prodotto, per un ufficio, invece, potrebbe essere più opportuno valutare l'energia per addetto, e così via.

Un centro natatorio può essere definito come un processo che ha come "finalità produttiva" il numero di utenti che la frequentano. L'analisi energetica, in linea con quanto richiesto dalla normativa *UNI CEI EN 16247* parte 1 e 3, si è svolta nelle seguenti fasi:

1. Presentazione del modello al cliente;
2. Raccolta e analisi dei dati e calcolo dell'indice di prestazione effettivo;
3. Analisi del processo, costruzione dell'inventario e calcolo dell'indice di prestazione operativo;
4. Comparazione degli indici per formalizzare il modello energetico aziendale;
5. Formalizzazione delle opportunità di miglioramento per ciclo di vita;
6. Formalizzazione del report e presentazione finale (executive summary).

Nell'ambito della metodologia sopraesposta, l'articolazione del metodo utilizzato è la seguente:

- a. Fase1: Analisi documentale. In questa fase si sono analizzati i contratti di acquisto dell'energia (per vettore energetico), i consumi dalle fatture e dal profilo energetico. L'output di questa fase è rappresentato da una sintesi dei consumi generali energetici con eventuali indicazioni di anomalie.
- b. Fase2: Inventario. Si sono svolte le seguenti attività:
 - (a) Misura elettrica di alcuni punti aziendali (ove possibile);
 - (b) Censimento dei sistemi energivori dell'azienda con raccolta in modo standardizzato di dati anagrafici, consumi e potenze in gioco.

Si sono analizzati, inoltre, dati relativi agli eventuali sistemi di misura attivi in azienda e si è verificata l'applicazione delle procedure di manutenzione. Tutto ciò ha permesso di formalizzare i consumi per i centri di costo energetici (es. produzione e ausiliari) e l'uso energetico significativo (SEU).

- c. Fase3: Bilancio energetico e verifica del modello energetico. Si è confrontato l'indice di consumo energetico operativo (da inventario) con quello effettivo

(da fatture/misure) al fine di ottenere un modello simulato che permetta all'azienda di avere una previsione futura rispetto alla produzione. A seguire sono state calcolate le baseline energetiche di riferimento per area e gli indicatori di prestazione energetica.

- d. Fase4: Azioni di miglioramento. In questa fase sono state formalizzate le azioni di miglioramento sia tecnologiche che gestionali con indicazione del ritorno economico. La riduzione dei consumi energetici passa attraverso tre momenti fondamentali:
- (a) l'acquisizione della consapevolezza di quanto si sta consumando;
 - (b) l'adozione di comportamenti rivolti al risparmio di energia;
 - (c) l'introduzione di misure di efficienza.

In base ai tre punti sopra riportati e tenendo in considerazione i dati reperiti durante i sopralluoghi svolti all'interno dei siti e le successive analisi effettuate, sono state individuate delle macro aree di intervento dove intraprendere delle azioni volte al risparmio di energia primaria e alla riduzione dei costi. In particolare, un centro natatorio può essere idealmente diviso in tre parti: generazione energetica, acqua e aria.

L'analisi economica degli interventi migliorativi è stata condotta considerando le seguenti ipotesi operative:

- (a) Utilizzo di diversi metodi di valutazione tecnico economica (VAN, TIR, PB time, indice di profitto);
 - (b) Tasso di utilizzazione, fissato pari a 5%;
 - (c) Durata di analisi degli interventi, considerata pari a 10 anni;
 - (d) I costi dei vettori energetici, IVA esclusa e imposte ed accise incluse, ricavate dalle fatture più recenti a disposizione.
- e. Fase finale: Presentazione dei risultati La fase finale ha previsto la presentazione dei risultati alla Direzione aziendale e la consegna in forma cartacea e digitale del report finale.

I deliverables sono:

- Modulo excel come richiesto da ENEA;
- Report della Diagnosi Energetica in formato cartaceo ed elettronico;
- Report Executive Summary;
- Allegati vari (indagini strumentali).

Si vuole precisare come le diagnosi in questione non rientrano nel filone delle "102" obbligatorie, ma sono state fortemente volute dai clienti con lo scopo di capire dove fosse possibile intervenire per ottimizzare i processi energetici e per automatizzare quanto possibile.

In conclusione, lo stato attuale dei centri natatori italiani non è energeticamente consono: è generalmente caratterizzato da una non conoscenza dei flussi energetici,

dovuta a una scarsa misurazione dei parametri termici ed elettrici e dalla poca sensibilizzazione su questi argomenti.

Sicuramente uno dei motivi che preclude la possibilità di portare innovazione in questo settore estremamente bisognoso di miglioramenti è legato alla scarsità di risorse finanziarie.

Ciò che però si vuole portare alla luce è che anche con piccoli accorgimenti è possibile avere risparmi elevati.

L'aspirazione di questo lavoro è quindi cercare di sensibilizzare maggiormente i gestori delle piscine a mettere in discussione le procedure attualmente eseguite e ad affidarsi ad esperti che abbiano i mezzi per consigliarli adeguatamente in modo da creare sistemi intelligenti ed energeticamente efficienti.

Capitolo 3

Centri natatori: stato dell'arte

Con questo capitolo si entrerà nel vivo della trattazione in questione. In particolare verranno presentate le normative di riferimento che vincolano le normali procedure di manutenzione, gestione e progettazione e saranno poi definite le varie componenti impiantistiche. Ciò che maggiormente caratterizza il mondo piscine è l'impianto di trattamento acqua, che verrà approfondito adeguatamente attraverso la presentazione del layout di massima, dei vari tipi di sistemi di filtrazione e delle prassi ad esso connesse.

3.1 Centri natatori: normative di riferimento

Una gestione ottimale e standardizzata dei centri natatori non può prescindere da una normativa di riferimento; le variabili sono tante e, spesso, sono difficili da controllare.

Innanzitutto, necessaria ai fini di una buona conduzione è l'analisi periodica dei parametri fisici, chimici e microbiologici che devono essere opportunamente tarati in modo da non costituire un pericolo sensibile per i bagnanti. È risaputo, infatti, che l'acqua a temperature di $28 - 30^{\circ}\text{C}$ è un habitat ideale per la proliferazione di batteri e virus. Al fine di scongiurare delle possibili e quanto mai scomode infezioni, sono necessarie delle sostanze particolari. Oltretutto, anche gli stessi bagnanti sono portatori di microbi.

Tutto ciò porta alla definizione di range operativi all'interno dei quali si devono tenere i vari parametri.

Esistono quindi delle leggi di riferimento a livello nazionale e europeo che regolano non solo le variabili sopra citate, ma definiscono anche le procedure attraverso le quali si può raggiungere l'obiettivo prefissato, rappresentato dall'erogazione di un servizio che non rappresenti in alcun modo una minaccia per la salute umana.

Di seguito si presenteranno le tre normative fondamentali, prese in considerazione dagli enti preposti al controllo della qualità dell'acqua (ASL).

In questa trattazione ci si soffermerà solamente su quegli aspetti ritenuti interessanti per un'ottica di ottimizzazione energetica.

3.1.1 Delibera CONI n.1379-2008

La seguente delibera è incentrata sugli impianti sportivi, definisce i livelli minimi qualitativi e quantitativi da rispettare in sede di progettazione ed è la versione

italiana della norma emessa dalla FINA.¹ Sono soggetti a queste norme tutte quelle strutture attrezzate per la pratica sportiva regolamentate dalle Federazioni Sportive Nazionali (FSD) e dalle Discipline Sportive Associate (DSA). In particolare, la normativa in questione distingue:

- Impianti sportivi agonistici, in cui si possono svolgere attività agonistiche ufficiali;
- Impianti sportivi di esercizio, in cui si possono svolgere attività regolamentate dalle FSD e DSA, ma non destinate all'agonismo.

Per quanto riguarda i centri natatori, la norma definisce:

- Vasche nuotatori: le caratteristiche dovranno essere conformi alle specifiche tecniche della Federazione Italiana Nuoto ovvero alle norme FINA, in relazione al tipo ed al livello di attività previsto. Attorno alle vasche, almeno sui lati lunghi, dovranno essere realizzate canalette di raccolta delle acque di tracimazione distinte ed indipendenti dai sistemi di smaltimento delle acque di lavaggio dell'area di bordo vasca. Sono preferibili quei bordi vasca che consentono un facile appiglio da parte degli utenti e una più agevole uscita. La temperatura non dovrà essere inferiore a $24^{\circ}C$ (preferibili $26 - 28^{\circ}C$).
- Vasche non nuotatori (di avviamento al nuoto, bambini): le caratteristiche dimensionali (lunghezza, larghezza e profondità) saranno stabilite in relazione al tipo di attività previsto; dovranno essere realizzati sistemi di raccolta delle acque di tracimazione analoghi a quelli delle vasche nuotatori con analoghe caratteristiche del bordo vasca. La profondità delle vasche di avviamento al nuoto per i bambini non dovrà essere superiore a $0.60m$ con temperatura dell'acqua non inferiore a $26^{\circ}C$ (preferibili $28 - 29^{\circ}C$).

La norma in questione definisce inoltre dei valori limite da rispettare per quanto concerne il trattamento dell'aria, suddividendo la struttura in più aree con differenti esigenze di comfort.

Tipologia	Temperatura aria [°C]	Umidità relativa [%]	Illuminamento medio [lux]	Ricambi aria [vol/h]	Velocità max. aria [m/s]	Livello max rumore [dBA]	Locali
Impianti natatori		≤70	≥150		≤0,10	40	sala di attività
	28	70	300	3	0,15	40	sale preatletismo
	≥20-24	60	≥100-150	≥4-5	0,15	40	spogliatoi
	24	70	80	8	0,15	50	docce
	≥20	60	≥80	≥4-5-8	0,15	40	servizi igienici
	≥20-22	50	200	≥4	0,15	40	primo soccorso
	20	50	300	1,5	0,15	40	uffici
	20	50	200	1,5	0,2	40	atrio
	20	50	100	0,5-1	0,25	50	magazzini
	20	50	150	0,5	0,2	40	locali vari

Figura 3.1: Caratteristiche ambientali

Si noti come in fig.3.1 sono vuote le caselle relative alla temperatura e ai ricambi dell'aria nella sala di attività. Per quanto concerne la prima variabile, la Delibera in questione rimanda all' *Accordo Stato Regioni 16 gennaio 2003*, mentre sono presenti

¹FINA è l'acronimo di *Fédération Internationale de Natation*.

delle indicazioni utili per la ventilazione. In particolare, si devono prevedere almeno $20 m^3/(h \cdot persona)$ al massimo affollamento per la zona pubblico e almeno $30 m^3/(h \cdot persona)$ al massimo affollamento per quella atleti. Ovviamente i valori in questione e quelli riportati in tabella si riferiscono a una ventilazione di tipo artificiale.

Per quanto riguarda le docce, si precisa come all'erogazione si devono avere almeno $37^\circ C$ e al massimo $40^\circ C$, se l'acqua è premiscelata; in caso contrario la temperatura massima ammissibile è pari a $48^\circ C$.

Si specifica infine come *"i requisiti termoigrometrici, di ventilazione e illuminotecnici dovranno risultare conformi a quanto indicato nell'Accordo 16 gennaio 2003 - tra il Ministro della salute, le Regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano sugli aspetti igienico-sanitari per la costruzione, la manutenzione e la vigilanza delle piscine a uso natatorio"*².

Concludendo, questo è uno standard specifico per i centri sportivi, che va quindi a variare solamente certi parametri in modo da garantire condizioni ottimali per l'attività ludico-agonistica specifica.

Le successive due normative rappresentano invece la base legislativa e vanno a definire le variabili connesse al mondo piscine in generale.

3.1.2 Conferenza Stato Regioni: seduta del 16 gennaio 2003

La suddetta normativa rappresenta un *"Accordo tra il Ministro della salute, le Regioni e le Province Autonome di Trento e di Bolzano relativo agli aspetti igienico-sanitari per la costruzione, la manutenzione e la vigilanza delle piscine a uso natatorio"*³.

Da quanto appurato nei tre siti analizzati, questa viene presa come normativa di riferimento, insieme alla versione precedente della norma *UNI EN 10367-2015*.

L'atto in questione definisce in maniera precisa quali sono i requisiti termoigrometrici e di ventilazione; per le piscine coperte:

1. Nella zona delle attività natatorie e di balneazione la temperatura dell'aria non dovrà essere inferiore alla temperatura dell'acqua in vasca;
2. L'umidità relativa dell'aria non dovrà superare in alcun caso il valore limite del 70%. In realtà si può notare come nella quasi totalità dei centri natatori non è previsto un controllo dei carichi latenti degli ambienti, dato che esso implicherebbe un aumento dei costi di ventilazione. Non si ha quindi la sicurezza che questo punto venga rispettato;
3. La velocità dell'aria in corrispondenza delle zone utilizzate dai frequentatori non dovrà risultare superiore a $0,10 m/s$;
4. Si dovrà prevedere un ricambio di almeno $20 m^3/(h \cdot m^2 vasca)$;
5. Nelle altre zone destinate ai frequentatori (spogliatoi, servizi igienici, pronto soccorso) il ricambio d'aria sarà almeno pari a $4 vol/h$ e la temperatura minima sarà $20^\circ C$.

²Tratto da *Delibera CONI n.1379-2008, Tabella C* [2].

³Tratto da *Conferenza Stato regioni 16 gennaio 2003* [6].

Ciò che rende questo Atto più completo rispetto alla delibera CONI è il paragrafo riguardante l'acqua, che viene distinta in acqua di approvvigionamento, di immissione e presente in vasca.

Per quanto concerne le ultime due tipologie, viene fornita una tabella che mette in luce i requisiti da rispettare.

PARAMETRO	ACQUA DI IMMISSIONE	ACQUA DI VASCA
Requisiti fisici		
Temperatura:		
> Vasche coperte in genere	24°C - 32°C	24°C - 30°C
> Vasche coperte bambini	26°C - 35°C	26°C - 32°C
> Vasche scoperte	18°C - 30°C	18°C - 30°C
PH Per disinfezione a base di cloro. Ove si utilizzino disinfettanti diversi il pH dovrà essere opportunamente fissato al valore ottimale per l'azione disinfettante.	6.5 - 7.5	6.5 - 7.5
Torbidità in Si O₂	≤ 2 mg/l Si O ₂ (o unità equivalenti di formazina)	≤ 4 mg/l Si O ₂ (o unità equivalenti di formazina)
Solidi grossolani	Assenti	Assenti
Solidi sospesi	≤ 2 mg/l (filtrazione su membrana da 0,45 μm)	≤ 4 mg/l (filtrazione su membrana da 0,45 μm)
Colore	Valore dell'acqua potabile	≤ 5mg/l Pt/Co oltre quello dell'acqua di approvvigionamento
Requisiti chimici		
Cloro attivo libero	0,6÷1,8 mg/l Cl ₂	0,7 ÷ 1,5 mg/l Cl ₂
Cloro attivo combinato	≤ 0,2 mg/l Cl ₂	≤ 0,4 mg/l Cl ₂
Impiego combinato Ozono		
Cloro:	0,4 ÷ 1,6 mg Cl ₂	0,4 ÷ 1,0 mg/l Cl ₂
Cloro attivo libero	≤ 0,05 mg/l Cl ₂	≤ 0,2 mg/l Cl ₂
Cloro attivo combinato	≤ 0,01 mg/l O ₃	≤ 0,01mg/l O ₃
Ozono		
Acido isocianurico	≤ 75 mg/l	≤ 75 mg/l
Sostanze organiche (analisi al permanganato)	≤ 2 mg/l di O ₂ oltre l'acqua di approvvigionamento	≤ 2 mg/l di O ₂ oltre l'acqua di immissione.
Nitrati	Valore dell'acqua potabile	≤ 20 mg/l NO ₃ oltre l'acqua di approvvigionamento
Flocculanti	≤ 0,2 mg/l in Al o Fe (rispetto al flocculante impiegato)	≤ 0,2 mg/l in Al o Fe (rispetto al flocculante impiegato)
Requisiti microbiologici		
Conta batterica a 22°	≤ 100 ufc/1 ml	≤ 200 ufc/1ml
Conta batterica a 36°	≤ 10 ufc/1 ml	≤ 100 ufc/1ml
Escherichia coli	0 ufc/100 ml	0 ufc/100 ml
Enterococchi	0 ufc/100 ml	0 ufc/100 ml
Staphylococcus aureus	0 ufc/100 ml	≤ 1 ufc/100 ml
Pseudomonas aeruginosa	0 ufc/100 ml	≤ 1 ufc/100 ml

Figura 3.2: Requisiti dell'acqua di immissione e contenuta in vasca

I valori rappresentati in figura 3.2 devono essere rispettati in qualsiasi punto. Il controllo all'acqua di immissione sarà effettuato ogni qualvolta se ne manifesti la necessità per verifiche interne di gestione o sopraggiunti inconvenienti. Funghi, lieviti e trialometani saranno verificati su richiesta dell'Azienda Unità Sanitaria Locale. I trialometani vengono accertati secondo criteri e parametri fissati dal Ministero della salute. In aggiunta, l'acqua delle vasche deve essere completamente rinnovata, previo svuotamento, almeno una volta l'anno e comunque ad ogni inizio di apertura stagionale.

L'acqua di approvvigionamento, proveniente dall'acquedotto o dal pozzo, deve possedere tutti i requisiti di potabilità previsti dalla normativa vigente. Sono spesso presenti gli addolcitori, dispositivi che eliminano/diminuiscono i sali di durezza presenti nelle acque, responsabili di depositi di calcare, e che consentono quindi di alzare la resa degli impianti.

3.1.3 Norma UNI 10367-2015

La norma in questione rappresenta la naturale evoluzione della precedente (stipulata nel 2006) in quanto tiene conto delle innovazioni tecnologiche, delle necessità di contenimento dei consumi e di risparmio energetico, anche con riferimento alle esperienze europee, e rappresenta la più completa e articolata normativa di riferimento per il mondo piscine. Come output principali, fornisce:

1. Una classificazione delle piscine;
2. Indicazioni relative alle prove ed ai controlli atti a garantire una qualità dell'acqua di piscina adeguata alla balneazione;
3. I requisiti di progettazione, costruzione e gestione degli impianti di trattamento acqua.

Essa si applica a tutte le piscine alimentate da acqua potabile, ad eccezione di vasche con volume totale inferiore a $10 m^3$.

Di seguito verrà presentato solamente ciò che varia o completa quanto enunciato nei precedenti paragrafi.

La norma definisce 4 tipi di piscine:

- Tipo A: piscine di proprietà pubblica o privata, aperte al pubblico o ad un'utenza identificabile. Si suddividono in 3 categorie (A1: comunali, A2: ad uso collettivo, A3: finalizzate al gioco acquatico);
- Tipo B: piscine che fanno parte di un complesso condominiale, formato da più di quattro unità abitative, destinate ad uso esclusivo dei residenti e dei loro ospiti;
- Tipo C: piscine ad uso riabilitativo e curativo;
- Tipo D: piscine che fanno parte di un complesso condominiale, formato da non più di quattro unità abitative, destinate ad uso esclusivo dei residenti e dei loro ospiti.

Per ogni categoria sopra citata vi sono delle procedure differenti.

La seguente figura 3.3 definisce le caratteristiche che deve avere l'acqua di immissione.

Si può notare che questa norma definisce dei criteri meno stringenti rispetto a quanto riportato nella conferenza Stato-Regioni; l'aumento dei range di selezione comporta una maggiore flessibilità degli impianti rendendone quindi più agevole la gestione. Tutto ciò è in linea con gli sviluppi futuri verso cui sta andando la legislazione. Questo aspetto verrà approfondito in seguito, dopo aver definito la configurazione del sistema di trattamento acqua.

Per quanto concerne l'acqua contenuta in vasca, per le piscine di tipo A, B e D con disinfezione a cloro-derivati e per le piscine di tipo C, si fa riferimento all'Allegato 1, Tabella A dell'Accordo Stato Regioni del 16 gennaio 2003.

Per garantire il rispetto di questi parametri, sono previsti dei controlli periodici sull'acqua di approvvigionamento, che dev'essere prelevata da un apposito rubinetto posto sul tubo di adduzione, sull'acqua di immissione a valle dei filtri e sull'acqua

Requisiti fisici e chimico-fisici	
Parametro	Acqua di immissione
Temperatura: - vasche coperte in genere - vasche coperte per bambini - vasche scoperte	da 24 a 38 °C da 26 a 38 °C da 18 a 38 °C
pH (per disinfezione a base di cloro)	da 4,5 a 8,5
Torbidità in SiO_2	≤ 2 mg/l SiO_2 (o unità equivalenti di formazina)
Solidi grossolanti	assenti
Solidi sospesi	≤ 2 mg/l (filtrazione su membrana da 0,45 μm)
Colore	≤ 5 mg/l Pt/Co oltre a quello dell'acqua di approvvigionamento
Requisiti chimici	
Cloro attivo libero	da 0,6 mg/l a 5 mg/l Cl_2
Cloro attivo combinato	$\leq 0,6$ mg/l Cl_2
Impiego combinato ozono-cloro: - cloro attivo libero - cloro attivo combinato - ozono	da 0,4 mg/l a 5 mg/l Cl_2 $\leq 0,05$ mg/l Cl_2 $\leq 0,01$ mg/l O_3
Acido isocianurico	Valore uguale a quello previsto per l'acqua della vasca
Sostanze organiche (analisi al permanganato)	≤ 2 mg/l di O_2 ¹⁾ oltre il valore misurato su un campione dell'acqua di approvvigionamento
Nitrati ²⁾	≤ 20 mg/l di NO_3 oltre l'acqua di approvvigionamento
Flocculanti	$\leq 0,2$ mg/l in Al o Fe (a seconda del flocculante utilizzato)

Figura 3.3: Requisiti dell'acqua di immissione

in vasca. Per quest'ultima, si effettuano dei prelievi manuali destinati ad apparecchiature automatiche che ne definiscono istantaneamente il livello di qualità. In alternativa, si può inserire un dispositivo a monte del sistema di trattamento acqua (filtri più sistemi di clorazione); in questo modo, è possibile controllare le caratteristiche dell'acqua per poi dosare opportunamente le sostanze disinfettanti. In realtà, il dosaggio (automatico tramite implementazione di logiche in una centralina) viene di solito eseguito dopo un prelievo a valle dei filtri, in modo da avere un'idea dell'effettivo rendimento di filtrazione.

Vari gestori suggeriscono che un utilizzo combinato di questa strumentazione possa aumentare il livello di verifica.

Per le piscine di tipo A, le analisi microbiologiche vengono in genere effettuate mensilmente; qualora 4 analisi successive risultassero ottimali, è consentito ridurre la frequenza da mensile a bimestrale. Per le piscine di tipo B si ha invece una cadenza trimestrale, mentre per le piscine di tipo C (soprattutto per quelle a uso riabilitativo) è necessario prevedere un piano di autocontrollo. Meno stringente è il caso delle piscine D, in cui basta una verifica annuale.

Come già sopra citato, la norma entra anche in merito alle caratteristiche che un efficace trattamento dell'acqua deve necessariamente avere.

Per quanto concerne l'impianto di circolazione, si deve prevedere una velocità dell'acqua:

- $\leq 1,7$ m/s in aspirazione, ad eccezione del tratto in prossimità della pompa;
- $\leq 2,5$ m/s in mandata, ad eccezione del tratto in prossimità della pompa.

Interessanti, in ottica di un possibile intervento di efficienza energetica, sono i criteri di dimensionamento della vasca di compenso, che deve riuscire a contenere:

- Il volume spostato dal numero massimo di bagnanti;
- Il volume relativo all'eventuale moto ondoso generato da bagnanti o apparecchiature varie;

- Il volume necessario al lavaggio di almeno un filtro;
- Il volume minimo necessario per assicurare la corretta aspirazione delle pompe di ricircolo e per evitare la marcia a secco.

In particolare, il penultimo punto, come si vedrà nel Capitolo 4, risulterà fondamentale per l'installazione di un dispositivo che prevede il recupero termico dell'acqua dei contro-lavaggi dei filtri.

Il punto focale di un impianto di trattamento acqua è sicuramente rappresentato dal sistema di filtrazione, che deve essere progettato e realizzato in modo da garantire un tempo di ricircolo minore o uguale a quello indicato in figura 3.4.

Tipo di vasca	Classificazione delle piscine					
	Piscine pubbliche	Piscine ad uso collettivo	Piscine per il gioco acquatico	Piscine condominiali	Piscine all'interno di strutture di cura o riabilitazione	Piscine al servizio di massimo quattro unità abitative
	A1	A2	A3	B	C	D
E Vasche nuotatori e di addestramento al nuoto con profondità <1 200 mm	3	3	-	-	-	-
F Vasche nuotatori e di addestramento al nuoto con profondità ≥1 200 mm	4	4	-	-	-	-
G Vasche per tuffi ed attività subacquee	6	6	-	-	-	-
H Vasche ricreative con profondità ≤600 mm ¹⁾	1	1	1	2	-	4
I Vasche ricreative con profondità >600 mm e <1 200 mm ¹⁾	2	2	2	3	-	6
L Vasche ricreative con profondità ≥1 200 mm ¹⁾	3	3	3	4	-	6
M Vasche per bambini con profondità ≤400 mm	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-
N Vasche per bambini con profondità >400 mm e ≤600 mm	1	1	1	2	-	-
O Vasche per usi riabilitativi	-	-	-	-	2)	-
P Vasche ad onde	-	-	2	-	-	-
Q Zone di ammaraggio Acquascivoli	-	-	1	3	-	-
R Fiumi/torrenti con profondità ≤800 mm	-	-	1	-	-	-
S Fiumi/torrenti con profondità >800 mm	-	-	2	-	-	-

1) Per l'identificazione del tipo di vasca, fare riferimento all'attività prevalente quale risulta dal protocollo di gestione e autocontrollo.
2) Parametro da indicare in sede di progettazione, in relazione alla destinazione d'uso dell'impianto ed alla tipologia dell'utenza.

Figura 3.4: Tempi di ricircolo (in ore)

I valori riportati sono da considerare come massimi; devono essere adeguatamente ridotti nel caso di piscine a carico di bagnanti elevato in relazione al volume d'acqua. In presenza di periodi con attività ridotta o assente, il gestore, in sede di piano di autocontrollo, può aumentare fino al doppio i tempi di ricircolo, mantenendo sempre la qualità richiesta per l'acqua in vasca, agendo sulle pompe e mantenendo operativi tutti i filtri. Il funzionamento degli impianti di trattamento d'acqua deve essere continuo nelle 24 h per le piscine di tipo A, B e C. Per le piscine di tipo D il tempo di esercizio dev'essere non inferiore a 12 h.

È obbligatorio, inoltre, un ricambio giornaliero di acqua; l'entità del rinnovo deve essere tale da contribuire a rispettare i valori dei parametri riportati nell'Accordo Stato Regioni, e comunque non meno di 30 l per bagnante al giorno. Qualora non fosse possibile rilevare il numero preciso di bagnanti, il valore di riferimento è rappresentato dal 2,5% del volume della vasca e del 60% del volume totale della vasca di compenso. Il rinnovo d'acqua giornaliero può essere sospeso in caso di chiusura

dell'impianto al pubblico per un tempo superiore alle 24 h. Rispetto alle precedenti versioni, in cui si prevedeva un ricambio pari al 5%, è stata quindi ridotta la percentuale necessaria: ulteriore indizio sugli sviluppi futuri in merito a una maggiore flessibilità gestionale.

Infine, per le piscine di tipo A,B e C deve essere previsto un registro dei requisiti tecnico-funzionali della piscina indicando:

1. Dimensione e volume di ciascuna vasca;
2. Numero e tipologia dei filtri;
3. Portata delle pompe;
4. Data e interventi di manutenzione straordinaria.

oltre che un registro delle procedure giornaliere (data e ora dei controlli, entità dell'acqua di rinnovo giornaliera, sostanze disinfettanti utilizzate, numero di frequentatori, manutenzione ordinaria).

L'obbligo di annotare il numero di bagnanti, congiuntamente con la direzione intrapresa dalla legislazione vigente (ricambio di 30 l/giorno per persona), rendono possibile un'implementazione di logiche di controllo e regolazione degli impianti basate sul numero di presenze.

Come si vedrà in seguito, i vari sistemi energetici che compongono un centro natatorio presentano delle inerzie termiche notevoli, a causa degli elevati volumi d'acqua; è quindi necessario anticipare il funzionamento degli stessi in funzione di ciò che ci si aspetta nel momento successivo. Si tratta quindi di prevedere l'affluenza delle ore successive in modo da ottimizzare al massimo il funzionamento degli impianti.

Infine, si vuole precisare come, attualmente, viene ancora presa come riferimento la versione precedente (2006), congiuntamente con l'Accordo Stato-Regioni, anche se si prevede di passare nel più breve tempo possibile alla più recente.

3.2 Centri natatori: struttura energetica

Dal punto di vista energetico, un centro natatorio può essere suddiviso in tre macro-categorie:

1. Generazione;
2. Trattamento aria;
3. Trattamento acqua.

Il sistema di generazione è costituito dai vari impianti adibiti alla produzione di energia termica ed elettrica, necessarie per garantire un servizio di qualità ai frequentatori della struttura. Generalmente, per la parte termica si usano caldaie, pompe di calore, cogeneratori e pannelli solari termici, ovvero sistemi che hanno come obiettivo il riscaldamento di acqua. Tutti questi dispositivi (fatta eccezione per l'impianto solare termico) sono in genere localizzati in una centrale termica, da cui, attraverso un collettore, dipartono tutte le tubazioni destinate alle varie utenze. Dati gli elevati volumi d'acqua, per evitare un sovradimensionamento impiantistico

in vasca comporterebbe un aumento dell'umidità relativa presente in ambiente, con disastrose conseguenze, come la formazione di muffe, batteri e difficoltà respiratorie per il troppo cloro attivo combinato. Questi aspetti verranno approfonditi nel capitolo 4, dove sarà presentato un metodo di calcolo per quantificare le perdite legate all'evaporazione dell'acqua.

Con la presentazione delle normative di riferimento, si è evidenziato come sia vitale mantenere i parametri di riferimento all'interno di un determinato range, in modo che le attività natatorie non costituiscano un problema per la salute umana. È quindi fondamentale prevedere un efficace sistema di trattamento acqua. Quest'ultima categoria rappresenta il fulcro di un centro natatorio; nel prossimo paragrafo si andrà quindi a definire in maniera opportuna i vari aspetti che lo caratterizzano.

3.3 Centri natatori: impianto di trattamento acqua

In figura 3.6 è riportato come esempio lo schema funzionale dell'impianto di trattamento acqua di un sito analizzato.

Come già accennato in precedenza, è obbligatorio mantenere entro un certo range i parametri evidenziati dalle normative (chimici, fisici e microbiologici) e ricambiare giornalmente un certo quantitativo d'acqua; per soddisfare a queste esigenze, un centro natatorio necessita di dispositivi, più o meno automatizzati, che definiscono insieme il trattamento acqua.

Come si può vedere in figura 3.6, l'acqua della piscina, giunta alla vasca di compenso tramite i sistemi di ripresa superficiali (bordi sfioratori o skimmer) e/o immersi, viene convogliata all'interno di un circuito e fatta circolare grazie all'ausilio di elettropompe. A monte di queste ultime sono presenti (obbligatori per piscine di tipo A e consigliati per quelle di tipo B e C) dei pre-filtri, che evitano il passaggio di solidi grossolani nei tratti successivi. I più importanti componenti attraverso cui passa l'acqua sono i filtri, che la depurano da sporcamenti e impurità varie. Successivamente, viene prelevata una certa portata in modo da analizzare i parametri di riferimento, per poi dosare in maniera opportuna le sostanze disinfettanti. Dopo tutto ciò, l'acqua pulita viene eventualmente riscaldata ed è quindi pronta per essere re-immessa in vasca. Il riscaldamento viene garantito dall'acqua calda proveniente dai sistemi di generazione, eventualmente stoccata all'interno di accumuli; essa viene poi convogliata in uno scambiatore di calore (generalmente a piastre o a tubi corrugati), che provvede allo scambio termico tra i due fluidi. La figura 3.7 rappresenta questo tipo di circuito; si può vedere come l'acqua prodotta arriva al collettore generale e da lì viene suddivisa tra le varie utenze, tra cui un accumulo per l'ACS⁴ e gli scambiatori per riscaldare le vasche

Dati gli elevati volumi in gioco (una vasca da $25 \times 17 m$ semi-olimpionica può contenere più di $800 m^3$ d'acqua) e i bassi tempi di ricircolo da normativa, si capisce come questo sistema necessita di un dimensionamento e di una gestione oculati; se non si presta sufficiente attenzione, è semplice uscire dai range di riferimento e, per rimediare, occorre un certo tempo.

⁴Per ACS si intende acqua calda sanitaria, con cui si indica in particolar modo l'acqua delle docce.

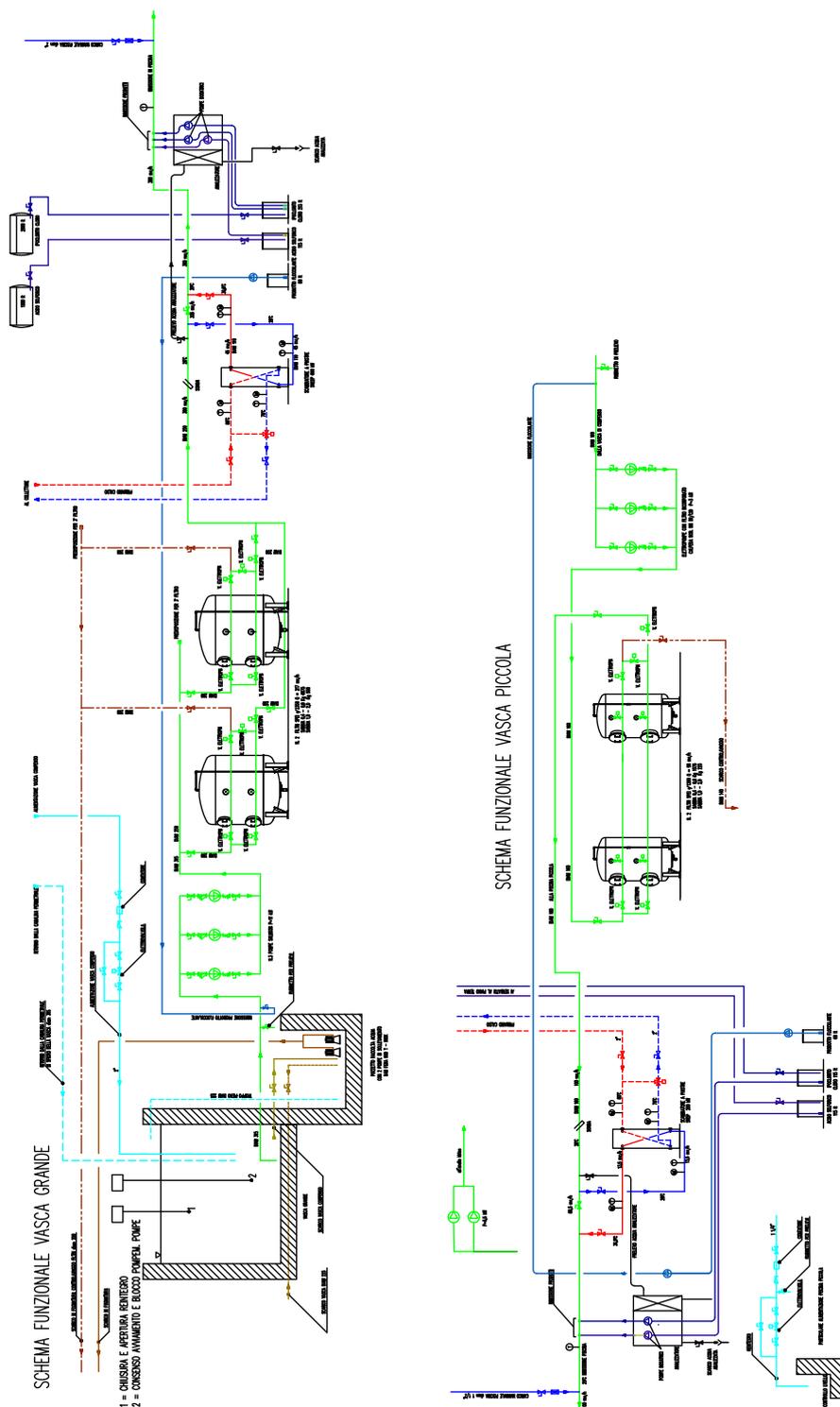


Figura 3.6: Schema impianto di trattamento e depurazione

Questo paragrafo esula dal fornire un dimensionamento specifico del sistema; si vuole invece presentare la componentistica principale e descrivere le normali procedure da seguire per evitare i problemi sopra citati.

Le caratteristiche principali dei sistemi di filtrazione sono riportate nella norma *UNI10367-2015*. Innanzitutto, devono essere progettati in modo da garantire un tempo di ricircolo minore o uguale a quanto riportato in figura 3.4. Per le piscine di tipo A, è obbligatorio avere un numero di filtri ≥ 2 ; lo stesso valore è consigliato per quelle di tipo B e C.

Questi dispositivi sono costituiti da serbatoi in plastica, acciaio o vetroresina pieni del materiale filtrante (sabbia quarzifera, farina fossile o fibre sintetiche) la cui superficie interna deve essere adeguata all'acqua da trattare e al tipo di sostanze di disinfezione utilizzate.

In passato esistevano tre tipi di filtri:

1. Filtro a sabbia;
2. Filtro a farine di diatomee;
3. Filtro a cartucce.

a cui si sono recentemente aggiunti il sistema di ultrafiltrazione e i trattamenti aggiuntivi (che vanno oltre la disinfezione eseguita dai filtri) quali ozono e raggi UV.

La differenza tra i dispositivi sopra citati è legata alla finezza di filtrazione, cioè alla capacità di trattenere i solidi grossolani che inquinano l'acqua balneabile; per tutti è però necessario determinare la portata di riferimento, espressa in $[m^3/h]$, che attraversa il letto filtrante. Generalmente essa si definisce in relazione al volume d'acqua contenuto in vasca $V_{acqua,vasca}$ e al tempo di ricircolo previsto da normativa $h_{ricircolo}$, secondo la seguente formula:

$$\dot{m}_v = V_{acqua,vasca} / h_{ricircolo}$$

Sui filtri è presente un manometro che, opportunamente tarato, avvisa quando la pressione interna è alta, richiedendo, quindi, il lavaggio del materiale filtrante. Se ciò non viene effettuato, non avverrà più la filtrazione, con conseguenze disastrose. È quindi importante dimensionare opportunamente le portate e le dimensioni dei dispositivi stessi; se il filtro è sottodimensionato le pulizie saranno più frequenti.

Si è visto come giornalmente sia necessario garantire un certo ricambio d'acqua; questo viene in genere effettuato attraverso il cosiddetto contro-lavaggio dei filtri, da non confondere con i lavaggi sopra descritti (che per le piscine di tipo A vengono in genere fatti una volta l'anno). Esso consente di pulire i filtri; l'acqua utilizzata verrà poi scaricata e ne verrà prelevata di nuova dall'acquedotto o dal pozzo. Quest'ultima necessita ovviamente di riscaldamento; nel Capitolo 4 verrà definito un metodo di calcolo per quantificare e suddividere i fabbisogni di energia termica in modo da sopperire alle dispersioni e alle richieste di calore delle varie utenze.

I filtri a sabbia possono essere distinti in due categorie:

1. Filtri monostrato, costituiti da un unico strato filtrante di sabbia di quarzo o di vetro con granulometria nominale compresa tra 0,4 e 1,3 mm. Con questi filtri è necessario utilizzare delle apposite sostanze, i flocculanti, che riescono ad aggregare le particelle più piccole, evitando quindi il passaggio dei solidi grossolani di dimensioni minori;

2. Filtri multistrato, suddivisi a loro volta in:

- (a) tradizionali, costituiti da più strati di sabbia di quarzo (almeno quattro) con diversa granulometria, per un altezza totale $\geq 1000mm$;
- (b) eterogenei, che hanno almeno due strati di diversa natura e granulometria (sabbia di quarzo, antracite, zeolite, etc.).

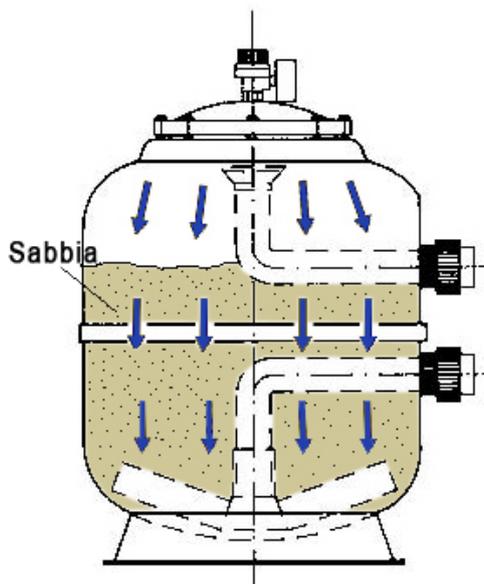


Figura 3.8: Sezione di un tipico filtro a sabbia

Spinta dalla pompa, l'acqua sporca passa dalla valvola multivie ed entra nel filtro tramite il ripartitore superiore, dopodiché, attraversando la sabbia dall'alto verso il basso, deposita le impurità che contiene ed esce dal collettore inferiore. La sabbia è in grado di trattenere impurità fino ad un diametro di $20 - 30 \mu m$. Il lavaggio dei filtri a sabbia è molto semplice: sulla parete è presente una valvola multivie (valvola selettiva) che inverte il flusso dell'acqua (dal basso verso l'alto), lavando così la superficie interna. Essa viene poi convogliata nel tubo di scarico. Anche la velocità di attraversamento è importante: nelle piscine residenziali si preferiscono i filtri a velocità sostenuta, mentre nel settore pubblico sono indispensabili i filtri a velocità lenta ma a maggiore risultato di filtrazione. In genere la sabbia deve essere rabboccata ogni anno e sostituita almeno ogni 5 anni. Particolare attenzione deve essere prestata nelle località con acqua calcarea; può succedere che la sabbia si solidifichi, soprattutto se le piscine sono riscaldate. In questo caso si formeranno delle corsie preferenziali e la filtrazione cesserà di essere efficace.

I filtri che garantiscono la migliore disinfezione dell'acqua sono quelli a diatomee. La terra di diatomee è una polvere minerale molto fine (simile alla farina bianca), che viene ottenuta dalla frantumazione di una roccia composta da alghe fossilizzate (diatomite). Essendo permeabile e porosa, è dotata di un alto potere filtrante: è in grado di trattenere anche particelle con diametro inferiore a $1 \mu m$, quindi anche molte sostanze organiche, batteri e perfino virus, con una qualità di filtrazione eccellente. La struttura di questi tipi di filtri può essere in materiale plastico, oppure in acciaio inossidabile. La farina fossile viene distribuita uniformemente su supporti

di vario tipo (tela, ceramica, polipropilene, ecc.) e di varia forma, in genere candele (calze) o dischi, in uno strato di due-tre millimetri. L'acqua, passando attraverso lo strato in questione, viene filtrata e riconvogliata nei collettori di mandata. Per quanto riguarda le piscine pubbliche, sono stati ormai pressoché abbandonati i supporti in tela o ceramica porosa, sostituiti da quelli rivestiti in polipropilene, che sono attaccati in senso verticale ad una piastra di metallo, che fa da collettore. L'acqua proveniente dalla vasca di compenso, dopo essere passata per i pre-filtri entra dalla parte inferiore, attraversa lo strato di diatomee e le calze ed esce dai buchi sulla piastra, per riunirsi nel collettore di mandata.



Figura 3.9: Filtro a diatomee semi-aperto

Durante la filtrazione, la farina fossile si compatta intorno alla calza, trattenendo lo sporco. Quando il manto filtrante comincia ad impaccarsi significa che stanno aumentando le perdite di carico e, di conseguenza, sta diminuendo la portata del filtro; a questo punto è necessario un'operazione di contro-lavaggio in controcorrente (dall'alto verso il basso). Nel momento in cui le diatomee diventano completamente "esauste", ossia tutti i loro interstizi sono stati occupati da particelle di sporco, la perdita di carico è irreversibile e la pressione aumenta in modo costante, indipendentemente dalle rigenerazioni. Se la differenza di pressione tra l'entrata e l'uscita dal filtro supera gli 0.5 bar , una ulteriore tenuta in esercizio del filtro può causare l'impaccamento irreversibile delle calze stesse, con conseguente necessità di smontaggio e lavaggio con acido. A questo punto le diatomee vanno scaricate e buttate in fogna.

Generalmente questa seconda tipologia di dispositivo è meno diffusa di quella a sabbia per motivi di tipo gestionale. Dal punto di vista economico, infatti, un sistema di filtrazione a diatomee:

- Costa generalmente meno di uno a sabbia;
- Occupa meno spazio, in quanto i filtri sono più piccoli;

- Non necessita dell'impiego di flocculanti chimici;
- Avendo un maggiore potere di filtrazione, fa consumare meno cloro.

Questa tecnologia, grazie alla notevole superficie filtrante, consente inoltre di lavorare a bassa velocità, pur raggiungendo grandi portate (i più grossi filtri raggiungono portate di $180\text{ m}^3/h$). Le velocità massime di filtrazione indicate dalle case costruttrici sono nell'ordine dei $4-8\text{ m}^3/(m^2h)$, contro i $30-50\text{ m}^3/(m^2h)$ dei filtri a sabbia. Per contro, un filtro a diatomee necessita di frequente e continua manutenzione. Innanzitutto, bisogna sempre utilizzare farine con le stesse caratteristiche e con le giuste quantità; può capitare che la stessa miscela funzioni egregiamente su un certo supporto e ne impacchi subito un altro così come, a parità di filtro, il risultato può cambiare in presenza di acque con differenti proprietà. Sono necessarie continue ricariche periodiche e si deve prestare attenzione alla clorazione: se si è leggermente carenti, il manto filtrante può impaccarsi con conseguente spreco di una carica. Può capitare, inoltre, che una calza si stacchi dal supporto o che si rompa, per usura o per una manovra sbagliata; in questo caso la finissima polvere di diatomee va a finire in vasca, con conseguenze spiacevoli. È abbastanza frequente che le calze esterne si strappino.

Detto ciò, la caratteristica brillantezza e lucentezza dell'acqua di una piscina trattata con filtri a diatomee è difficilmente comparabile con quella di una piscina con sistemi a sabbia. Le diatomee sono inoltre ottimi alleati in caso di acque difficili, nelle quali sono presenti, ad esempio, elevate quantità di ferro o di manganese.

I filtri a cartuccia, infine, sono consigliati per piscine di piccole o medie dimensioni, oppure per spa, data anche la lentezza con cui trattano l'acqua.⁵

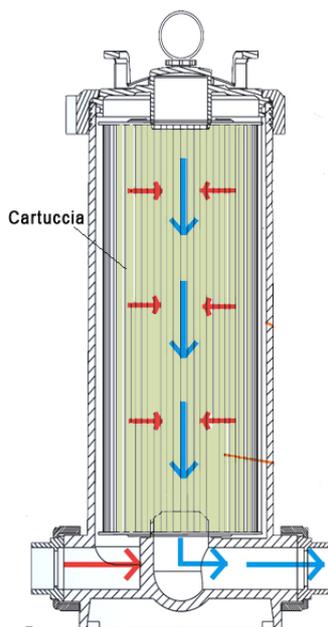


Figura 3.10: Principio di funzionamento di un filtro a cartuccia

La cartuccia all'interno del filtro consiste in un cilindro composto da un ventaglio di carta filtrante piegata su se stessa. L'ampia superficie di filtrazione così ottenuta

⁵Si ricordi come, secondo figura 3.4, i tempi di ricircolo sono maggiori per piscine di tipo D e per piscine di tipo A di avviamento al nuoto bambini; inoltre i volumi in gioco sono minori.

permette di ottenere una circolazione venti volte più lenta rispetto ad un filtro a sabbia.

In figura 3.10 è presentato un tipico impianto a cartucce.

Questo sistema ha un'elevata capacità di trattenere materiale inquinante pur avendo dimensioni limitate: la sua qualità di filtrazione è tra i 10 e i 20 μm . Uno dei punti a sfavore di questo impianto è la manutenzione; la cartuccia ha infatti bisogno di essere pulita di frequente per mantenere le sue caratteristiche. Inoltre, nel caso in cui l'acqua della piscina dovesse degradare, i tempi di recupero della limpidezza sarebbero notevolmente più lunghi. Per la pulizia, non è previsto un sistema di contro-lavaggio, ma un'operazione estremamente più semplice: si va ad estrarre il cilindro dal filtro e lo si lava con un getto d'acqua pressurizzato, oppure si lascia la cartuccia immersa in una soluzione disincrostante per circa ventiquattro ore. In questo modo la durata media di una cartuccia è di circa 20 giorni; dopodiché si procede con il cambio. Per quanto riguarda il trattamento dell'acqua, con questo tipo di filtro non è possibile utilizzare prodotti chimici flocculanti o algicida di ultima generazione: rischiano di intasarlo senza possibilità di recupero.

Recentemente, i nuovi sviluppi tecnologici hanno portato all'introduzione del meccanismo di ultrafiltrazione anche nel mondo piscine. In figura 3.11 è rappresentato l'impianto di filtrazione di un sito analizzato, relativo al trattamento acqua della vasca di avviamento al nuoto per bambini ($17 \times 10 m$ con volume totale pari a circa $160 m^3$). In generale, per ultrafiltrazione si intende quel processo di filtrazione caratterizzato dall'utilizzo di membrane con diametro nominale del poro che va dai 0.1 ai 10 μm per la rimozione di batteri, virus, colidi etc.



Figura 3.11: Impianto di ultrafiltrazione di un sito analizzato

I sistemi UF sono utilizzati come pre-trattamento nei sistemi osmosi, per la rimozione di virus, batteri e sostanze sedimentabili nei processi di potabilizzazione, come barriera contro i pirogeni e la legionella, nella separazione delle emulsioni ed in altre applicazioni dove la filtrazione standard non è sufficiente. Si tratta di un processo molto simile a quelli di osmosi inversa e nanofiltrazione da cui differisce quasi esclusivamente per le dimensioni delle particelle trattenute.

I dispositivi sopra citati sono sicuramente fondamentali per un trattamento ottimale dell'acqua, ma non sono sufficienti; è infatti difficile (se non impossibile) che essi siano in grado da soli di eliminare tutti i microrganismi, elementi contaminanti, spore di alghe, batteri, polvere, fuliggine e sporcizia che sono dannose per la salute dei bagnanti. È quindi necessario utilizzare altre sostanze. Il primo parametro da tenere in considerazione è il pH, che rivela il grado di acidità o basicità dell'acqua: con pH acido si ha corrosione dei metalli, un uso eccessivo dei disinfettanti e irritazione a pelle e occhi, mentre con pH basico si ha la formazione di incrostazioni, l'acqua tende ad intorbidirsi con proliferazione di flora batterica e alghe, i prodotti a base di cloro diminuiscono parte della loro capacità disinfettante e pelle e occhi possono irritarsi. Il valore ottimale che viene di solito mantenuto per i centri natatori è compreso tra 7 e 7.4, cioè leggermente basico. Si noti come un giusto valore di pH risolverebbe già in partenza un gran numero di complicazioni.

Per disinfettare l'acqua di piscina esistono in commercio vari prodotti (per esempio bromo e ossigeno attivo) ma, sicuramente, il più efficace ed economico è il cloro, tra cui spiccano il tricloro in pastiglie o in polvere e il dicloro granulare.⁶ Le normative di riferimento ne definiscono due tipi:

- Cloro attivo libero, le cui componenti fondamentali sono l'acido ipocloroso (HOCl) e ipoclorito (OCl⁻). Causa irritazioni agli occhi a concentrazioni superiori ai 20 mg/l;
- Cloro attivo combinato, termine generico con cui vengono definiti i prodotti della reazione tra cloro attivo libero e inquinamenti organici e inorganici a base di azoto. Gli effetti irritanti del cloro attivo combinato sono spesso attribuiti alle clorammine, responsabili del ben noto odore presente nelle piscine.

Esistono inoltre dei prodotti complementari che consentono un migliore trattamento di purificazione:

- Algicida: tiene a freno il proliferare di alghe;
- Flocculante: già definito in precedenza, viene in particolare utilizzato in presenza di sistemi a sabbia e favorisce l'aggregazione di particelle piccole con la conseguente cattura da parte del filtro stesso. Esistono sia solidi che liquidi, anche se questi ultimi sono da preferire.

Sfortunatamente, queste sostanze, da sole, non sono sufficienti a garantire un'ottimale pulizia dell'acqua. Oltretutto, di per sé, il cloro è estremamente dannoso per la salute umana: elevate quantità possono causare eczema e eruzioni, oltre che disidratazione di capelli e pelle. Da questo punto di vista, meno se ne usa, meglio è. Attualmente, esistono due sistemi che consentono di mantenere il cloro immesso a

⁶Si ricorda (fig. 3.2) che il cloro attivo libero deve essere mantenuto (acqua di immissione) tra 0.6 e 1.8 mg/l.

livelli più bassi del normale, garantendo allo stesso tempo una perfetta pulizia dell'acqua: il trattamento a ozono e a raggi UV. In fig.3.12 si può osservare un tipico schema di circuito ozonizzante.

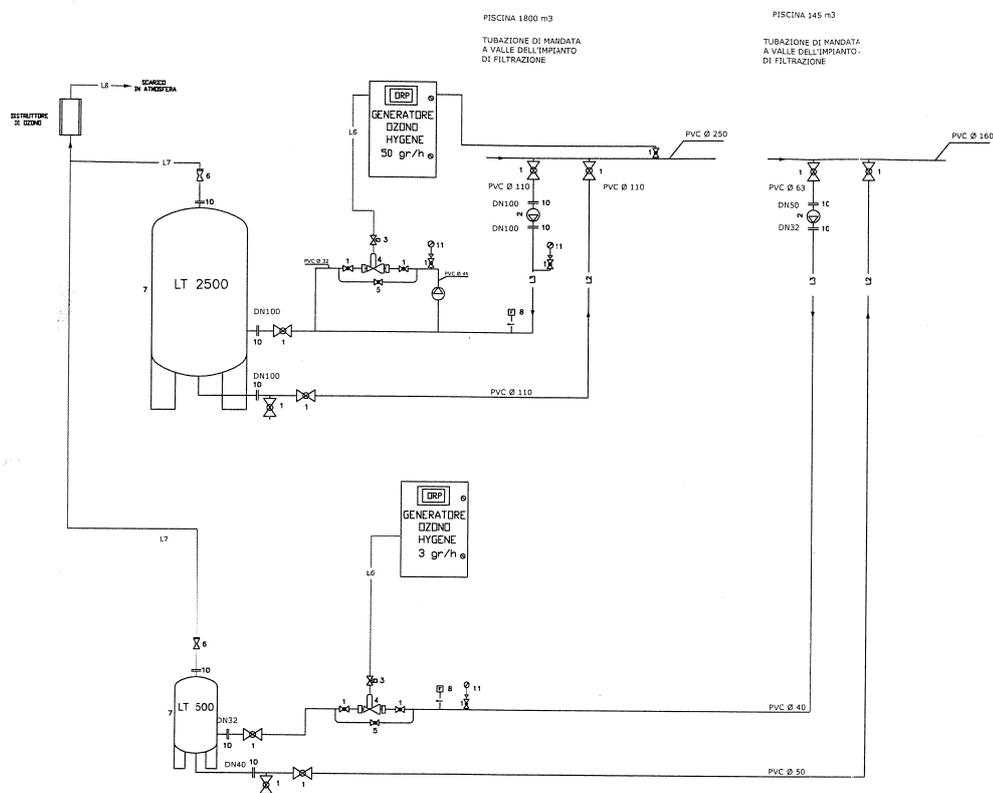


Figura 3.12: Schema funzionale di un tipico circuito dell'ozono

Grazie al suo meccanismo di disinfezione ed ossidazione molto forte, l'ozono è molto adatto per i centri natatori. Esso viene in genere iniettato sul filtro, prima dell'aggiunta di un coagulante. La ricerca ha indicato che una preozonizzazione può aumentare l'efficienza del sistema: è vero che aumenta la biodegradabilità dei materiali e della flora microbica, ma, allo stesso tempo, cresce anche il livello di ossigeno nel filtro. Quando un sistema di questo tipo viene aggiunto in un filtro a sabbia, la rimozione del carbonio totale organico (TOC) aumenta del 35%; in questo modo diminuisce la quantità di materia organica e ciò provoca una riduzione della ricrescita batterica nel sistema. Come risultato finale si ha un'acqua di immissione decisamente più pura e limpida. In definitiva, i miglioramenti portati dall'ozonizzazione sono i seguenti:

- Diminuzione dell'uso di cloro, con conseguente risparmio economico;
- Aumento di rendimento del filtro, con conseguente riduzione della necessità di controlavaggi;
- Riduzione dell'uso di acqua: nell'ottica di impianti futuri⁷ ciò può essere vantaggioso, dati gli elevati costi della stessa (circa 4€/m³ in Italia);

⁷Si richiamano gli sviluppi legislativi futuri citati nel paragrafo 3.1.3.

- L'ozono ossida la materia organica e inorganica contenuta nell'acqua, senza la formazione di sottoprodotti indesiderati, come le clorammine.

Per contro, un sistema di questo tipo prevede un alto assorbimento elettrico, legato al dispositivo di distruzione dell'ozono⁸, e dei costi elevati.

I sistemi a UV sono meno dispendiosi e più semplici rispetto a quelli a ozono. Il reattore s'inserisce nel circuito di ricircolo dopo i filtri e prima dell'iniezione del disinfettante.

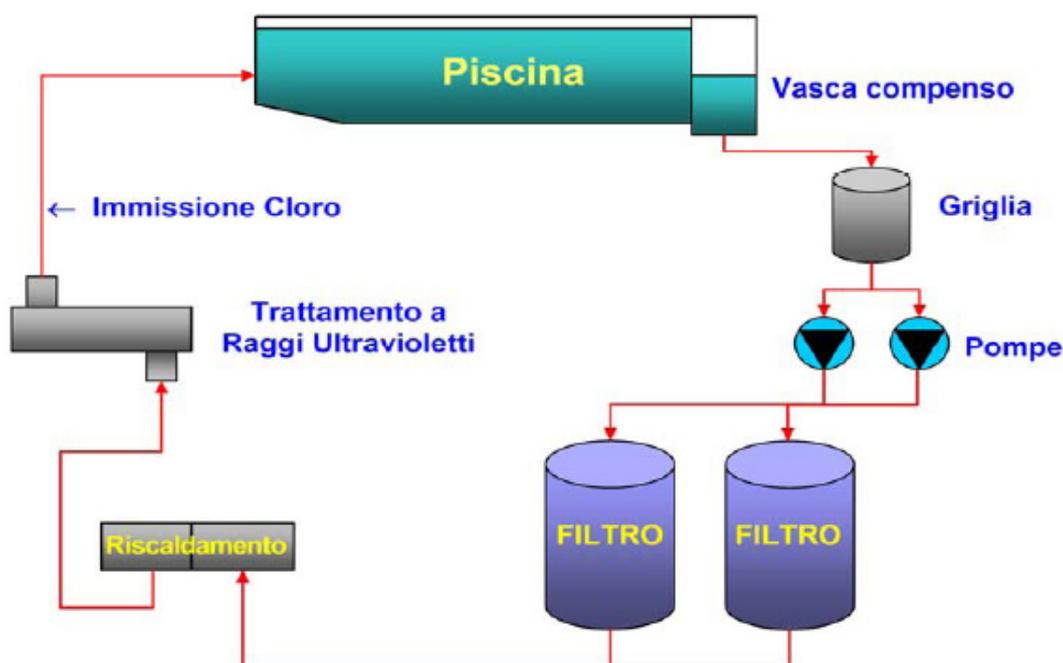


Figura 3.13: Layout distributivo del trattamento acqua con impianto a UV

Generalmente vengono utilizzati raggi UV a media pressione, che hanno emissione policromatica e lunghezze d'onda adatte ad eliminare le clorammine. Oltre a ridurre ben al di sotto dei limiti di legge il valore del cloro combinato, esercitano un'azione di disinfezione rafforzata, ben più efficace del solo cloro, per tutti i microrganismi "tipici" della piscina, tra cui *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Shigella*, *Stafilococchi* e *Salmonelle*. L'efficacia degli UV è dimostrata anche per *Cryptosporidium* e *Giardia*, sui quali le quantità di cloro ammesse in piscina non hanno alcun effetto. Con il loro effetto fotochimico, dissociano le cloroammine consentendo il ripristino del cloro attivo libero nell'acqua per la disinfezione di base; conseguentemente, il cloro combinato si riduce a valori anche del 50% inferiori a quelli prescritti dalle norme di settore (Atto Stato-Regioni del 2003). Questo trattamento ha reso non più indispensabili elevati ricambi e clorazioni shock, determinando quindi condizioni di possibile risparmio di acqua, energia e prodotti chimici. Inoltre, il tempo di ritorno semplice di investimento⁹ è stimato essere pari a circa due anni, con una durata complessiva di vita superiore a vent'anni.

⁸È necessario avere un quantitativo residuo molto basso o nullo di ozono in immissione e in vasca (si veda fig.3.3).

⁹Viene definito come rapporto tra risparmio annuale in seguito all'installazione del sistema e la somma tra l'investimento iniziale ed eventuali manutenzioni previste.

Si noti, inoltre, come entrambi i sistemi (ozono e UV) sono utili non solo per l'acqua, ma anche per l'aria dell'ambiente vasche, dato che si ha una riduzione del quantitativo di cloro combinato allo stato gas e, di conseguenza, di clorammine fluttuanti.

Infine, vengono spese alcune righe su quei dispositivi che permettono la circolazione dell'acqua attraverso i filtri e alle tubazioni: le pompe di filtrazione. Per quanto riguarda le piscine di tipo A e B, esse devono funzionare in numero pari a quello dei filtri e deve inoltre essere presente una pompa di riserva, in modo tale da sopperire immediatamente ad un'eventuale rottura di una di quelle funzionanti. È prassi comune farle lavorare a rotazione, in modo da avere un'usura uniforme delle stesse.. Nelle piscine di tipo C e D ciò (numero pompe uguale a quello dei filtri) è invece solamente consigliato. Ciascuna pompa deve essere dotata di:

- Valvole di intercettazione a monte e a valle;
- Un manometro a valle, in modo da verificare le condizioni di lavoro della stessa;
- Una valvola di ritegno a valle, se necessario.

Al fine di garantire un buon trattamento, è fondamentale dimensionarle in maniera accurata in base al volume d'acqua previsto. Innanzitutto, esse devono essere in grado di sopperire alle perdite di carico del circuito stesso. Allo stesso tempo, installare delle pompe che lavorano con portata maggiore rispetto a quella dei filtri, contrariamente a quanto si possa pensare, è estremamente deleterio; essi lavoreranno in condizioni estreme (entra più acqua di quanta ne esce) con conseguente aumento della pressione di esercizio. Le pompe di filtrazione hanno, davanti al motore, un prefiltro che raccoglie le impurità più grossolane; esso rappresenta un ulteriore punto di raccolta dello sporco presente in piscina.

Concludendo, in questo capitolo si sono definite le legislazioni di base e i sistemi impiantistici principali del mondo piscine, tra cui il trattamento acqua. Si è più volte accennato che le normative stanno cambiando ed evolvendo verso una più permissiva gestione dei centri natatori stessi. Si pensa infatti che, fra un po' di anni, verrà tolto l'obbligo di ricambiare giornalmente un certo volume d'acqua, operazione che, come si vedrà nel prossimo capitolo, comporta una spesa energetica notevole. Condizione sufficiente e necessaria per mantenere in esercizio una piscina coperta sarà il mantenimento dei requisiti fisici, chimici e micro-biologici. Tutto ciò consentirebbe un risparmio di acqua importante, oltre che una gestione semplificata delle strutture stesse.

Capitolo 4

Centri natatori: svolgimento di una diagnosi energetica

Il cuore di un audit energetico è rappresentato dai modelli elettrico e termico, con cui si possono quantificare e suddividere le varie voci di consumo. Dal punto di vista elettrico è abbastanza semplice scorporare le varie utenze; tutt'altra storia è, invece, definire come si ripartiscono gli utilizzi termici. L'obiettivo di questo capitolo è fornire delle linee guida per la redazione di una diagnosi energetica specifica per i centri natatori. Si vuole quindi definire un metodo di calcolo che quantifica il fabbisogno di riscaldamento dell'aria e dell'acqua specifico per questo tipo di struttura. Successivamente verrà presentata una descrizione degli Indici di Prestazione Energetica (IPE) ritenuti più adatti, anche in un'ottica di benchmark tra i vari siti.

4.1 Elaborazione dei modelli

Il primo passo per elaborare dei modelli adeguatamente rappresentativi delle realtà analizzate consiste in un censimento delle attrezzature e degli impianti sulla scorta delle misure e delle informazioni fornite dal cliente e raccolte durante il sopralluogo. Per le diverse apparecchiature si sono quindi stimati in maniera teorica i consumi, tenendo conto di:

1. Dati di targa, tra cui in particolar modo la potenza elettrica assorbita o la potenza termica utile prodotta;
2. Misure tramite strumentazione tecnica (pinza voltamperometrica) dell'effettivo assorbimento elettrico, in modo tale da definire il fattore di carico corrispondente.¹
3. Ore di funzionamento giornaliere;
4. Giorni di funzionamento all'anno;
5. Eventuali rendimenti nel caso di caldaie o sistemi di generazione.

¹In generale, per fattore di carico si intende il rapporto tra l'effettiva energia prodotta o assorbita dall'impianto (o dal dispositivo) e l'energia prodotta o assorbita dallo stesso in caso di lavoro continuativo a carico nominale.

Nell'ambiente industriale è ormai pratica diffusa accoppiare ai vari sistemi di generazione, produzione e a tutte le utenze dei misuratori, i cosiddetti contatori, che consentono di tracciare istantaneamente gli effettivi consumi energetici. In particolare modo, per quantificare l'energia elettrica vengono misurati i kWh_{el} , mentre per l'energia termica si è soliti usare i kWh_{th} . Avendo a disposizione questi dati puntuali, è abbastanza immediato risalire a un modello energetico significativo per il sito analizzato, andando poi ad intervenire laddove si riscontrano dei valori fuori dalla norma. Sfortunatamente, per quanto riguarda i centri natatori non si è ancora arrivati ad avere una sensibilizzazione profonda in merito; si denota infatti un'assenza pressoché totale di contabilizzatori energetici per quantificare i consumi delle varie aree operative o, se presenti, sono mal tarati o non funzionanti. In queste situazioni è estremamente difficile operare in maniera certa. Se però si riesce a raccogliere le informazioni elencate in precedenza, è possibile quantomeno arrivare vicino alla realtà.²

Un modello elettrico consiste in una lista di tutti gli utilizzatori elettrici e i relativi assorbimenti, che vengono poi raggruppati in categorie significative. I consumi delle diverse aree funzionali sono calcolati attraverso la seguente formula:

$$E_{tot,el} = \sum_{i=1}^n E_{i,el} \quad (4.1)$$

$$(4.2)$$

dove:

$$E_{i,el} = P_{i,el} \cdot cc_i \cdot h_i \quad (4.3)$$

con:

- $P_{i,el}$ la potenza elettrica di targa dell'i-esimo dispositivo;
- cc_i il fattore di carico dell'i-esimo dispositivo;
- h_i il numero di ore di funzionamento annue dell'i-esimo dispositivo.

Attraverso questi calcoli è stato possibile ricostruire un modello matematico, da cui si è poi partiti per elaborare gli output richiesti. Sicuramente interessante è la ripartizione dei consumi elettrici per uso; si definiscono cioè delle categorie significative tra cui si sono poi suddivisi gli utilizzatori.

Un centro natatorio è una struttura, pubblica o privata, all'interno della quale è possibile svolgere l'attività di balneazione. Generalmente, esistono anche degli spazi di intrattenimento, come ristoranti e bar, e di attività complementari al nuoto, come le palestre. Di seguito viene riportata la lista delle varie voci caratterizzanti i consumi elettrici di una piscina coperta:

1. **Illuminazione interna**, ovvero tutte le lampade e le luci utilizzate all'interno della struttura. Se gli annessi consumi sono significativi, è possibile scorporare l'illuminazione esterna;

²L'Enea stabilisce un discostamento indicativo massimo del 5% tra ricostruzione eseguita e consumi effettivi da bolletta.

2. **Pompaggio vasca grande**, che definisce l'assorbimento elettrico dei pompaggi legati al trattamento acqua della vasca maggiore (per una piscina di tipo A generalmente semi-olimpionica) costituiti in prevalenza dalle elettropompe pre-filtri;
3. **Pompaggio vasca piccola**, inerente cioè alla vasca (o alle vasche) minore/i;
4. **Altri pompaggi**, che tengono conto di tutte le altre pompe di circolazione, come quelle del collettore centrale da cui dipartono le varie utenze termiche e quelle dei sistemi di generazione;
5. **UTA ambiente vasche**, ovvero l'assorbimento elettrico di ventilatori e ausiliari (servomotori delle serrande, regolatori, etc.) dell'unità di trattamento aria adibita al condizionamento dell'ambiente vasche;
6. **Altre UTA**, relative ad altri ambienti (spogliatoi, palestra, etc.);
7. **Utilizzatori bar**;
8. **Utilizzatori uffici**, prevalentemente PC;
9. **Trattamento aggiuntivo**, come ozono e UV, se presente.

In figura 4.1 è possibile vedere un esempio esaustivo del modello elettrico di un sito analizzato; in questo caso, sono anche presenti un bar e una piscina esterni.

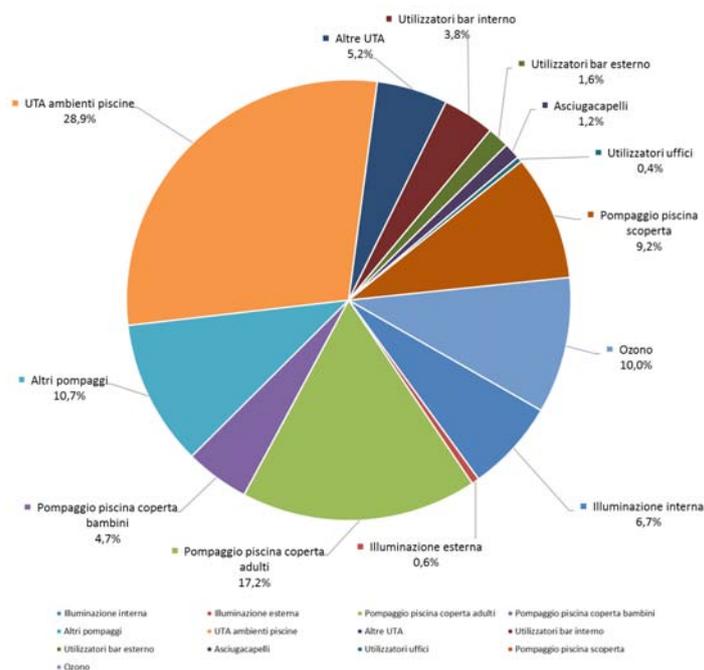


Figura 4.1: Modello elettrico di un centro natatorio

Si evince come i principali consumi elettrici siano imputabili ai pompaggi e al trattamento aria dell'ambiente vasche; come già visto, infatti, si hanno degli elevati volumi d'acqua da far circolare e degli ambienti con metrature importanti, che richiedono un'UTA con grande portata elaborata, oppure più UTA con portata elaborata

minore. Il sito a cui si riferisce la figura 4.1, per esempio, presenta due unità da $60000\text{ m}^3/h$ e $10000\text{ m}^3/h$ rispettivamente per gli ambienti vasca grande (11300 m^3) e vasca piccola (1500 m^3). Non trascurabile è l'assorbimento elettrico del sistema ad ozono, dovuto in particolar modo all'elettro-impulso istantaneo per la distruzione dell'ozono residuo. Per ridurre la quantità di energia elettrica comprata dalla rete è possibile installare dei pannelli fotovoltaici o un impianto cogenerativo.

Un modello termico consiste in una lista di tutti i dispositivi che producono energia termica con l'utilizzo di energia elettrica o di un combustibile (in genere gas naturale); a questa definizione rispondono in particolar modo i sistemi di generazione, tra cui caldaie, cogeneratori e pompe di calore. L'obiettivo è ricreare la situazione reale tramite l'elaborazione di uno schema matematico che tenga anche conto delle bollette di fornitura. Per un centro natatorio si sono individuate le seguenti categorie:

1. **Riscaldamento ambienti**, ovvero tutti gli impianti che hanno come obiettivo il mantenimento dei parametri di comfort espressi dalle normative. Tra questi spicca l'unità di trattamento aria, anche se possono essere presenti impianti radianti a pavimento, radiatori e fan-coil;
2. **Riscaldamento acqua vasche**, che rappresenta l'elemento caratterizzante dei centri natatori e tiene conto delle perdite sulle pareti laterali e suolo, dell'evaporazione e del riscaldamento dell'acqua ricambiata giornalmente;
3. **Riscaldamento ACS** (Acqua calda sanitaria), legata in particolar modo al numero di bagnanti;

Esse definiscono la ripartizione per uso dell'energia termica. Di seguito è rappresentato il modello termico (ripartizione per uso) dello stesso sito preso come esempio in precedenza.

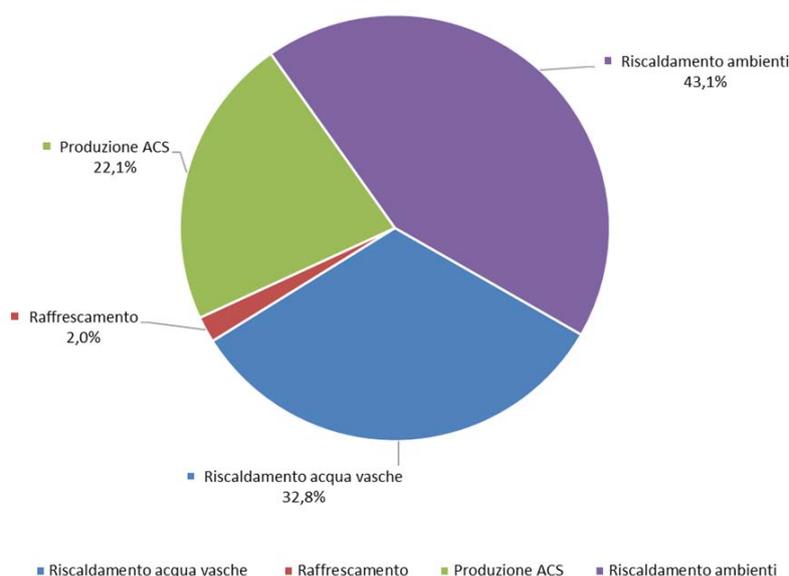


Figura 4.2: Modello termico di un centro natatorio

Si noti come in figura 4.2 è presente anche una piccolissima percentuale adibita al raffrescamento; in questo centro natatorio è infatti presente un ciclo ad assorbimento a gas che fornisce freddo agli uffici e alla hall. Dall'esperienza maturata dall'analisi dei tre siti si evince che le due voci preponderanti sono il riscaldamento ambienti e acqua delle vasche. Per ridurre l'ammontare di combustibile comprato dalla rete, è possibile installare un impianto solare termico, di cui bisogna tener conto nell'ottica di attribuzione dei consumi. Nel prossimo capitolo verrà descritta una metodologia utilizzata per quantificare l'apporto solare.

Lo step conclusivo consiste nell'elaborazione del modello dell'energia primaria, ossia l'energia offerta da fonti energetiche primarie quali il sole, il vento, le maree e i combustibili chimici, che non è immediatamente disponibile, ma deve essere trasformata prima di poter essere utilizzata. Esistono dei fattori di conversione che consentono di trasformare l'energia utile in primaria. Sarebbe più significativo confrontare i dispendi termici ed elettrici precedentemente descritti tramite l'energia finale³, anche se generalmente viene usato il *tep*, tonnellata equivalente di petrolio. In particolare:

- Per l'energia elettrica $1 tep = 0,187 MWh$, come precisamente espresso dall'Autorità per l'energia elettrica e il gas;
- Per il gas naturale $1 tep = 0,825 * 10^{-3} Sm^3$.

Attraverso questi fattori di conversione è possibile rappresentare su uno stesso grafico tutti i vettori energetici definiti. Sempre per lo stesso sito, di seguito è presentato il modello di energia primaria.

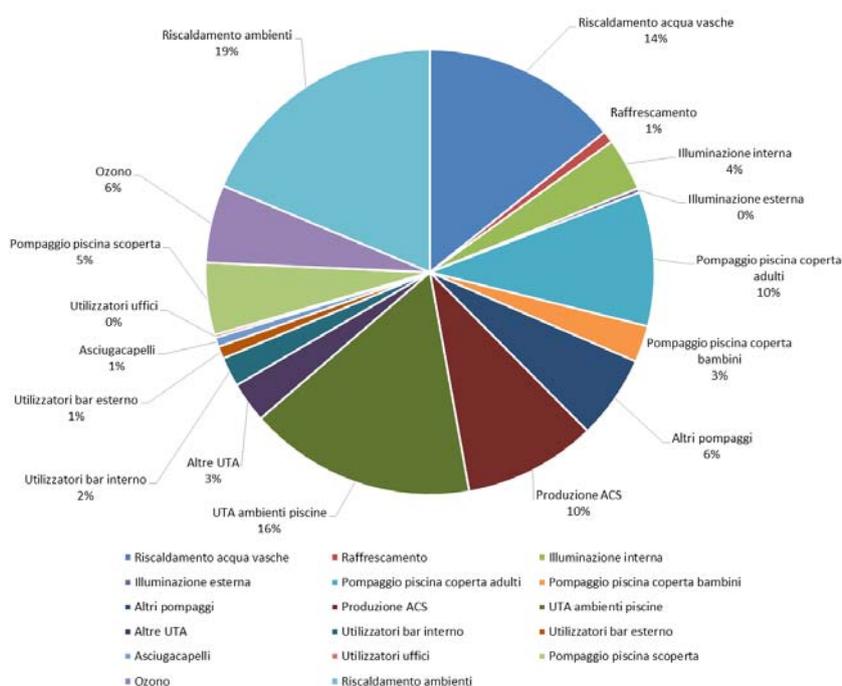


Figura 4.3: Modello di energia primaria di un centro natatorio

³Energia che ha subito il processo di trasformazione e che è poi stata trasportata nel sito in questione.

Nell'ottica di un benchmark tra vari siti, il diagramma di figura 4.3 è sicuramente significativo, in quanto dà subito l'idea di come sono distribuite le varie voci.

Il centro natatorio preso come riferimento presenta un utilizzo di energia elettrica maggiore rispetto a quello termico. Ciò non è sempre verificato; anzi, negli altri due siti i consumi preponderanti sono quelli termici, indice, nella maggior parte dei casi, di sprechi e non adeguatezza dei sistemi utilizzati. Nell'ottica di un'ottimizzazione energetica, è proprio in quest'ultimo settore che si possono avere i migliori risultati. Come si vedrà nel Capitolo 5, esistono moltissimi modi per recuperare calore che consentono di ridurre la richiesta di combustibile.

4.2 Metodologie di analisi

In questo paragrafo si vogliono definire le metodologie analitiche usate per validare i modelli sopra descritti. Per l'energia elettrica si è trattato di verificare che quanto ipotizzato con lo schema matematico fosse corretto, valutando inoltre i picchi di assorbimento o eventuali anomalie; per quella termica è stato invece necessario ricavare dei metodi di calcolo per categorizzare le voci sopra citate, non essendo nei vari siti presenti dei contacalorie settoriali che avrebbero potuto fornire misure certe. Come si vedrà successivamente, le modalità di utilizzo dell'energia variano in funzione del numero di persone che frequentano la struttura e dei gradi giorno. Per gradi giorno si intende la differenza tra la temperatura di riferimento interna T_i (per gli edifici residenziali pari a $20^\circ C$) e la media esterna del giorno considerato, $T_{m,ext}$, quando essa è minore di $12^\circ C$, dato che, convenzionalmente, si ha necessità di riscaldamento per $T_{m,ext} < 12^\circ C$. In formula:

$$GG = \sum_{i=1}^n (T_i - T_{m,ext}) \quad (4.4)$$

con sommatoria estesa per tutti i giorni in cui $T_{m,ext} < 12^\circ C$.

Si vuole precisare come, in realtà, i centri natatori non presentano una temperatura interna di riferimento fissata, dato che sono costituiti da più ambienti diversi che necessitano di differenti parametri di comfort. Ciò che maggiormente interessa, al di là del valore esatto con le esatte temperature, è la possibilità di parametrizzare alcuni degli Indici di Prestazione Energetica con i gradi giorni, con l'ottica di confronto tra vari siti. Ovviamente, si dovrà procedere con un ugual metodo di calcolo per ogni località analizzata. Questi aspetti verranno approfonditi in seguito.

4.2.1 Energia elettrica: curve di carico

Nel settore di produzione di energia elettrica, per curva di carico si intende un grafico che mostra l'ammontare di energia elettrica che l'utenza utilizza nell'unità di tempo. In base alle esigenze è possibile elaborare più tipi di diagrammi, in modo da ottenere diverse visualizzazioni analitiche relative a periodi di riferimento differenti. Il primo passo per l'elaborazione delle curve di carico è la raccolta dei dati quattorari (o orari) rappresentativi dell'energia attiva prelevata dalla rete e assorbita dal sito in questione. Questi sono direttamente ricavabili dal sito Enel, se clienti Enel, oppure

dal sito del GSE⁴, previa delega firmata dall'intestatario del contratto di fornitura e credenziali di riconoscimento. Generalmente si è soliti analizzare dati per la durata complessiva di un anno solare, in modo da avere una visuale delle possibili variazioni in funzione dei gradi giorno esterni.

In figura 4.4 è rappresentato il primo output dell'indagine sui carichi elettrici: la curva di carico cumulata, detta anche curva di durata del carico.

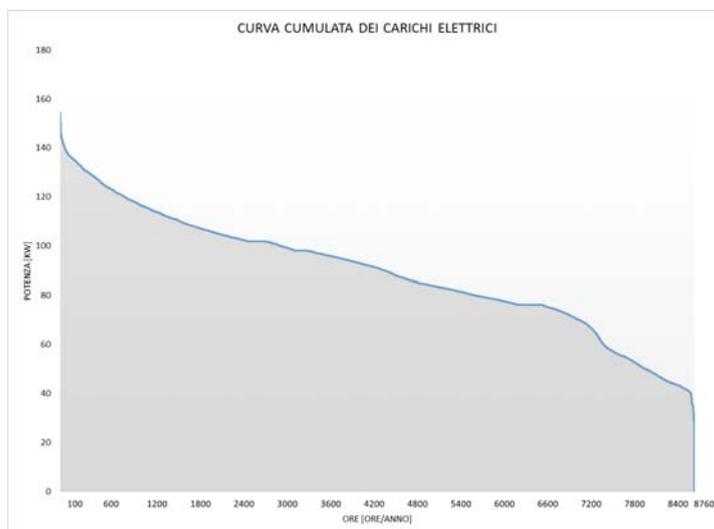


Figura 4.4: Curva cumulata dei carichi elettrici

L'ascissa di un punto rappresenta il tempo complessivo durante il quale la potenza assorbita dal sito è stata maggiore o uguale all'ordinata del punto; attraverso questo grafico è quindi possibile valutare il picco di richiesta (limitato a qualche ora dell'anno) e il carico di base minimo presente tutto l'anno.⁵ Dà quindi l'idea dell'assorbimento effettivo del complesso. La curva cumulata consente anche di determinare rapidamente quanta area, e quindi energia, si trova tra la curva e un determinato valore di potenza P . In questo modo, ad esempio, si può vedere quanta energia viene assorbita dall'utenza quando la potenza supera P .

Altro diagramma significativo è la curva di carico media annuale (figura 4.5), parametrizzata rispetto ai giorni lavorativi, ai sabati e alle domeniche. In questo caso il profilo segue gli orari di apertura dei locali al pubblico con un picco attorno alle 18:00; la domenica presenta mediamente un consumo minore rispetto agli altri giorni della settimana, perché la struttura tiene aperta per meno tempo ed è frequentata in media da un numero inferiore di bagnanti. Dato che i giorni lavorativi sono quelli a maggiore affluenza, può essere utile un approfondimento, che porta all'elaborazione della figura 4.6. Dall'analisi si nota che il consumo maggiore avviene nei mesi estivi ed in particolare a luglio; il sito a cui corrisponde la curva 4.6 presenta infatti un parco acquatico esterno con elevato assorbimento elettrico da parte di scivoli e giochi d'acqua.

⁴Gestore Servizi Energetici, società per azioni che si occupa di numerose attività tra cui l'incentivazione delle fonti rinnovabili e dell'efficienza energetica, qualifiche CAR e SEU, scambio sul posto, certificati bianchi, etc.

⁵Nota: se vengono presi, come dati di riferimento, i kWh_{el} forniti dalla rete ora per ora, è immediatamente possibile ricavare l'equivalente potenza oraria in kW ricordando che $kW = kWh/h$.

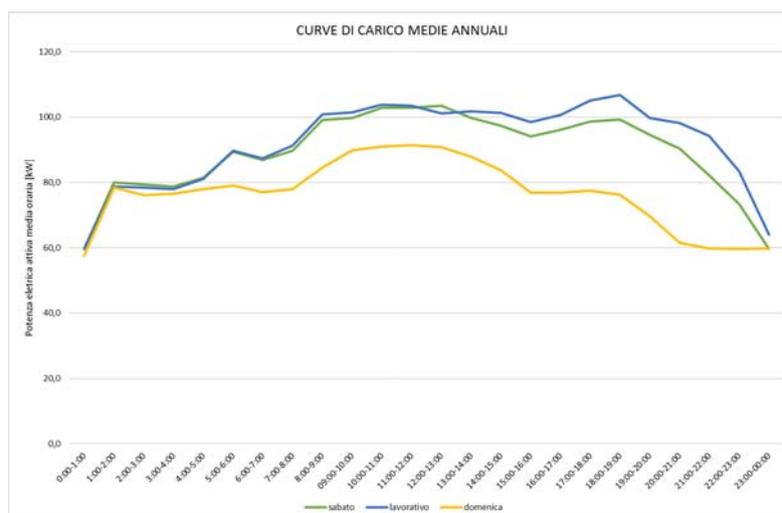


Figura 4.5: Curva di carico media annuale

È possibile elaborare le curve di carico relative ai sabati e alle domeniche; per un centro natatorio coperto è però sicuramente più significativa quella dei giorni lavorativi.

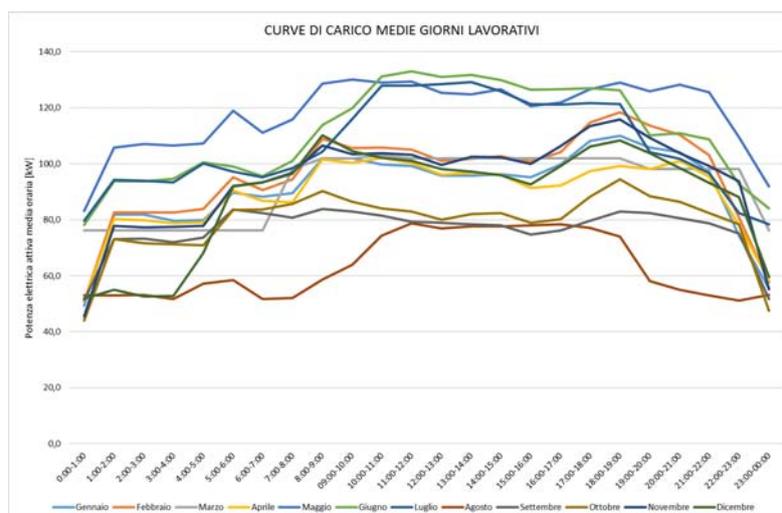


Figura 4.6: Curva di carico media giorni lavorativi

Infine, particolarmente utile è la definizione del mese standard di riferimento, caratterizzato cioè dai consumi che più si avvicinano alla media mensile dell'anno analizzato e quindi significativo per la validazione del modello e per la visione di eventuali anomalie. Un approfondimento specifico porta alla caratterizzazione giornaliera dei profili di carico (dal lunedì alla domenica): si ha quindi una visuale specifica di ciò che avviene giorno per giorno, da cui si può partire per pianificare strategie di riduzione o di bilanciamento dei consumi al variare dei parametri caratteristici.

Attraverso tutte queste analisi, è possibile ricostruire i carichi di base, funzionanti cioè 24 ore su 24, come i pompaggi relativi al trattamento acqua, e quantificare poi il consumo delle UTA, in base all'ora di accensione e spegnimento, e di tutte le altre utenze. Con un confronto su più anni, e quindi su più curve, si può capire se gli

eventuali interventi di ottimizzazione energetica (sostituzione delle pompe obsolete e dei ventilatori delle UTA, per esempio) abbattano o meno i consumi. Tutto ciò non servirebbe, o sarebbe solo una sorta di prova del nove, se i centri natatori fossero provvisti di sistemi di monitoraggio in grado, istante per istante, di raccogliere i dati dei parametri più significativi. Nel prossimo capitolo verrà dato ampio spazio alla definizione di un device di questo tipo e in particolar modo verranno evidenziate le variabili di interesse al fine di avere un'oculata e precisa gestione del centro natatorio stesso.

4.2.2 Energia termica: metodi di calcolo

Per un complesso piscine, l'energia termica rappresenta la più importante e allo stesso tempo più impegnativa fonte energetica da quantificare:

- Importante in quanto caratterizza il livello di comfort dell'ambiente e dell'acqua e le possibilità di interventi di ottimizzazione;
- Impegnativa in quanto è difficile da definire e da caratterizzare in maniera precisa in assenza di strumentazione dedicata (contacalorie).

Già in precedenza si era sottolineata l'inadeguatezza dei sistemi di misura presenti in questo tipo di struttura; con l'ottica di fornire ai clienti una relazione di diagnosi il più possibile completa, si è proceduto con la definizione di metodi di calcolo in modo da caratterizzare le principali tipologie di consumo termico. Si vuole precisare come le metodologie di seguito descritte possono essere un buon strumento di verifica, ma non sono dinamiche dato che si basano su assunzioni medie. Alla luce dell'esperienza maturata con l'analisi dei tre siti, si è però riscontrato come esse siano poco discoste dalla realtà se si aggiungono le conoscenze sulle normali procedure (orari di funzionamento, presenze giornaliere, distribuzione giornaliera dei bagnanti, etc.) del centro natatorio in questione.

Innanzitutto, l'energia termica prodotta viene trasferita ad acqua che, attraverso il circuito idraulico, arriva al collettore principale da cui dipartono le varie utenze. I dispositivi atti a fornire calore necessitano ovviamente di un combustibile, che può essere di molteplici tipi:

1. Combustibile fossile, in particolar modo gas naturale. Gli annessi impianti sono caldaia e cogeneratore;
2. Energia elettrica, utilizzata come input da pompe di calore aria-acqua o acqua-acqua;
3. Radiazione solare, convertita in energia termica dai pannelli solari termici.

Per quanto riguarda la prima categoria, si è soliti definire il rendimento termico di primo principio η_{th} , rapporto tra la potenza fornita al fluido $P_{utile,w}$ e l'input termico P_F ; in formula:

$$\eta_{th} = \frac{P_{utile,w}}{P_F} = \frac{\rho \cdot m_{v,w} \cdot (T_{out,w} - T_{in,w})}{\dot{m}_F \cdot PCI_F} \quad (4.5)$$

dove:

- ρ è la densità dell'acqua, espressa in $[kg/m^3]$;
- $m_{v,w}$ è la portata volumetrica di acqua che passa attraverso l'impianto, espressa in $[m^3/s]$;
- $(T_{out,w} - T_{in,w})$ è la differenza tra temperatura di uscita e ingresso dell'acqua, espressa in $[K]$;
- PCI_F rappresenta il potere calorifico inferiore del combustibile ($[J/kg]$);
- m_F è la portata di massa di combustibile, espressa in $[kg/s]$.

Le pompe di calore vengono utilizzate per quasi il 100 % dei casi in modalità di riscaldamento; il parametro caratteristico, in questo caso, è il coefficiente di effetto utile COP:

$$COP = \frac{P_{fornita,w}}{P_{el,ass}} \quad (4.6)$$

dove $P_{el,ass}$ rappresenta la potenza elettrica assorbita dall'impianto.

Infine, è decisamente più complicato quantificare il flusso energetico fornito dalla radiazione solare, dato che bisogna tener conto di molteplici parametri, come la località di installazione, l'orientamento e la tipologia di pannello. Si prenda come esempio uno dei tre centri natatori analizzati. Dal punto di vista della generazione, esso prevede un sistema combinato costituito da caldaia e impianto solare termico; in assenza di misurazioni dirette sull'energia solare prodotta è impossibile conoscere con certezza la totale richiesta termica della struttura. Si hanno infatti a disposizione solamente le bollette di fornitura del gas, ma nulla si sa sugli effettivi consumi totali. Per averne una stima, in assenza di software dedicati si è ricorso alla norma *UNI15316-4-3 (2008)*⁶, la quale definisce metodi di calcolo dell'apporto solare per impianti di vario tipo:

1. Impianti combinati per la produzione di ACS e riscaldamento;
2. Impianti per la sola produzione di ACS;
3. Impianti per il solo riscaldamento.

Generalmente, un sistema solare termico cede il calore recuperato dal sole ad acqua all'interno di un accumulo destinato per la produzione di ACS. Si presenta di seguito il metodo relativo alla seconda tipologia d'impianto, il cui output è il fattore di copertura solare f , indicativo dell'apporto dell'impianto solare sulla totale energia termica.

$$f = \frac{Q_{sol,out,m}}{Q_{sol,us,m}} \quad (4.7)$$

dove $Q_{sol,out,m}$ rappresenta l'energia prodotta dall'impianto in un mese e $Q_{sol,us,m}$ è il fabbisogno mensile globale di energia termica. In particolare, f può essere definito secondo una regressione lineare in funzione di due parametri X e Y :

$$f = 1.029Y - 0.065X - 0.245Y^2 + 0.0018X^2 + 0.0215Y^3 \quad (4.8)$$

⁶*Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 4-3: Heat generation systems, thermal solar systems.*

che a loro volta dipendono da altre variabili. Gli input richiesti per l'implementazione di questo metodo sono:

1. Irradiazione solare media mensile sul piano del collettore I_m , espressa in $[W/m^2]$;
2. Area di apertura A dei collettori in $[m^2]$;
3. Parametri caratteristici del collettore η_0 , a_1 e a_2 , ricavati dai dati tecnici;
4. Modificatore dell'angolo di incidenza del collettore a 50° IAM (o $K_{\tau\alpha,50^\circ}$);
5. Temperature dell'acqua di pozzo/acquedotto θ_{cw} e di erogazione θ_w , presa pari a $40^\circ C$;
6. Volume V_{sol} in $[l]$ dell'accumulo destinato a raccogliere il calore proveniente dai collettori;
7. Consumo d'acqua giornaliero in $[l/giorno]$;
8. Fattore di perdita dei collettori, stimato pari al 5% del fabbisogno di energia termica mensile per l'ACS $Q_{sol,us,m}$.

Si vanno adesso a definire i due parametri X e Y:

$$X = A \cdot U_{loop} \cdot \eta_{loop} \cdot \Delta T \cdot f_{st} \cdot t_m / (Q_{sol,us,m} \cdot 1000) \quad (4.9)$$

$$Y = A \cdot IAM \cdot \eta_0 \cdot \eta_{loop} \cdot I_m \cdot t_m / (Q_{sol,us,m} \cdot 1000) \quad (4.10)$$

dove:

- U_{loop} ($[W/(m^2K)]$) è il coefficiente di dispersione termica del circuito dei collettori: $U_{loop} = a_1 + a_2 \cdot 40 + U_{loop,p}/A$ con $U_{loop,p} = 5 + 0.5 \cdot A$;
- η_{loop} è il fattore di efficienza del circuito collettori, inclusa l'influenza dello scambiatore. Generalmente è preso pari a 0.9;
- ΔT è la differenza di temperatura di riferimento: $\Delta T = \theta_{ref} - \theta_{e,avg}$, con:
 - $\theta_{ref} = 11.6 + 1.18\theta_w + 3.86\theta_{cw} - 1.32\theta_{e,avg}$ temperatura di riferimento per sistemi ACS;
 - $\theta_{e,avg}$ temperatura dell'aria esterna del periodo considerato.
- f_{st} è il fattore correttivo (adimensionale) del volume V_{sol} . In particolare

$$f_{st} = \left(\frac{V_{ref}}{V_{sol}} \right)^{0.25} = \left(\frac{75 \cdot A}{V_{sol}} \right)^{0.25}$$
- t_m è la durata del mese considerato espressa in $[h]$

A questo punto, nota la quantità di combustibile consumato annualmente, è possibile calcolare la totale energia termica richiesta dalla struttura $E_{tot,th}$ e la quota parte di energia prodotta dal solare termico. In formule:

$$Q_{tot,th} = Q_{gas,th} \cdot (1 - f) \quad (4.11)$$

$$Q_{solare,th} = Q_{tot,th} \cdot f \quad (4.12)$$

$$Q_{tot,th} = Q_{gas,th} + Q_{solare,th} \quad (4.13)$$

Si ricordi che, per passare da Sm^3 a kWh è necessario utilizzare il potere calorifico del combustibile (per il gas naturale esso è pari a $9.59 kWh/Sm^3$).

Se è prevista la produzione combinata di riscaldamento e ACS, il metodo differisce per il fatto che si deve idealmente dividere l'area dei collettori in due parti, proporzionali all'effettiva richiesta di ACS e riscaldamento: A_{ACS} rappresenta la porzione del totale destinata alla produzione di ACS e A_{risc} la restante parte sfruttata a fini di riscaldamento. In formule:

$$A_{ACS} = p_{ACS} \cdot A \quad (4.14)$$

$$A_{risc} = p_{risc} \cdot A \quad (4.15)$$

$$p_{risc} + p_{ACS} = 1 \quad (4.16)$$

dove p_{ACS} e p_{risc} sono i fattori correttivi che individuano la porzione di area destinata, rispettivamente, per l'ACS e il riscaldamento. È inoltre necessario dividere l'accumulo in due parti, con i medesimi fattori, e caratterizzare l'energia richiesta per le due utenze (riscaldamento e ACS).

L'acqua prodotta dal sistema di generazione, tramite l'ausilio di pompe, circola nell'anello idrico e raggiunge il collettore principale, da cui dipartono le varie utenze. Come già precedentemente sottolineato, per un centro natatorio si possono definire tre categorie principali di utilizzo termico:

1. Riscaldamento ACS;
2. Riscaldamento degli ambienti;
3. Riscaldamento dell'acqua delle vasche.

Verranno di seguito presentate le procedure utilizzate per stimare queste importanti voci.

Riscaldamento ACS

Per quanto riguarda la produzione di ACS, si è utilizzato il metodo definito dalla norma *UNITS 11300-2:2014*, secondo cui il fabbisogno di ACS è pari a:

$$Q_{h,w} = \rho_w \cdot c_w \cdot V_w \cdot (T_{w,ACS} - T_{cw}) \quad (4.17)$$

dove:

- ρ è la densità dell'acqua alla temperatura di erogazione ($999.183 kg/m^3$);
- c è il calore specifico dell'acqua, supposto pari a $0.001162778 kWh/(kgK)$;
- V_w è la portata volumetrica necessaria, espressa in $[m^3/mese]$, che viene calcolata a seconda dei dati a disposizione, ossia misure dirette tramite un contatore dedicato, numero di presenze mensili o affluenza media mensile. In quest'ultimo caso, è necessario conoscerne a grandi linee il trend mensile. Solo con il primo tipo di dati si ha la certezza che il calcolo effettuato sia giusto; altrimenti, è preferibile utilizzare la tipologia di valori con minor grado di errore. In un centro natatorio il consumo maggiore è legato alle docce: può quindi essere utile la conoscenza dell'erogazione istantanea in $[l/(s \cdot doccia)]$ e il tempo medio di utilizzo per persona in modo da calcolare poi la portata volumetrica necessaria;

- $(T_{w,ACS} - T_{cw})$ è la differenza tra la temperatura di erogazione, supposta pari a $40^{\circ}C$ e la temperatura dell'acqua dell'acquedotto o, se presente, del pozzo, fissata pari alla temperatura media annuale della località del sito, essendo essa uguale alla temperatura media annuale del suolo a una certa profondità.

L'output è rappresentato dal fabbisogno mensile ($[kWh]$) di acqua calda sanitaria richiesto dalla struttura. Mese per mese, si riscontreranno quindi dei valori diversi; per ovvi motivi, il parametro che maggiormente influenza l'ACS è il numero di bagnanti. Il rapporto tra il consumo di gas naturale necessario per produrre questo quantitativo di energia termica e il numero di persone è un primo esempio di un indice di prestazione energetica significativo.

Riscaldamento degli ambienti

Come sottolineato nel paragrafo 4.1, un centro natatorio presenta spazi con elevati volumi; il consumo principale di energia termica è quindi legato all'unità di trattamento aria, imprescindibile per questo tipo di strutture. Essa è costituita da più componenti e presenta un costo elevato, dato che deve elaborare elevate portate d'aria; eventualmente, per ridurre le dimensioni si possono prevedere soluzioni integrative, come i pannelli radianti a pavimento, i radiatori e i fan-coil. Una tipica UTA adibita al condizionamento dell'aria dell'ambiente delle vasche è del tipo a parziale ricircolo, con recuperatore di calore e servomotori delle serrande. La batteria di raffreddamento e deumidificazione e il saturatore adiabatico non sono in genere presenti: non c'è quasi mai necessità di raffrescamento, né, tanto meno, di innalzare l'umidità relativa dell'ambiente. È altresì presente una batteria di riscaldamento, che deve scaldare l'aria fino alla temperatura di immissione in ambiente. Per fare ciò, si utilizza dell'acqua calda ($70^{\circ}C$) proveniente dal generatore. In assenza di contatori dedicati, è difficile conoscere con esattezza la portata d'acqua che scorre all'interno dei tubi della batteria, dato che è presente un sistema di by-pass tramite valvola a 3 vie. In figura 4.7 è rappresentato un tipico schema di una centrale a trattamento aria di un centro natatorio.

Per stimare i consumi si sono fatti dei bilanci lato aria, ripercorrendone le trasformazioni all'interno dell'UTA. Con riferimento alla figura, si definiscono alcuni punti caratteristici, a cui corrispondono differenti portate e temperature:

- Punto 1: presa dell'aria esterna;
- Punto 2: ripresa dell'aria dall'ambiente. A sua volta si definiscono 2' (ingresso al recuperatore di calore) e 2'' (ricircolo attraverso la serranda di by-pass);
- Punto 3: espulsione dell'aria a valle del recuperatore;
- Punto 4: uscita dal recuperatore a monte della batteria di riscaldamento. Si definisce 4' il punto a valle della miscelazione tra portata ricircolata e portata proveniente dal recuperatore;
- Punto 5: mandata dell'ambiente.

Il parametro che maggiormente influenza le prestazioni di una CTA è la temperatura dell'aria esterna: più essa è bassa e più alta è, teoricamente, la richiesta di acqua

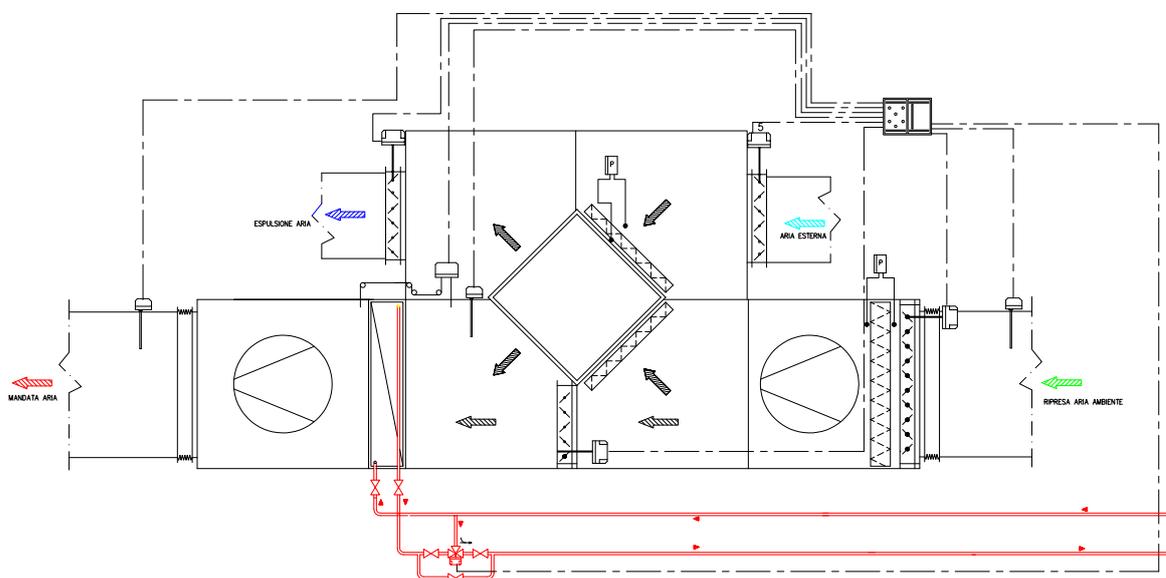


Figura 4.7: Schema di un'UTA con recuperatore di calore a flussi incrociati

calda nella batteria. È però anche vero che il recuperatore di calore funziona meglio con ΔT alti.

L'ambiente di un centro natatorio che richiede il maggiore dispendio in termini energetici, sia per l'alto volume che per le temperature in gioco, è il locale vasche. Di seguito si prenderà come esempio quest'ultimo caso. Non avendo a disposizione un software di analisi dinamica e non conoscendo le effettive portate elaborate dai ventilatori, si è proceduto con delle assunzioni:

1. La portata d'aria specifica di rinnovo m_1 proveniente dall'esterno è pari alla minima portata richiesta per legge, pari a $20 \text{ m}^3 / (h \cdot m_{vasca}^2)$.⁷ Se si dovesse analizzare un'UTA adibita al condizionamento di altri ambienti, si sfrutta la stessa assunzione, con portata minima dipendente dalla zona;
2. Le temperature dell'aria esterna $T_{1,i}$ sono quelle medie giornaliere della località in questione. L'analisi presentata è quindi su base giornaliera;
3. La temperatura T_5 viene fissata in modo da permettere il raggiungimento dei valori di comfort previsti dalle normative vigenti. La portata m_5 è presa pari alla portata di progetto elaborata dal ventilatore di mandata;
4. La temperatura di ripresa dell'ambiente T_2 è fissata pari alla temperatura di set point dell'ambiente vasche;

⁷Si veda il paragrafo 3.1.2 Conferenza Stato Regioni 16 gennaio 2003.

5. La temperatura T_3 di espulsione dell'aria è considerata pari alla temperatura dell'ambiente esterno;
6. L'efficienza ε del recuperatore è pari a quella di progetto;
7. Si definiscono tre periodi nel corso dell'anno: mesi invernali, intermedi e estivi. Per ognuno di questi si inserisce un fattore correttivo differente per tenere conto dell'effettiva portata d'acqua circolante nella batteria di riscaldamento. Le scelte dei valori e dei range mensili vengono fatte in funzione della località e dei periodi di funzionamento della CTA stessa.

L'obiettivo è il calcolo della potenza termica P_{th} [kW] richiesta dalla batteria:

$$P_{th} = \rho_{air} \cdot \dot{m}_5 \cdot c_{air} \cdot (T_5 - T_{4'}) \quad (4.18)$$

dove:

- ρ_{air} è la densità dell'aria, pari a 1.225 kg/m^3 ;
- \dot{m}_5 è la portata d'aria di mandata, espressa in $[\text{m}^3/\text{s}]$;
- c_{air} è il calore specifico dell'aria, pari a 1.005 kJ/kgK ;
- $(T_5 - T_{4'})$ è la differenza di temperatura [K] tra mandata e punto 4'.

In base alla conoscenza delle ore di funzionamento giornaliero della macchina h , è possibile calcolare l'energia richiesta (espressa in [kWh]):

$$Q_{risc} = P_{th} \cdot h \quad (4.19)$$

Si presti attenzione al fatto che le ore di esercizio h dell'impianto possono variare nel corso della settimana (giorni feriali e week-end) e nel corso dell'anno (mesi invernali e mesi estivi). È quindi necessario ricorrere ad un'intervista agli operatori interni del centro natatorio. L'unica incognita è la temperatura $T_{4'}$ a valle del tratto di miscelazione (T_5 , \dot{m}_5 e proprietà dell'aria sono note). Per calcolarla sono necessari alcuni bilanci nelle varie porzioni della macchina. Innanzitutto, si deve considerare il recupero di calore. Se è presente un recuperatore a flussi incrociati:

$$\varepsilon = \frac{T_4 - T_1}{T_{2'} - T_3} \quad (4.20)$$

da cui si ricava che ($\dot{m}_1 = \dot{m}_{2'} = \dot{m}_3 = \dot{m}_4$):

$$T_4 = T_1 + \varepsilon \cdot (T_{2'} - T_3) \quad (4.21)$$

A questo punto manca solo il bilancio di massa nel tratto di miscelazione a monte della batteria di riscaldamento.

$$\dot{m}_4 \cdot h_4 + \dot{m}_{2''} \cdot h_{2''} = \dot{m}_{4'} \cdot h_{4'} \quad (4.22)$$

Sapendo che $\dot{m}_4 + \dot{m}_{2''} = \dot{m}_{4'}$, si ottiene che:

$$h_{4'} = \frac{\dot{m}_4 \cdot h_4 + \dot{m}_{2''} \cdot h_{2''}}{\dot{m}_{4'}} \quad (4.23)$$

In prima approssimazione è altresì possibile scrivere:

$$T_{4'} = \frac{\dot{m}_4 \cdot T_4 + \dot{m}_{2''} \cdot T_{2''}}{\dot{m}_{4'}} \quad (4.24)$$

È adesso possibile calcolare la potenza e l'energia richiesta dalla batteria di riscaldamento. Si vuole sottolineare ancora una volta come questo metodo di calcolo, per essere apprezzabile, deve basarsi sulla gestione reale dell'impianto stesso, quindi sulle ore di funzionamento, sul set-point di temperatura in ambiente e sui giorni di apertura della struttura. I parametri che influenzano maggiormente il funzionamento dell'unità di trattamento aria sono il numero di gradi giorno, a sua volta legato alla temperatura dell'aria esterna, e il volume dell'ambiente, oltre che il livello di isolamento della struttura stessa.

Un modo efficace per abbattere i consumi termici dell'UTA è l'adozione di coperture isotermitiche, posizionate sopra lo specchio d'acqua in orario di chiusura al pubblico. Esse consentono, tra l'altro, di ridurre l'evaporazione dell'acqua, consentendo addirittura lo spegnimento dell'unità di trattamento aria stessa. Questa soluzione verrà approfondita nel capitolo 5.

Riscaldamento dell'acqua delle vasche

Infine, la terza e, forse, maggiormente caratterizzante categoria di utilizzo termico per un centro natatorio è il riscaldamento dell'acqua delle piscine, dovuta a tre fonti di perdita principali:

1. Perdite per trasmissione attraverso le pareti laterali e il suolo;
2. Perdite legate alla necessità di scaldare l'acqua ricambiata giornalmente;
3. Perdite per evaporazione.

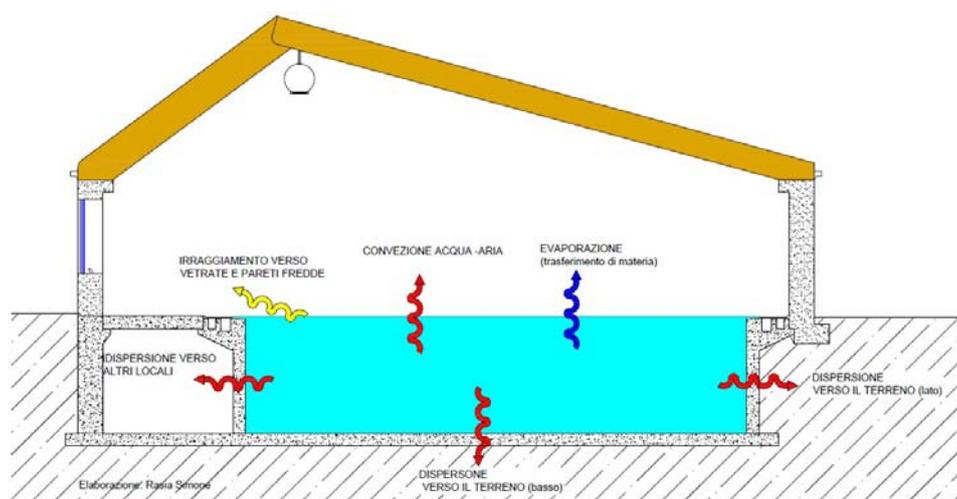


Figura 4.8: Tipologie di perdite in un centro natatorio

Oltre le tre componenti sopra descritte, la figura 4.8 definisce altri due tipi di perdite:

- Perdite per convezione, dipendenti dal moto relativo dei fluidi tra loro (aria e acqua) e rispetto le pareti e dalla differenza delle temperature, oltre che della superficie di contatto ;
- Perdite per irraggiamento, legate alla propagazione di calore sotto forma di onde elettromagnetiche tra la superficie dell'acqua e i corpi freddi che essa "vede" (tipicamente il soffitto, le vetrate o i muri, oppure il cielo). Esse seguono la legge di Stefan-Boltzmann. Questa modalità di dispersione risulta essere assai importante nelle piscine scoperte, specialmente nelle notti fredde con cielo sereno, nelle quali la superficie della vasca "vede" la fredda volta celeste.

In realtà una componente di irraggiamento è presente nelle dispersioni attraverso parete, come una componente convettiva è presente al pelo libero tra acqua ed aria. Non va dimenticato che con gli stessi meccanismi con i quali avviene la dispersione possono, a certe condizioni, verificarsi degli apporti positivi al sistema. In questa trattazione si è deciso di non definire in maniera specifica questi due tipi di perdite. In un certo senso, essi possono essere inglobati nelle voci precedentemente descritte e, inoltre, sono meno significativi. Per esempio, la componente di irraggiamento, per una struttura coperta, è decisamente meno importante rispetto l'evaporazione.

Per quanto riguarda il primo tipo di perdite (per trasmissione) , il metodo adottato prevede la definizione della trasmittanza termica delle pareti e della pavimentazione della vasca. In figura 4.9 si vede una sezione di una tipica struttura di contenimento per piscine.

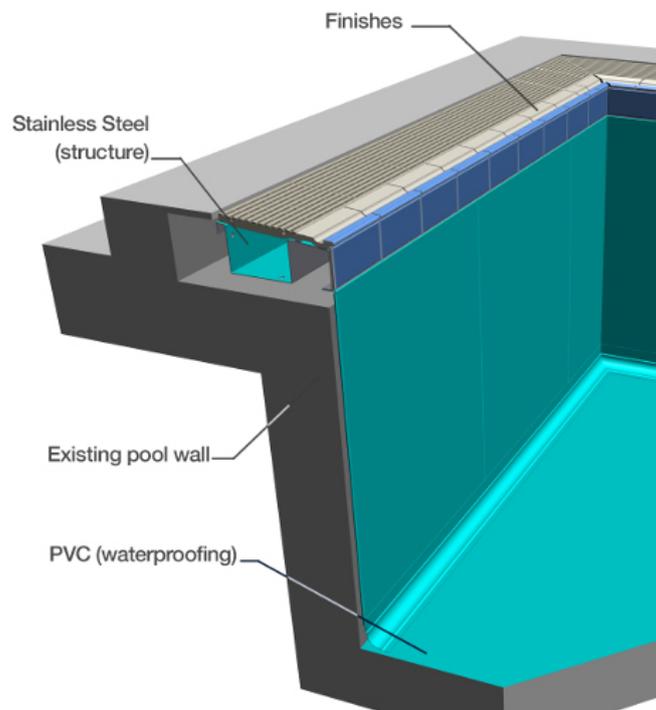


Figura 4.9: Sezione di una tipica parete di una piscina

Generalmente, per le piscine di tipo A si è soliti usare cemento armato rivestito superficialmente da uno strato parzialmente isolante e impermeabile all'acqua, per esempio piastrelle in klinker o pvc. Esistono altre possibilità, però, generalmente,

le piscine ad uso pubblico sono costruite con questi materiali. Di conseguenza, le perdite per trasmissione $[W]$ attraverso il suolo e le pareti possono essere calcolate con le seguenti formule:

$$P_{pareti} = (T_{w,vasca} - T_{air}) \cdot S_1 \cdot U_1 \quad (4.25)$$

$$P_{suolo} = (T_{w,vasca} - T_{soil}) \cdot S_2 \cdot U_2 \quad (4.26)$$

dove:

- $T_{w,vasca}$ è la temperatura dell'acqua della vasca in $[^{\circ}C]$;
- T_{air} è la temperatura dell'aria dell'ambiente retrostante le pareti della vasca. Se la piscina è interrata, si considera direttamente la temperatura del suolo T_{soil} , definita, come già accennato in precedenza, pari alla temperatura media annuale dell'aria della località di riferimento;
- S_1 e S_2 sono, rispettivamente, le superfici delle pareti e del fondo vasca;
- U_1 e U_2 sono, rispettivamente, le trasmittanze termiche delle pareti e del fondo vasca ($[W/m^2K]$). Esse dipendono dallo spessore e dal tipo di materiale.

La potenza totale P_{tot} per trasmissione è quindi pari a:

$$P_t = P_{pareti} + P_{suolo} \quad (4.27)$$

e la corrispondente energia giornaliera E_t , espressa in $[kWh/day]$, risulta essere:

$$Q_t = P_t \cdot 24/1000 \quad (4.28)$$

Le perdite per trasmissioni mensili si ottengono sommando i valori dei singoli giorni.

Secondo le normative vigenti, è necessario ricambiare giornalmente un certo quantitativo d'acqua, che dev'essere poi sostituita. Prima dell'immissione in vasca, la portata di rinnovo dev'essere riscaldata, onde a evitare problemi di discomfort termico legato a un abbassamento di temperatura nella vasca stessa. Questo processo è imputabile a uno scambiatore di calore che favorisce lo scambio termico tra acqua proveniente dal sistema di generazione e acqua di immissione. Come si vedrà nel capitolo 5, esistono svariati tipi di possibilità, ma lo scambiatore più efficace è quello a piastre⁸. Per quanto riguarda una piscina di tipo A, il parametro da tenere in considerazione è il 5% del volume totale dell'acqua contenuta in vasca. Per stimare le perdite di riscaldamento dell'acqua di rinnovo si ricorre alla seguente formula:

$$Q_w = \rho_w \cdot G_w \cdot (T_{w,vasca} - T_{c,w}) \cdot c_w \quad (4.29)$$

dove G_w è la portata di ricambio giornaliera espressa in $[m^3/day]$ Si ha come output l'energia Q_w , espressa in $[kWh/day]$. Anche in questo caso vale il discorso fatto per il primo tipo di perdita. Si tenga presente che, a differenza del caso precedente, il riscaldamento dell'acqua di rinnovo cessa nei periodi di chiusura prolungata della struttura⁹.

⁸Si veda la figura 3.7 del capitolo precedente, dove è rappresentata la tipica configurazione del sistema di riscaldamento dell'acqua tramite scambiatori di calore.

⁹Si sta parlando della chiusura estiva (almeno di una settimana), dato che non conviene non mantenere in temperatura l'acqua per un solo giorno di chiusura a causa delle elevate inerzie termiche.

L'ultima tipologia di perdita è legata all'evaporazione dell'acqua della vasca. Conoscere con buona approssimazione la portata evaporante E è fondamentale per dimensionare correttamente l'intero sistema HVAC e per stimare il consumo energetico. Una sottostima comporterebbe l'installazione di un impianto di trattamento aria sottodimensionato, con conseguente elevato tasso di umidità in ambiente e, quindi, discomfort per i bagnanti; una sovrastimata comporterebbe invece uno spreco sia dal punto economico che dei consumi, oltre che problemi operativi di vario genere. In letteratura sono disponibili numerose correlazioni empiriche volte a definire questo importante parametro. Si può vedere che il tasso di evaporazione in una piscina coperta dipende da una serie di variabili, quali la temperatura dell'ambiente e dell'acqua delle vasche, la presenza o meno di sistemi di ventilazione e, soprattutto, il numero di bagnanti: si distingue quindi tra evaporazione in assenza e in presenza di persone. Come si vedrà in seguito, i valori della portata evaporante E variano molto in funzione di quest'ultima differenza. La prima equazione che vuole descrivere questo importante fenomeno fisico è stata fornita da Carrier nel lontano 1918¹⁰. Il metodo ASHRAE, che definisce la portata evaporante specifica e_{unocc} (espressa in $[kg/m^2h]$) in assenza di persone in vasca, è tuttora basato su una formula fornita da Carrier:

$$e_{unocc} = \frac{(0.089 + 0.0782V) \cdot (p_w - p_r)}{r_w} \quad (4.30)$$

dove:

- V è la velocità dell'aria nell'ambiente, espressa in $[m/h]$;
- $(p_w - p_r)$ è la differenza tra la pressione parziale del vapore saturo alla temperatura superficiale dell'acqua in vasca e alla temperatura e umidità dell'aria dell'ambiente, espressa in $[Pa]$. Per trovare questi valori si può utilizzare il software REFPROP¹¹, oppure il diagramma psicrometrico dell'aria umida;
- r_w è il calore latente di vaporizzazione dell'acqua, espresso in $[kJ/kg]$.

L'esperienza ha mostrato come questa formula porti a una sovrastima del fenomeno; di conseguenza, essa è stata modificata. In questa trattazione si è però deciso di utilizzare un'altra correlazione, definita da Shah [8]. Essa tiene conto della convezione forzata dovuta al movimento dell'aria prodotta dal sistema di ventilazione.

$$e_{unocc} = 0.00005 \cdot (p_w - p_r) \quad (4.31)$$

dove la costante 0.00005 incorpora il coefficiente di trasferimento di massa h_M in presenza di un impianto di ventilazione. Decisamente più complicata è la stima del tasso evaporante in presenza di bagnanti. Anche in questo caso si è tenuto conto di una correlazione empirica sviluppata da Shah [9], che tiene conto di:

- Moti ondosi sulla superficie dell'acqua: la presenza di anche un solo nuotatore causa onde che aumentano la superficie di contatto tra acqua ed aria;

¹⁰W.H.Carrier, *The temperature of evaporation*, ASHVE Transactions 24 (1918).

¹¹<https://www.nist.gov/srd/refprop>

- Pavimento bagnato: il gocciolare dei nuotatori che camminano sul bordo vasca causano un aumento della superficie di contatto. L'area in questione è spesso comparabile con quella dell'intero ambiente, soprattutto in presenza di un elevato numero di persone;
- Corpi bagnati, che costituiscono un'area di contatto addizionale. Essendo la temperatura del corpo umano considerevolmente più alta di quella della vasca, il tasso di evaporazione è ancora più alto;
- Spruzzi d'acqua causati dall'attività degli occupanti, che generano gocce in sospensione. L'ammontare di questa componente dipende dal tipo di attività.

I fenomeni sopra descritti provvedono a incrementare il meccanismo di evaporazione. Si può quindi definire il fattore moltiplicativo e_R :

$$e_R = \frac{e_{occ}}{e_{unocc}} = \frac{A_{pool} + A_{waves} + A_{wetdeck} + A_{bodies} + A_{spray}}{A_{pool}} \quad (4.32)$$

dove A_{pool} è l'area della vasca e le altre aree sono riferite alle componenti sopra descritte. In particolare:

$$A_{waves} = 0.2 \cdot A_{pool} \quad (4.33)$$

$$A_{wetdeck} = F_u \cdot A_{pool} \quad (4.34)$$

$$A_{bodies} = 0.3 \cdot F_u \cdot A_{pool} \quad (4.35)$$

Il contributo legato agli spruzzi d'acqua è importante durante eventi sportivi o immersioni; per un normale uso, esso può essere trascurato. F_u è il fattore di utilizzazione della piscina:

$$F_u = \frac{A_{max}}{A_{pool}/N} \quad (4.36)$$

dove N definisce il numero di bagnanti e A_{max} rappresenta l'area specifica di affollamento massimo ($[m^2/persona]$). Per determinare quest'ultimo parametro, è utile sapere che un corpo umano adulto occupa da 1.4 a $1.9 m^2$, anche se, durante l'attività in vasca, possono essere presenti anche bambini. Essendo impossibile prevedere con esattezza questi dettagli, si considera un'area media di $1.4 m^2$. Le aree sopra sono quindi definite per un A_{max} pari a $4.5 m^2$ per persona. Sostituendo le equazioni (3.33) – (3.35) nell'equazione (3.32) è possibile scrivere la seguente relazione:

$$e_R = 1.3 \cdot F_u + 1.2 \quad (4.37)$$

Questa è però valida per valori di F_u compresi tra 0.1 e 1 . Esistono altre correlazioni per altri intervalli di F_u :

$$e_R = 3.3 \cdot F_u + 1 \quad (4.38)$$

per $F_u < 0.1$ e

$$e_R = 2.5 \quad (4.39)$$

per $F_u > 1$. È altresì utile definire due fattori F_u in modo da dividere la situazione di massimo affollamento, che si verifica per poche ore al giorno, da quello di affollamento medio; ciò che varia è solamente il parametro N . Una volta calcolato e_R è

possibile calcolare l'energia legata alle perdite per evaporazione Q_{ev} ($[kWh]$), pari a:

$$Q_{ev} = \frac{Q_{ev,unocc} + Q_{ev,occ,max} + Q_{ev,occ,avg}}{3600} \quad (4.40)$$

dove:

$$Q_{ev,unocc} = e_{unocc} \cdot h_{unocc} \cdot A_{pool} \cdot r_w \quad (4.41)$$

$$Q_{ev,occ,max} = e_{occ,max} \cdot h_{occ,max} \cdot A_{pool} \cdot r_w \quad (4.42)$$

$$Q_{ev,occ,avg} = e_{occ,avg} \cdot h_{occ,avg} \cdot A_{pool} \cdot r_w \quad (4.43)$$

h_{unocc} , $h_{occ,max}$ e $h_{occ,avg}$ rappresentano rispettivamente le ore in cui la piscina è inoccupata, occupata al massimo affollamento e occupata con affollamento medio.

Si può, quindi, definire l'energia totale da fornire per il riscaldamento dell'acqua delle vasche:

$$Q_{w,tot} = Q_t + Q_w + Q_{ev} \quad (4.44)$$

In conclusione, si sono calcolate tutte e tre le voci preponderanti di energia termica che,insieme, consentono di calcolare l'energia termica totale (energia utile) richiesta dalla struttura:

$$Q_{th,tot} = Q_{h,w} + Q_{risc} + Q_{w,tot} \quad (4.45)$$

Si tenga presente che il passaggio da energia utile a finale è legato al tipo (o ai tipi) di sistema di generazione presente nella struttura.

Non essendo dinamici, i metodi sopra esposti richiedono un'ancora più dettagliata conoscenza della gestione interna al centro natatorio stesso. Se questa importante condizione non è verificata, si può arrivare a una sovrastima dei consumi (il totale calcolato può essere superiore al totale da bollette). Se ciò dovesse accadere, si consiglia di calcolare le voci su cui si hanno un maggior numero di informazioni (tutte tranne una) e calcolare la restante per sottrazione, noto il consumo totale.

4.3 IPE: Indici di Prestazione Energetica

Con il completamento dei vari bilanci, si ha una panoramica della suddivisione energetica del sito analizzato. Il passo successivo consiste nella definizione di indici che permettano di normalizzare i consumi, rendendo quindi possibile un confronto (benchmark) tra le varie realtà. L'obiettivo di un indicatore di performance è fornire una rapida visualizzazione di un parametro del sistema.

A differenza degli edifici residenziali e commerciali, il clima non è la sola variabile che caratterizza le performance energetiche di un centro natatorio; ne esistono molteplici, legate all'unicità delle sue caratteristiche (trattamento acqua, comportamento dei bagnanti, temperatura e livello di umidità degli ambienti, etc.). Con questo paragrafo si vogliono fornire dei consigli sulla scelta ottimale delle variabili normalizzanti da accoppiare alle voci più significative tra quelle descritte precedentemente.

La direttiva del Parlamento Europeo sulle performance energetiche degli edifici, pubblicata nel 2002 e aggiornata nel 2010, stabilisce di introdurre delle leggi a livello europeo per una loro regolazione e certificazione energetica. Per monitorare l'effetto

di queste norme, è essenziale definire degli indicatori significativi, soprattutto per strutture energeticamente intensive. Se per la maggior parte dei tipi di edificio esistono degli IPE utilizzati di default, per i centri natatori questo passo non è ancora stato fatto; come già detto più volte in precedenza, questo è un settore ancora trascurato. La prima analisi riguardante il benchmarking energetico per strutture natatorie è attribuibile a Kampel et al.[5], anche se essa si ferma solamente alla cosiddetta "delivered energy", senza entrare nel dettaglio delle varie voci che la compongono. Da questo lavoro e tramite l'esperienza maturata in questi mesi, si sono definiti degli IPE che possono dare una mano per un confronto accurato tra più centri natatori e che sono stati effettivamente usati nelle diagnosi in questione. Innanzitutto, è fondamentale determinare le principali voci energetiche. Per un centro natatorio esse sono:

1. Pompaggi, fondamentali per garantire una efficace circolazione dell'acqua nell'anello idrico. A parte le strutture di nuova costruzione, questi dispositivi sono per la maggior parte dei casi obsoleti o di classe energetica bassa. In particolare, ciò che interessa è il consumo elettrico delle pompe adibite al trattamento acqua delle vasche, essendo le più energivore;
2. Riscaldamento (parte elettrica), generalmente imputabile all'assorbimento elettrico dei motori dei ventilatori dell'UTA;
3. Illuminazione dell'ambiente vasche: in particolare, si vuole vedere se la tecnologia adottata è a passo coi tempi o meno;
4. Riscaldamento (parte termica), con le tre tipologie di consumi definite precedentemente. È in questo settore che si possono ottenere i risparmi maggiori.

In generale, un IPE viene definito come il rapporto tra uso energetico e parametro/i normalizzante/i.

$$IPE = \frac{\text{Energy used}}{\text{Normalisation metric}(s)} \quad (4.46)$$

Una variabile normalizzante è una quantità che può essere misurata e che è indicativa della performance energetica utilizzata. Se ne possono definire molteplici:

- Area utilizzabile UA ($[m^2UA]$): è adottata per quelle voci energetiche dipendenti dalla superficie di un ambiente. Generalmente viene usata l'area "intra-muri". Per alcune applicazioni è però preferibile il volume dell'ambiente ($[m^3]$);
- Superficie dell'acqua WS ($[m^2WS]$): specifica per un centro natatorio, può essere calcolata in maniera più precisa rispetto il parametro precedente. Questo termine non include l'area di spruzzi, gocce in sospensione o onde, ma solo quella della vasca. In certe situazioni può essere utile riferirsi al volume dell'acqua in vasca;
- Età della struttura AGE ($[years]$): può fornire un'indicazione di massima sull'efficienza della tecnologia installata (qualità dell'isolamento, servizi forniti nel centro natatorio, etc.);

2. Se ciò non è possibile, dato che, in assenza di un gestionale, è difficile conoscere il valore esatto dei frequentatori, altrettanto significative sono l'area utilizzabile(UA) e la superficie dell'acqua (WS).

Partendo da queste evidenze, basate sull'analisi di innumerevoli centri natatori, e tenendo conto di quanto sopra descritto, si è proceduto alla definizione degli indici di prestazione energetica, classificati a seconda del tipo di energia (elettrica o termica). Per quanto riguarda il consumo elettrico, sono stati elaborati i seguenti indici:

1. **Pompaggio vasca grande e vasca piccola**, espressi in $[kWh_{el}/m^3 vasca]$. Si è deciso di utilizzare il $[m^3 vasca]$ dato che queste pompe devono far ricircolare entro un certo tempo tutto il volume dell'acqua della vasca¹²;
2. **Consumo UTA ambiente vasche**, espresso in $[kWh_{el}/m^3 ambientevasche]$ dato che il trattamento aria è dipendente dall'intero volume a disposizione. In assenza di dati precisi (mancanza di progetti della struttura) è altresì possibile parametrizzarlo con l'area utilizzabile UA. Ovviamente, ciò dovrà esser ripetuto per tutti i siti analizzati;
3. **Consumo illuminazione vasche**, espresso in $[kWh_{el}/m^3 ambientevasche]$. Si è deciso di considerare solamente la quota parte dell'ambiente piscine in quanto essa è la più significativa, dato che devono essere garantiti certi requisiti a seconda del tipo di attività. Anche qui, in assenza di dati certi, si può utilizzare la variabile indipendente UA.

Prima di enunciare gli indicatori scelti per caratterizzare l'energia termica, è doverosa una premessa: per gli edifici residenziali e commerciali, ciò che influenza maggiormente il consumo dei generatori di calore è il clima esterno. Ciò vale anche per i centri natatori; però, oltre a questo, si possono vedere altre dipendenze (vedi figura 4.10). Di conseguenza è possibile in questo caso parametrizzare gli usi termici con una doppia variabile. Detto ciò, gli indici sono i seguenti:

1. **Riscaldamento ambienti**, espresso in $[Sm^3/(m^3 ambientevasche \cdot HDD)]$. Esso è legato sia al volume dell'ambiente che al clima esterno. Vale lo stesso discorso fatto per l'indice "Consumo elettrico UTA ambiente vasche";
2. **Riscaldamento acqua piscine**, espresso in $[Sm^3/(m^3 vasche \cdot HDD)]$. È in questo caso evidente la relazione con il volume dell'acqua delle vasche;
3. **Riscaldamento ACS**, espresso in $[Sm^3/visitors]$. Questo è l'unico uso termico non influenzato dalle condizioni esterne. Si nota uno stretto legame col numero di persone nella struttura.

Per quanto riguarda le prime due voci, si vuole sottolineare come esse, così espresse, siano poco significative nell'ottica di un confronto tra vari siti. Risulta essere più accurato normalizzare queste voci su una località di riferimento, scelta arbitrariamente. Prendendo, per esempio, l'indice "Riscaldamento acqua piscine":

$$IPE_{risc,HDD} = \frac{Sm^3}{m^3 vasche} \cdot \frac{HDD_{rif}}{HDD} \quad (4.47)$$

¹²Si veda figura 3.4 del precedente capitolo

Come unità di misura si è utilizzato lo $[Sm^3]$ perché più intuitivo e direttamente indice economico degli usi energetici dei siti analizzati.

Per completare l'analisi, si è deciso di inserire due IPE riguardanti i consumi energetici generali:

1. **Consumo totale di energia elettrica**, espresso in $[kWh_{el}/visitors]$;
2. **Consumo totale di combustibile** (gas naturale), espresso in $[Sm^3/visitors]$.

Si è deciso di parametrizzare l'energia totale in funzione del numero di persone per enfatizzare l'obiettivo finale delle diagnosi in questione, cioè la definizione di un sistema di regolazione e monitoraggio basato sul numero di bagnanti.

Infine, è doveroso spendere due parole sulla pratica di benchmarking, ovvero di confronto, tra i vari siti. Spesso i gestori di centri natatori si coalizzano dando vita a società, che consentono loro un continuo e proficuo scambio di informazioni e di aiuti. In questa particolare situazione, può essere interessante dare avvio ad un'attività di benchmarking intra-net, confrontando nel tempo gli indici numerici e quindi le prestazioni energetiche degli impianti tra i vari centri sportivi appartenenti alla rete, in modo da supportare gli operatori nelle valutazioni sugli interventi di miglioramento ed efficientamento da considerare. La presenza di numeri che caratterizzano le voci energetiche più significative consente di semplificare la comparazione tra i siti e, così, è più facile per i gestori prendere spunto e contattare le realtà maggiormente virtuose. Quindi, in generale, l'attività di benchmarking è importante sia intra-sito, perché permette di capire, anno dopo anno, se gli interventi implementati sono effettivamente utili e, in caso contrario, di porvi rimedio, che intra-network perché si ha una visualizzazione immediata, magari tramite grafico (si veda, come esempio, la figura 4.11), di quale centro natatorio è maggiormente indirizzato verso quei traguardi di abbattimento dei consumi energetici che tanto sono indispensabili se si vogliono evitare futuri problemi ambientali.

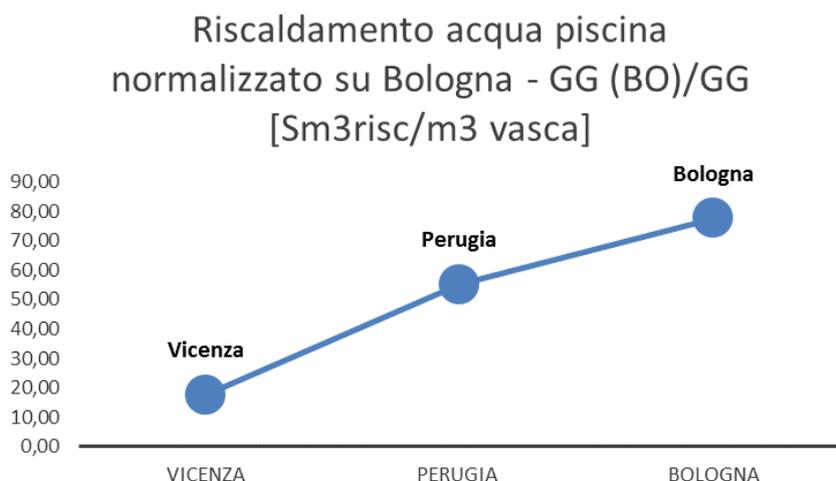


Figura 4.11: Esempio di benchmark di un IPE per i tre siti analizzati

Capitolo 5

Centri natatori: soluzioni di efficienza energetica

Il passo conclusivo, e forse più importante, della stesura di una diagnosi è la scelta degli interventi, ovvero di quelle variazioni impiantistiche o gestionali che possano portare a dei risparmi energetici e, di conseguenza, economici sull'uso dell'energia. Ovviamente, il semplice cambiare non porta necessariamente a un miglioramento; bisogna tener conto di una serie di aspetti.

Il primo, che è quasi banale, è che ogni intervento, a parte le piccole correzioni operative, ha un suo costo. Esistono quindi moltissimi indicatori (PB, VAN, TIR, etc.) che tengono conto di questo aspetto e permettono di capire se la soluzione proposta è ottimale o meno.

Un altro fondamentale parametro da prendere in considerazione è il costo dell'energia, che può variare a seconda della tipologia di contratto, della località e del modo in cui è stata prodotta. Paradossalmente, con un alto costo dell'energia gli interventi di riduzione dei consumi rientrano più velocemente. Per esempio, durante la stesura della diagnosi di uno dei siti analizzati, si è discusso sulla possibile installazione di un impianto solare termico, costituito da un certo numero di pannelli in relazione all'accumulo presente. Dato che, in questa località, il costo del gas naturale è relativamente basso, si è appurato che la soluzione prevista non è conveniente.

Il quarto e ultimo, non per importanza, aspetto da considerare è che è necessario approfondire la gestione dell'energia del periodo precedente l'installazione dei nuovi dispositivi, dato che il risparmio è anche funzione di questa variabile. È proprio per questo che viene redatta una relazione di diagnosi energetica: essa permette di valutare lo stato impiantistico per poi passare a definire interventi su misura per la realtà analizzata.

Tenendo presente quanto appena sottolineato, questo capitolo vuole fornire soluzioni di efficienza, con l'obiettivo di creare un centro natatorio tipo a basso impatto ambientale ed energetico. In ogni paragrafo verrà quindi presentato un intervento di ottimizzazione, considerato funzionale per lo scopo sopra citato. Si presenteranno solamente soluzioni legate ai tre macro sistemi definiti nei paragrafi precedenti, senza tirare in ballo l'involucro edilizio, dato che la richiesta energetica è quasi del tutto dipendente dal trattamento aria e dal trattamento/riscaldamento dell'acqua e in strutture esistenti sarebbe difficile e dispendioso adottare migliorie di questo tipo.

Codeste misure di ottimizzazione, prese singolarmente, riuscirebbero ad abbattere i consumi. Si vuole sottolineare che, successivamente all'applicazione pratica

di più interventi, sarebbe necessario un monitoraggio degli stessi, al fine di valutare se effettivamente i risparmi stimati sono quelli ipotizzati in fase di progettazione. Da qui nasce l'esigenza di installare un sistema di controllo per esaminare questi aspetti, oltre che, più in generale, tutta la produzione e distribuzione energetica.

Talvolta è difficile ottenere il benessere dei gestori dei centri natatori sulle soluzioni proposte: essi sono soliti richiedere delle referenze e su quante strutture è stata applicata la particolare tecnologia. Da un lato tutto ciò è legittimo, dato che gli investimenti possono essere significativi; d'altro canto, se mai ci si fida e non ci si affida ad esperti del settore, il processo di ottimizzazione di queste strutture diverrebbe difficile.

5.1 Recuperatore di calore per l'acqua di rinnovo e/o delle docce

Questo dispositivo è stato creato appositamente per centri natatori. Come già definito nel capitolo 3, è obbligatorio secondo normativa ricambiare una certa portata d'acqua al giorno (il 5% del volume totale dell'acqua in vasca). Questa procedura viene eseguita tramite il contro-lavaggio dei filtri. Una piscina con dimensioni notevoli scarica giornalmente un'elevata quantità di acqua ad una temperatura di 28°C o superiore: ciò costituisce un'inefficienza dal punto di vista energetico. Spesso, inoltre, l'ingresso contemporaneo di molte persone causa l'uscita di acqua dal troppo pieno della vasca di compenso, con conseguente perdita di acqua calda e dell'annessa energia termica, dovuta al fatto che il reintegro avviene con acqua fredda. Con questa soluzione impiantistica è possibile recuperare il calore perso durante i contro-lavaggi; esso sarà ceduto alla portata di rinnovo, che quindi aumenterà in temperatura in maniera pressoché gratuita. Oltretutto, consente di diminuire il livello della vasca di compenso. Il dispositivo proposto è un recuperatore di calore costituito da uno scambiatore a piastre ad alta efficienza e da una pompa di calore, secondo lo schema qualitativo riportato in figura 5.1.

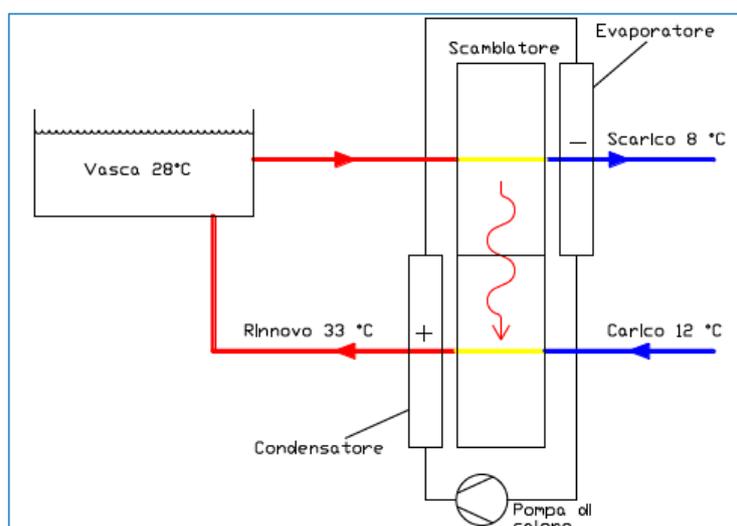


Figura 5.1: Sistema di recupero di calore dell'acqua di ricambio

L'acqua in uscita dalle vasche passerebbe attraverso lo scambiatore, cedendo calore al fluido freddo proveniente dall'acquedotto, e, successivamente, provocherebbe l'evaporazione del refrigerante della pompa di calore. Al condensatore si avrebbe un ulteriore riscaldamento dell'acqua in ingresso.

In questo modo, non sarebbe più necessario l'utilizzo di sistemi di generazione quali caldaie o cogeneratori o, al più, si avrebbe bisogno di una limitata integrazione. Tutto ciò si otterrebbe con un banale scambio energetico tra un fluido caldo, che comunque dovrebbe essere scaricato in fogna, e un fluido freddo di rinnovo.

Entrando più nel dettaglio, in figura 5.2 è rappresentato lo schema circuitale della soluzione proposta. Il collegamento tra recuperatore e sistema di trattamento acqua avverrebbe attraverso delle tubazioni a monte e a valle dei filtri. In particolare, verrebbe prelevata una certa portata d'acqua a valle dai filtri che passerebbe poi attraverso il dispositivo. Allo stesso tempo, sarebbe reimpressa acqua calda a monte del sistema di clorazione e degli scambiatori di calore per l'eventuale integrazione.

A differenza del contro-lavaggio dei filtri (che dura qualche minuto), lo scambio termico, avvenendo a portate più basse, richiederebbe un tempo maggiore. L'acqua fredda in uscita dall'evaporatore della pompa di calore verrebbe poi stoccata in un accumulo e, a bisogno, sarebbe inviata ai filtri per il lavaggio. Infine, verrebbe scaricata in fogna.

In sostanza, un sistema di questo tipo sarebbe composto da:

- Sezione di recupero energetico mediante scambiatore a piastre a doppio passaggio ad altissimo rendimento, in modo tale di diminuire il delta di temperatura fra i flussi e aumentare così il recupero energetico;
- Pompa di calore acqua-acqua, dimensionata per ottenere il massimo rendimento dei compressori. Si noti come, essendo le temperature dei due fluidi molto vicine ($14^{\circ}C - 28^{\circ}C$), i COP sarebbero molto elevati;
- Accumulo per l'acqua fredda in uscita dal dispositivo scambiatore-pompa di calore;
- Sistema di circolazione dotato di pompa per compensare eventuali dislivelli;
- Sistema di controllo e misura dei flussi in ingresso ed uscita, tramite flussometri muniti delle corrispondenti elettrovalvole di regolazione. La quantità d'acqua ricambiata giornaliera potrebbe essere variata da 0 a 130% della portata nominale;
- Sistema di controllo del livello vasca di compenso, che modulerebbe la proporzione ingresso/uscita, evitando il blocco delle pompe di circolazione della piscina per basso livello della vasca stessa. Si risolverebbe quindi il problema descritto in precedenza, ovvero lo scarico di acqua calda dal troppo pieno. Inoltre, la presenza dell'accumulo favorirebbe una diminuzione di livello della stessa;
- Sistema di spegnimento delle pompe per eccesso di temperatura dell'acqua in vasca;
- Quadro di comando e di indicazione delle varie temperature di ingresso ed uscita;

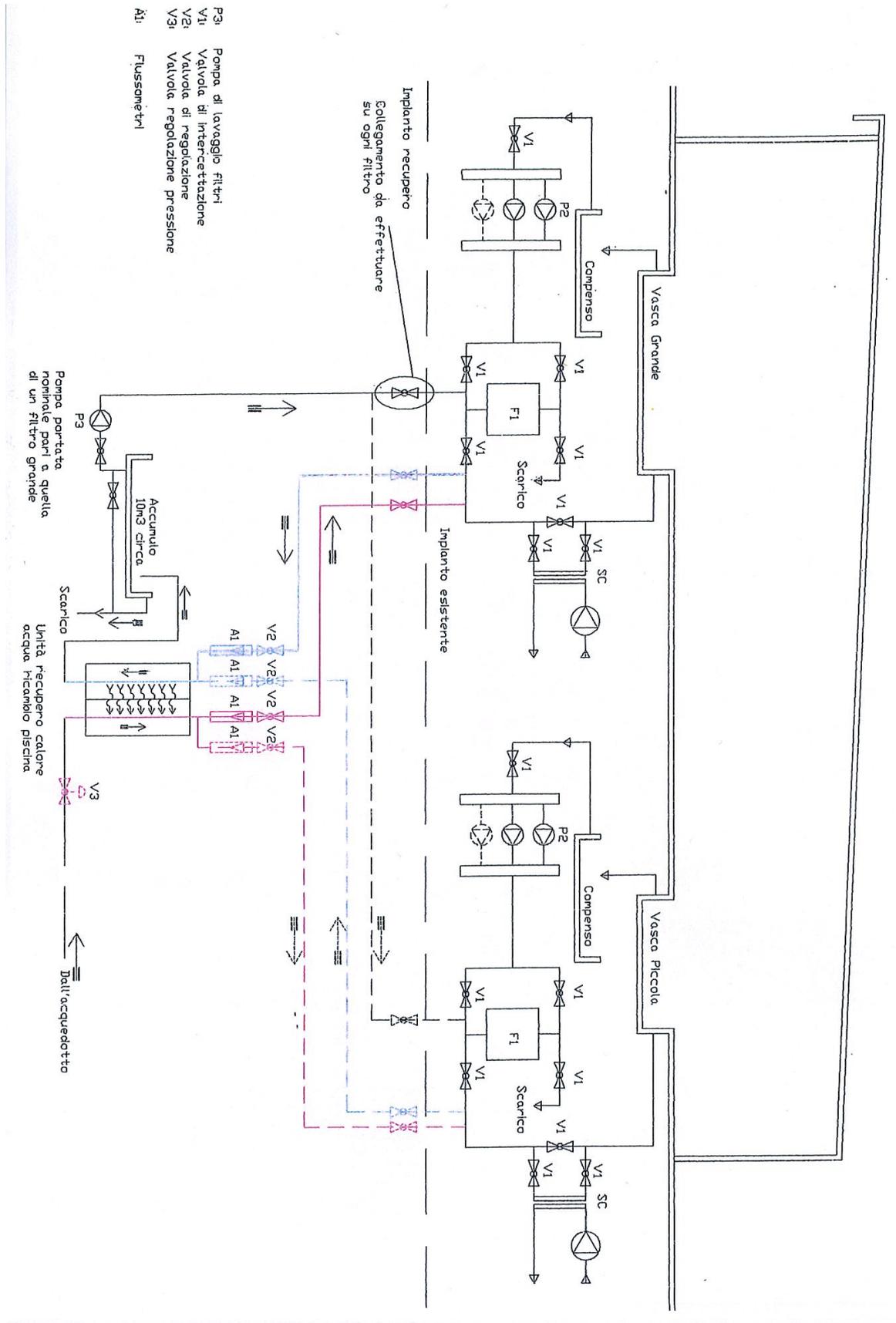


Figura 5.2: Sistema di recupero di calore dell'acqua di ricambio: schema circuitale

- Quadro elettrico di potenza per la protezione ed il comando di tutta l'unità.

Durante il processo di contro-lavaggio dei filtri in un impianto tradizionale, si preleva acqua calda dalla vasca di compenso; il volume rinnovato è freddo e determina una riduzione di temperatura dell'acqua nella piscina stessa, con conseguente discomfort termico per i bagnanti. Con l'adozione di questa tecnologia ciò non si verificherebbe più: non solo si avrebbe un risparmio e un recupero di energia termica, ma in più si garantirebbe una temperatura costante dell'acqua. In figura 5.3 è rappresentato un sistema di questo tipo. Si può osservare che l'impianto è relativamente compatto, dettaglio non trascurabile se gli spazi a disposizione sono ridotti.



Figura 5.3: Sistema di recupero di calore dell'acqua di ricambio: impianto reale

Ovviamente, le dimensioni dipendono dalla taglia e dalla quantità di acqua rinnovata. Per dare un'idea di massima, si inserisce una scheda tecnica di una soluzione proposta a un sito analizzato (figura 5.4).

Si vogliono spendere due parole sull'accumulo; esso viene dimensionato in modo da riuscire a contenere il totale volume dell'acqua destinata ai contro-lavaggi delle vasche. È abbastanza intuitivo il fatto che, nel caso di piscine di tipo A con elevati volumi, il ricambio è importante, e di conseguenza anche le dimensioni del bollitore sarebbero notevoli. In assenza di spazio, sarebbe possibile partizionare la vasca di compenso, cioè dividerla in due aree, opportunamente isolate tra di loro: una con l'acqua calda proveniente dalla piscina e una con l'acqua fredda proveniente dal dispositivo. Ciò è fattibile se si considera che la vasca di compenso, secondo normativa, deve essere dimensionata tenendo presente anche il totale volume ricambiato giornalmente.

Dal punto di vista economico, l'investimento non è proibitivo. Per le piscine di tipo A si ha, in genere, un tempo di ritorno semplice (PB) di circa 2-3 anni, grazie agli elevati risparmi di energia termica.

Sicuramente interessante è la possibile integrazione di questo sistema con un ulteriore recupero termico sull'acqua delle docce, che presenta una temperatura di erogazione di circa 40°C . In questo caso, si dovrebbero installare due nuovi tipi di accumulo:

- Accumulo temporaneo per l'acqua di scarico, spesso saponata;

<u>Prestazioni unita'</u>	
• potenza termica ceduta all'acqua di rete	38,6 kW
• potenza elettrica assorbita media	2,6 kW
• coefficiente di prestazione C.O.P.	14,8 kW/kW
• risparmio specifico per mc di acqua ricambiata	24,4 kWh/kWh
<u>Caratteristiche tecniche particolari</u>	
• scambiatore acqua-acqua: tipo a piastre acciaio inox di ultima generazione	1 n.
• pompa di calore tipo scroll R407C	1 n.
• potenza assorbita compressori	2,5 kW
<u>Circuiti lato acqua proveniente dalla rete</u>	
• ricambio giornaliero (% regolazione ricambio)	40 (0/130%) m ³ /g
<u>Circuiti lato acqua proveniente dalle vasche</u>	
• ricambio giornaliero (% regolazione ricambio)	40 (0- 130%) m ³ /g
<u>Dimensioni ingombro approssimative</u>	
Peso: 150 kg	
Lunghezza 800 mm – Larghezza 600 mm – Altezza 1300 mm	
le prestazioni si riferiscono alle portate suindicate ed a temp. vasca/rete 28,8/14°C	

Figura 5.4: Sistema di recupero di calore dell'acqua di ricambio: esempio di scheda tecnica

- Accumulo intermedio di preriscaldamento per l'acqua calda sanitaria.

Sarebbe poi necessario un ulteriore macchinario, molto simile a quello sopra descritto, ma con una sostanziale differenza: trattandosi, in questo caso, di acque grigie, non verrebbe utilizzato lo scambiatore a piastre, ma un fascio tubiero o un tubo in tubo.

Si vuole sottolineare come è spesso difficile accedere agli scarichi dell'acqua proveniente dagli spogliatoi, e quindi non è un intervento di facile realizzazione nelle vecchie strutture. Per le nuove strutture si consiglia, in sede di progetto, di prevedere degli spazi consono in modo da poter prelevare quest'acqua ricca di calore utile per il pre-riscaldamento dell'ACS.

Entrambi gli interventi sopra proposti sono considerati ottimali nell'ottica di una riduzione dei consumi. Viene quindi vivamente consigliata una loro installazione, soprattutto nelle nuove strutture. Nel caso in cui l'acqua ricambiata giornalmente fosse poca, l'investimento sulla pompa di calore non sarebbe conveniente. È altresì possibile installare il solo scambiatore.

Infine, si tenga presente che a una diminuzione marcata della richiesta di combustibile corrisponde un aumento del consumo elettrico. In riferimento a quanto detto nell'introduzione di questo capitolo, si tratta di valutare la convenienza globale dell'investimento.

5.2 Unità di trattamento aria ad alta efficienza

Come già sottolineato in precedenza, per un centro natatorio il trattamento dell'aria è essenziale. Sono presenti zone con elevata metratura che richiedono un rinnovo d'aria considerevole.

Le UTA convenzionali deumidificano ricambiando grandi quantità di aria attraverso sistemi recuperativi non specifici; sono perciò richiesti notevoli apporti di

energia dalla caldaia. I deumidificatori a pompa di calore o con refrigeratore d'acqua producono elevati consumi elettrici e sono energeticamente poco efficienti. Le macchine sopra citate non rappresentano la migliore soluzione per i centri natatori e causano costi di esercizio elevati. Non si deve inoltre dimenticare l'elevato consumo elettrico dei ventilatori dei sistemi di vecchia generazione.

Di seguito si presenterà una soluzione di efficienza energetica per l'ambiente più problematico e, allo stesso tempo, più importante: l'ambiente vasche. In assenza di ricambi frequenti, l'aria avrebbe infatti un'alta umidità relativa, a causa della presenza di persone e, soprattutto, dell'elevata evaporazione dell'acqua¹. Se quest'azione non fosse arginata, si rischierebbero dei danni sia per la salute umana che per le strutture. Un ambiente umido è infatti un habitat perfetto per la proliferazione di microbi e di muffe che, depositandosi sulle superfici, ne causerebbero una precoce degradazione. Inoltre, altro importante problema è legato alla presenza di cloro attivo combinato che, soprattutto in quantità elevate, potrebbe provocare problemi respiratori o infezioni cutanee.

La temperatura dell'ambiente vasche dipende dal tipo di piscina: in genere, essa viene mantenuta intorno ai 28-30°C, con un'umidità relativa ottimale intorno al 50%. Per garantire questi due importanti parametri, sono necessarie dei misuratori in ambiente². Sfortunatamente, nei centri natatori esistenti è raro trovare un controllo sull'umidità, mentre è prassi comune monitorare la temperatura. Ci sono però dei casi, tra cui un sito analizzato, in cui questa procedura è svolta in maniera manuale. Purtroppo, le logiche di automatizzazione sono ancora poco diffuse.

Di seguito si vogliono presentare gli ultimi ritrovati in merito al trattamento aria. Si precisa come le soluzioni proposte sono state progettate appositamente per centri natatori; ciò che differenzia l'una dalle altre è il tipo di recuperatore di calore adottato. Per ogni tecnologia, gli obiettivi sono:

1. Recuperare quanto più possibile l'energia dell'aria prelevata dall'ambiente. Attualmente ci sono recuperatori con rendimenti elevatissimi, superiori al 90%;
2. Garantire un tasso di umidità relativa consono. Ciò può essere conseguito tramite l'evaporatore della pompa di calore integrata, oppure attraverso il recuperatore, sfruttando le proprietà dell'aria esterna;
3. Avere in immissione una temperatura tale da garantire il rispetto del valore di set-point in ambiente;
4. Consumare la minor energia possibile.

In figura 5.5 è rappresentata un'unità di trattamento aria ad alta efficienza.

Essa è composta da:

- Due sezioni ventilanti ad alto rendimento, una di mandata e una di ripresa;
- Due sezioni filtranti composte da pre-filtri e filtri a tasche;
- Un pre-deumidificatore a piastre a flussi incrociati con elevato recupero di calore (> 95%);

¹Si veda il paragrafo 4.2.

²Per un approfondimento si rimanda al paragrafo sul sistema di monitoraggio e controllo.

- Una sezione a pompa di calore ad altissimo rendimento: essendo i gradienti di temperatura dell'aria non troppo elevati è possibile infatti raggiungere coefficienti di prestazione notevoli. L'installazione di questo dispositivo è legata alla portata da elaborare, definita in relazione al tipo di ambiente da trattare. Nel caso di taglie piccole può essere che il beneficio non giustifichi l'investimento;
- Un sistema computerizzato di rilevazione e regolazione, che consenta l'ottimizzazione dell'utilizzo delle tecnologie presenti sull'unità, la stabilizzazione climatica ed il massimo effetto deumidificante;
- Quadro elettrico e relativi cablaggi, sonde, attuatori, valvole di regolazione e dispositivi accessori.

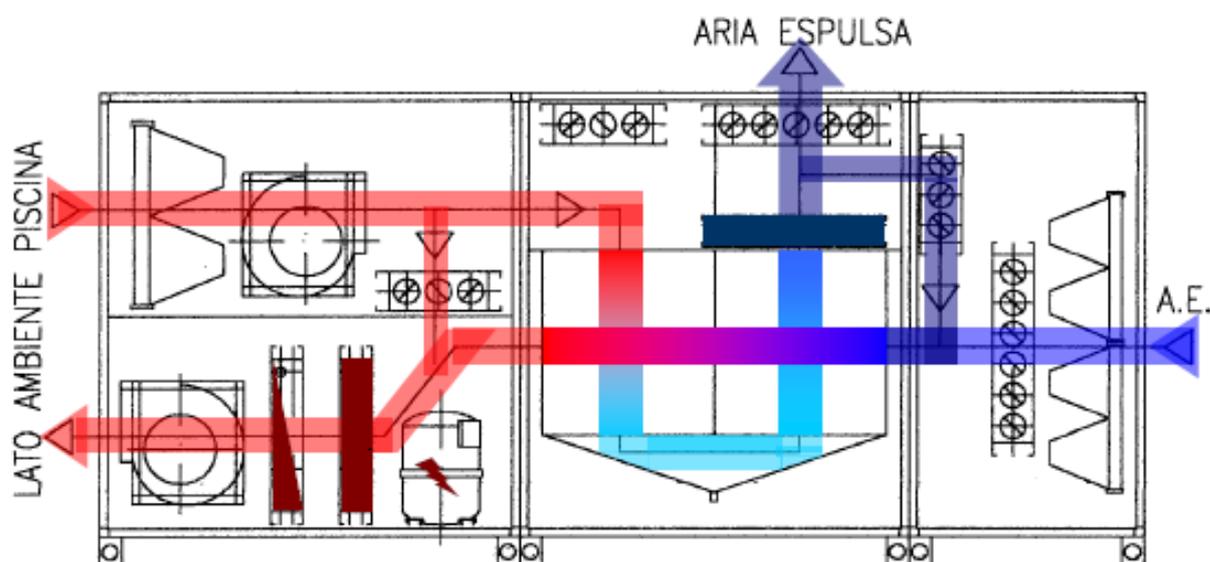


Figura 5.5: UTA con pre-deumidificatore a piastre a flussi incrociati

Ovviamente, recuperatore e pompa di calore, da soli, non sempre riuscirebbero a garantire le temperature di set-point richieste in immissione, soprattutto in condizioni esterne estreme: è quindi presente una batteria di riscaldamento ad acqua. Si vuole precisare come l'obiettivo è ridurre al massimo l'utilizzo; in questo modo diminuisce la quantità di combustibile bruciata dal sistema di generazione. L'unità di trattamento aria sopra descritta garantisce un funzionamento completamente autonomo anche se dotata, su richiesta, di interfaccia di comunicazione con il sistema generale di supervisione degli impianti.

Un sistema di questo tipo, ad alta efficienza, deve provvedere a:

1. Controllare la situazione climatica esterna ed il bisogno energetico dell'ambiente per attuare la configurazione ottimale ed, eventualmente, passare alla modalità free-cooling;
2. Monitorare l'eccesso di umidità dell'ambiente piscina e, in caso di necessità, ricircolare l'aria fredda secca proveniente dall'evaporatore della pompa di calore, utilizzandola in modo parziale o totale;

3. Verificare le temperature di funzionamento della pompa di calore ottenendo il massimo rendimento abbinato al massimo utilizzo della stessa;
4. In presenza di bagnanti o spettatori, mantenere il ricambio minimo previsto dalla normativa vigente;
5. Scegliere l'aria economicamente più conveniente da riscaldare e da immettere in piscina. Risulta, in questo caso, fondamentale l'automazione e l'implementazione di logiche tramite sistema di regolazione;
6. Programmare la presenza o meno di persone ed attuare il programma notte permettendo una gestione climatica meno onerosa. Col sistema che verrà descritto nei successivi paragrafi, sarà possibile regolare le prestazioni dell'UTA anche in relazione al numero di bagnanti in vasca;
7. Controllare l'eventuale diminuzione dell'umidità ambiente provvedendo al ricircolo diretto dell'aria della piscina evitando sprechi energetici inutili.

Quindi, alte temperature ed umidità esterne, elevata evaporazione dallo specchio della piscina, assenza di persone nell'ambiente vasche e presenza di spettatori, sono situazioni che l'unità riesce a gestire autonomamente ed in tempo reale.

Le varie configurazioni che automaticamente addotta l'unità di trattamento aria, sono gestite da un processore che collega tutti i sensori disposti sull'unità. Esso agisce sulle serrande, ventilatori, compressori, scambiatori di calore e sulla batteria di acqua calda: in questo modo si ottiene un controllo totale di tutti gli elementi dell'unità stessa. Di seguito si vogliono presentare alcune possibili configurazioni.

Ricircolo

In figura 5.6 è rappresentata la configurazione di ricircolo completo dell'aria. Questa soluzione potrebbe, per esempio, essere adottata in assenza di persone o ad avviamento impianto, entrambe situazioni in cui l'aria interna non è inquinata, e consentirebbe di risparmiare energia termica, dato che non sono necessarie elevate portate di acqua calda in batteria.

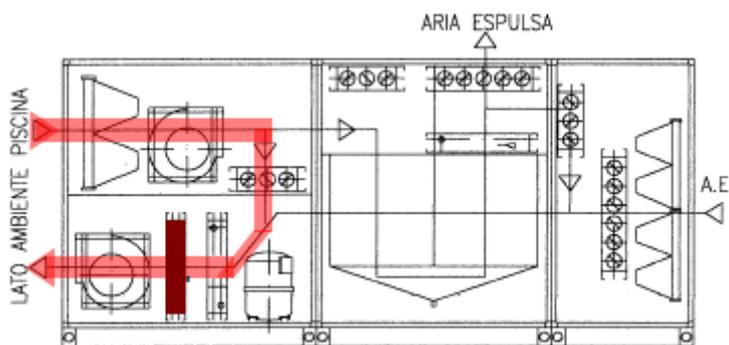


Figura 5.6: Configurazione di ricircolo

In questo caso, la pompa di calore è spenta; l'eventuale ripristino delle temperature di set-point in immissione sarebbe garantito dalla batteria ad acqua. Si sottolinea come la condizione necessaria affinché l'UTA entri in questa modalità è un livello di umidità dell'ambiente all'interno del range di riferimento.

Deumidificazione

Questa configurazione è adottabile nel caso di funzionamento invernale o in stagioni intermedie, con aria esterna a basso contenuto di umidità.

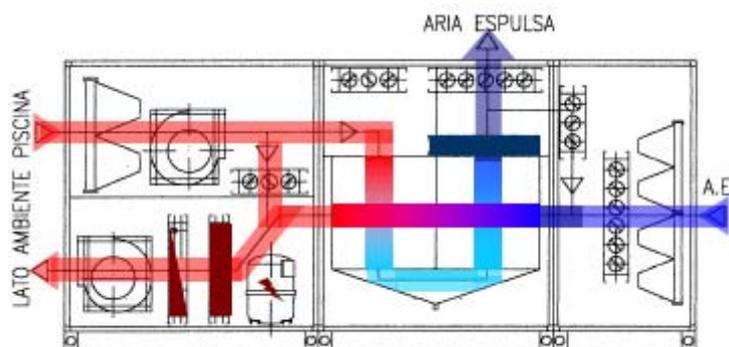


Figura 5.7: Configurazione di deumidificazione

Come si vede in figura 5.7, sarebbe prelevata l'aria esterna che, tramite il recuperatore, il condensatore della pompa di calore e, in caso di necessità, la batteria, si riscalderebbe. Essendo, di per sé, a basso contenuto di umidità, essa permetterebbe di deumidificare l'ambiente. Si potrebbe inoltre prevedere un parziale ricircolo.

Free-cooling

In caso di ambiente vasche molto caldo, è possibile adottare la configurazione free-cooling (figura 5.8), che consiste nell'immissione diretta dell'aria esterna; si richiedono temperature superiori ai 20°C , dato che, comunque, è necessario mantenere almeno 28°C nel locale vasche.

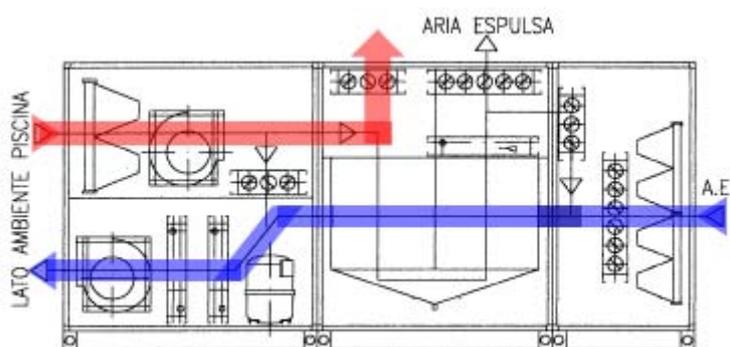


Figura 5.8: Configurazione di free-cooling

Ovviamente, il free-cooling è conveniente quando l'entalpia dell'aria esterna è minore di quella interna; di conseguenza, questa soluzione sarebbe utilizzabile qualora si abbia un ambiente ad elevata temperatura ed umidità e consentirebbe di riportarlo alle condizioni ottimali in maniera gratuita (fatta eccezione per l'assorbimento elettrico dei ventilatori).

Deumidificazione a pompa di calore

Se l'umidità dell'aria esterna fosse troppo elevata, la deumidificazione sarebbe conseguibile solamente tramite l'ausilio dell'evaporatore della pompa di calore. Per fare ciò, verrebbe ricircolata una certa portata d'aria di espulsione, deumidificata in seguito al passaggio attraverso l'evaporatore stesso.

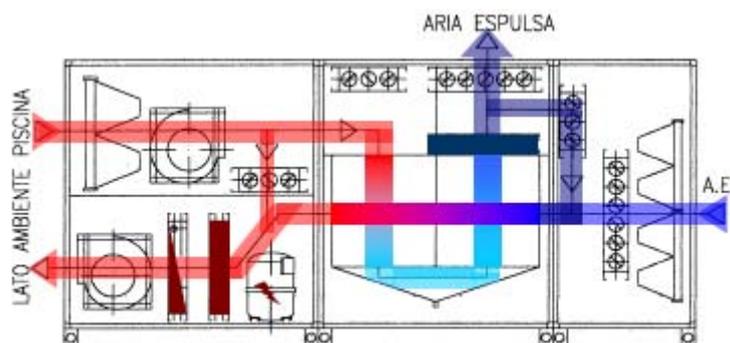


Figura 5.9: Configurazione di deumidificazione tramite evaporatore della pompa di calore

Si noti come (figura 5.9) l'aria esterna si mescoli con quella ricircolata a basso contenuto di umidità in funzione delle condizioni da raggiungere in immissione, che, a loro volta, dipendono dall'ambiente interno. Soprattutto in questo caso si evidenzia come un sistema di regolazione automatizzato che monitori i principali parametri (temperature e umidità) consentirebbe un incremento dell'efficienza complessiva.

In figura 5.10 è presentata una scheda tecnica di un'unità che elabora $15500 \text{ m}^3/\text{h}$ di aria.

<u>Prestazioni unità</u>	
• potenza recuperata resa all'aria/acqua piscina/sanitaria	160 kW
• potenza totale assorbita pompa di calore	10 kW
• coefficiente di prestazione (esclusi i ventilatori)	16 W/W
• deumidificazione dell'ambiente vasca	154 kg/h
relativa a portata 9.400 m ³ /h amb. esterno -5°C-75% U.R., amb. interno 28°C-65% U.R.	
<u>Ventilatori</u>	
	elettronica ad inverter
• controllo portata costante indipendenti	
• portata nominale aria sezione ventilante	15500 m ³ /h
• portata nominale aria sezione ventilante estiva free-cooling	17050 m ³ /h
• potenza installata ventilatore mandata	11 kW
• potenza assorbita media ventilatore mandata	6,94 kW
• potenza installata ventilatore ripresa	11 kW
• potenza assorbita media ventilatore ripresa	7,47 kW
<u>Circuito frigorifero</u>	
• compressore Scroll freon R407C	1 n°
• potenza installata compressore	12,5 kW
<u>Dimensioni ingombro approssimative</u>	
Peso: 3,900 kg	
Lunghezza 6,300 mm – Larghezza 2,300 mm – Altezza 2,500 mm	

Figura 5.10: Scheda tecnica di un UTA

Si osservi come dispositivi di questo tipo richiedano grande spazio.

Anche se presentano costi elevati, garantirebbero notevoli risparmi energetici annuali, sia termici che elettrici, grazie ai ventilatori plug-fan ad alta efficienza. Questa soluzione è stata proposta ad uno dei siti analizzati. Si evidenzia come il tempo di ritorno semplice è abbastanza alto, superiore ai 6 anni.

In figura 5.11 viene presentato un secondo tipo di UTA. Rispetto al caso precedente, ci sono alcune modifiche:

- Recuperatore a tubo di calore (numero 5 in figura): rappresenterebbe il principale stadio recuperativo dell'unità. Trasferirebbe calore sensibile e latente, senza alcun consumo energetico, dall'aria calda espulsa all'aria fredda in immissione con l'ausilio di un fluido intermedio in cambiamento di fase;
- Economizzatore della pompa di calore (numero 11): aumenterebbe l'efficienza della pompa di calore;
- Riscaldatore di acqua di vasca o sanitaria (numero 8): riscalderebbe l'acqua quando è disponibile energia termica dalla pompa di calore. In questo modo si ridurrebbe ulteriormente l'apporto di combustibile richiesto dal sistema di generazione.

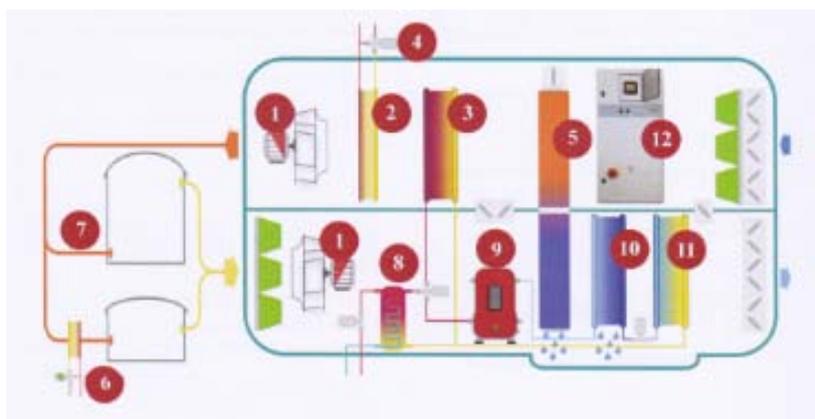


Figura 5.11: UTA con recuperatore a tubi di calore

Infine, indipendentemente dal tipo di UTA, si riportano alcune raccomandazioni: innanzitutto, è preferibile avere in mandata una portata d'aria maggiore rispetto a quella di ritorno, così da mantenere l'ambiente in sovrappressione. In secondo luogo, dato che l'aria in immissione, a temperatura maggiore rispetto a quella dell'ambiente, tende a salire verso l'alto³, si preferisce posizionare le bocchette di mandata in basso nella zona perimetrale e le riprese in alto. In questo modo si eviterebbero problemi di stratificazione e si manterrebbe un livello di comfort ambientale migliore. Un intervento, pensato più per le vecchie strutture, ma implementabile anche sulle nuove, che consentirebbe di diminuire il gradiente termico tra parte alta e livello vasche, è l'installazione di destratificatori, di cui si parlerà successivamente. Si consideri inoltre che l'UTA, per esigenze di spazio, potrebbe essere posizionata in ambienti aggressivi, per esempio vicino a vasche di compenso non opportunamente sigillate. È in questo caso fondamentale assicurarsi che i materiali presentino certe caratteristiche di resistenza strutturale, onde a evitare un deterioramento dei componenti in tempi brevi.

³Si ricordi come all'aumentare della temperatura diminuisca la densità dell'aria.

5.3 Sistema di accumulo: puffer stratificato

L'efficienza di stoccaggio del calore potrebbe essere considerevolmente aumentata rimpiazzando i tradizionali accumuli con puffer, che consentirebbero di ottenere una buona stratificazione. Il puffer è un serbatoio contenente energia sotto forma di acqua calda per l'impianto di riscaldamento, chiamata "acqua tecnica". Si prevedono quindi degli scambiatori di calore a piastre o serpentini interni in modo da fornire quest'energia all'ACS o all'acqua delle vasche.

In figura 5.12 è rappresentato un bollitore di questo tipo.

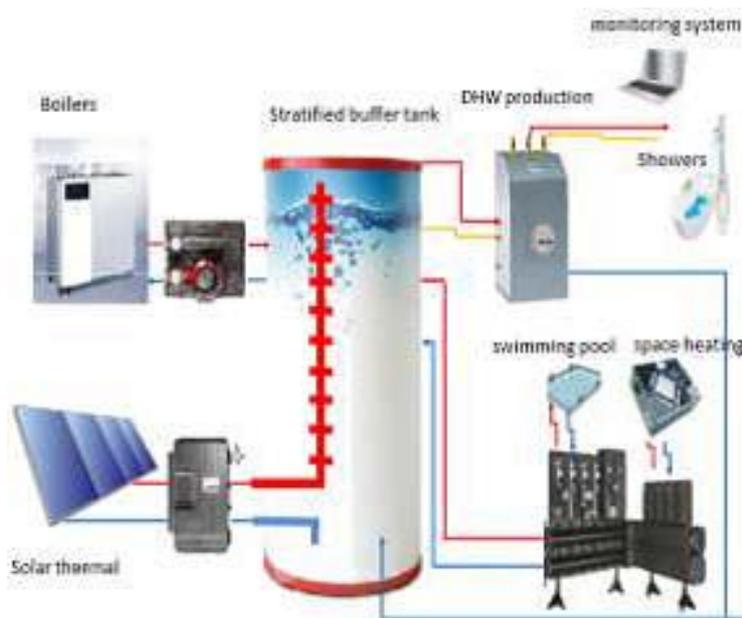


Figura 5.12: Principio di funzionamento di un puffer stratificato

La stratificazione termica è un processo naturale legato a una variazione della densità di un fluido a differenti temperature; a causa del peso maggiore, l'acqua fredda tende a stazionare nella parte bassa dell'accumulo, mentre quella calda tende a fluire verso l'alto.

I tubi di stratificazione sono installati internamente al bollitore e hanno l'obiettivo di limitare lo scambio di calore verticale, creando così una buona stratificazione. Essi sono dotati di fessure con valvole di non ritorno per evitare che l'acqua del puffer fluisca nei tubi stessi. Le valvole aprirebbero solamente quando le temperature interne ed esterne ai tubi sono simili. Quest'operazione consentirebbe di avere più strati a differenti temperature, dato che l'acqua all'interno dei tubi fluirebbe nell'accumulo solamente in zone alla sua stessa temperatura. In definitiva, diminuirebbero le accensioni del bruciatore e si ridurrebbe il consumo di combustibile.

Generalmente questi dispositivi sono accoppiati con un impianto solare termico.

A seconda delle dimensioni, l'accumulo può prevedere più di un tubo. Nella figura 5.13 è rappresentata una configurazione a 3 tubi stratificati: due collegati a mandata e ritorno del sistema di generazione (caldaia o cogeneratore) e uno al circuito solare.

Il puffer è consigliato quando ci sono dei circolatori e in impianti di riscaldamento con grossi contenuti d'acqua, risultando quindi ottimale per essere applicato nei

centri natatori. Per contro, esso costa il doppio, o più, rispetto a un bollitore tradizionale e ha delle dimensioni maggiori; quindi è più difficile da posizionare.

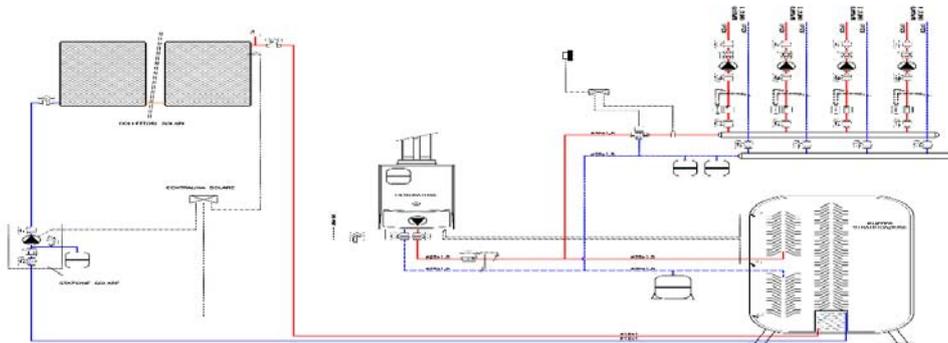


Figura 5.13: Schema impiantistico con puffer a 3 tubi

Inoltre il costo di cablaggio in termini di manodopera e materiali è più alto. Si è riscontrato come la taglia massima di questi accumuli si aggiri intorno ai 1500 l; essi possono, quindi, essere adottati solamente nei complessi più piccoli, in cui è richiesto un minor consumo di acqua.

5.4 Tecnologia LED

Dal punto di vista dell'illuminazione, i LED costituiscono l'ultimo ritrovato tecnologico e consentono dei risparmi notevoli rispetto alle tradizionali lampade a ioduri metallici o a fluorescenza. Soprattutto nei grandi centri natatori, dove sono frequenti gare agonistiche in cui è richiesto per legge avere certi parametri illuminotecnici, l'adozione di questi dispositivi potrebbe fare la differenza. Gli ambienti più bisognosi di questa tecnologia sarebbero gli spogliatoi e i locali vasche. Oltre ai consumi ridottissimi, hanno una lunga durata di vita, che raggiunge le 50000 h. Oltretutto, essi non si spengono improvvisamente una volta esauriti, ma diminuiscono lentamente il loro flusso iniziale. Infatti, non è prevista la rottura del LED (se non per difettosità), ma si determina un decadimento continuo.

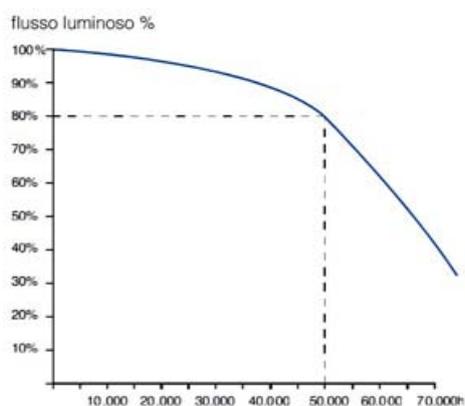


Figura 5.14: Flusso luminoso in funzione del numero di ore

Il risparmio energetico stimato va dal 50% al 70% rispetto ai sistemi tradizionali. Le lampadine a LED hanno un'alta efficienza luminosa fino a 120 lm/W rispetto ai

13 lm/W delle lampade a incandescenza, ai 16 lm/W di quelle alogene e ai 50 lm/W delle fluorescenti. Esse sono anche sostenibili, dato che non contengono gas nocivi alla salute e sono prive di sostanze tossiche, non emettono luce calda (è trattenuta all'interno) e mantengono una temperatura media di 50 °C. Per questo motivo, possono essere installati a contatto con legno e plastica senza rischi. Inoltre, i costi di manutenzione sono praticamente nulli, di un centesimo rispetto agli impianti tradizionali.

Va precisato che questi dati diventano realtà solo se la qualità degli apparecchi che montano i LED e le condizioni dell'impianto lo consentono. Certamente il LED per la sua stessa natura è la luce più intelligente, modulabile secondo le esigenze reali di chi la usa.

L'intervento al momento è da considerarsi ancora addizionale rispetto alla media di mercato; pertanto, può accedere ai titoli di efficienza energetica, da richiedere attraverso la presentazione di un opportuno progetto a consuntivo. In ragione delle attuali normative, in attesa della riforma dei certificati bianchi, per ottenere i titoli di efficienza energetica è necessario il ricorso ad una ESCO esterna, in quanto il progetto, da solo, non raggiungerebbe la soglia minima prevista per la presentazione delle proposte con progetti a consuntivo. L'ottenimento dei certificati bianchi presupporrebbe necessariamente l'installazione di sistemi di misura dell'energia elettrica pre e post intervento.

Infine, il tempo di ritorno dell'investimento è funzione del numero di ore di utilizzo giornaliero. Dato che generalmente in una struttura natatoria sono utilizzati per qualche ora al giorno, il pay back time è di circa 4 anni.

5.5 Miscelatori d'aria

Si è visto come la stratificazione dell'acqua all'interno degli accumuli aumenti l'efficienza sia per quanto riguarda lo stoccaggio del calore che per l'intero sistema di gestione della stessa. Questo fenomeno non è altrettanto positivo per l'aria; l'accumulo di calore in prossimità del soffitto in ambienti di grande volumetria e riscaldati è molto diffuso ed è la causa principale delle grandi dispersioni di calore e degli elevati costi energetici.

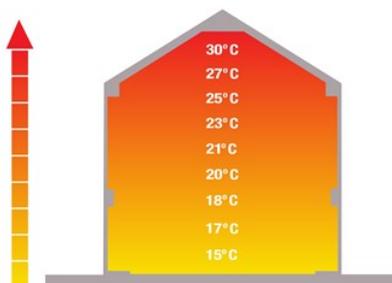


Figura 5.15: Stratificazione dell'aria

Soprattutto nella zona vasche, dove un trattamento dell'aria obsoleto non genera un buon lavaggio degli spazi, si possono riscontrare problemi di asimmetria radiante. Per evitare ciò, può essere utile installare dei miscelatori d'aria, con lo scopo di ridurre la stratificazione. In figura 5.16 è rappresentato un dispositivo di questo tipo.



Figura 5.16: Miscelatore d'aria

Essi non sono altro che ventilatori a bassa velocità, appesi al soffitto, che distribuiscono l'aria influenzando vaste aree con una ventilazione quasi impercettibile; in particolare, consentirebbero di spingere l'aria verso il basso, in modo da diminuire il gradiente termico verticale. Come risultato si avrebbe un aumento della temperatura a livello vasca e una diminuzione del consumo di combustibile adibito al riscaldamento degli ambienti.

Ovviamente, il posizionamento e la potenza di questi dispositivi devono essere definiti in maniera accurata: ciò che si vuole assolutamente evitare è che un flusso d'aria ad alta velocità investa i bagnanti, causando di conseguenza problemi di comfort. Un parametro fondamentale da tenere in considerazione è la gittata, ovvero la distanza alla quale l'aria presenta una velocità bassa ($0.10-0.15 \text{ m/s}$) o nulla. In genere è buona prassi fissarla ad almeno 2 m d'altezza dal suolo.

Dal punto di vista della progettazione, ogni dispositivo dovrebbe elaborare 6 vol/h ; in questo modo, noto il volume dell'ambiente da trattare e la portata elaborata, è possibile definire il numero di miscelatori da installare.

Nonostante questo intervento sia ottimale per i centri natatori con i problemi sopra citati, una loro installazione potrebbe essere utile anche in nuove strutture. Si tratta infatti di un sistema preventivo e non correttivo, quale è invece quello dei destratificatori tradizionali a pale elicoidali, che trasferiscono semplicemente le masse d'aria calda dal soffitto al pavimento aumentando così le "correnti" all'interno degli ambienti, infastidendo le persone e schiacciando l'aria sulla zona di lavoro. Il miscelatore proposto è dotato di una speciale girante elicentrifuga che sfrutta il sistema fluidodinamico "convergente-divergente"; si genera cioè una globale miscelazione dell'aria senza produrre correnti preferenziali. Il dispositivo è comandato da un regolatore di velocità e da un controllo in temperatura.

Per quanto riguarda la manutenzione, non richiedono particolari procedure, se non una normale pulizia annuale.

Infine, questo intervento non richiede costi proibitivi e presenta un tempo di ritorno semplice minore di 3 anni.

5.6 Coperture per piscine

Le piscine pubbliche consumano grandi quantità di energia, gran parte della quale è spesso sprecata, anche se potrebbe essere risparmiata con una corretta gestione. Tale spreco contribuisce anche ad aumentare i gas serra nell'atmosfera.

Le vasche dissipano il calore accumulato in vari modi, ma l'evaporazione rappresenta la quota predominante di perdita. Gli studi intrapresi dall'*EERE*⁴ dimostrano che occorrono 0.001163 kWh per innalzare la temperatura di un litro d'acqua di 1°C ⁵, mentre l'evaporazione di acqua alla temperatura di 27°C spreca più di 1.218 kWh/kg .

Di conseguenza, senza un adeguato sistema di deumidificazione, gli alti livelli di vapore e cloro combinato provocherebbero seri problemi di carattere strutturale e non solo.

L'energia necessaria per gestire un adeguato sistema di ventilazione si aggiunge quindi ai già elevati costi operativi di una piscina. In queste condizioni, è possibile adottare una soluzione che consente di ridurre il fenomeno: la copertura isotermica.

Essa è costituita da teli di diverso materiale, in genere plastico, che consentono di limitare, quasi eliminare, l'evaporazione dello specchio d'acqua. Ciò presenta interessanti implicazioni:

- Diminuisce l'utilizzo della caldaia e abbatte la spesa del riscaldamento;
- Si risparmia sui rabbocchi d'acqua;
- Si riduce il consumo di prodotti chimici;
- Inibisce la formazione delle alghe;
- Consente di mantenere più alta la temperatura dell'acqua;
- Diminuiscono i tempi per la messa in temperatura dell'acqua dopo soste prolungate.

Generalmente, essi vengono posizionati sopra lo specchio d'acqua durante i periodi di chiusura al pubblico (notte, festività, etc.).

L'applicazione di una copertura isoterma nei momenti sopra definiti comporterebbe un'ulteriore conseguenza positiva: sarebbe possibile far lavorare il sistema di trattamento dell'aria a carico parziale o, addirittura, spegnerlo del tutto. Ciò consentirebbe un'importante diminuzione dei consumi termici ed elettrici dell'UTA, con risparmi notevoli.

Esistono due principali tipologie di coperture:

1. Coperture isotermitiche a bolle d'aria: normalmente fatte di polietilene, possono essere trasparenti o opache. Sono simili al materiale da imballaggio ad eccezione del fatto che sono prodotte con spessori molto maggiori e sono protette contro UV, cloro, etc.. Rappresentano la tipologia più economica e sono adatte per piscine di piccole e medie dimensioni in cui i carichi di lavoro non sono particolarmente intensivi;

⁴L'*EERE*, acronimo di *Energy Efficiency and Renewable Energy*, è il programma nazionale del dipartimento dell'energia del governo americano.

⁵Il calore specifico dell'acqua è infatti pari a 0.001163 kWh/kgK .

2. Coperture isothermiche a schiuma multistrato: sono fatte con una schiuma di polietilene a cellula chiusa, rivestita, nella parte superiore, da una spessa raffia di polietilene armato e, nella parte inferiore, da un sottile film trasparente. Sono più pesanti e robuste di quelle a bolle d'aria e hanno una maggiore aspettativa di vita. Garantiscono, inoltre, un isolamento maggiore.

Oltre ai tipi sopra descritti, è possibile adottare i cosiddetti avvolgitori, costituiti da un telaio e un rullo di svariati materiali (in genere alluminio) su cui è arrotolato il telo. Essi vengono progettati a seconda delle esigenze in relazione alle dimensioni e ai carichi di lavoro necessari e possono essere mobili o fissi, installati a parete, soffitto o addirittura sotto il pavimento della vasca e manuali o motorizzati. In figura 5.17 è rappresentato un esempio di avvolgitore per una piscina semi-olimpionica.



Figura 5.17: Applicazione di una copertura ad avvolgitore mobile

Concludendo, le coperture consentirebbero degli ottimi risparmi energetici e sono quindi essenziali per una struttura ad alta efficienza.

5.7 Sistema di monitoraggio, controllo e regolazione

I sistemi di monitoraggio e regolazione sono ormai largamente diffusi nella maggior parte dei settori, soprattutto in ambito industriale, e apportano dei risparmi notevoli.

Si è ampiamente visto come le piscine coperte siano particolarmente energivore, data la necessità di trattare continuamente elevati volumi di acqua e aria. In particolare, l'integrazione di questi due sistemi è cruciale per un'ottimale gestione degli impianti.

Oltretutto, bisogna tarare opportunamente la generazione energetica, in modo tale da garantire certi parametri di comfort nell'arco della giornata.

Lo scopo finale del lavoro svolto è trasferire queste logiche di automazione e verifica anche nel mondo natatorio. In particolare, per le tre macro aree analizzate, i punti fondamentali sono:

1. **Acqua:** i consumi maggiori sono legati alle pompe di filtrazione, che devono elaborare elevate portate in tempi relativamente brevi. Nell'ottica di un'ottimizzazione sarebbe positivo poter modulare il loro funzionamento;
2. **Aria:** i consumi maggiori sono l'assorbimento elettrico dei ventilatori e la richiesta di acqua calda dalla batteria di riscaldamento. In questo ambito i margini di intervento sono pochi, dato che è necessario mantenere certe condizioni di comfort ambientale. Per contro un sistema intelligente consentirebbe di regolare in base alla temperatura dell'aria esterna e dei parametri interni il prelievo dell'aria energeticamente più favorevole, consentendo risparmi notevoli⁶;
3. **Generazione:** alla luce di quanto sopra definito, il sistema di generazione deve essere in grado di seguire le richieste di acqua e aria. Per fare ciò, è necessaria un'integrazione tra queste tre macro aree energetiche.

In questo paragrafo si vogliono definire i parametri da monitorare in modo da creare un sistema di controllo efficiente. Partendo dall'analisi del progetto europeo SportE2 [10], si approfondirà una soluzione che basa le proprie logiche di funzionamento anche sul numero di persone che frequentano attivamente la struttura.

5.7.1 Progetto SportE2

Un centro natatorio deve trattare elevate portate d'acqua e aria.

Per prima cosa occorre mantenere l'acqua di vasca ad una temperatura idonea alle attività svolte e farla circolare continuamente per poterla filtrare, ricambiare ed igienizzare. Tutto ciò sarebbe già abbastanza per avere un rilevante consumo di energia. Tuttavia, bisogna anche tenere conto del fatto che il volume d'acqua è a contatto con aria, che deve essere necessariamente trattata per poter essere climatizzata e purificata. Le due masse interagiscono continuamente innescando il meccanismo di evaporazione, a causa del quale parte dell'energia termica della vasca viene dispersa.

Questo fenomeno causa una perdita energetica, legata alla quantità di acqua che passa nell'aria per evaporazione e ai conseguenti rinnovi necessari. Più la portata evaporante è alta, più l'entità delle perdite sarà notevole, senza contare il conseguente discomfort ambientale legato all'aumento di umidità e di cloro attivo combinato in sospensione. Solitamente codesto meccanismo viene ridotto mantenendo la temperatura dell'aria maggiore di circa 1°C rispetto a quella dell'acqua. Non è però sempre possibile sviluppare un controllo raffinato in grado di garantire questa condizione, al continuo variare dei fattori in gioco, e che, in più, si adatti alle reali esigenze della piscina, soprattutto nel caso di impianti esistenti e datati. Inoltre, nel caso di centri pubblici, il consumo elevato di risorse energetiche e idriche, e il budget limitato, ne rendono praticamente impossibile la gestione.

Sono molte le possibilità volte a migliorare l'efficienza energetica delle piscine, soprattutto da un punto di vista di approvvigionamento e recupero dell'energia (pompe di calore, motori elettrici a velocità variabile, recuperatori di calore dell'acqua di scarto etc.). Ci sono però poche soluzioni specifiche per il controllo integrato ottimale del trattamento dell'acqua e dell'aria della piscina.

⁶Si veda paragrafo 5.2.

In generale, SportE2 è un progetto europeo che ha sviluppato metodologie e tecnologie per risparmiare energia nelle strutture sportive. Lo scopo finale di questo gruppo di ricerca è il controllo di tre aspetti energetici importanti (produzione, distribuzione e consumo) attraverso un BMS ⁷ intelligente e modulare (replicabile cioè in differenti realtà), che elabori misure in tempo reale dei consumi energetici delle varie utenze e scelga in maniera autonoma quale possa essere il funzionamento impiantistico ottimale per fronteggiare la dinamicità delle condizioni ambientali interne ed esterne.

La tecnologia SportE2 presenta funzionalità specifiche per impianti sportivi, che la contraddistingue da altre soluzioni commerciali:

- Monitoraggio del comfort con modelli calibrati sull'attività e le condizioni termo-fisiche degli ambienti sportivi (per esempio, nei centri natatori si tiene anche conto della condizione di pelle bagnata di chi esce dalla vasca);
- Regole di controllo sviluppate ad-hoc per gli impianti ed organi tipici dei centri sportivi;
- Sistema di ottimizzazione basato su modelli simulativi e reti neurali creati con dati sperimentali di diverse tipologie impiantistiche.

Nel caso particolare dei centri natatori, oltre alle funzioni di base di monitoraggio e controllo, essa include delle applicazioni specifiche per la regolazione delle unità di trattamento dell'aria e del sistema di pompaggio e rinnovo dell'acqua. La gestione integrata avrebbe la capacità di trattare le due masse quando necessario, di gestire gli organi di generazione per adattarsi al meglio al profilo d'uso e di sfruttare al massimo, per esempio, la produzione di un sistema solare termico, in modo da ridurre il carico legato al rinnovo di acqua necessario per il rispetto delle norme.

Ovviamente tutto ciò richiede una rete di sensori per il monitoraggio di tutte le grandezze rilevanti (qualità dell'acqua e dell'aria, parametri termo-igrometrici, stato degli organi, consumi energetici, etc.), un sistema che permetta la comunicazione tra i vari misuratori, un database che raccolga i dati e un processore che li elabori. Oltre a questo, un modulo di ottimizzazione, basato su modelli simulativi e reti neurali, è collegato all'unità centrale per fornire costantemente e da remoto i set-point ottimali, calcolati grazie ad un sistema di calcolo parallelo, basato su algoritmi complessi.

Il sistema sopra descritto è stato sperimentato in tre centri natatori europei; rispetto alla situazione precedente, gli sviluppatori hanno definito un risparmio medio di circa il 30% sul consumo elettrico e termico. Ovviamente, questo valore è puramente indicativo, dato che può variare considerevolmente a seconda della località e soprattutto della gestione precedente all'installazione del mezzo. In particolare, il pacchetto include:

- Controllo delle pompe per il trattamento dell'acqua basato sulla qualità della stessa e sulle norme di riferimento;
- Controllo dell'unità di trattamento aria grazie alla misura ottimizzata delle condizioni termo-igrometriche dell'ambiente, tenendo anche conto del cloro presente in aria come indicatore dell'evaporazione;

⁷BMS = Building Management System.

- Ottimizzazione dei set-point di controllo dell'UTA basato su reti neurali e cloudcomputing;
- Monitoraggio delle performance energetiche.

In figura 5.18 è graficata la differenza dei consumi elettrici tra la situazione precedente e seguente all'installazione del BMS in un impianto natatorio italiano.

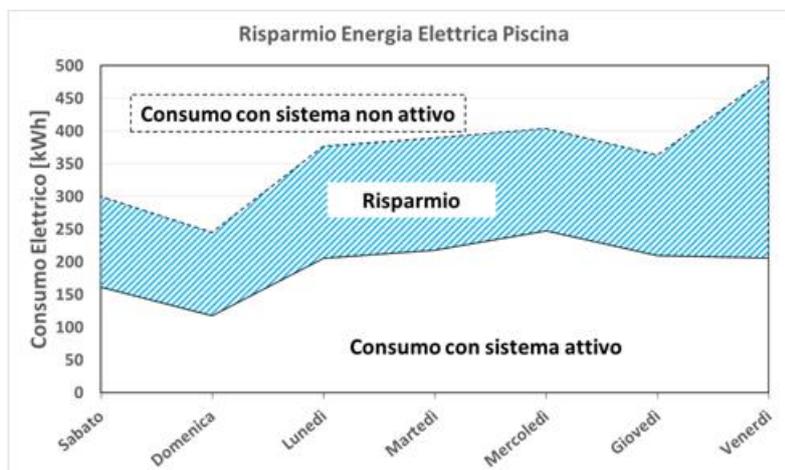


Figura 5.18: Risparmio energetico settimanale ottenuto dalla piscina

Oltre ad avere un risparmio energetico, il sistema deve garantire un ambiente salubre dove poter svolgere al meglio l'attività. Per i centri natatori, un indicatore è il cloro combinato presente nell'aria. Questo, oltre a dare un metro per valutare la qualità dell'aria, è un indice del livello di evaporazione dell'acqua e della conseguente perdita di energia.

L'efficacia del controllo integrato sviluppato nel progetto è evidente in seguito al confronto (figura 5.19) del contenuto di cloro tra sistema attivato e non.

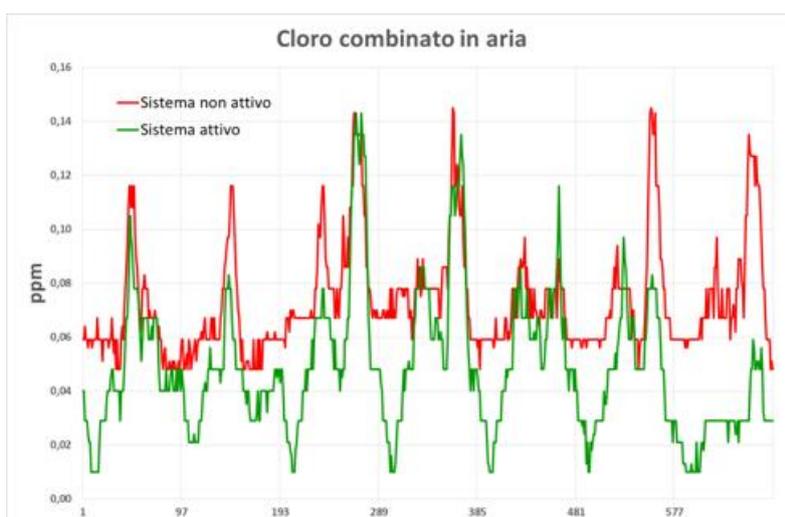


Figura 5.19: Contenuto di composti a base di Cloro dell'aria con e senza sistema

In pratica, oltre alla diminuzione del picco durante le ore di servizio dell'impianto si è ottenuta una notevole riduzione notturna. Il sistema è riuscito a mantenere

una condizione di set-back in grado di ridurre l'evaporazione e garantire il raggiungimento delle condizioni di funzionamento all'apertura mattutina dell'impianto.

L'apparato descritto può essere applicato sia su vecchi impianti che su nuovi. Ciò che si vuole sottolineare è che non sempre il gioco vale la candela. Per avere un controllo spinto sui vari parametri è infatti necessaria un'installazione massiccia di sensori con costi non indifferenti. È perciò necessario uno studio calato sulla specifica realtà, in modo da valutare i benefici ottenibili ed analizzare la fattibilità tecnico-economica della soluzione. Con questo tipo di interventi, infatti, non si va a sostituire quanto già presente, ma si fa un upgrade per permettere l'implementazione del sistema; ciò lo differenzia molto da altri tipi di riqualificazione ed efficientamento come la sostituzione delle caldaie, interventi architettonici etc. Sono più leggeri e devono avere tempi di ritorno dell'investimento brevi (al massimo 3 anni).

5.7.2 Sistema di monitoraggio e regolazione

Il lavoro svolto dal gruppo di ricerca SportE2 è sicuramente significativo.

Alla luce di ciò, si è deciso di prendere spunto dal progetto, apportando però delle modifiche in funzione delle esigenze emerse da un confronto con i gestori, tanto nell'ottica di piscine esistenti che di nuove strutture.

Questo sistema rappresenta idealmente lo scopo ultimo delle diagnosi in questione e ne è il fiore all'occhiello, lo strumento che consentirebbe a un centro natatorio di fare il salto di qualità. Le parole chiave che lo identificano sono:

1. Modularità: il sistema è costituito da una base costante e uguale per tutte le strutture, con componenti aggiuntivi diversi a seconda della tipologia di centro natatorio, della località e degli obiettivi preposti;
2. Semplicità: questo sistema dev'essere intuitivo ed utilizzabile anche dai gestori;
3. Flessibilità: questo sistema deve essere implementabile per centri natatori di qualsiasi dimensione;
4. Numero di persone: rappresenta la variabile indipendente su cui si basano alcune logiche di funzionamento.

Ovviamente, affinché questo sistema sia efficace, occorre che la qualità degli impianti installati e la loro integrazione siano ottimali.

Si vuole precisare che fondamentale per la decisione di creare un sistema di questo tipo con queste caratteristiche è stata l'evidente direzione verso cui la normativa sta andando, cosa che consentirebbe una gestione maggiormente flessibile della struttura stessa. La nuova norma UNI 10367-2015 [13], come già visto, presenta delle importanti differenze rispetto la precedente:

- Riduzione della percentuale di ricambio giornaliero d'acqua dal 5% al 2.5%. Un'alternativa al valore percentuale è 30 l/giorno per persona: questa rappresenta una prima evidente correlazione col numero di persone. In quest'ottica, per esempio, sarà possibile ricambiare acqua a seconda dei bagnanti giornalieri;
- Sospensione del rinnovo d'acqua giornaliero in caso di chiusura dell'impianto al pubblico per periodi di tempo maggiori di 24 h ;

- Possibilità di aumentare fino al doppio i tempi di ricircolo dell'acqua in seguito a periodi di inattività o di carico ridotto, agendo sulle pompe di ricircolo e mantenendo accesi i filtri. Questo consentirebbe di ridurre l'assorbimento elettrico delle elettropompe più energivore; si nota anche in questo caso un legame col numero di bagnanti.

Parlando coi gestori, si evince che l'ultimo step dell'iter di modifica delle norme porterà all'eliminazione dell'obbligo dei ricambi d'acqua, purché vengano mantenuti i parametri di riferimento.

Considerando che i maggiori consumi elettrici sono legati ai pompaggi delle vasche e alle UTA⁸ e alla luce di quanto precedentemente analizzato, risulta evidente che il parametro che maggiormente influenza e influenzerà il consumo energetico, non solo elettrico, di un centro natatorio sarà il numero di persone.

Col sistema sviluppato si arriverebbe ad avere un controllo su tutte le aree divisionali. In particolare:

- **Sottocentrale termica:** il sistema BEMS⁹ consentirebbe di ridurre la produzione di calore durante la fase notturna, implementando un regime attenuato. Tale possibilità deriverebbe dalla costante rilevazione delle condizioni atmosferiche esterne e dalla combinazione di tali misure con l'analisi dell'effettivo carico termico richiesto dagli ambienti. I vari parametri sarebbero monitorati tramite sonde di temperatura, umidità e qualità dell'aria, che provvederebbero ad acquisire le condizioni termo-igrometriche istantanee e adeguare il funzionamento alla reale richiesta. Inoltre, tramite programma orario e registro presenze, sarebbe implementabile un ulteriore controllo e ottimizzazione delle condizioni di esercizio in funzione dell'occupazione dei locali. Oltretutto, il sistema consentirebbe di sfruttare l'inerzia termica delle vasche durante il regime notturno; ciò avverrebbe predisponendo teli di protezione atti a mantenere la temperatura in regime attenuato. Si ridurrebbe così il picco di potenza nelle ore mattutine. Tale applicazione, svolta in maniera manuale, sarebbe comandata automaticamente dal BEMS secondo orari o secondo l'effettiva presenza;
- **Centrale termica:** sarebbe prevista l'installazione di sensori (contacalorie per l'energia termica e contatori per il consumo elettrico) e valvole di regolazione che garantirebbero il monitoraggio, controllo e modulazione della produzione e trasmissione di calore. Tramite l'acquisizione di questi valori verrebbero implementate delle logiche di ottimizzazione per:
 - Gestire le pompe di circolazione mediante scambio e rotazione delle stesse in modo da ridurre l'usura e aumentarne la vita utile;
 - Regolare (a gradini) la produzione dei generatori di calore in funzione della richiesta in ambiente;
 - Utilizzare in primo luogo le fonti rinnovabili o più pulite. Per esempio, per i sistemi di generazione di uno dei siti analizzati rappresentati in figura 3.5, sarebbe privilegiato l'utilizzo del cogeneratore durante tutta la stagione invernale; ad integrazione verrebbe inserito il circuito solare termico e, solo in caso di picchi di richiesta, i generatori di calore.

⁸Si veda paragrafo 4.1.

⁹BEMS = Building Energy Management System.

- **Trattamento aria:** il sistema BEMS permetterebbe di modulare la ventilazione e il condizionamento in funzione dei parametri ambientali interni, quali umidità, temperatura e qualità dell'aria. Sarebbe così possibile sfruttare al meglio la modulazione della portata tramite il controllo ad inverter dei ventilatori e calcolare l'entalpia specifica in mandata e in ripresa, che, combinata con le condizioni esterne, garantirebbe un ottimale utilizzo del recupero di calore (fintanto che persistano le condizioni favorevoli allo scambio termico). Nelle mezze stagioni si potrebbe inoltre implementare un funzionamento in "free-cooling", cosa che ridurrebbe il fabbisogno termico della batteria di riscaldamento. Si è valutata la possibilità di non inserire sonde che controllino il cloro attivo combinato sospeso in aria. Infatti, già col controllo di umidità sarebbe possibile contenere indirettamente l'evaporazione: se il cloro combinato in aria fosse elevato, significherebbe che è evaporata tanta acqua e di conseguenza l'umidità risulterebbe essere più alta.

Nel caso delle UTA ad alta efficienza presentate nel paragrafo 5.2, il BEMS andrebbe ad interagire a un livello superiore con il regolatore interno, integrando i controlli dello stesso con le variabili ambientali rilevate (temperatura, umidità relativa, CO_2) e i consensi al funzionamento (orari, presenze);

- **Trattamento acqua:** si prevederebbe l'acquisizione e monitoraggio dei parametri chimico-fisici dell'acqua, tramite sensori posizionati nelle vasche a valle dei filtri. In funzione della qualità delle acque e della reale presenza di utenti nelle piscine, si andrebbe a modulare la circolazione tramite accensione in cascata delle pompe. Tale logica dovrebbe comunque rispettare i parametri di legge prefissati per garantire il benessere e il rispetto delle normative sanitarie vigenti. Sarebbe inoltre possibile attenuare il funzionamento durante la fase notturna consentendo una riduzione dei costi di esercizio dell'impianto di circolazione.

Tali logiche e implementazioni consentirebbero il raggiungimento della classe A di automazione secondo la EN 15232¹⁰. Verrebbero così rispettati gli obblighi di legge previsti dal D.M. del 26 giugno 2015 e sarebbe inoltre possibile accedere ai titoli di Efficienza Energetica e agli incentivi fiscali previsti dal Dpr 917/86 e s.m.i..

BEMS: principi tecnici generali

In questo sottoparagrafo si vuole approfondire il sistema BEMS sviluppato. Esso consentirebbe di riportare in un ambiente software personalizzato tutte le informazioni reperite da:

1. Sistemi HVAC;
2. Controllo dell'illuminazione;
3. Monitoraggio dei punti elettrici;
4. Monitoraggio della qualità dell'acqua;
5. Antincendio, antifurto, etc. (opzionale).

¹⁰Norma specifica per la domotica e l'automazione dell'edificio.

L'implementazione di una gestione unica e centralizzata delle informazioni ricevute dai vari apparati sarebbe garantita dalla tecnologia multiprotocollo dei dispositivi di controllo e consentirebbe di realizzare interazioni fra i diversi sistemi volte ad aumentare la qualità delle condizioni di funzionamento globali dell'edificio.

Il BEMS è nel suo complesso suddiviso in componenti hardware installati sul campo e componenti software e sfrutta in modo completo i servizi di condivisione dati, tendenze, programmazione, allarmi e gestione delle periferiche, fornendo la massima interoperabilità ed apertura ad ogni livello (controllo interno, esterno). L'utilizzo di sistemi aperti è prerogativa fondamentale, in quanto permette la creazione di soluzioni nuove ed innovative che sfruttano le potenzialità dei diversi sistemi/prodotti di mercato, anche di costruttori diversi. Utilizzando tecnologie/protocolli standard (Ethernet, TCP/IP, BACnet®, LONmark®, Modbus e Web Services), quanto proposto risulterebbe virtualmente compatibile con tutti i sistemi presenti nel mercato. Tutti i componenti hardware e software sono in grado di comunicare utilizzando i seguenti protocolli standard di mercato:

- BACnet, come definito da ASHRAE Standard 135-2004;
- LonTalk™;
- Modbus.

BEMS: architettura

L'architettura del sistema risulterebbe funzionale alla conduzione e manutenzione di un centro natatorio e permetterebbe una facilità di gestione da parte del personale preposto. In particolare:

- Il controllo sarebbe possibile sia da una postazione principale sia da una postazione remota;
- La postazione operativa sarebbe prevista "locale", anche se si potrebbero prevedere e stazioni "remote" sfruttando la WAN aziendale o le potenzialità del Web;
- Il sistema fornirebbe agli operatori esclusivamente le informazioni significative e di propria competenza; essi risulterebbero quindi alleggeriti da compiti di routine, da funzioni comunque programmabili e da quanto potrebbe essere realizzato in forma automatica;
- Le funzionalità del sistema prevederebbero adeguati livelli di back-up funzionale per l'espletamento delle operazioni vitali anche in caso di fuori servizio di uno o più componenti del sistema.

Con lo scopo di dare adeguata risposta alle esigenze sopra espresse, i diversi apparati facenti parte del sistema sono strutturati secondo un'architettura ad intelligenza altamente distribuita posta su più livelli gerarchici, alla cui base sono posti i seguenti criteri:

- Ogni livello ha un'adeguata capacità elaborativa propria in modo da filtrare le informazioni non significative e riportare al livello superiore solo quelle di reale interesse;

- Ogni livello è in grado di eseguire funzioni automatiche senza coinvolgimento dei livelli superiori, laddove le informazioni in possesso siano sufficienti ad assicurare la corretta esecuzione delle stesse;
- Ogni livello ha una porzione di database tale da assicurare la corretta esecuzione delle funzioni assegnate;
- Le interrelazioni fra i sottosistemi previsti avvengono con comunicazione peer-to-peer¹¹ tra i server di automazione ed i controllori di processo senza nessun coinvolgimento del sistema di supervisione.

Tutto ciò rispecchia uno dei criteri basilari di codesto strumento: la semplicità di utilizzo.

L'elemento che contorna il tutto è l'Automation Server (AS): esso può svolgere simultaneamente il ruolo di controllore per tutte le apparecchiature in campo e di server per le periferiche che necessitano di scambiare informazioni con il sistema centrale.

Il sistema BEMS è organizzato su tre livelli:

1. **Primo livello - Livello di campo:** ha il compito di controllare e gestire le singole applicazioni e di acquisire tutti i dati provenienti dal campo rendendoli disponibili verso il livello intermedio;
2. **Secondo livello - Livello intermedio:** ha l'onere di concentrare i dati dei vari sottosistemi e trasferirli al livello Enterprise, comunicando direttamente con le apparecchiature del livello di campo;
3. **Terzo livello - Livello Enterprise (Energy Business Intelligence):** comunica direttamente con il livello intermedio e permette la supervisione e la verifica del corretto funzionamento degli organi controllati presenti nella sezione intermedia e di campo. Esso può interagire con tutti i sottosistemi previsti attraverso pagine grafiche dinamiche e personalizzate.

A livello Enterprise è possibile controllare il funzionamento programmato di particolari utenze come il condizionamento o l'illuminazione nonché la relativa regolazione e/o implementazioni di logiche personalizzabili in funzione di variabili di volta in volta identificate (per esempio il numero di bagnanti).

In figura 5.20 è rappresentata l'architettura dei tre livelli.

A questo punto, risulta significativo entrare più nel dettaglio con una loro breve descrizione, in modo da sottolinearne caratteristiche e aspetti principali.

Come già sottolineato, il Livello di Campo è progettato per gestire il controllo e la regolazione dei singoli sottosistemi. In più, esso è utilizzato per:

- Raccogliere e visualizzare dati in tempo reale;

¹¹Peer-to-peer (P2P) o rete paritaria o paritetica indica un modello di architettura logica di rete informatica in cui i nodi non sono gerarchizzati unicamente sotto forma di client o server fissi, ma sotto forma di nodi equivalenti o paritari, che possono cioè fungere sia da cliente che da server verso gli altri nodi terminali (host) della rete. Essa dunque è un caso particolare dell'architettura logica di rete client-server.

- Comandare e pianificare (esempio su programmazione oraria), compatibilmente con l'impiantistica esistente, il funzionamento delle varie applicazioni (gestione set-point di climatizzazione, rilevazione presenza, gestione del livello di illuminazione e relativa integrazione a livello di logiche di controllo, etc.);
- Controllare il sottosistema a cui è dedicato;
- Eventualmente, ricevere e configurare allarmi su eventi e trasmetterli via e-mail ad un indirizzo definito.

Il trasferimento di variabili e le interazioni tra le diverse Unità Periferiche di Controllo avviene in modalità peer-to-peer senza il coinvolgimento del sistema di supervisione. Questa caratteristica e la scelta verso protocolli standard consentono ai diversi moduli di inter-operare sia fra di loro sia con apparati di terze parti garantendo un'integrazione totale fra tutte le componenti. Le Unità Periferiche di Controllo hanno la capacità di salvare su aree di memoria non volatile oltre che il programma applicativo anche i parametri di lavoro, così da assicurare il corretto funzionamento delle macchine anche dopo un'interruzione di alimentazione.

Il livello intermedio, destinato all'acquisizione e raccolta dati dal livello di campo e alla comunicazione degli stessi verso il livello Enterprise, è rappresentato dagli Automation Server e dai Controller BCX.

Ogni AS è in grado di lavorare indifferentemente sia in condizioni di interconnessione con altri dispositivi che in modalità stand-alone: questo assicurerebbe la stabilità del sistema nel momento in cui esso dovesse ritrovarsi a lavorare in condizioni di isolamento. A livello di I/O, l'Automation Server può acquisire in maniera diretta stati e segnali dal campo e comandare uscite digitali e analogiche attraverso gli appositi moduli di espansione.

Il Livello Enterprise è caratterizzato da un software, basato su un'architettura di tipo Client/Server, che garantisce tutte le funzioni di interazione operativa con il personale addetto al controllo/manutenzione degli impianti, la loro analisi assistita e la loro archiviazione. È preposto anche alla configurazione completa del sistema, con supporti grafici avanzati. Il Server gestisce la comunicazione bidirezionale in tempo reale con il Livello Intermedio.

Attraverso questo software è possibile pianificare quotidianamente con cadenza oraria le normali procedure, oltre che definire, per esempio, il numero di presenze previsto per un determinato momento della giornata.

In generale, il BEMS deve essere in grado di creare dei trend in maniera automatica; esso, cioè, deve generare automaticamente le tendenze di tutti i dati presenti all'interno degli Automation Server, in modo che l'utilizzatore sia poi in grado di verificare qualsiasi valore in qualsiasi momento senza alcuna programmazione manuale.

BEMS: illuminazione e regolazione delle temperature degli ambienti

L'illuminazione potrebbe essere controllata localmente o centralmente. Le logiche di accensione e spegnimento o di dimmerizzazione verrebbero predeterminate in base ad un programma orario. Il controllo potrebbe avvenire tenendo in considerazione il grado di luminosità, interna od esterna (luce naturale) o tenendo in considerazione l'occupazione, da parte del personale, degli ambienti di lavoro. In particolare, esisterebbero varie possibili modalità di funzionamento:



Figura 5.21: Esempio di Automation Server.

- Controllo con regolazione continua: i rilevatori multifunzione controllerebbero la luminosità dell'ambiente e la sua occupazione, trasmettendo i dati agli attuatori. Se in quel momento il locale non fosse utilizzato, l'illuminazione dovrebbe restare spenta, mentre in caso di rilevamento presenza la si dovrebbe regolare ad un livello predefinito;
- Controllo ON/OFF: logica tradizionale, che però non consentirebbe di definire al meglio la soglia minima di luminosità;
- Controllo in base alla presenza: questa funzione garantirebbe un utilizzo efficiente delle lampade delle aree caratterizzate da una scarsa illuminazione naturale. Il risparmio energetico si otterrebbe grazie a rilevatori di movimento/presenza che controllerebbero il livello di luminosità e l'occupazione dei locali, accendendo le luci solo quando l'ambiente risulta effettivamente occupato. L'effettiva validità di quest'opzione dipenderebbe quindi principalmente dal livello di utilizzo.

Dal punto di vista della regolazione delle temperature negli ambienti, il sistema è costituito da dispositivi con I/O analogici e digitali, che controllano sonde, valvole motorizzate e pompe, ventilatori, in modo da ottenere la temperatura richiesta in ciascun locale. I regolatori sono dotati di un display touchscreen rappresentante l'interfaccia utente (configurabile) e consentono di visualizzare funzioni come data, ora, umidità, temperatura e set-point previsti. Questi dispositivi comunicano direttamente con i vari sistemi di condizionamento, come pannelli radianti (in particolare i collettori) e ventilconvettori. Volutamente non si sono citate le UTA dato che esse prevedono delle logiche di funzionamento a sé stanti, anche se allo stesso tempo integrate con il BEMS. Il termostato è dotato di sensori di temperatura e umidità relativa, in maniera tale da consentire al sistema di regolazione di calcolare il punto di rugiada ed evitare il fenomeno di condensazione su pavimenti e soffitti radianti.

BEMS: controllo del sistema HVAC

Il seguente sottoparagrafo illustra i requisiti fondamentali dei sottosistemi che dovranno concorrere, in forma integrata, all'architettura globale del sistema di supervisione e controllo degli impianti HVAC. La soluzione proposta possiede i seguenti criteri:



Figura 5.22: Esempio di regolatore ambiente con i vari parametri rilevati.

- Interoperabilità fra tutti i sottosistemi;
- Flessibilità di configurazione architettonica e sistemistica;
- Elevata capacità di numero di punti di campo controllati;
- Espandibilità: nel caso di futuri sviluppi in ambito impiantistico si vuole avere la possibilità di integrare le logiche sopra definite con altro materiale;
- Modularità: i parametri di controllo devono essere replicabili, con leggere modifiche, a tutte le configurazioni impiantistiche. Questo risponde alla volontà di creare, in futuro, dei centri natatori modulari ad alta efficienza;
- Comunicazione su LAN ad alta velocità;
- Flessibilità di cablaggio.

Il sistema di controllo degli impianti tecnologici (centrali termica, unità di trattamento aria, sottocentrale termica, etc.) dovrebbe essere di tipo digitale, a microprocessore, ed usare la tecnologia DDC (Controllo Digitale Diretto). Avrebbe compiti di:

1. Regolazione automatica;
2. Comando di start-stop, manuale - automatico;
3. Acquisizione di stati/allarmi;
4. Misura di grandezze fisiche, unitamente a programmi a tempo, ad evento e di risparmio energetico.

Ai Moduli di I/O sarebbero collegati gli elementi in campo necessari (sensori, attuatori ed organi finali).

Nell'ottica di risparmio energetico i DDC dovranno avere degli algoritmi atti ad ottimizzare le procedure. In particolare, si è deciso di implementare i seguenti:

- **Ottimizzazione ON/OFF degli impianti**, soprattutto di generazione. Per esempio, nel caso di caldaie che coprono i picchi delle richieste termiche, questa gestione potrebbe fare la differenza, consentendo risparmi di combustibile;
- **Controllo entalpia**, la cui conoscenza è basilare per valutare i flussi energetici delle varie utenze;
- **Ventilazione notturna**, con l'ottica di far lavorare gli impianti di trattamento aria in regime attenuato. Nel caso dell'ambiente vasche con teli che coprono lo specchio d'acqua potrebbe essere addirittura possibile spegnere del tutto l'UTA, previo rispetto dei parametri ambientali (temperatura e umidità relativa);
- **Calcolo del numero di gradi giorno**, indicatore delle condizioni climatiche esterne;
- **Controllo dei picchi di consumo elettrico**;
- **Controllo dei carichi**;
- **Regolazione basata sul numero di persone**: logica principale su cui si vuole basare tutto il funzionamento del sistema.

Si è già visto quali possono essere le possibili implicazioni di un controllo legato alle presenze sul trattamento acqua.

Una regolazione di questo tipo sul trattamento aria risulterebbe essere meno spinta, dato che i volumi dell'ambiente vasche sono elevati. Sicuramente, l'evaporazione dell'acqua varia in funzione del numero di bagnanti presente in vasca. Di conseguenza, si potrebbe pensare di modulare i ventilatori delle UTA (ad inverter) con questa logica. Una volta installato il sistema, sarebbe però necessario verificare la reale flessibilità di funzionamento, attraverso un monitoraggio delle condizioni dinamiche al variare del carico (numero di persone).

Le implicazioni su aria ed acqua si ripercuotono poi sulla generazione energetica: i vari impianti dovranno essere flessibili per soddisfare le richieste delle varie utenze a seconda delle situazioni reali, secondo gli algoritmi precedentemente descritti.

Ciò che mancherebbe per completare questa descrizione è un elenco dei misuratori installati sul campo. Nelle seguenti tabelle 5.23 è rappresentato un elenco punti delle varie sezioni e apparati energetici di un centro natatorio.

In definitiva, il sistema di controllo e regolazione presentato consentirebbe di incrementare l'efficienza energetica e gestionale di un centro natatorio. Ciò che si vuole sottolineare è che un sistema di questo tipo è necessario per creare centro natatorio tipo ad alta efficienza e porterà di sicuro a dei benefici, in termini economici, di comfort ambiente e gestionali.

UTA	
MATERIALE IN CAMPO	Note:
Temperatura Mandata	
Temperatura Mandata	a valle del recuperatore
Temperatura Ripresa	
Umidità ripresa	
Senada ripresa	
Senada aria esterna on-off - Cmd,Stato	
Senada espulsione	
Senada ricircolo	
Pressostato controllo intasamento filtri	
Pressostato controllo intasamento filtri	
Termostato Antigelo	
Valvola batteria Calda/Fredda	batteria riscaldamento
Valvola batteria Calda/Fredda	circuito di collegamento vasca
Ventilatore Mandata - Sta,Blo.,Cmd.	
Ventilatore Ripresa - Sta,Blo.,Cmd.	
CENTRALE TERMICA	
MATERIALE IN CAMPO	
Temperatura Esterna	
Termometro di regolazione	
Termostato di sicurezza	
Pressostato di sicurezza	
Temperatura Mandata	mandata cogeneratore
Temperatura Mandata	ritorno cogeneratore
Valvola di intercettazione	
Temperatura Mandata	collettore di mandata
Temperatura Mandata	serbatoio di accumulo 6000 l
Caldaia - Sta,Blo./Sic-Cmd	CALDAIA
Cogeneratore - Com/All	Cogeneratore
Pompa - Sta,Blo.,Cmd.	in predisposizione
Pompa - Sta,Blo.,Cmd.	in predisposizione
Solare Termico	
SOTTOCENTRALE	
MATERIALE IN CAMPO	
Temperatura Mandata	mandata piano P1
Temperatura Mandata	collettore di mandata
Temperatura Mandata	mandata vasche
Pompa - Sta,Blo.,Cmd.	circuito P1
Pompa - Sta,Blo.,Cmd.	circuito CTA
Pompa - Sta,Blo.,Cmd.	primario boiler ACS
Pompa - Sta,Blo.,Cmd.	scambiatore vasche
Temperatura Mandata	mandata CTA
Pompa - Sta,Blo.,Cmd.	ricircolo
VASCHE	
CIRCOLAZIONE	
Pompa - Sta,Blo.,Cmd.	pompa pre-filtro
Pompa - Sta,Blo.,Cmd.	pompa pre-filtro
Pompa - Sta,Blo.,Cmd.	pompa pre-filtro

Figura 5.23: Tabella punti dei principali apparati di un centro natatorio

5.8 Altre raccomandazioni

Un centro natatorio dal punto di vista energetico può essere suddiviso in tre macro aree: generazione, acqua e aria.

In merito al trattamento dell'aria sono stati presentati degli interventi significativi per creare una struttura efficiente.

Ciò che manca è un approfondimento della parte di generazione e della gestione dell'acqua. In questo paragrafo si vogliono quindi dare dei consigli in merito a questi due importanti aspetti.

5.8.1 Generazione

Si è già visto in precedenza che esistono vari sistemi di generazione dell'energia; nulla però è stato detto su quale di questi fosse l'ottimo. Ciò che si vuole sottolineare è che non esiste una risposta assoluta, dato che bisogna tener conto di una serie di aspetti:

1. Tipologia di piscina: è evidente che le dimensioni e le volumetrie cambiano al variare del bacino d'utenza. Banalmente, non è possibile valutare allo stesso modo due diverse piscine, per esempio da $800 m^3$ ad uso pubblico e $100 m^3$ ad uso privato o spa;
2. Condizioni di comfort: si vuole avere un complesso che garantisca dei livelli di comfort ottimali di ambiente ed acqua in ogni momento, oppure si vuole privilegiare il risparmio energetico, penalizzando un po' quest'aspetto? Generalmente, a meno che non si tratti di piscine private di facoltosi o spa, si tende a trovare l'ottimo tra queste due necessità;
3. Località: si è già visto come il costo dell'energia vari in funzione del luogo in cui è costruita la struttura. Ciò incide pesantemente sulla scelta del sistema di generazione;
4. Clima: connesso al punto precedente, esso è fondamentale soprattutto per i sistemi a fonti rinnovabili, quali solare termico e fotovoltaico.

Alla luce di tutto ciò, l'obiettivo è di dare alcuni suggerimenti, indicando poi delle possibili alternative.

Per quanto riguarda la produzione elettrica, due sono i sistemi maggiormente utilizzati per ridurre il prelievo dalla rete: cogeneratore e impianto fotovoltaico. Ovviamente, questi due impianti hanno dei pro e dei contro: il cogeneratore da una parte consente di produrre in maniera combinata energia elettrica e termica e, tramite l'ottenimento delle qualifiche CAR e SEU¹², di accedere, tra le altre cose, ai certificati bianchi e risparmiare considerevoli somme di denaro sugli oneri di sistema; dall'altra richiede quasi sempre come input un combustibile fossile (per esempio gas naturale). L'impianto fotovoltaico consente di sfruttare un'energia pulita, per contro presenta dei rendimenti di conversione non elevati e una produzione aleatoria legata alle condizioni climatiche ed atmosferiche.

¹²CAR = Cogenerazione ad Alto Rendimento, SEU = Sistemi Efficienti di Utenza. Queste qualifiche sono strettamente legate alla produzione di energia termica ed elettrica da cogeneratore. Se un impianto è qualificato CAR e SEU gode di una serie di privilegi che rendono l'investimento molto interessante.

Per la produzione di energia termica esistono diverse possibilità: caldaia, cogeneratore, pompa di calore e impianto solare termico. Del cogeneratore si è già parlato in precedenza; la caldaia è un altro sistema che sfrutta un combustibile fossile ma che garantisce la migliore affidabilità, grazie soprattutto ai dispositivi di ultima generazione, che presentano dei rendimenti elevatissimi. Si vuole precisare come la scelta del tipo di caldaia dipenda dalle temperature richieste dalle utenze. Nel caso di centri natatori con piscine di tipo A viene in genere richiesta la produzione combinata di acqua calda sanitaria a 70°C e di acqua per il riscaldamento della vasca a 40°C ; in questo caso, sarebbe inutile adottare una caldaia a condensazione, dato che la temperatura di ritorno dell'acqua attorno ai 60°C non consentirebbe di sfruttare al meglio la condensazione dei fumi. Quest'ultimo dispositivo sarebbe ottimale per la sola produzione di acqua per la vasca, dato che presenta i più alti rendimenti termici di primo principio¹³.

Le pompe di calore sono dei dispositivi che, attraverso un ciclo termodinamico più o meno complesso, consentono di produrre energia termica in seguito a un input di tipo elettrico, legato al compressore e alle regolazioni interne. Questi sistemi sono quindi più puliti rispetto a quelli sopra descritti; si vuole precisare che, in realtà, ciò dipende dal modo in cui l'energia elettrica è stata prodotta. Se lato condensatore è facilmente intuibile che il fluido secondario è acqua, le fonti di calore usate possono essere molteplici:

- **Aria:** la pompa di calore aria-acqua è sicuramente meno costosa di quella acqua-acqua, anche se a basse temperature (si veda figura 5.24) sviluppa una bassa potenza. Questo è legato al fatto che l'evaporatore tende a ghiacciare a temperature superficiali di circa 0°C e ciò comporta un brusco calo del coefficiente di scambio termico lato aria, con penalizzazione del COP. Questa situazione si verifica con temperature dell'aria esterna maggiori di 0°C ;
- **Terreno:** le pompe di calore geotermiche, soprattutto a sonde verticali, sono meno influenzate dalla variabilità delle temperature dell'aria esterna e non presentano quindi problemi di brinamento dell'evaporatore. Ovviamente esse prevedono un fluido intermedio, generalmente acqua e glicole, contenuta all'interno di tubi. Con questi dispositivi si vuole sfruttare il fatto che il terreno, a una certa profondità, presenta una temperatura costante durante l'anno, circa pari alla temperatura media annuale dell'aria della località;
- **Acqua (superficiale, di falda o di pozzo):** è preferibile utilizzare acque in profondità, per sfruttare le proprietà sopra descritte. Come si può osservare in figura 5.24, le pompe di calore acqua-acqua che sfruttano acqua di pozzo garantiscono prestazioni superiori persino alle geotermiche, dato che non richiedono uno scambio termico intermedio. Sono però necessarie speciali autorizzazioni e degli studi approfonditi, onde evitare problemi di contaminazione della falda.

I sistemi sopra descritti lavorerebbero come base; l'impianto solare termico potrebbe essere utile in quanto consentirebbe di ridurre l'ammontare di combustibile, nel caso di caldaie e cogeneratori, e di energia elettrica nel caso di pompe di calore. In misura simile al fotovoltaico, la produzione di energia termica è legata all'aleatorietà delle condizioni climatiche esterne.

¹³Per la definizione di rendimento termico di primo principio si veda il paragrafo 4.2.2.

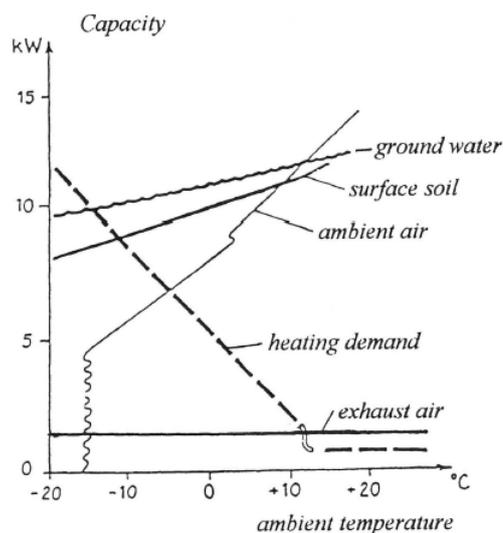


Figura 5.24: Potenza sviluppata dalla pompa di calore in funzione della temperatura esterna al variare della fonte di calore

In generale, un sistema termico può essere istantaneo o ad accumulo: è generalmente preferibile questa seconda tipologia, onde a evitare l'installazione di un impianto ad elevata potenza. Per contro, è fondamentale scegliere gli accumuli in maniera accurata, in modo da favorire la stratificazione e garantire degli alti ΔT tra mandata e ritorno. La scelta del bollitore dipende dall'estensione e dalla superficie dei pannelli stessi: una stima di base definisce $70 l/m^2$ pannello come parametro di progettazione.

Di seguito si vogliono definire due possibili alternative, considerate potenzialmente ottimali per centri natatori di una certa dimensione, come quelli analizzati nelle diagnosi in oggetto: una di queste prevede l'ausilio di fonti energetiche "tradizionali", mentre l'altra vuole sfruttare per la quasi totalità del tempo energia "pulita" e rinnovabile.

Sistema con fonti "tradizionali"

Questo sistema prevede l'installazione dei seguenti dispositivi:

1. Cogeneratore;
2. Caldaia;
3. Impianto solare termico;
4. Impianto fotovoltaico.

Cogeneratore e fotovoltaico dovrebbero ridurre di molto l'ammontare di energia elettrica comprata dalla rete; in presenza di un impianto cogenerativo è inoltre possibile installare un numero minore di pannelli. Il primo dispositivo proposto può essere progettato ad inseguimento termico o elettrico: ciò significa che si cerca di "seguire" la richiesta di energia (termica o elettrica), andando a modulare quando la potenzialità dell'impianto è superiore al fabbisogno delle utenze.

Nel caso di centri natatori di grandi dimensioni, i consumi termici sono preponderanti: si andrebbe quindi a dimensionare il cogeneratore sul plateau della richiesta

termica annuale, con integrazione fornita dall'impianto solare termico. La caldaia servirebbe per coprire i picchi di richiesta nei momenti di massima affluenza in vasca o di rigidità del clima esterno.

Quindi, con l'ottica di implementazione di un sistema di regolazione, la priorità di utilizzo verrebbe data al cogeneratore, seguito dall'impianto solare termico. La caldaia verrebbe utilizzata solamente a bisogno; ciò consentirebbe di installare un dispositivo con taglia minore.

Questo sistema combinato è stato approfondito durante le diagnosi in oggetto, dato che è realmente installato in un sito analizzato. Affinché funzioni in maniera ottimale, è necessario avere un volume di accumulo importante; il top sarebbe avere un bollitore per sistema di generazione, cosa che permetterebbe di lavorare a differenti temperature, con conseguente incremento dell'efficienza.

Sistema con fonti rinnovabili

Questo sistema prevede l'installazione dei seguenti dispositivi:

1. Pompa di calore;
2. Caldaia;
3. Impianto solare termico;
4. Impianto fotovoltaico.

Si prenda come esempio una pompa di calore acqua acqua; essa rappresenterebbe la base di produzione di energia termica, a cui si aggiungerebbe il solare termico. Generalmente essa va dimensionata sul plateau della richiesta termica; la caldaia interverrebbe solamente in condizioni di picco.

Con l'adozione di una pompa di calore aria-acqua, invece, sarebbe richiesta una caldaia di potenza maggiore, per problemi legati al processo di defrosting.

Ovviamente, in questo secondo sistema combinato il consumo preponderante sarà elettrico: per questa ragione e per l'assenza di un impianto cogenerativo è consigliato installare un maggior numero di pannelli fotovoltaici.

Esistono diversi modi per integrare i singoli componenti; Tagliafico et al. hanno analizzato una possibile variante [12] per un centro natatorio con piscina olimpionica. Come si vede in figura 5.25, il condensatore della pompa di calore è collegato a un accumulo che fornisce l'acqua calda allo scambiatore di calore per il riscaldamento della piscina.

Per garantire il raggiungimento della temperatura di set point (in genere circa 28°C) è necessaria un'integrazione da un sistema ausiliario, per esempio una caldaia. L'evaporatore della pompa di calore è alimentato dall'acqua proveniente dai pannelli solari; una valvola di by-pass connetterebbe l'impianto solare termico direttamente con l'accumulo, purché le temperature siano significative per l'applicazione richiesta. La pompa di calore viene generalmente spenta quando le temperature dell'acqua all'evaporatore sono al di fuori del range operativo di funzionamento standard $[4 - 18]^{\circ}\text{C}$: nel caso in cui sia minore di 4°C viene utilizzato il sistema ausiliario, mentre se è maggiore di 18°C l'acqua dei pannelli raggiunge tranquillamente la temperatura desiderata e perciò viene inviata direttamente in accumulo.

Si vuole precisare come questa è solo una possibile soluzione; se si potesse sfruttare acqua di pozzo, i pannelli solari verrebbero usati come integrazione alla pompa

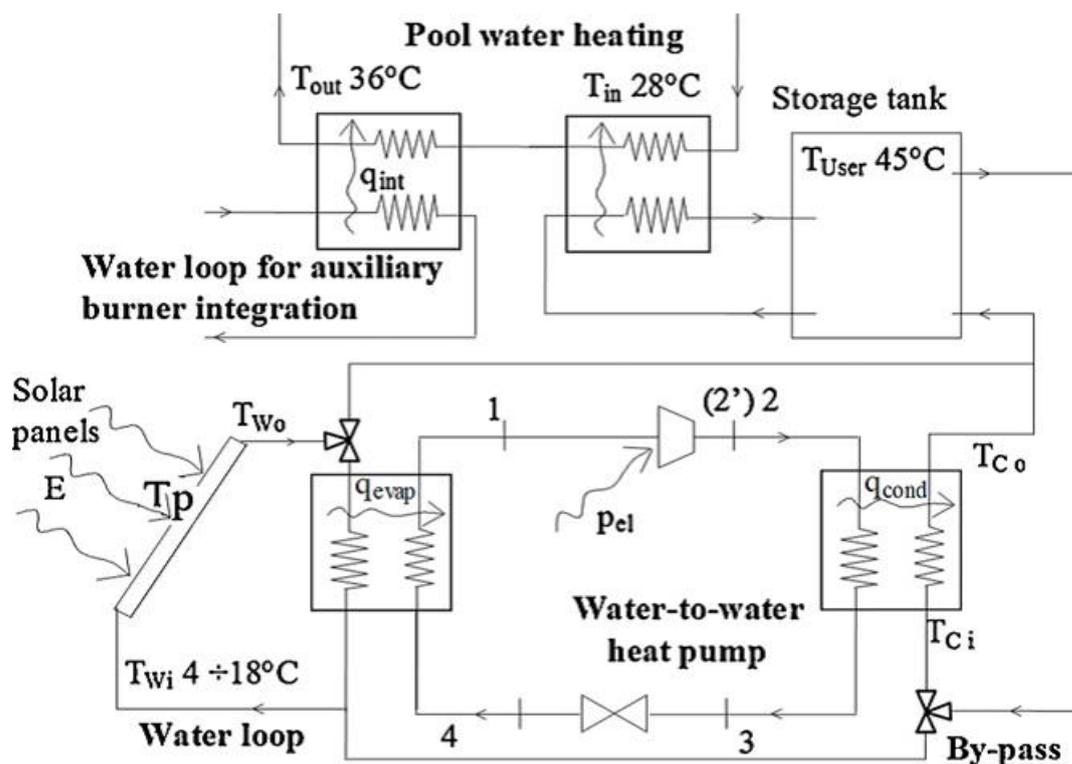


Figura 5.25: Tipologia di sistema a fonti rinnovabili a pompa di calore

di calore. Ciò consentirebbe di diminuire l'apporto del sistema ausiliario tradizionale. In quest'ultimo caso, inoltre, il sistema lavorerebbe tutto l'anno. Se ciò non fosse possibile, si possono prevedere dei bacini di contenimento per acque grigie o pre-riscaldate, in modo tale da massimizzare le ore di funzionamento della pompa di calore.

In generale, un sistema a fonti rinnovabili richiede un investimento iniziale maggiore rispetto a uno tradizionale.

5.8.2 Acqua

Per un centro natatorio, la gestione dell'acqua rappresenta l'aspetto più caratteristico. In questo sottoparagrafo si vuole discutere su quale sia il sistema di filtrazione migliore e su quali scambiatori di calore adottare per riscaldare l'acqua di immissione in piscina.

Per quanto riguarda il primo aspetto, anche in questo caso non esiste una risposta assoluta, ma bisogna tenere in considerazione svariati aspetti:

1. Cubatura della vasca: in particolare, l'entità di acqua che necessita di trattamento;
2. Livello di filtrazione desiderato: quest'aspetto dipende dal tipo di utenza che frequenta la struttura. Ovviamente si vuole cercare di mantenere i parametri nel range di riferimento, ma il costo dell'impianto e della manutenzione varia a seconda della tipologia di filtro utilizzato e dal livello di filtrazione richiesto;



Figura 5.26: Scambiatore di calore a piastre in controcorrente

3. Spazio disponibile per l'installazione del filtro: quest'aspetto è fondamentale, dato che le dimensioni di questi dispositivi e delle annesse tubazioni variano in maniera importante.

Detto ciò, il sistema più recentemente sviluppato è l'ultrafiltrazione; esso consente di raggiungere una buona purezza dell'acqua, con risparmio di additivi chimici, senza sistemi aggiuntivi di trattamento. Questa tipologia è ottimale per vasche di media dimensione. Per piscine di grande cubatura, i filtri più utilizzati sono quelli a sabbia. Essi sono però molto voluminosi e non garantiscono una sufficiente pulizia dell'acqua: è quindi consigliabile inserire un sistema aggiuntivo, quale trattamento a ozono e UV. Per contro non richiedono particolari manutenzioni. È da verificare l'applicazione dell'ultrafiltrazione in vasche di elevate dimensioni; codesto nuovo dispositivo consente inoltre di automatizzare i controlavaggi.

Per quanto riguarda questo aspetto, si consiglia di ricambiare al minimo richiesto dalla normativa, in modo da ridurre il consumo di acqua, il cui costo sta diventando sempre di più significativo e potrebbe spostare gli equilibri.

Infine, si vogliono spendere due parole sugli scambiatori adibiti al riscaldamento dell'acqua della piscina. Questi dispositivi sono fondamentali per portare l'acqua di immissione alla temperatura desiderata. Per sistemi di grandi dimensioni la scelta ottimale è costituita dallo scambiatore a piastre (figura 5.26).

Esso presenta dei considerevoli vantaggi:

- È il tipo di scambiatore di calore più compatto e leggero, dettaglio non da poco se gli spazi a disposizione sono limitati. Il particolare disegno costruttivo delle piastre corrugate consente di utilizzare spessori molto ridotti;
- Ha un elevato coefficiente di scambio termico, molto superiore rispetto al fascio tubiero;
- C'è la possibilità di potenziare lo scambiatore con semplice aggiunta di nuove piastre;
- Si denota una certa facilità di manutenzione e verifica di eventuali perdite o guasti.

Altra soluzione adottata, soprattutto per impianti medio piccoli è lo scambiatore a tubi corrugati, rappresentato in figura 5.27.



Figura 5.27: Scambiatore di calore a tubi corrugati

Questo dispositivo rappresenta un'evoluzione del fascio tubiero: richiede spazi minori e presenta un'efficienza maggiore, con coefficienti di scambio superiori. Ovviamente, i tubi corrugati hanno performance inferiori rispetto ai piastre, ma sono più economici.

Concludendo, in un centro natatorio si spreca tantissima energia, soprattutto termica. Per una buona gestione energetica, è richiesto un recupero termico da aria e acqua: se si adottano questi tipi di accorgimenti, i risparmi possono essere notevoli. Ciò che si vuole ancora una volta sottolineare è che un centro natatorio, per essere efficiente, necessita di misure e di verifiche continue delle tre macro aree individuate. Lo step conclusivo per creare una struttura ottimale è rappresentato dall'adozione di un sistema di regolazione, che automatizza le normali procedure.

Capitolo 6

Conclusioni

Il lavoro oggetto della presente tesi di laurea deriva dalla collaborazione con la ESCo certificata Encore Srl e verte sulla redazione di diagnosi energetiche per tre complessi natatori situati nel centro e nord Italia, con l'obiettivo di acquisire le specifiche competenze tecniche per costruire nuovi impianti ad alta efficienza.

Dato che la presentazione specifica dei tre report sarebbe risultata meno significativa rispetto al lavoro di analisi svolto, si è voluto appositamente elaborare una sorta di guida per tutti i professionisti che volessero efficientare strutture esistenti o crearne di nuove. Per fare ciò, si è deciso di seguire un filone logico, partendo dallo spiegare cosa sia e come si rediga una diagnosi energetica, per poi passare nel dettaglio alla descrizione di un elaborato specifico per centri natatori. Ovviamente è necessario conoscere a priori la normativa di riferimento e la struttura energetica con componentistica varia. È questo infatti un settore che presenta dei range operativi definiti e ristretti, finalizzati a tutelare la salute umana garantendo anche un certo livello di comfort. Per cui, è fondamentale avere ben chiari gli aspetti legislativi.

Ciò che contraddistingue un centro natatorio da altri tipi di strutture è il trattamento dell'acqua. Per garantire il rispetto dei parametri è quindi necessario conoscerne il layout generale e le varie componenti (tubazioni, filtri, pompe, organi di trattamento, etc.).

Assodato ciò, si è passati al cuore della tesi, ossia alla stesura della diagnosi, i cui punti fondamentali sono tre:

1. Bilancio termico, elettrico e globale di energia;
2. Scelta degli Indici di Prestazione Energetica più significativi;
3. Proposte di interventi migliorativi.

Con l'esperienza maturata si è appurato come non sia semplice procedere con l'analisi energetica; ciò è legato al fatto che mancano quasi completamente sistemi di misura dei flussi energetici, soprattutto termici. Risulta perciò difficile imputare con esattezza i vari consumi alle utenze.

Sono stati proposti dei procedimenti in regime stazionario per stimare l'energia richiesta per il riscaldamento degli ambienti, dell'acqua delle vasche e dell'ACS. In questa trattazione si sono trascurati gli aspetti strutturali e le relative perdite, in quanto non ritenuti significativi su realtà esistenti, soprattutto per gli elevati costi che comporterebbe, per esempio, l'introduzione di un isolamento intra-murario o esterno. L'utilizzo di modelli dinamici avrebbero garantito un livello di precisione

maggiore, ma il dispendio di tempo e di energie non avrebbe giustificato una loro implementazione. Si vuole precisare che un approfondimento con i gestori e i manutentori interni del centro natatorio garantisce comunque un buon risultato.

Alla luce di tutto ciò, si è poi passati alla definizione di nuove strutture, fornendo dei suggerimenti su possibile impiantistica ad alta efficienza, in merito al trattamento aria, acqua e alla generazione energetica. Codeste soluzioni sono state approfondite per i siti reali oggetto di diagnosi, affiancando anche alcune considerazioni di carattere economico. Quest'ultimo aspetto merita una precisazione: la validità di un investimento varia a seconda della località e del costo dell'energia. Sono quindi necessarie delle valutazioni accurate.

Altro aspetto da non sottovalutare è l'integrazione di tutti questi nuovi dispositivi, dato che, talvolta, uno può escludere l'altro. In questa trattazione non è presente un'analisi di questo tipo, dato che gli interventi proposti non sono ancora stati implementati. Sarebbe comunque interessante in futuro analizzare quest'aspetto, in modo da creare dei layout impiantistici modulari, replicabili, con piccole modifiche, in più realtà.

Sicuramente, per valutare tutto ciò dev'essere presente un sistema di monitoraggio. Si sono perciò definiti i parametri fondamentali da misurare (temperature, umidità relative, etc.) in modo da avere il giusto controllo sulla gestione energetica. Questo consentirebbe, già di per sé, di ottenere dei buoni risparmi.

Per concludere in maniera significativa il lavoro in questione, si è voluto andare oltre, approfondendo anche gli aspetti di regolazione.

L'obiettivo finale è proprio la definizione di un sistema ibrido di monitoraggio e regolazione, che tenga sotto controllo i parametri di interesse e consenta agli impianti di agire in maniera automatica per eliminare gli sprechi. Grazie al confronto diretto con i gestori e all'attenta lettura delle normative, si è appurato come si stia andando verso una conduzione più flessibile degli impianti; ciò, già di per sé, rappresenterebbe un aspetto positivo. Se però si implementasse un sistema di automazione che tenesse conto delle normative, si potrebbe raggiungere un livello di accuratezza ancora più elevato. Ovviamente, alla base di tutto ciò devono esserci degli algoritmi; dato che l'output di un centro natatorio, inteso come processo produttivo, è rappresentato dai bagnanti che frequentano la struttura, si è deciso di inserire delle logiche di carattere gestionale, che portano a un foglio di calcolo con le ipotetiche presenze orarie nel corso di una particolare giornata. Sicuramente ciò non è semplice, ma si possono raggiungere dei buoni risultati con minimo margine di errore cooperando con i gestori che lavorano da tanti anni in questo settore.

Questa è indubbiamente una sfida interessante; si vuole sottolineare che la condizione necessaria affinché questo sistema sia efficace è l'elaborazione di logiche preventive, data l'elevata inerzia delle masse d'acqua e aria. Da qui si può partire per definire le tempistiche di previsione necessarie, cercando poi di ridurle; ciò consentirebbe di raggiungere un controllo quasi totale su una tipologia di edifici che necessita, soprattutto in Italia, di un ammodernamento.

Infine, si vogliono spendere due parole sull'aspetto caratterizzante un centro natatorio: l'acqua. Si è appurato come, nel corso degli anni, essa stia diventando sempre più preziosa, con un valore economico sempre più elevato. Nel momento in cui si decidesse di intraprendere una campagna di analisi di un sito, oppure la costruzione di un nuovo complesso, è opportuno verificare, oltre ai costi dell'energia elettrica e del combustibile fossile, il costo di questo importante fluido. L'ideale

sarebbe avere un pozzo di proprietà da cui attingere, ma ciò non è sempre possibile. Per tutte le strutture che non possono usufruire di tale privilegio, è fondamentale un'accurata gestione dell'acqua, in modo tale da ridurre al minimo gli sprechi. In quest'ottica potrebbe essere interessante un approfondimento su metodi di raccolta e depurazione delle acque grigie, con creazione di bacini di contenimento.

Fortunatamente, sembra che le normative future si evolveranno tendendo ad eliminare l'obbligo di ricambi giornalieri, purché i parametri di riferimento vengano mantenuti entro il range ottimale. Questo avrebbe indubbiamente degli aspetti positivi, quali:

- Possibilità di sprecare meno acqua, fluido preziosissimo per la vita umana;
- Maggiore flessibilità operativa;
- Possibilità di risparmiare energia termica dei sistemi di generazione ed energia elettrica dei pompaggi;
- Possibilità di rendere ancora più spinto il sistema di controllo e regolazione precedentemente approfondito.

Quello dei centri natatori è un settore in continua evoluzione; dal punto di vista della gestione energetica è ancora allo stato embrionale, nonostante la sua secolare storia. Le possibilità di ammodernamento e di ottimizzazione sono tante e lunga è ancora la strada da intraprendere per arrivare, citando la metafora dell'introduzione, ad un organismo razionale ed intelligente.

Bibliografia

- [1] Studio Ingegner Di Carlo, cur. *Piscina Galilei - Progetto per l'installazione di un impianto solare termico - Relazione tecnica generale*. 2012.
- [2] CONI, cur. *Delibera n.1379-2008*. 2008.
- [3] C.Pasquarella et al. «Swimming pools and health-related behaviours:result of an Italian multicentre study on showering habits among pool users». In: *Public Health* (2012).
- [4] Wolfgang Kampel, Bjorn Aas e Amund Bruland. «Charateristics of energy-efficient swimming facilities - A case of study». In: *Energy* (2014).
- [5] Wolfgang Kampel et al. «A proposal of energy performance indicators for a reliable benchmark of swimming facilities». In: *Energy and Buildings* (2016).
- [6] Regioni e Province autonome di Trento e Bolzano Ministero della Salute, cur. *Conferenza Stato Regioni, Atto n.1605*. 2003.
- [7] R.Gerbo et al. «Progetto pilota di contabilità energetica e pre-diagnosi energetica del patrimonio edilizio e di illuminazione urbana di un'amministrazione pubblica». In: *La Termotecnica* (2015).
- [8] M.Mohammed Shah. «Improved method for calculating evaporation from indoor water pools». In: *Energy and Buildings* (2011).
- [9] M.Mohammed Shah. «Prediction of evaporation from occupied indoor swimming pools». In: *Energy and Buildings* (2002).
- [10] SPORTE2. *SportE2 - Energy Efficiency for Sport Facilities*. 2013. URL: <http://www.sporte2.eu/project-details;jsessionid=16c78ba78a9c09e0cb3526731e92>.
- [11] Peng Sung et al. «Analysis of indor environmental conditions and heat pump energy supply siystems in indoor swimming pools». In: *Energy and Buildings* (2010).
- [12] Luca A. Tagliafico et al. «An approach to energy saving assessment of solar assisted heat pumps for swimming pool water heating». In: *Energy and Buildings* (2012).
- [13] UNI, cur. *UNI 10367*. 2015.
- [14] Baris Yuce et al. «Utilizing artificial network to predict energy consumption and thermal comfort level: An indoor swimming pool case study». In: *Energy and Buildings* (2014).