

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA GESTIONALE SPECIALISTICA

Dipartimento DIEM

TESI DI LAUREA

in
Sistemi di produzione avanzati

***STUDIO DI FATTIBILITA' DI UN IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO
MEDIANTE SISTEMA GEOTERMICO: IL CASO OSPEDALE NUOVO DI
IMOLA***

CANDIDATO
Nesi Marco

RELATORE:
Prof.Ing. Cristina Mora

CORRELATORI:
Prof.Ing.Mauro Gamberi
Ing. Francesco Ferrari

Anno Accademico 2009/2010

Sessione II

<i>Sommario</i>	5
<i>Introduzione</i>	7
1. LA CENTRALE TERMICA E CONSUMO D'ACQUA DELL'OCN	9
1.1 L'ospedale civile nuovo di Imola	9
1.2 La centrale termica(zona frigorifera) e componenti dell'impianto esistente	11
1.2.1. I gruppi frigoriferi e le UTA	11
1.2.2. Le torri evaporative	18
1.2.3. L'addolcitore e relativo circuito	23
1.3 Dati storici relativi al consumo di acqua per la climatizzazione	25
2. POMPE DI CALORE GEOTERMICHE E IDEA PER L'IMPIANTO	29
2.1. Geotermia e pompe di calore: stato dell'arte	29
2.1.2. Pompe di calore geotermiche e ad acqua di falda	33
2.1.3. Sistema accoppiato gruppo frigorifero - accumuli termici	43
2.2. Il pozzo artesiano nel terreno dell'ospedale	46
2.2.1. I pozzi (perforazione, schema, livello statico e dinamico)	48
2.2.2. Problematiche relative all'eccessivo emungimento delle falde	53
2.2.3. Regolamento delle concessioni di derivazione di acqua pubblica	58
2.3 L'impianto di irrigazione degli orti	60
2.4 La proposta (utilizzare acqua di falda per il circuito torri evaporative e creare un ciclo per cui l'acqua venga riutilizzata contribuendo a rialimentare la falda)	64
3. LA PROGETTAZIONE	65
3.1. Dati preliminari	65
3.2. Rilevazioni sul campo	66
3.2.1 Andamento del consumo giornaliero delle torri	66
3.2.2 Scelta portata di progetto	73
3.2.3 Calcolo portate di evaporazione e spurgo delle torri evaporative	73
3.2.4 Misurazione elettrica e calcolo andamento consumo acqua per orti	78
3.3. La pompa sommersa, calcolo del livello dinamico del pozzo e scelta percorso	80
3.3.1 Calcolo livello dinamico del pozzo	86
3.3.2 Scelta percorso ed opere edili	88

3.4.Dimensionamento componenti e piping pozzo-CT	94
3.4.1. Le possibili configurazioni di impianto	94
3.4.2 L'addolcitore: dimensionamento	95
3.4.3 Sistemi di filtrazione	99
3.4.4 Dimensionamento serbatoio di accumulo	103
3.4.5 Scelta della pompa a valle del serbatoio e schema	111
3.4.6. Calcolo diametro tubazione pozzo-CT e verifica elettropompa sommersa	115
3.4.7 Scelta tra le configurazioni di impianto e portata di progetto	125
3.4.8.Schema dell'impianto ed interfacciamento con rete acquedotto	127
3.5.Dimensionamento del piping torri-orti	128
3.5.1.Problema della qualità dell'acqua spurgata	128
3.5.2 L'idea per l'impianto	129
3.5.3 Dimensionamento serbatoio a valle delle torri e scelta della pompa	129
3.5.4 Scelta del filtro automatico a carbone attivo	133
3.5.5 Dimensionamento piping inverso CT-pozzo e pompa a valle del serbatoio	133
3.5.6 Verifica soddisfacimento del fabbisogno per l'irrigazione	136
3.5.7 Dimensionamento della pompa a valle del serbatoio principale degli orti da 15 m3	148

4. ANALISI ECONOMICO-FINANZIARIA DEL PROGETTO **151**

4.1. Risparmio annuale dovuto all'utilizzo dell' acqua di falda	151
4.2. Esborsi per opere meccaniche (componenti dell'impianto)	154
4.3. Costi d'esercizio dei componenti	156
4.4. Esborsi per opere edili, elettriche e di sicurezza	157
4.5. Esborsi per concessione di derivazione acqua pubblica e spese d'istruttoria	159
4.6. Analisi dei flussi finanziari e calcolo di VAN e payback	160

Conclusioni **163**

Riferimenti Bibliografici **165**

Ringraziamenti **167**

L'obiettivo dell'elaborato è analizzare la fattibilità tecnica ed economica di un impianto di prelievo d'acqua da falda artesiana per lo scambio termico nell'impianto frigorifero centralizzato dell'ospedale civile nuovo di Imola. Esso provvede a fornire acqua refrigerata a tutte le unità di trattamento aria (u.t.a.) del complesso ospedaliero ed è finalizzato a garantire per ogni locale le specifiche condizioni igrometriche, nonché il benessere degli operatori e dei pazienti della struttura.

Il lavoro di progettazione ha riguardato il dimensionamento di componenti e reti idrauliche con l'ausilio del software "EPANET" (programma per la simulazione di reti idrauliche).

L'idea che ha guidato il presente elaborato è stata la creazione di un "ciclo" dell'acqua tale per cui l'acqua di scarto delle torri evaporative viene utilizzata per l'irrigazione degli orti nei pressi dei quale sorge il pozzo e successivamente, va ad alimentare la falda stessa. Le scelte progettuali hanno quindi dovuto considerare questo importante vincolo e sono state tese alla minimizzazione dei consumi d'acqua e, quindi, alla sostenibilità ambientale dell'intero impianto. In generale, infatti non è detto che la soluzione economicamente più vantaggiosa lo sia anche dal punto di vista ambientale. La soluzione adottata con rilancio dell'acqua agli orti limita il prelievo medio giornaliero d'acqua di falda di $20 \text{ m}^3/\text{gg}$ durante il periodo estivo. È stato dimostrato come il progetto sia tecnicamente fattibile e generi valore per l'impresa con indice di rendimento $IR(\text{VAN}/\text{Capitale investito})$ pari a 1,29 per i primi 20 anni e pari a 2,06 per n anni di funzionamento dell'impianto con un tempo di recupero del capitale investito pari a sei anni.

Produrre salute è estremamente oneroso anche in termini energetici e il continuo progredire della scienza e della tecnologia ha una ricaduta incrementale del “peso energetico” sul sistema sanità. In questa ottica è importante un progressivo utilizzo di energie da fonti rinnovabili e la qualificazione di investimenti strutturali con tecnologie costruttive che ottimizzano l’efficienza energetica e il risparmio idrico. Obiettivo di questa tesi è lo studio di fattibilità di un impianto di raffrescamento basato sul sistema geotermico da installare presso l’ospedale di Imola.

Il progetto dell’impianto considera quindi le alternative all’utilizzo di acqua di rete (acquedotto) per l’attuazione del ciclo frigorifero necessario alla climatizzazione estiva dell’intera struttura ospedaliera. Al di là del risparmio economico che si vuole conseguire con la costruzione di un nuovo impianto, l’obiettivo è quello di ricercare possibili riutilizzi dell’acqua di scarto del processo in ottica di risparmio idrico. Nel primo capitolo verrà analizzato l’impianto di condizionamento esistente della struttura ospedaliera con particolare riferimento alla climatizzazione estiva e l’andamento dei consumi d’acqua della centrale termica rapportati a quelli dell’intero complesso.

Verranno successivamente analizzate le alternative progettuali secondo lo stato dell’arte delle pompe di calore/macchine frigorifere alimentate da fonti geotermiche (terreno, falde sotterranee, corsi d’acqua) e sarà dedicata una piccola trattazione riguardo all’accumulo di energia termica ovvero l’accumulo di ghiaccio nelle ore di fermo impianto e la successiva utilizzazione del calore latente di fusione evitando del tutto o in parte l’impiego delle macchine frigorifere.

Nel terzo capitolo verrà descritto il processo di raccolta dei dati di input funzionali al dimensionamento del nuovo impianto di adduzione dell’acqua di falda per l’utilizzo indiretto della stessa nel circuito torri evaporative-condensatore della macchina frigorifera. Questa lunga, importante fase di raccolta dati è stata effettuata tramite rilevazioni sul campo: letture di contatori, misurazioni di portata, temperatura e umidità esterne, cronometraggi, strumenti di misurazione elettrici e meccanici per la

rilevazione delle distanze del percorso delle tubazioni. Il lavoro di progettazione dell'impianto idraulico vero e proprio avrà inizio soltanto al termine della pianificazione del percorso delle tubazioni e la definizione delle relative opere edili. La configurazione finale verrà scelta compatibilmente alla portata garantita dal pozzo e ai consumi d'acqua per ciclo frigorifero e irrigazione orti.

Una volta verificata la fattibilità tecnica del progetto, nel quarto ed ultimo capitolo verranno analizzati i flussi finanziari derivanti dallo stesso nell'ottica del calcolo del valore attuale dell'investimento e del payback. Una volta rispettati tutti i vincoli di progetto, la decisione di investimento dipenderà da questi due valori.

La centrale termica e consumo d'acqua nell'ospedale nuovo di Imola

1.1 L'OSPEDALE CIVILE NUOVO DI IMOLA

L'Ospedale nuovo si estende su una superficie di 40000 m². L'edificio principale è composto da 4 diverse macro aree tra cui la struttura più imponente composta di 6 piani dedicata alle degenze. Recentemente ampliato con la nuova struttura DEA di 5 piani contenente il nuovo pronto soccorso. Le entrate principali sono sul lato nord (pronto soccorso-nuovo DEA) e sul lato sud (dotato di ampio parcheggio). Il lato nord ovest si affaccia su una collina con terreno adiacente di proprietà comunale sul quale sorgono orti per anziani. La CT (centrale termica) è situata sul lato est e contiene gruppi frigoriferi, gruppi compressori per l'aria, serbatoi di accumulo d'acqua. In fig.1 si può vedere la pianta dell'ospedale dalla quale possiamo apprezzare l'estensione della struttura rispetto al terreno circostante, mentre in fig.2 si può vedere in dettaglio la struttura con i vari reparti/locali del complesso ospedaliero.

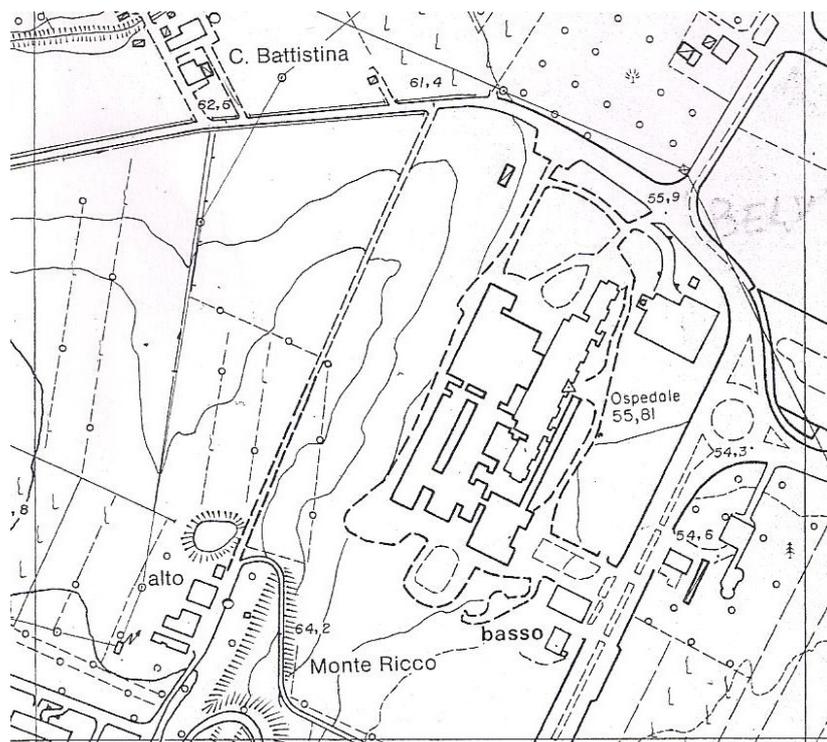


fig.1 pianta ospedale

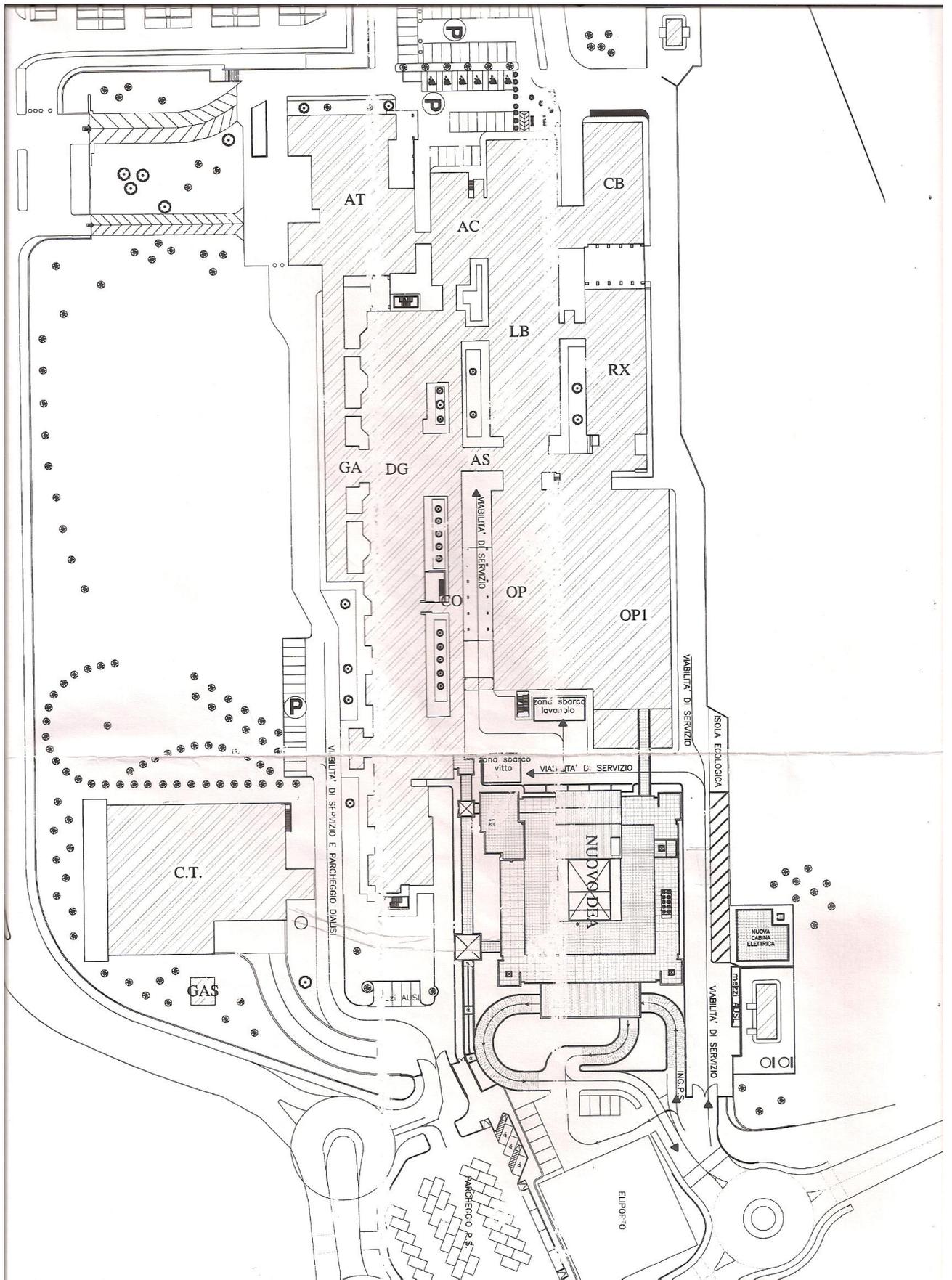


fig 2 pianta ospedale con dettaglio dei reparti

AT: portineria

AC,CB: ex pronto soccorso e centro raccolta sangue

LB:Laboratori di analisi (edificio di 2 piani)

GA,AS,CO: corridoi

DG: degenze (diviso in DG1,DG2(con ostetricia sala travaglio), 6 piani)

OP : sale operatorie (2 piani)

OP1: pediatria-ambulatori (2 piani)

RX: Sale raggi (2 piani)

CT: centrale termica

1.2 LA CENTRALE TERMICA (ZONA FRIGORIFERA) E IL CONDIZIONAMENTO ESTIVO

1.2.1 I gruppi frigoriferi e le UTA

Il fluido refrigerato destinato alla climatizzazione è attualmente prodotto da due chiller acqua/acqua con condensazione su torre evaporativa prodotti dalla YORK. Essi sono in grado di funzionare indipendentemente e sono coordinati da un sistema di gestione elettronico di produzione YORK.

Le due unità sono caratterizzate dai seguenti parametri:

□ unità 1: modello York YK ADADP55CJF con compressore centrifugo del tipo aperto con inverter, condensatore ed evaporatore a fascio tubiero:

- potenza frigorifera: 1500KW
- Potenza elettrica assorbita: 255 KW
- C.O.P. 5,9 (al 100% potenzialità frigorifera)
- C.O.P.medio stagionale 10.0
- CO.P. massimo a 12,0 in corrispondenza di un carico frigorifero del 50%
- Refrigerante: R134a
- Portata d'acqua refrigerata: 72 l/s
- Portata d'acqua raffreddamento al condensatore: 82 l/s

- Temperature ingresso-uscita acqua evaporatore: 12-7 °C
- Temperature ingresso-uscita acqua condensatore: 29-34,07 °C

□ unità 2: modello York YK ADACP45CGE con compressore centrifugo aperto monostadio e moltiplicatore di giri incorporato:

- potenza frigorifera: 1100KW
- Potenza elettrica assorbita dal motore: 195KW
- C.O.P. 5,6 (al 100% potenzialità frigorifera)
- C.O.P.medio stagionale 8,5
- CO.P. massimo a 9,8 in corrispondenza di un carico frigorifero del 50%
- Refrigerante: R134a
- Portata d'acqua refrigerata: 53 l/s
- Portata d'acqua raffreddamento al condensatore: 61 l/s
- Temperature ingresso-uscita acqua evaporatore: 12-7 °C
- Temperature ingresso-uscita acqua condensatore: 29-34 °C

La potenza frigorifera totale installata si attesta a **2600 KW**.

Vediamo il loro funzionamento in sintesi.

Dal lato condensatore (vedi figura 3) esce acqua calda che poi viene raffreddata in un altro scambiatore aria-acqua, ovvero la torre di

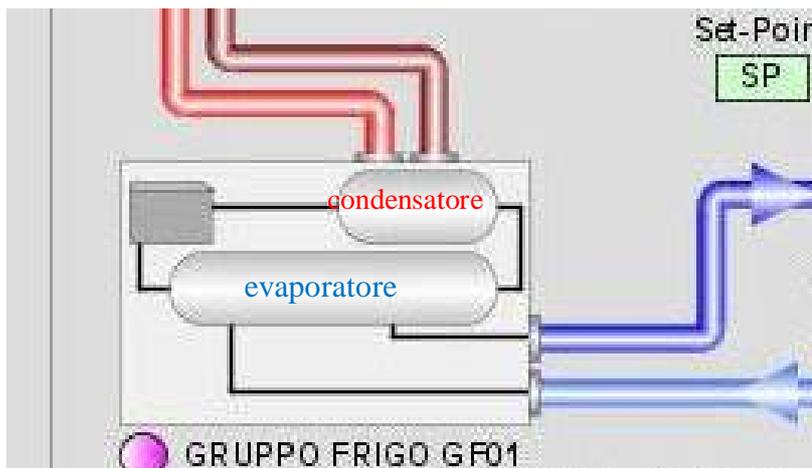


fig.3 schema essenziale gruppo frigorifero

raffreddamento (o torre evaporativa), e che rientra con un salto termico di 5-6°C dipendente dalla temperatura del fluido in entrata e dalle condizioni igrometriche dell'aria esterna (circuito condensatore-torre).

L'acqua di ritorno dalla torre entra nello scambiatore e si riscalda: il fluido frigorifero in stato di vapore surriscaldato e portato alla pressione P_c (pressione di condensazione) dal compressore cede calore al lato acqua del condensatore e torna allo stato liquido e di conseguenza l'acqua si riscalda. Abbiamo tre circuiti separati: quello dell'acqua "calda" lato condensatore-torre, il circuito del fluido frigorifero (con due sotto circuiti a pressione più bassa nel lato evaporatore e più alta grazie al lavoro del compressore in quello del condensatore) ed infine il circuito dell'acqua "fredda" lato evaporatore.

In quest'ultimo circuito l'acqua entra e si raffredda scambiando calore con il fluido frigorifero: l' R134a a pressione di evaporazione P_v (o pressione di vaporizzazione) assorbe calore dal lato acqua dello scambiatore evaporando, mentre l'acqua di conseguenza si raffredda cedendo calore al fluido frigorifero.

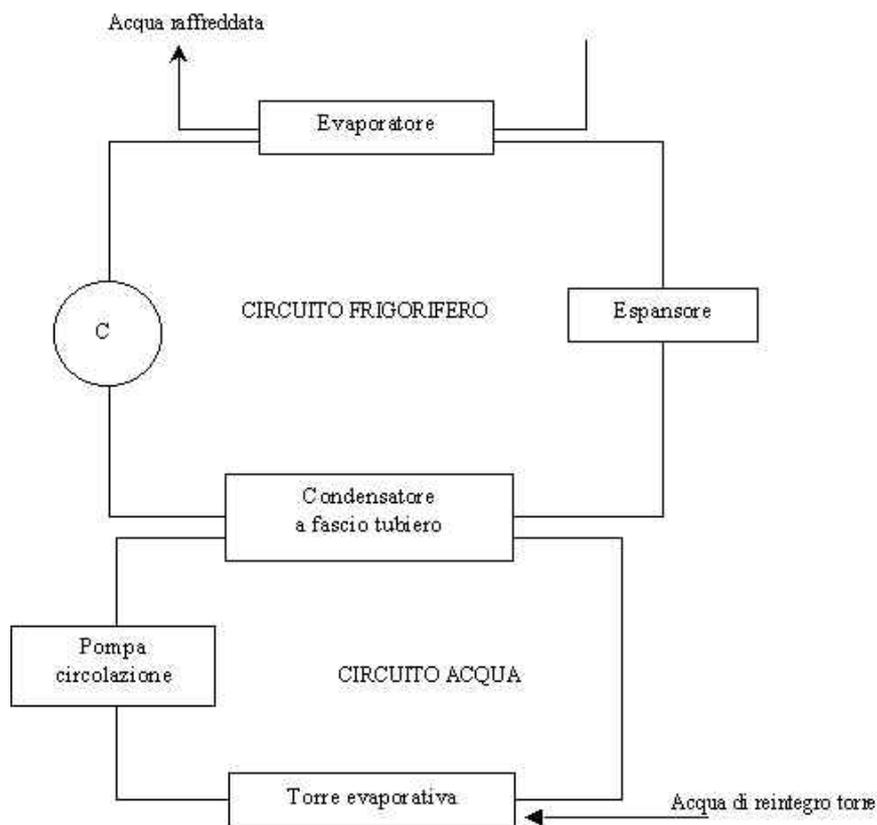


fig.4 schema dei tre circuiti frigorifero, lato condensatore ed evaporatore

L'acqua in uscita dal lato evaporatore del "frigo" arriva ad un collettore e viene pompata, attraverso un sistema di 3 pompe "due su tre" (la terza si

attiva in solo caso di guasto di un'altra) alle “batterie del freddo” delle UTA dislocate lungo tutta la struttura, ciascuna dedicata alla climatizzazione di una certa area/reparto.

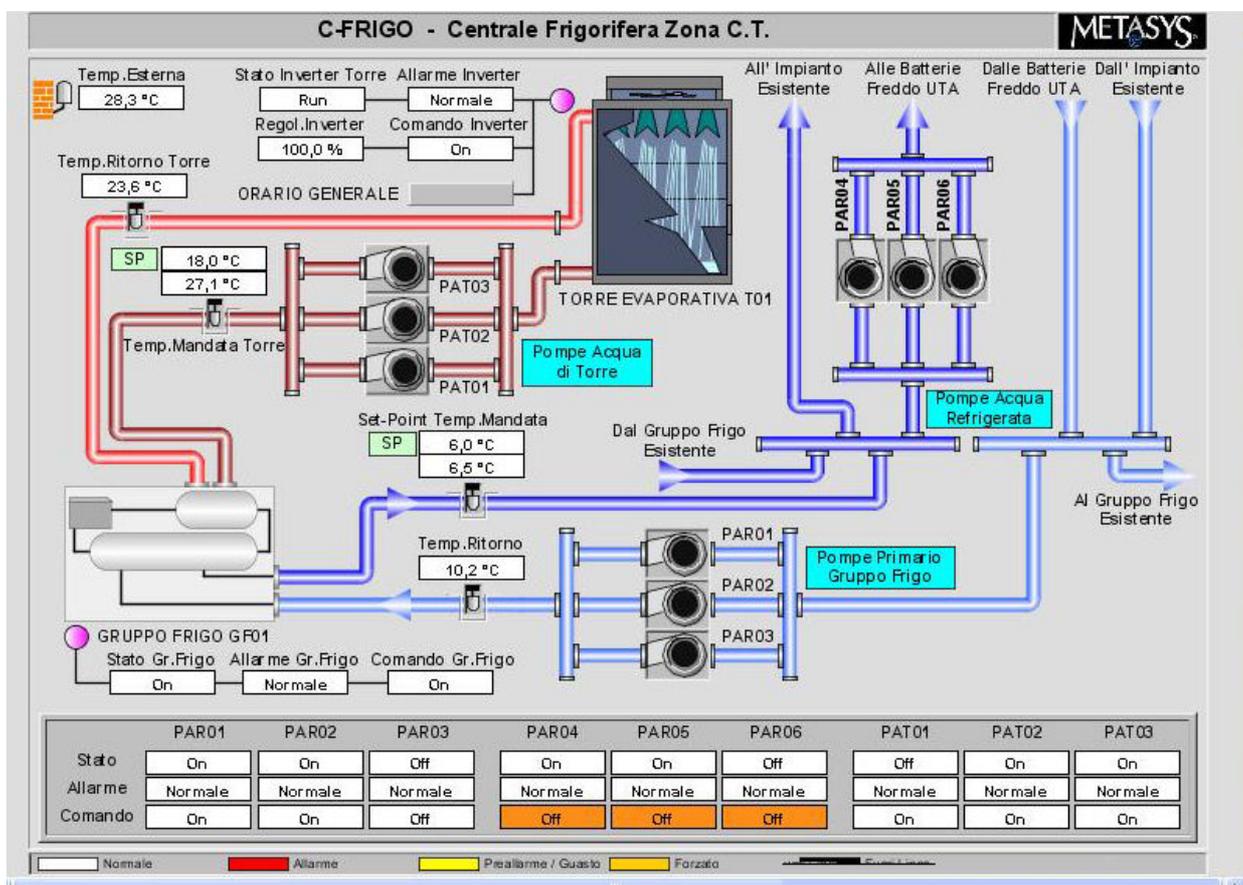


fig.5 schema circuito torre-frigo e frigo-utenze con gruppo di pompaggio di distribuzione

Vediamo la dislocazione delle UTA nella struttura ospedaliera:

- Reparto OP: 3 UTA dislocate sul tetto; una UTA per ogni 2 sale operatorie per un totale di 3 UTA
- OP1: 6 UTA posizionate sul tetto di cui 4 per il reparto pediatria sul piano rialzato e due per gli ambulatori a piano terra
- Nuovo DEA: una UTA per ogni piano quindi 6 unità collocate al quinto piano sul tetto della struttura (c'è anche il piano interrato). Da segnalare la presenza di un gruppo frigorifero aria/acqua posizionato sempre sul tetto tenuto sempre acceso, anche in inverno, per raffreddare le sale server e quadri elettrici con circuito acqua fredda più fan coil.
- DG1: due UTA collocate nel sotterraneo, una per la prima parte delle degenze più una seconda per l'ex rianimazione

- DG2: due UTA nel sotterraneo, una per la seconda parte del reparto degenze ed una per l'ostetricia-sala travaglio contenute in DG2
- RX: 2 UTA sul tetto (per sale risonanza e TAC)
- LB: 1 UTA che serve due zone (UTA collocate nel sotterraneo)
- AC,CB: 1 UTA che serve le due zone (UTA collocate nel sotterraneo)

Le UTA operano sia in configurazione estiva con batteria di raffreddamento e deumidificazione aria, sia in configurazione invernale con batteria di riscaldamento e umidificazione aria alimentata da teleriscaldamento. In particolare il fluido caldo proveniente da teleriscaldamento centralizzato (centrale HERA) arriva nei sotterranei e cede calore al circuito d'acqua interno tramite un sistema di scambiatori di calore a piastre. L'acqua circolante nel circuito interno andrà ad alimentare le "batterie del caldo" delle UTA in configurazione invernale.

L'impianto di climatizzazione è "a tutt'aria" come prevedibile per grandi volumi di ambiente da climatizzare e prevede tutte le unità centralizzate di trattamento aria (UTA) precedentemente elencate con annessi circuiti per la distribuzione e captazione dell'aria.

Vediamo nella figura seguente il dettaglio di una UTA (prendiamo come esempio l'UTA che serve il quarto piano del nuovo DEA).

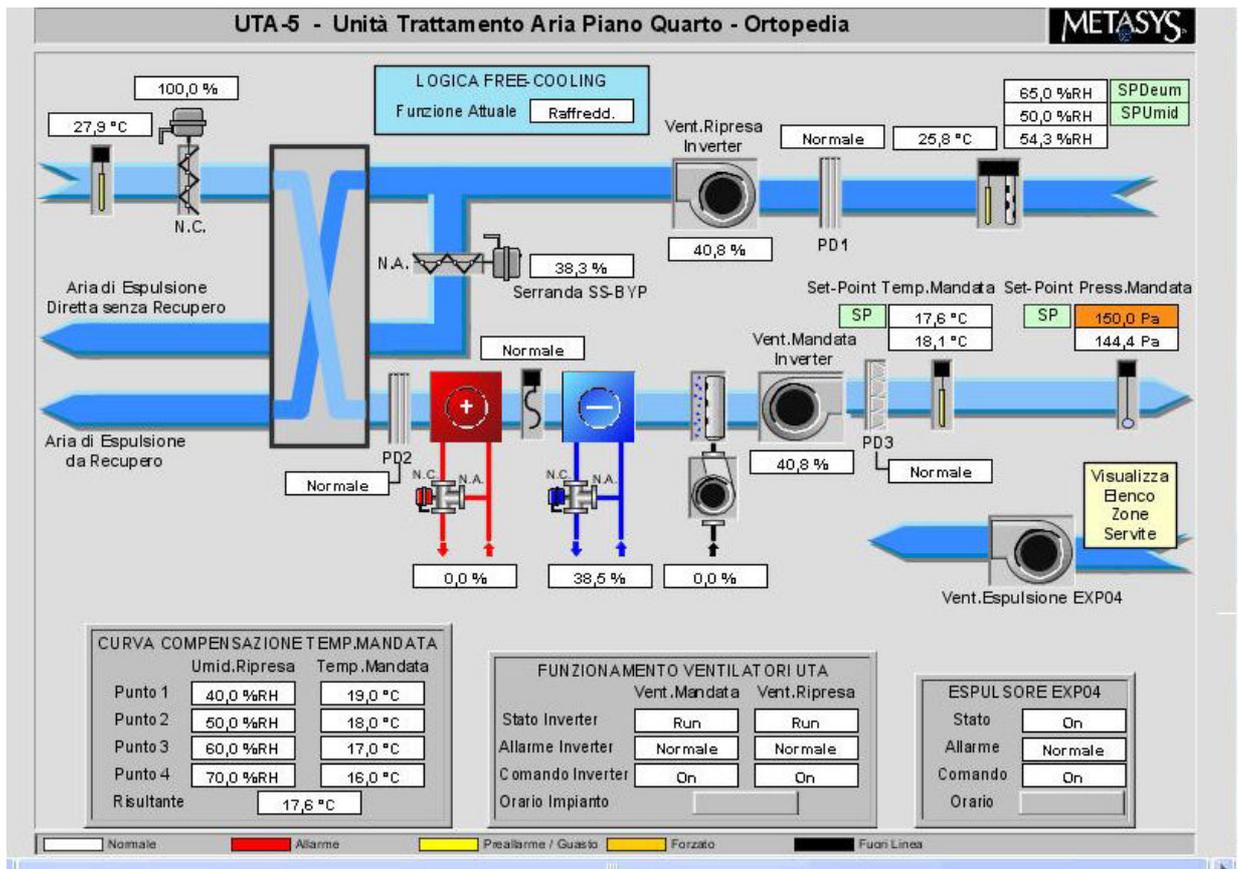


fig.6 schema dell'UTA del quarto piano (reparto ortopedia)

Tutte le UTA , tranne quelle che servono aree adibite a soli uffici come il quinto piano del nuovo Dea, sono a tutt'aria esterna: il ricircolo per motivi igienici non è consentito. Il calore dell'aria captata in uscita dal sistema viene recuperata attraverso uno scambiatore aria-aria a superficie. Tale scambiatore recupera il calore in uscita diminuendo il lavoro utile compiuto dalla batteria del freddo. La percentuale di recupero è regolata tramite l'apertura o chiusura di una serranda (regolata attualmente al 40% di apertura) nonché una valvola che provvede a bypassare il flusso d'aria in ingresso allo scambiatore di calore.

Per il quinto ed ultimo del nuovo Dea adibito a soli uffici viene utilizzata un'UTA a ricircolo parziale di aria date le condizioni sanitarie meno stringenti.

Le batterie di post riscaldamento sono poste direttamente nei locali (vedi esempio di dislocazione del quarto piano nuovo Dea in fig.7).

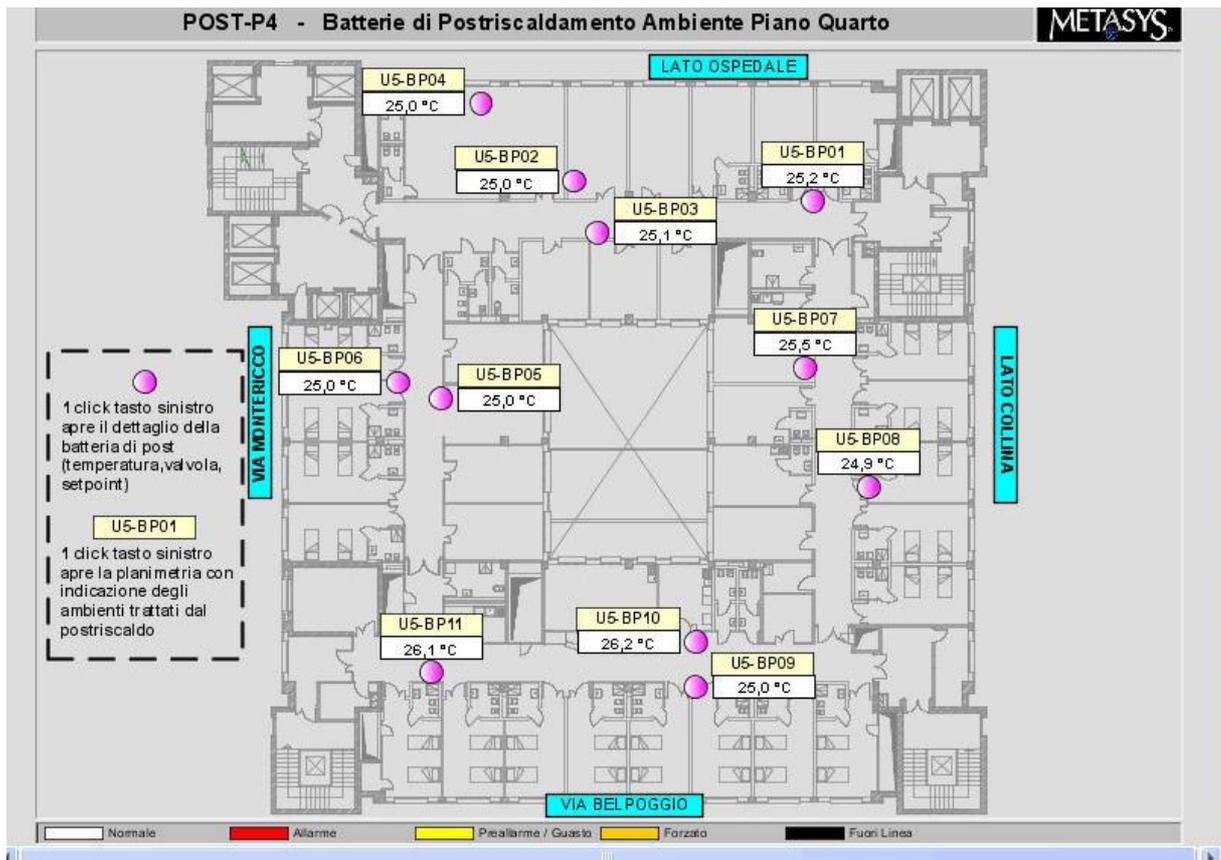


fig.7 posizionamento delle batterie di post-riscaldamento, 4° piano nuovo Dea

Ogni batteria di post-riscaldamento serve una determinata area costituita da più stanze ed ognuna viene impostata ad una temperatura obiettivo (set point) in base alle condizioni igrometriche richieste. Il sistema di controllo provvede istante per istante a monitorare la situazione tramite sensori di temperatura e valvole di regolazione.

1.2.2 Le torri evaporative

Nel processo di condizionamento estivo, si deve smaltire una grande quantità di calore verso l'ambiente esterno. Un metodo per trasferire questo calore all'ambiente esterno è quello di far uso delle torri di raffreddamento. Si utilizza a questo scopo due torri di **raffreddamento ad umido** (o evaporative) nelle quali il fluido dell'impianto (acqua calda) viene in intimo contatto con l'aria esterna. Lo scambio di calore tra l'acqua e l'aria avviene per *evaporazione* di una piccola quantità di acqua e, in misura minore, per *convezione*.

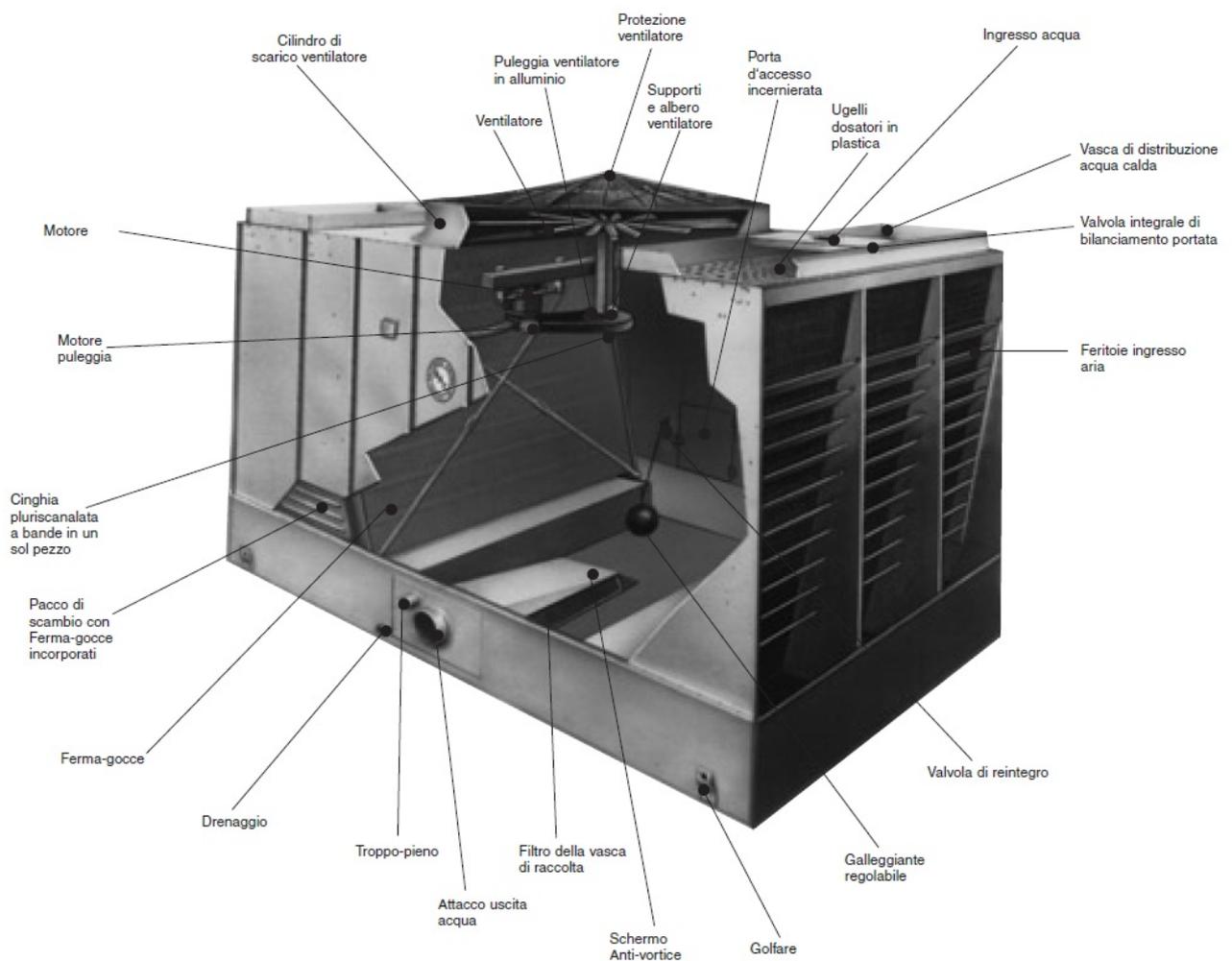


fig.8 spaccato della torre di raffreddamento

Ogni torre è accoppiata al relativo gruppo frigorifero: il motore del ventilatore della torre è collegato all'inverter del motore del compressore

della pompa di calore così da variare i giri dell'albero del ventilatore in funzione del carico termico richiesto per il condizionamento.

Entrambe le torri sono di tipo aperto a correnti incrociate con ventilatori assiali in aspirazione ed entrambe modelli di marca B.A.C. (Baltimore Aircoil Company):

Torre evaporativa "piccola": - modello S 3665 QA

- Capacità termica di 1300 KW
- Portata d'acqua totale: 62 l/s
- Portata d'aria: 46,3 m³/s
- Volume vasca: 5046 litri

Torre evaporativa "grande": - Capacità termica di 1700 KW

- Portata d'acqua totale 83 l/s

Nelle torri di raffreddamento l'aria circola per **tiraggio forzato** (in caso contrario dovrebbero essere di forma iperbolica e di grande altezza) grazie ad un *ventilatore assiale del tipo aspirante* collocato nella parte superiore.

L'acqua calda viene immessa dall'alto in controcorrente e distribuita per gravità su di una serie di superfici di ruscellamento realizzate con un impilaggio di corpi vuoti di materiale plastico (polietilene) che formano canali verticali con superficie di scambio estesa. (al fine di favorire il contatto con l'aria immessa dal basso). L'acqua viene ripartita uniformemente sui corpi di riempimento per mezzo di ugelli spruzzatori montati sui tubi in acciaio zincato nelle rampe principali e secondarie; in genere gli ugelli sono in materia plastica (nylon) rinforzata con fibra di vetro, in grado di assicurare una polverizzazione spinta dell'acqua anche quando la pressione a monte non supera i 0,5 bar.

L'acqua viene raccolta nella vasca sottostante e rimessa nel circuito.

Una valvola a galleggiante provvede a reintegrare la vasca con acqua di reintegro proveniente dall'addolcitore di durezza pari a 0 gradi Francesi.

Riepiloghiamo i componenti principali della torre di raffreddamento:

1. ventilatore assiale (aspirante) montato nella parte superiore comandato direttamente dal motore elettrico.

2. rampe di distribuzione dell'acqua con ugelli sferici in plastica che assicurano la ripartizione uniforme dell'acqua. La traiettoria di rotazione dell'acqua negli ugelli evita qualsiasi rischio di blocco
3. Separatore di gocce in polistirolo che garantisce il trattenimento delle gocce d'acqua trascinate dall'aria
4. Superficie di scambio di calore (corpi di riempimento o di ruscellamento) in materiale sintetico o cellulosa. L'eventuale intasamento dello scambiatore a causa di depositi di vario genere è pressoché escluso perché l'acqua circola in canaletti con larghezza di 20mm. Il materiale non può arrugginire o imputridire.
5. La carrozzeria e la vasca inferiore di raccolta sono in poliestere rinforzato con fibra di vetro, materiale molto resistente anche in presenza di acque aggressive.
6. Le griglie di presa d'aria sono munite di persiane che impediscono ogni spruzzamento d'acqua verso l'esterno. La vasca inferiore è inoltre munita di un filtro a setaccio e di una valvola a galleggiante e, in caso di funzionamento invernale, da un riscaldatore elettrico.

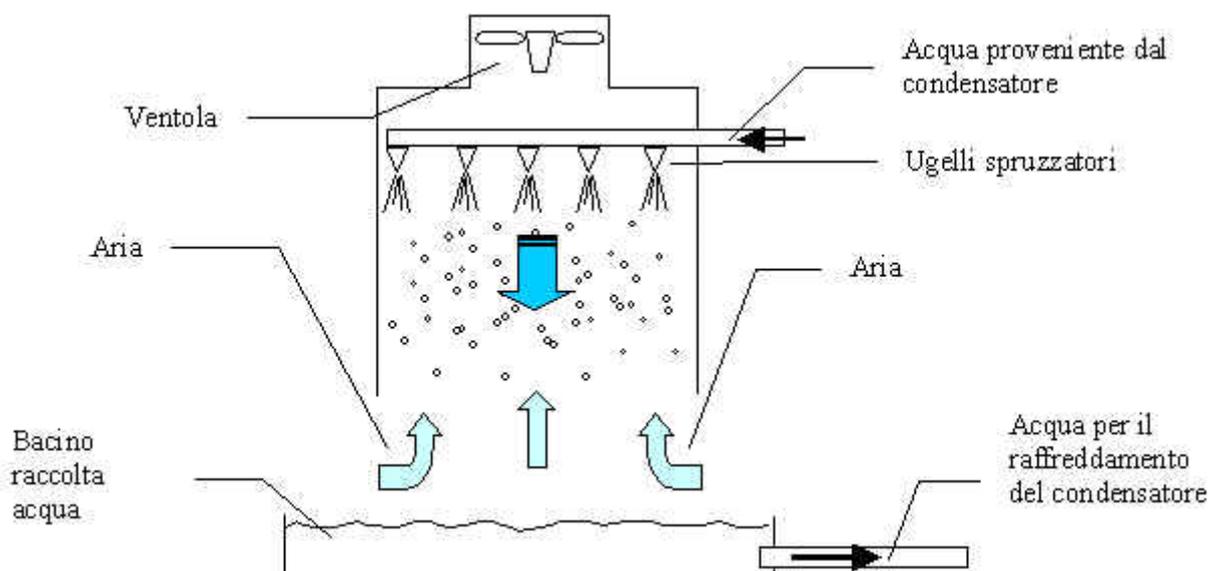


fig.9 schema funzionamento torre evaporativa

L'acqua in ingresso necessita inoltre di un trattamento chimico e biologico attraverso l'utilizzo di due prodotti: l'antialghe WTD842/D in quantità pari a 1,5 litri 3 volte a settimana per un totale di 4,5 litri a settimana e l'anti incrostante WTC153 in quantità di circa 1,25 ml ogni circa 4-5 litri d'acqua

(calcolo spannometrico) in soluzione 90% acqua, 10% anti incrostante. L'antincrostante viene aggiunto all'acqua mediante un sistema di alimentazione automatica calibrato e continuo composto da misuratore di portata e pompetta per immissione liquido da un piccolo serbatoio; tutto ciò per evitare concentrazioni localizzate di prodotto. E' importante evitare incrostazioni e crescita di alghe le quali diminuiscono efficienza del sistema nonché la capacità di scambio termico. La qualità dell'acqua in entrata e uscita dal sistema viene periodicamente monitorata e i dati confrontati con un operatore esterno specializzato. In figura 10 si riporta lo schema del circuito condensatore-torre evaporativa.

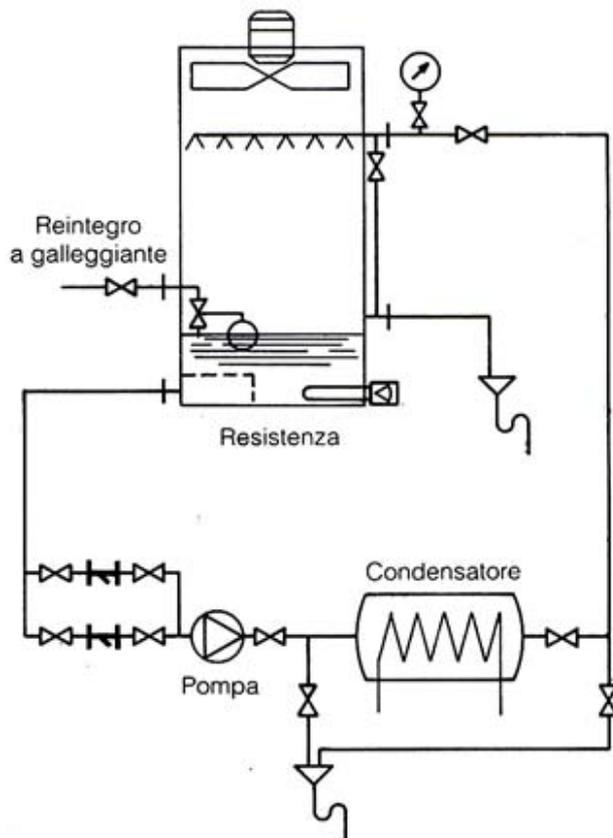


fig 10 schema circuito condensatore torre

Durante il suo funzionamento aumenta la concentrazione di corpi solidi ed impurità aumentano nell'acqua: tale valore deve essere monitorato per un'ottimale efficienza di scambio termico e per prolungare al massimo la

vita dell'apparecchiatura. Un'elettrovalvola provvede allo spurgo del fluido qualora esso superi un dato valore limite di conducibilità [$\mu\text{Siemens/cm}$].

La durezza totale dell'acqua si definisce come la somma della durezza temporanea ovvero la sua concentrazione in sali di calcio o magnesio sottoforma di carbonati e bicarbonati e la durezza permanente ovvero la sua concentrazione in solfati, cloruri, nitrati e silicati. La durezza totale (o titolo idrotimetrico TH) si misura solitamente in gradi francesi o tedeschi.

1°f (grado francese) o $^\circ\text{TH}$ (titolo idrotimetrico) = 0,56 gradi tedeschi.

In Emilia Romagna l'acqua è molto dura: a Imola infatti la durezza dell'acqua di rete si aggira sui 40°f (un'acqua si definisce dolce se ha una durezza $<5^\circ\text{f}$).

Si riscontra un aumento della conducibilità elettrica in modo proporzionale alla quantità delle sostanze disciolte: questo è un parametro utile per ottenere una misura, seppur approssimata, del contenuto di sali disciolti in un'acqua minerale.

L'acqua molto "pura" presenta una conducibilità elettrica molto bassa (circa $1/10$ [$\mu\text{S/cm}$]). La conducibilità dipende dalla temperatura e quindi occorre riportare i valori misurati a quelli teorici che si avrebbero ad una temperatura di riferimento di 25°C (oppure di 18°C o 20°C). La misura della conducibilità elettrica costituisce un metodo indiretto, seppur approssimato, per ricavare il residuo fisso di un'acqua. La maggior parte delle acque minerali commercializzate presenta conducibilità elettrica compresa fra 100 e $700 \mu\text{S/cm}$. L'elettrovalvola si apre al valore riscontrato di conducibilità dell'acqua in vasca pari a $2300 \mu\text{S/cm}$.

Il conducimetro è posizionato in maniera ottimale mezzo metro sopra la valvola di spurgo in modo da garantire una lettura non distorta del valore.

I valori medi di conducibilità registrati in ingresso e in uscita dalla torre sono:

ingresso $1000 \mu\text{S/cm}$

uscita $2200-2300 \mu\text{S/cm}$

1.2.3 L'addolcitore e relativo circuito

Un aumento di temperatura dell'acqua (sufficiente un riscaldamento a 30-35°C) provoca uno sbilanciamento dell'equilibrio carbonico dell'acqua che provoca la formazione di calcare. In particolare si trasformano i bicarbonati di calcio e magnesio (solubili) in carbonati di calcio e magnesio (non solubili) che tendono a precipitare formando incrostazioni.

Per eliminare calcio e magnesio si opera l'addolcimento con resine a scambio ionico (sostanze organiche prodotte artificialmente) le quali sostituiscono queste due sostanze con il sodio il cui carbonato è perfettamente solubile.

Un addolcitore in sè è semplicemente un contenitore riempito con resine attraverso il quale passa l'acqua da addolcire. Tale contenitore deve però permettere l'effettuazione della rigenerazione delle resine che si effettua aspirando la salamoia (acqua contenente forte concentrazione di ioni di sodio) e facendola passare attraverso le resine tramite eiettori.

Si utilizza un impianto a doppia colonna con comando volumetrico la quale permette erogazione d'acqua continua nelle 24 h avendo una colonna di resine in esercizio ed una in rigenerazione: in un contesto ospedaliero non ci si può permettere di interrompere il flusso d'acqua addolcita. In caso di consumi d'acqua variabile come il nostro si utilizza un sistema di rigenerazione automatica con dispositivo di controllo volumetrico:esso consente di effettuare la rigenerazione delle resine solo ad ogni fine ciclo d'acqua addolcita che lo stesso può erogare (riducendo anche il consumo di sale per la rigenerazione). Il modello utilizzato è il è Culligan ULTRA LINE SOFT duplex HB1000-HB1300.

L'addolcitore ricopre un ruolo importante: attraverso esso passa tutto il fabbisogno di acqua dell'ospedale che possiamo dividere in consumo d'acqua per le torri evaporative e consumo di acqua per tutta la struttura ospedaliera. L'acqua destinata a tutti gli utilizzi nella struttura viene stoccata in tre serbatoi da 200 m³ di capacità interrati subito fuori il lato ovest (verso Via Villa Clelia) della CT. Uno dei tre è destinato alla riserva anti incendio (obbligatoria per legge). L'acqua stoccata nei 3 serbatoi a 15°f viene successivamente pompata tramite gruppi di spinta con pressione di

mandata di 5 bar per raggiungere tutte le utenze della struttura. Vediamo in sintesi il circuito in fig.11.

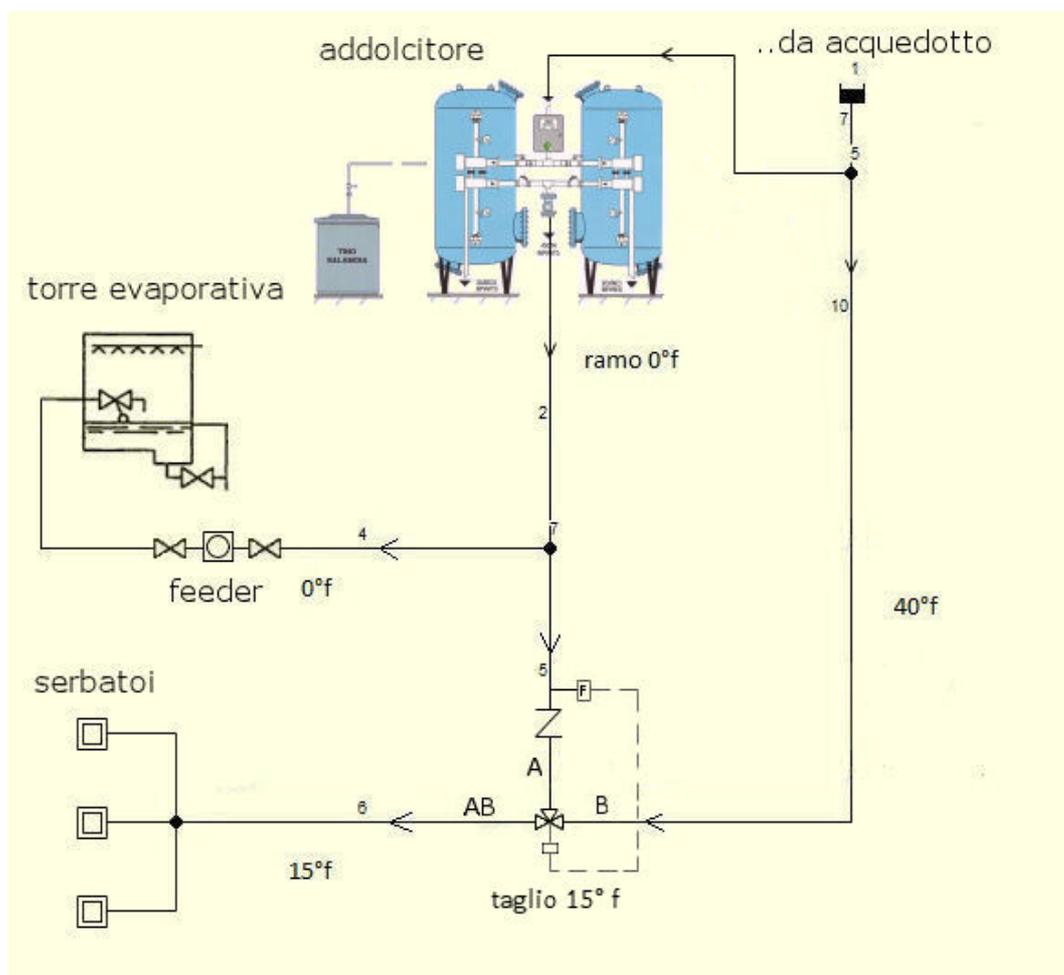


fig.11 circuito addolcimento acqua destinata sia alle torri che serbatoi

Tutta l'acqua consumata nell'OCN proviene dall'acquedotto e passa attraverso l'addolcitore dimensionato per una capacità di scambio massima pari a circa $5000 + 5000 \text{ [m}^3 \cdot \text{°f]}$ quindi un fabbisogno giornaliero d'acqua pari a $250 \text{ m}^3/\text{giorno}$ considerando una durezza media dell'acqua in ingresso pari a 40 °f . Opera ad una pressione di funzionamento di 2 bar compatibile con quella dell'acqua di rete in ingresso ed i parametri principali su cui si è effettuato il dimensionamento sono:

- Portata massima e fabbisogno giornaliero
- Capacità di scambio (che dipende anche dalla quantità di resine e sale usato per la rigenerazione)
- Durezza dell'acqua in entrata.

Tornando al circuito dell'addolcitore notiamo come l'acqua in uscita da esso sia a circa 0°f ed inviata con tali caratteristiche alle torri evaporative mentre viene inviata ai serbatoi interrati di accumulo (per il fabbisogno dell'ospedale) ad una durezza di 15°f grazie ad una valvola di "taglio" con otturatore a ghigliottina che regola la portata d'acqua di rete per la miscelazione.

1.3 DATI STORICI RELATIVI AL CONSUMO D'ACQUA PER LA CLIMATIZZAZIONE

Il costo dell'acqua per metro cubo è rilevante e si prevede nei prossimi anni possa toccare i 3-3,15 euro. I consumi medi elencati nelle tabelle sottostanti si riferiscono al solo utilizzo di acqua per il condizionamento estivo quindi per il periodo giugno-settembre per 120 giorni di funzionamento massimo a regime della centrale frigorifera più un periodo di prestagione nel quale vengono fatte manutenzioni e prove sulle torri o accensioni straordinarie.

costo attuale acqua da rete [euro/m3]	2,77
previsione breve termine [euro/m3]	3
consumo medio torre piccola [m3/gg]	35
consumo medio torre grande [m3/gg]	75

	anno 2003	anno 2004	anno 2005	anno 2006	anno 2007	anno 2008	anno 2009
totale consumo acqua torri [m3]			7078		7667	8684	9427
consumo acqua totale a regime	2197	3613	7078	4266	7667	8234	7479
tempo di riferimento considerato in regime [gg]	34	60	112	70	120	97	121
consumo medio acqua torri a regime [m3/gg]	64,6	60,2	63,2	61	63,9	84,9	61,8
durata prestagione [gg]						90	47
consumo acqua prestagione [m3]						450	1948
consumo medio prestagione [m3/gg]						5	41,5
consumo medio totale							
durata accensione combinata (circa) [gg]						42	nd
costo consumo acqua annuale [€/anno]			19606		21237,6	24054,7	26112,8

Il consumo d'acqua per le torri è cresciuto ogni anno per l'ampliamento di locali e sensibilmente tra il 2008 e il 2009 per l'apertura di una nuova ala dell'ospedale ovvero il DEA che contiene il nuovo pronto soccorso. Nel 2008 il consumo giornaliero è stato più elevato in quanto non era in funzione il gruppo frigorifero aria/acqua sul tetto del quinto piano nel nuovo Dea.

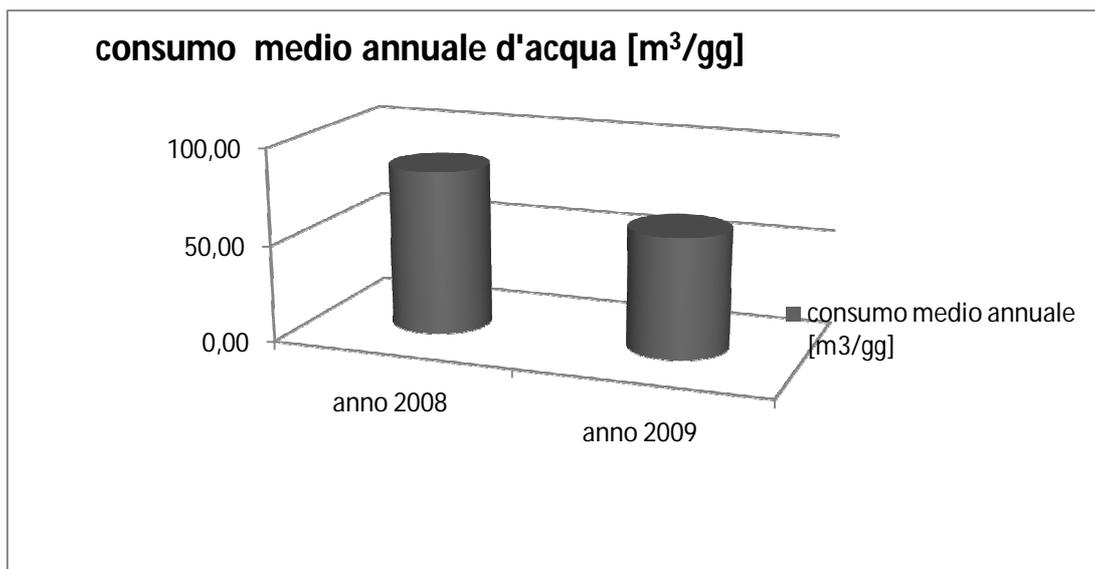


fig.12 consumo medio annuale di acqua in [m³/gg] per il reintegro delle torri evaporative: nel 2008 il consumo medio più elevato è dovuto al mancato funzionamento di un gruppo frigo ad aria ausiliario situato sul tetto del DEA

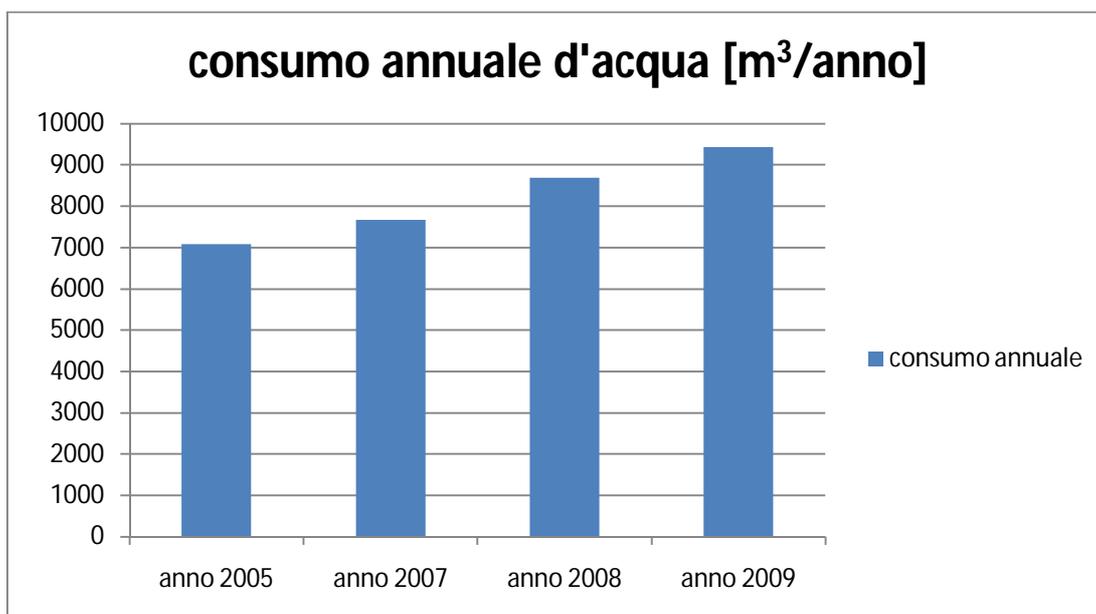


fig.13 consumo d'acqua annuale per il reintegro delle torri di raffreddamento [m³/anno]

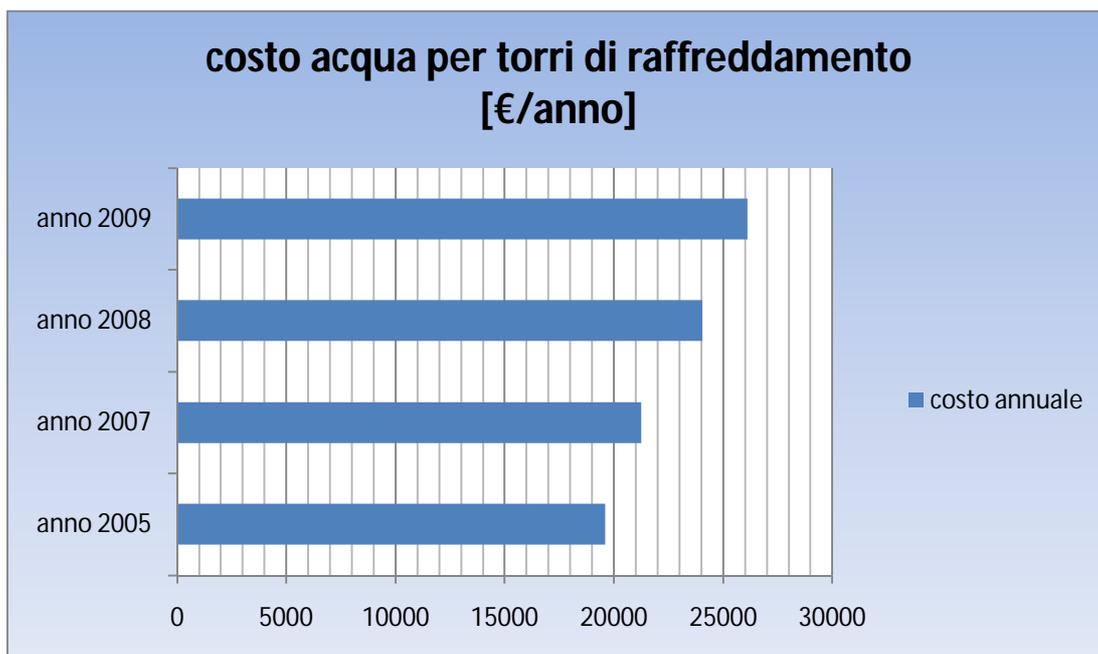


fig.14 costi annuali per l'acqua destinata al reintegro delle torri evaporative

Percentuale consumo acqua torri rispetto al totale consumi OCN e edifici ausl (ANNO 2009)

	anno
consumi [m3/anno]	2009
consumo acqua torri	9427
Consumo acqua OC nuovo (senza torri)	58353,5
Consumo acqua OC vecchio	6748,4
Consumo acqua Lolli (uffici)	9055,5

	anno
consumo istantaneo [m3/gg]	2009
consumo acqua torri	78,6
Consumo acqua OC nuovo (senza torri)	185,5
Consumo acqua OC vecchio	18,5
Consumo acqua Lolli (uffici)	24,8

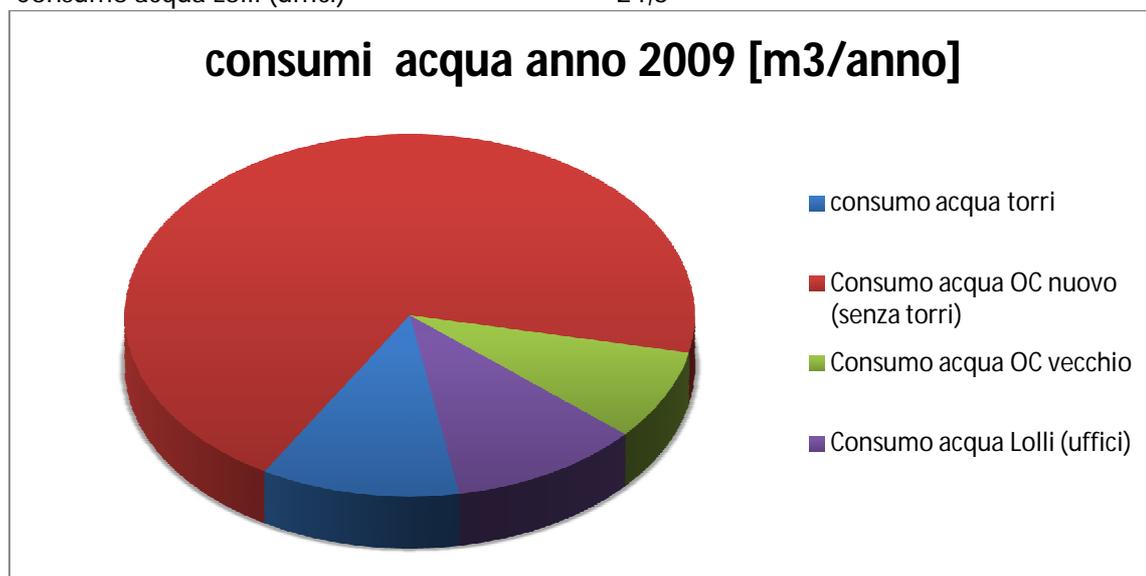


fig.15 consumi acqua anno 2009 relativi a tutte le strutture Ausl Imola

Il consumo d'acqua per le torri nella stagione estiva rappresenta l'11 % del totale fabbisogno d'acqua annuale del complesso ospedaliero di Imola che comprende ospedale civile nuovo, vecchio e gli uffici presso il complesso del Lolli adiacente all'ospedale vecchio. Gran parte di questo fabbisogno è rappresentato per il 70 % dal consumo dell'ospedale nuovo.

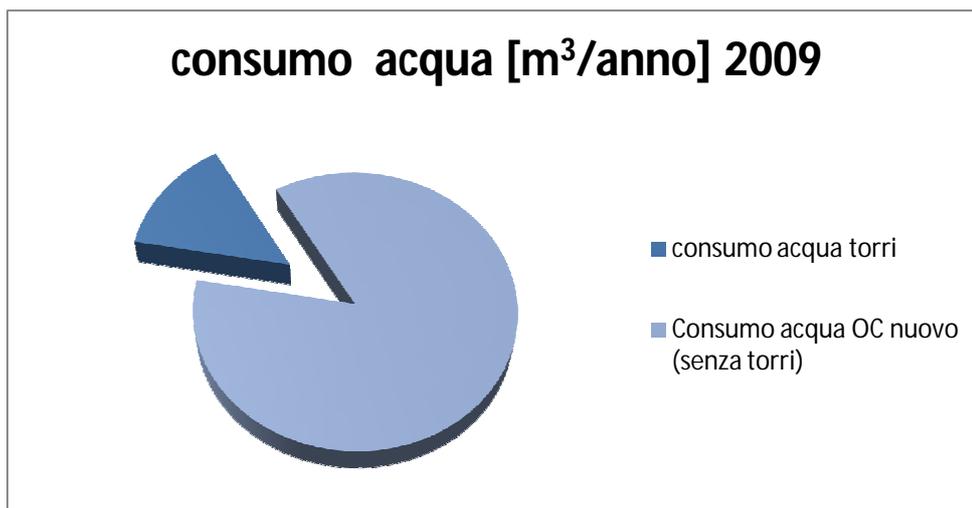


fig.16 Il consumo d'acqua per la climatizzazione estiva rappresenta il 14% del consumo totale d'acqua dell'Ospedale nuovo di Imola.

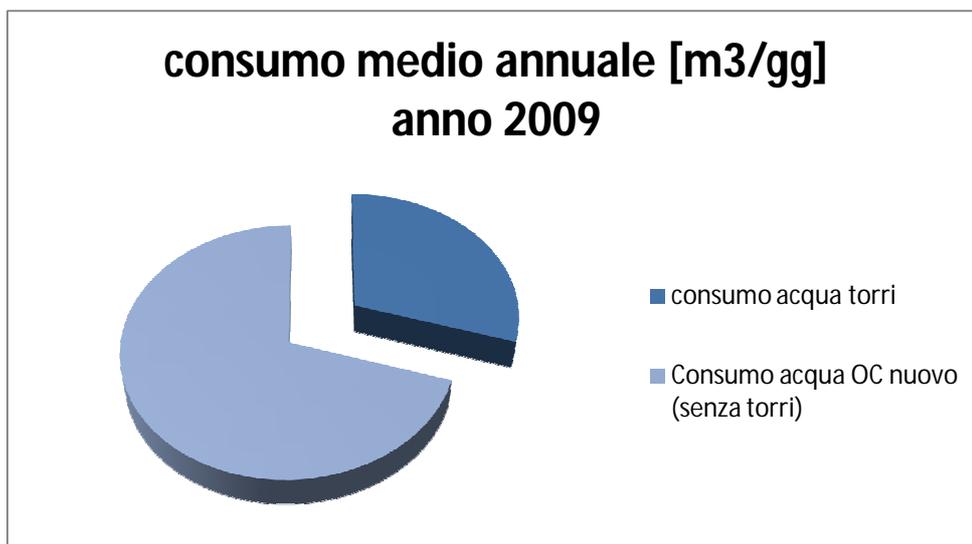


fig.17 Consumi medi annuali [m³/gg]: nel 2009 il consumo medio d'acqua per la climatizzazione estiva è stato circa 78,5 [m³/gg] durante i 120 gg di funzionamento dell'impianto frigorifero mentre il consumo medio di tutto l'OCN è stato 185 [m³/gg].

Pompe di calore geotermiche e idea per l'impianto

2.1 GEOTERMIA E POMPE DI CALORE: STATO DELL'ARTE

Sorgenti di energia esterne che forniscono calore da trasferire per il nostro impianto frigorifero:

- Aria
- Acqua (superficiale e sotterranea)
- Terreno
- Recupero termico
- Energia atmosferica (ad esempio il solare termico)

L'acqua nel sottosuolo (ad una T costante durante tutto l'anno di 12 –14 °C) è una risorsa di calore pressoché “illimitata” che a abbinata ad una pompa di calore (ciclo frigorifero), funzionante ad energia elettrica, consente a seconda delle esigenze di elevare o diminuire la temperatura del fluido impiegato negli impianti degli edifici per climatizzare gli ambienti. La pompa di calore differisce da un ciclo frigorifero solamente perché l'effetto utile é il calore fornito dal condensatore, anziché quello assorbito dall'evaporatore. In entrambi i casi, la spesa energetica per ottenere l'effetto utile é costituita dall'energia meccanica/elettrica assorbita dal compressore del ciclo frigorifero, senza il quale non sarebbe possibile sottrarre energia da una sorgente fredda.

Quando si confrontano le prestazioni di una pompa di calore, è meglio evitare il termine "efficienza", in quanto esso ha differenti significati. La resa di una pompa di calore è misurata dal coefficiente di prestazione, **COP**, dato dal rapporto tra energia resa (alla sorgente di interesse) ed energia consumata (di solito elettrica), usualmente indicato in *fisica tecnica* come coefficiente di effetto utile. Un valore del COP pari, ad esempio, a 3 indica che per ogni kWh d'energia elettrica consumato, la pompa di calore renderà 3 kWh di calore. In fase di raffreddamento la prestazione di una pompa di

calore è descritta dall'EER (*energy efficiency ratio*) o dall'SEER (*seasonal energy efficiency ratio*), migliori quanto più elevati. Il costruttore dichiara quindi sia il COP, sia l'EER (o l'SEER). In alcuni stati è richiesto un minimo valore del SEER: per esempio in Canada esso è 13; con l'uso di scambiatori e fluidi refrigeranti più efficienti, uniti a compressori a velocità variabile, si possono raggiungere valori pari a 17.

Per la sottrazione di energia termica (Q_l) dalla sorgente fredda, è necessario introdurre lavoro (L). La potenza termica Q_h riversata alla sorgente calda e'

$$Q_h = Q_l + L$$

Il coefficiente di prestazione (COP) di una pompa di calore e' dato dal rapporto fra l'effetto utile e la spesa energetica:

$$COP = \frac{Q_h}{L}$$

Q_h = potenza termica fornita dal condensatore all'utenza

L = potenza elettrica assorbita dal compressore

Per una pompa frigorifera si avrà

$$COP_f = \frac{Q_l}{L}$$

l'effetto utile è questa volta il calore sottratto alla sorgente fredda.

Valori sufficienti di COP di pompe di calore sono (in base alla norma EN255):

- 3.0 pompe aria-acqua (presa d'aria a 2°C e fornitura d'acqua a 35°C)
- 4.0 pompe a sonda geotermica (con sonda a 0°C e fornitura d'acqua a 35°C)
- 4.5 pompe acqua-acqua(acqua di prelievo del calore a 10°C e fornitura d'acqua a 35°C).

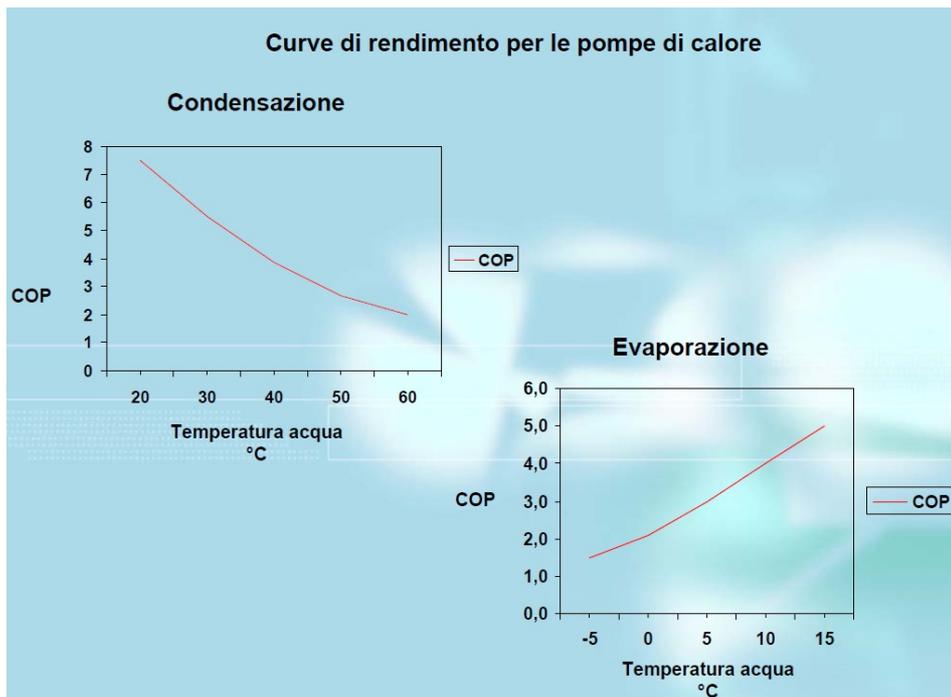


fig. 18 esempio di curve di rendimento per le pompe di calore

Esempi di fonti d'acqua utilizzabili dai sistemi a pompa di calore :

- Circuiti Acqua da torri evaporative
- Circuiti Acqua da processi industriali
- Acqua di falda (prima falda, falda sospesa, acquiferi potabili)
- Acqua di falda profonda ad alta temperatura (generalmente termali)
- Corsi d'acqua superficiale (fiumi, canali, ...)
- Bacini e Laghi

Tra le diverse sorgenti di calore disponibili, quelle più facilmente accessibili sono costituite dall'aria esterna e dall'acqua di fiume, di lago, di mare o di pozzo. Rimangono però più attraenti (per le pompe di calore) le sorgenti che forniscono calore ad un livello termico abbastanza elevato, come per esempio i fluidi geotermici o le acqua di scarto da processi industriali (discorso inverso per le pompe frigorifere) infatti minore è il salto termico tra la sorgente fredda e quella calda, maggiore è il COP della pompa di calore, con conseguente riduzione delle spese di esercizio.

CARATTERISTICHE DELLE PRINCIPALI SORGENTI FREDEDE PER POMPE DI CALORE

Sorgente	Aria	Acqua di superficie	Acqua di pozzo / falda	Terra (geotermia)	Energia solare	Acque reflue	Aria di espulsione da ambienti riscaldati o ventilati
disponibilità (luogo)	universale	rara	rara	molto rara	universale	rara	ambienti ove è possibile canalizzare l'aria di espulsione
disponibilità (tempo)	continua	continua	continua (a meno di un esaurimento del pozzo)	continua	intermittente e imprevedibile	legata al funzionamento dell'impianto che produce il refluo	continua
costo d'investimento	basso	abbastanza basso	variabile (dipende dal costo di scavo del pozzo)	molto elevato	elevato	abbastanza basso	abbastanza basso (nullo se l'aria di espulsione è già canalizzata)
costo di esercizio	relativamente basso	relativamente basso	basso	relativamente basso	basso	relativamente basso	basso
livello di temperatura	variabile	soddisfacente	più che soddisfacente	inizialmente buono: diminuisce col tempo e con la quantità di calore estratto	buono	soddisfacente / buono	più che soddisfacente
variazioni del livello di temperatura	grandi	moderata	piccole	abbastanza grandi	grandi	moderata	molto piccole

fig.19 principali sorgenti per pompe di calore

Parametri ed elementi che influenzano il COP:

- tipo di fluido frigorigeno prescelto
le caratteristiche salienti del fluido frigorigeno (freon) che influenzano il cop sono costituite dal calore latente specifico di condensazione e di evaporazione alle temperature prescelte e dalla configurazione del diagramma di stato nel campo delle temperature operative del ciclo
- numero di stadi del ciclo
un aumento del numero di stadi del ciclo porta ad un aumento del cp ma anche un aumento delle complicazioni impiantistiche e del costo di investimento
- rendimento del compressore, del moltiplicatore di giri e del motore
- fattore di sporcamento dell'evaporatore e del condensatore
- perdite di carico all'aspirazione di ogni stadio del compressore.

2.1.2 Pompe di calore geotermiche e ad acqua di falda

Il terreno è un utile mezzo di scambio termico[1] sia perché al di sotto di una certa profondità mantiene una temperatura pressoché uniforme durante l'anno e pari alla temperatura media dell'aria esterna, sia perché è un mezzo che possiede un buon calore specifico ed è quindi in grado di accumulare energia termica: entrambe queste caratteristiche fanno sì che possa essere considerato un serbatoio di energia termica. Da questa premessa discendono due utilizzi del terreno concettualmente diversi ma spesso accoppiati nella pratica:

- come serbatoio di energia termica da cui attingere calore in inverno (sorgente termica) e in cui scaricare calore in estate (pozzo termico);
- come volano di energia termica per accumulare calore in un certo intervallo temporale e rilasciarlo successivamente.

Similmente può dirsi degli acquiferi sotterranei, anche se il loro utilizzo come volano termico è molto più raro di quello di serbatoio termico.

Come serbatoio di energia termica il terreno o un acquifero sotterraneo può essere associato ad una pompa di calore per la produzione di energia termica, usualmente definita *pompa di calore geotermica* quando sfrutti il terreno come sorgente termica e *pompa di calore ad acqua di falda* quando sfrutti un acquifero sotterraneo come sorgente termica. Nel primo caso si utilizza uno scambiatore geotermico sotterraneo le cui sonde possono essere verticali o orizzontali, mentre nel secondo si emunge l'acqua dalla falda attraverso un pozzo di captazione e la si reimmette in falda a sufficiente distanza attraverso un pozzo di re-immissione. Dal momento che la pompa di calore può lavorare in inversione di ciclo come macchina frigorifera, gli stessi schemi impiantistici possono essere utilizzati per la produzione di energia frigorifera utilizzando come pozzo esterno per lo smaltimento del calore sottratto il terreno o l'acquifero sotterraneo. L'efficienza di conversione di queste tipologie di impianto può essere molto elevata in quanto le pompe di calore/macchine frigorifere lavorano con ridotto salto termico tra termostati caldo e freddo e temperature all'evaporatore e al condensatore costanti. Numerosi sono gli esempi di edifici che attestano la recente diffusione, anche in Italia, di pompe di calore geotermiche a servizio di edifici residenziali o terziari di ridotte dimensioni. Al crescere della potenza termica della pompa di calore l'estensione delle sonde geotermiche aumenta e perciò risulta possibile installare questo tipo di impianti in presenza di elevate superfici fondiari di intervento.

Il sistema di tubazioni che percorre il terreno può essere aperto o chiuso.

Si può fare riferimento a diverse configurazioni:

-Utilizzo Diretto (sistema aperto): le acque del sottosuolo vengono emunte, vanno direttamente all'evaporatore della pompa di calore e successivamente restituite in un corso d'acqua, di nuovo nella medesima falda o in un bacino appositamente costruito (e che permetta la rifiltrazione verso il terreno). Questa soluzione è quella preferibile dal punto di vista tecnico-economico poiché è la più semplice e meno costosa e permette di utilizzare l'intero salto termico disponibile.

Viene utilizzata limitatamente alle piccole installazioni di tipo domestico e con acqua di falda dalle caratteristiche favorevoli.

POMPE DI CALORE GEOTERMICHE

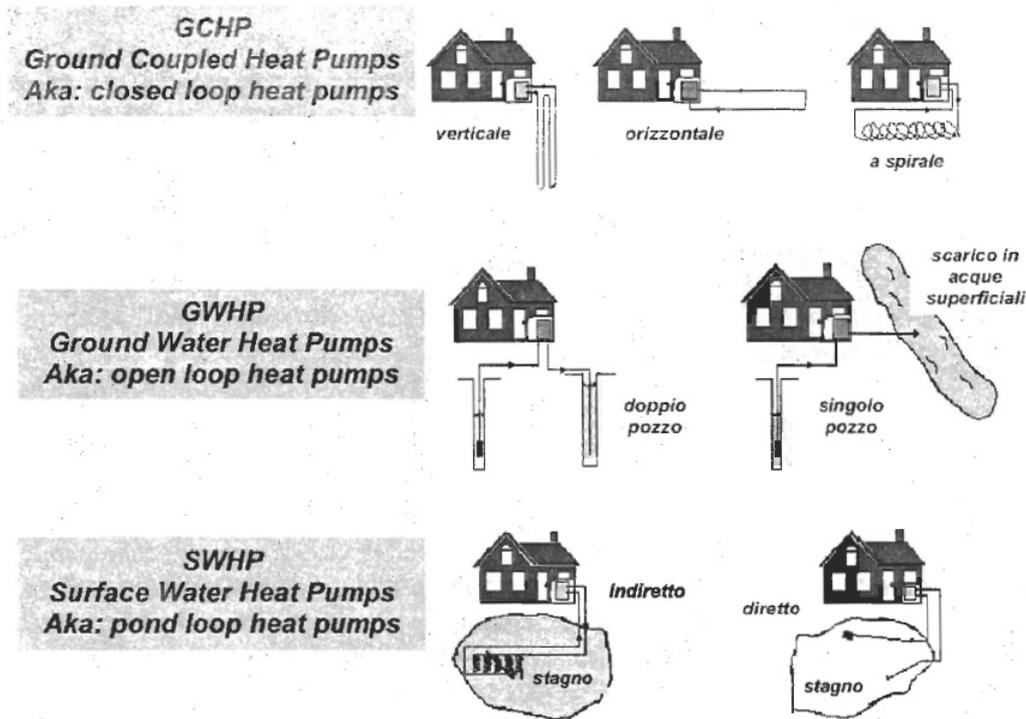


fig.20 schematizzazione dei diversi tipi di pompe di calore geotermiche

-Loop intermedio (sistema chiuso): lo schema è caratterizzato da un circuito intermedio che separa la pompa di calore dalla sorgente a bassa temperatura. Il calore è intercettato dal terreno per mezzo di una tubazione continua sotterranea, con al suo interno un fluido refrigerante (per le pompe a espansione diretta) o liquido antigelo mantenuto a bassa temperatura e pressurizzato. Esso evita la presenza di una superficie di scambio che veda da una parte l'acqua di falda e dall'altra il refrigerante. L'evaporatore viene altresì protetto dall'eventuale presenza di sostanze dannose presenti nell'acqua. Lo svantaggio di questa soluzione è che il circuito intermedio riduce di almeno 3-5 gradi il salto termico disponibile dall'acqua di falda. Questa costituisce la prassi comune per installazioni industriali, commerciali e residenziali centralizzate.

Si isola l'acqua di falda dal sistema nell'edificio tramite scambiatori di calore di disaccoppiamento, nonostante ciò possa leggermente incrementare i costi di impianto e certamente aumentare il consumo energetico d'esercizio per il livello di temperature meno favorevole e le maggiori perdite di carico

complessive. Il risparmio nella manutenzione giustifica ampiamente questa scelta.

Detti scambiatori di disaccoppiamento sono ora comunemente del tipo a piastre con guarnizioni,assemblate su supporto, e dimensionati per temperatura di approccio molto ridotta (attorno a 2K) con bassi valori del coefficiente di sporcamento, per la facilità di pulizia periodica tipica di questi apparecchi; il materiale delle piastre,quando il contenuto in cloruri dell'acqua di falda è inferiore a 200 mg/Kg (ppm), può essere acciaio inossidabile tipo AISI 304. Oltre che per la facilità di pulizia questi scambiatori sono molto favorevoli nelle applicazioni con acqua geotermica per poter essere realizzati,a costi relativamente contenuti, in una vasta serie di materiali resistenti a fluidi corrosivi (anche in titanio),in grado di realizzare elevati valori del coefficiente globale di scambio termico (anche dell'ordine di 5000 W/(m²*K) nelle applicazioni acqua-acqua.

-Vasca polmone: in questo caso il circuito idraulico dell'acqua della falda viene aperto a cavallo dell'evaporatore mediante una vasca che consente il sezionamento della falda dalla pompa di calore. In caso di rotture o malfunzionamenti dell'evaporatore il refrigerante andrebbe a raccogliersi nelle vasche evitando così di contaminare il pozzo di emungimento e/o la linea di restituzione in ambiente. Questa soluzione permette di sfruttare interamente il salto termico disponibile sull'acqua di falda . Per contro il sistema è reso più ingombrante e costoso.

Le pompe di calore geotermiche funzionanti con acqua sotterranea o a sistema aperto hanno un COP variabile da 3,6 a 5,2 e un EER tra 3,4 e 5,0; quelle con circuito chiuso hanno un COP tra 3,1 e 4,9, mentre EER tra 2,9 e 4,5.

- Pompe di calore ad acqua superficiale (SWHP):

Operano utilizzando come sorgente termica acqua superficiali (lago,stagno,bacino,fiume). Si distinguono i tipi diretto ed indiretto: nel primo l'acqua superficiale è prelevata dal suo corso naturale tramite circuito con pompa e comunemente ivi reimpressa dopo lo scambio termico con la

pompa di calore; si preferisce in genere non inviare direttamente l'acqua di origine superficiale agli scambiatori della macchina ma utilizzare un circuito idronico intermediario con scambiatore di calore secondario. Nel tipo indiretto invece l'acqua non è prelevata dal suo corso naturale ma scambia solo calore con tubazioni immerse (di opportuna geometrica) di un circuito idronico chiuso che fa capo agli scambiatori delle pompe di calore.

- Pompe di calore ad acqua di falda (GWHP):

Operano utilizzando come sorgente termica acqua sotterranea di falda prelevata tramite pozzi. Dopo lo scambio termico con pompa di calore (ancora usualmente di tipo indiretto tramite scambiatore di calore secondario) l'acqua può essere scaricata in acque superficiali o nella rete di scarico pubblico (impianto a singolo pozzo) oppure reimpressa nella falda a mezzo di un altro pozzo (impianto a doppio pozzo).

La soluzione pompa acqua-acqua a sistema aperto alimentato con acqua di falda non è praticabile per potenze frigorifere come le nostre pari da 1500 KW con portata di acqua fino a 82 litri/secondo richiesta per raffreddare il condensatore, portata che la falda non ci renderebbe di certo disponibile.

Possiamo utilizzare invece una soluzione che prevede l'utilizzo di acqua di falda in un circuito secondario e non direttamente allo scambiatore del gruppo frigorifero. Utilizzando acqua di falda per il rinnovo del circuito torri evaporative-condensatore del gruppo frigorifero abbiamo bisogno di una portata di acqua di falda di soli $1 \div 1,2$ l/s per una potenza del gruppo frigorifero di 1500 KW.

Nel caso di raffreddamento con torre evaporativa e circuito alimentato da acqua di falda il COP rendimento del gruppo frigorifero scende rispetto al caso di raffreddamento con uso di acqua di falda diretto (in sistema aperto). Nel caso di sistema aperto i costi relativi al raffreddamento sono minori rispetto al caso indiretto (indicativamente $0,64 \text{ €/m}^3$ di edificio per anno contro $0,34 \text{ €/m}^3$ di edificio per anno), ma come ripetiamo siamo impossibilitati ad utilizzare la prima soluzione.

- Pompe di calore accoppiate al terreno tramite sonde geotermiche (GCHP):

In questo caso è la massa stessa del terreno che agisce da sorgente termica (e da serbatoio termico nella stagione estiva) senza alcun prelievo d'acqua. Un circuito idronico chiuso accoppia la pompa di calore al terreno attraverso tubazioni di scambio termico affondate a contatto diretto con il terreno stesso. Lo scambiatore a terreno può avere sviluppo essenzialmente orizzontale con tubazioni dritte (sonde orizzontali), a sviluppo orizzontale con tubo avvolto a spirale (sonda a spirale) o essere costituito da tubazioni poste verticalmente (sonde verticali).

Nell'ambito degli scambiatori ad acqua (o a soluzione incongelabile) la scelta tra disposizione orizzontale o verticale è spesso imposta a vantaggio della seconda soluzione che richiede una ridotta disponibilità di area esterna.

- o Sonde orizzontali a terreno:

Sono essenzialmente costituite da tubi di plastica (Pead flessibile) di diametro tra 20 e 40 mm interrati in trincee di profondità comunemente non superiore ai 2 metri. Si possono distinguere tre categorie principali: a tubo singolo, a tubi multipli e a spirale.

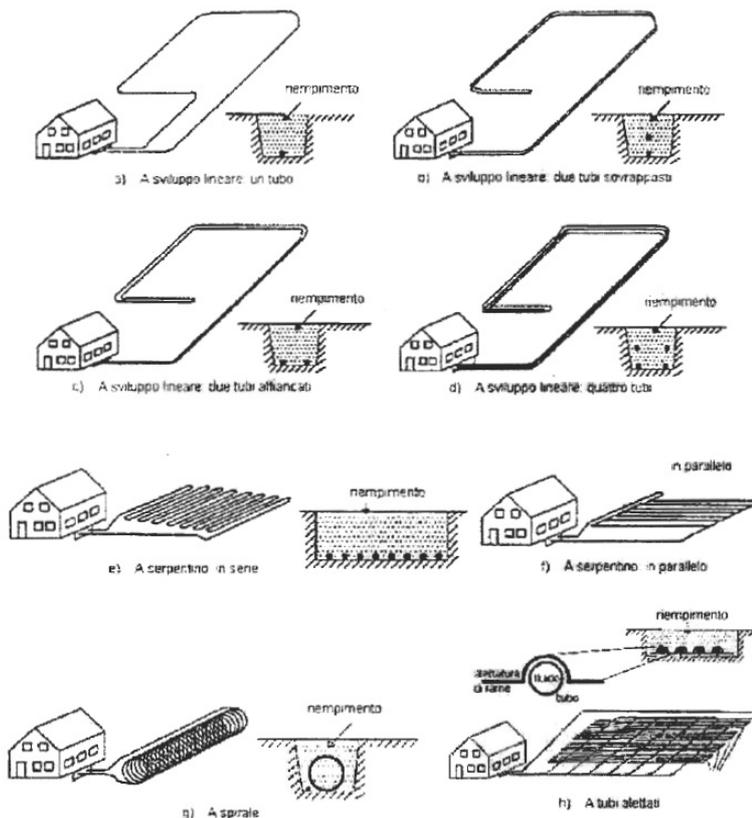


fig.21 sonde orizzontali

I tubi vengono prima posati nella trincea poi interrati. La posa di più tubi nella trincea (2,4 o anche 6) permette di risparmiare sulla superficie di terreno necessaria, ma richiede maggior lunghezza totale di tubo a causa della maggior interferenza termica che si manifesta tra i tubi adiacenti.

o Sonde verticali a terreno:

In questa disposizione i tubi scambiatori di calore (sempre in Pead flessibile di diametro da 20 a 40 mm) vengono inseriti in forma di semplice U, doppia U oppure nella geometria a tubi concentrici in perforazioni verticali usualmente tra i 20 e i 180 metri in dipendenza della situazione geologica locale. Viene prima perforato un “pozzo” nel terreno di diametro 75-180mm poi una volta posizionati i tubi si dovrà riempire il pozzo con getto indurente che ingloba i tubi per garantire buon contatto termico con la massa di terreno circostante ed impedire eventuale inquinamento incrociato delle diverse falde attraversate ed il percolamento di inquinanti dalla superficie.

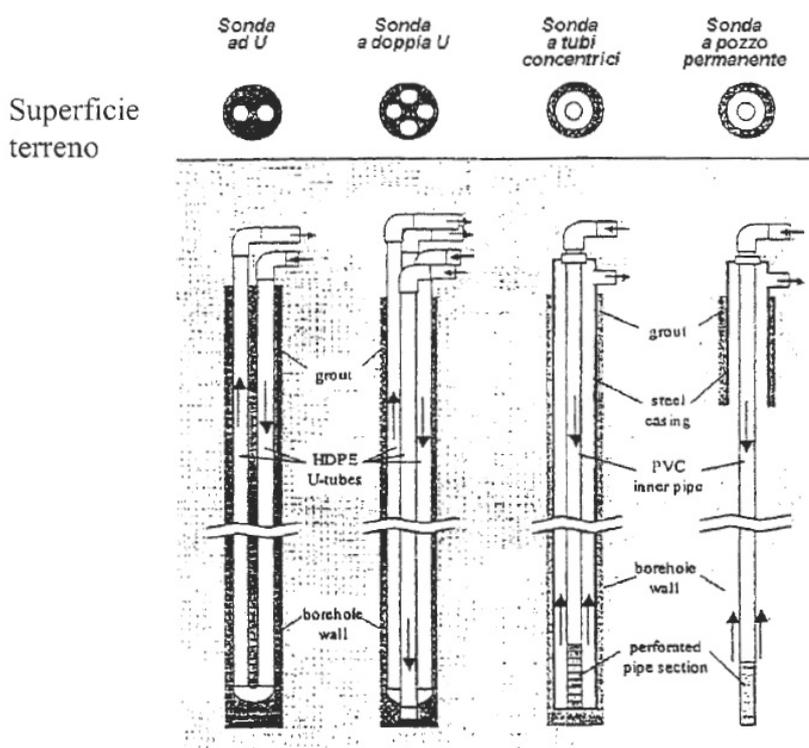


fig.22 sonde geotermiche verticali

Arriviamo presto a capire come la soluzione delle pompe di calore accoppiate al terreno tramite sonde geotermiche (GCHP) non sia praticabile nel nostro caso. Potenze frigorifere pari a 1500 KW che richiederebbero una

disponibilità di superficie elevata o profondità elevate di posa degli scambiatori a terreno.

Per quanto riguarda le sonde orizzontali sono di solito necessari tra i 120 e i 180 m di tubazione ogni 3,5 kW di capacità termica della pompa, mentre per le sonde verticali sono di solito necessari tra gli 80 e i 110 m di tubazione ogni 3,5 kW di capacità termica della pompa.

Confronto fonte acqua di falda – terreno

Vantaggio nell'uso dell'acqua come fonte geotermica:

- Temperatura costante durante tutto l'anno

Le temperature medie registrate in diversi siti durante l'anno sono:

Gennaio – Temperatura esterna = $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Temperatura acqua falda = $13\text{ }^{\circ}\text{C}$

Luglio – Temperatura esterna = $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Temperatura acqua falda = $14\text{ }^{\circ}\text{C}$

- Grande precisione nella determinazione delle rese delle pompe di calore
- Vantaggi ambientali legati al possibile impiego successivo dell'acqua (uso irriguo)

Difficoltà nell'uso dell'acqua come fonte Geotermica:

- Iter autorizzativo più complesso rispetto alle sonde geotermiche
- Difficoltà di restituzione dell'acqua (spesso il vero problema)
- Valutazione più complessa dell'impatto ambientale (specie per impianti di grande potenza).

2.1.2.1 Un esempio di telecondizionamento/teleriscaldamento con pompa di calore reversibile ad acqua di falda in circuito aperto

Si vuole trasferire agli utenti il calore prelevato dall'acqua proveniente da una sorgente geotermica rappresentando una rete di teleriscaldamento che utilizza energia rinnovabile.

Ricordiamo che in un sistema a pompa di calore che utilizza acqua di falda il 75-77 % dell'energia termica trasferito all'utente è prelevato dall'acqua (fonte rinnovabile) e solo il 23-25% da energia elettrica.

A differenza delle reti tradizionali questa rete può essere utilizzate anche in senso inverso per il “telecondizionamento” o in modo misto di teleriscaldamento e telecondizionamento contemporaneo.

In particolare si utilizza una macchina multifunzione alimentata ad acqua di falda in grado di produrre energia termica in caldo ed in freddo contemporaneamente. La macchina in oggetto è un refrigerante multifunzione con condensatore ad acqua incorporato. Progettata per l'uso in impianti di condizionamento civili, industriali e tecnologici a 4 tubi è in grado di fornire acqua refrigerata e acqua calda anche contemporaneamente. In funzione delle necessità la macchina è in grado di produrre automaticamente:

- Acqua refrigerata (funzionamento come chiller)
- Acqua refrigerata + calda (refrigeratore con recupero totale del calore di condensazione)
- acqua calda (funzionamento come produttore di acqua calda)

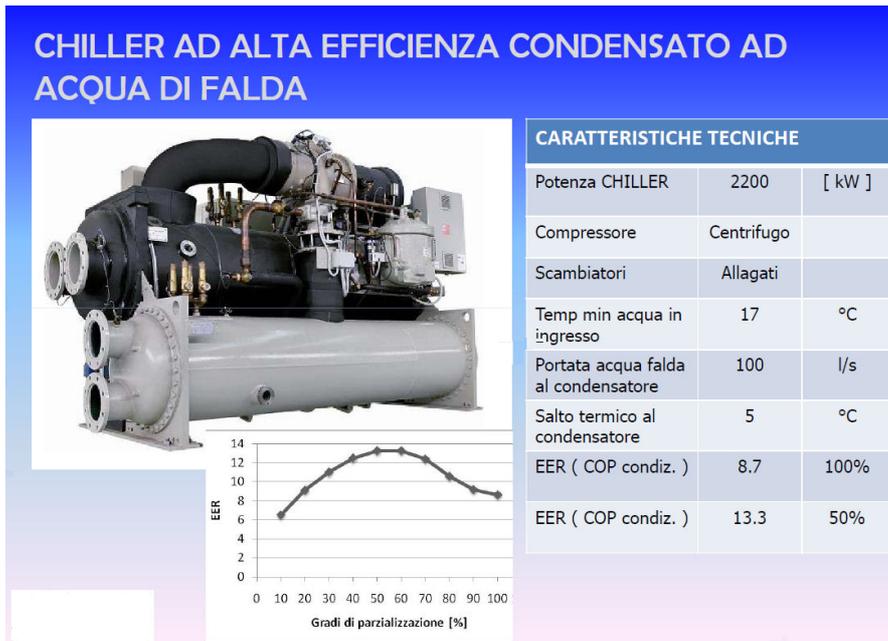


fig.23 caratteristiche tecniche chiller condensato ad acqua di falda

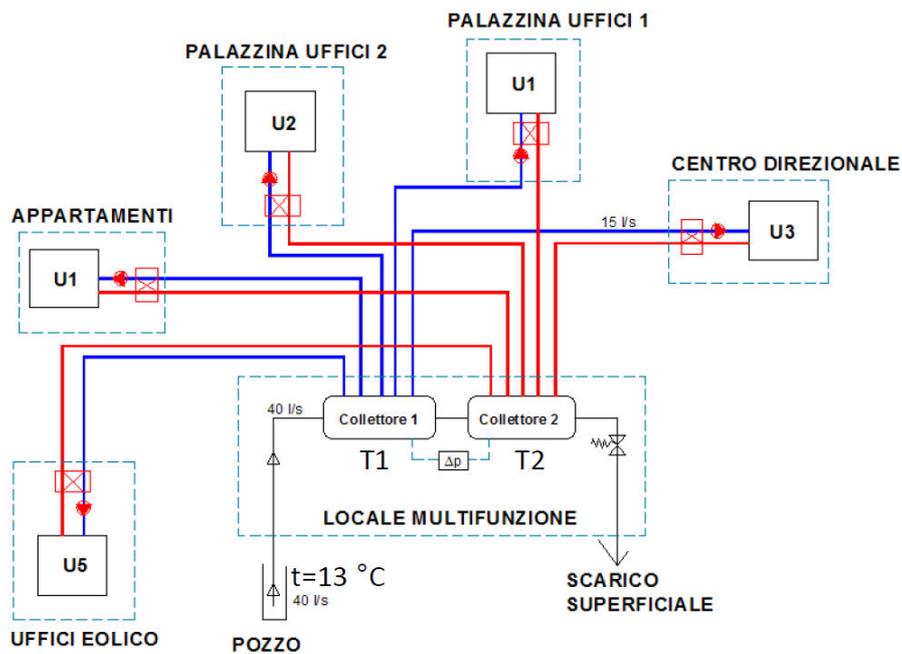


fig.24 esempio di rete per telecondizionamento/teleriscaldamento con acqua di falda

2.1.3 Sistema accoppiato gruppo frigorifero e accumuli termici con materiali a cambiamento di stato (pcm)

Associare ad una centrale frigorifera uno stoccaggio comporta una ottimizzazione degli impianti sia sotto l'aspetto funzionale che economico. Accumulare ghiaccio significa fornire allo stoccaggio il calore latente di solidificazione nelle ore di fermo impianto, ed utilizzare il calore latente di fusione per gli usi necessari evitando in tutto od in parte l'impiego delle macchine frigorifere [2].

Il sistema si compone di:

- Uno o più serbatoi di stoccaggio, riempiti di particolari noduli, posizionati in parallelo, o in serie rispetto al, ai gruppo/i frigorifero/i.
- Il/i gruppi frigoriferi
- La valvola miscelatrice a tre vie
- La/le pompe di circolazione
- Il piping

Durante la notte i gruppi provvedono a fornire l'energia frigorifera necessaria per accumulare il ghiaccio nei serbatoi, energia che verrà utilizzata di giorno per il condizionamento dei locali.

Vantaggi:

- 1) Riduzione della potenza installata e dei componenti
- 2) Razionalizzazione dell'energia
- 3) Maggiore affidabilità degli impianti
- 4) Sistema statico

Nel caso di un ospedale non si possono disaccoppiare completamente le fasi accumulo e rilascio del "freddo" in quanto il gruppo frigorifero è sempre in funzione 24 ore su 24 anche se con carichi minori durante la notte. E' proprio in questa fase che si può utilizzare parte della potenza frigorifera per accumulare ghiaccio nei serbatoi diminuendo sensibilmente il lavoro compiuto dal gruppo frigorifero durante il giorno. Nel caso di potenza già installata e dimensionamento dei componenti già effettuato questo metodo

consentirebbe di risparmiare sulla bolletta dell'energia elettrica sfruttando la diversa fascia di prezzo notturna più economica di quella diurna.

Si riporta in seguito un possibile schema impiantistico (fig.25,26,27) relativo alle fasi di stoccaggio notturno/destoccaggio diurna con o senza funzionamento del gruppo frigorifero in fase diurna.

Nella fase di stoccaggio notturna il gruppo frigorifero produce acqua fredda per il serbatoio di accumulo ghiaccio che restituisce ovviamente a temperatura più alta. In fig.25 è riprodotta la situazione in cui il gruppo di pompaggio a valle del gruppo frigorifero è spento il caso di nessuna richiesta di condizionamento delle utenze notturna. Nelle due figure successive vediamo la fase di rilascio del freddo diurna :la valvola a tre vie miscela l'acqua fredda proveniente dal ramo gruppo frigorifero-serbatoio di accumulo con quella di ritorno delle utenze poi la pompa provvede al rilancio del fluido alle utenze. In fig.26 (primo caso) il gruppo frigorifero è spento mentre in fig.27 è acceso ma il salto termico all'evaporatore sarà minore (quindi minore consumo) con temperatura dell'acqua in uscita maggiore che andrà a miscelarsi con quella in uscita dal serbatoio di accumulo più fredda.

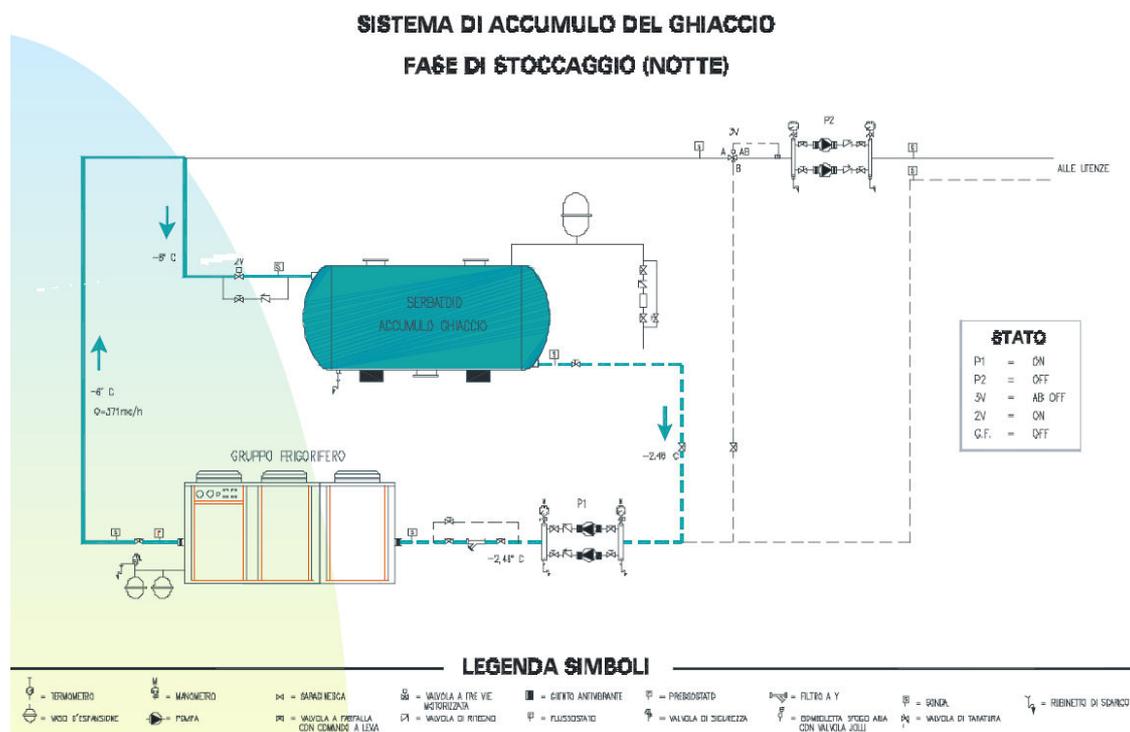


fig.25 fase di accumulo del ghiaccio

**SCHEMA DI PRINCIPIO
 SISTEMA DI ACCUMULO DEL GHIACCIO
 FASE DI DESTOCCAGGIO CON INTERVENTO G.F. (GIORNO)**

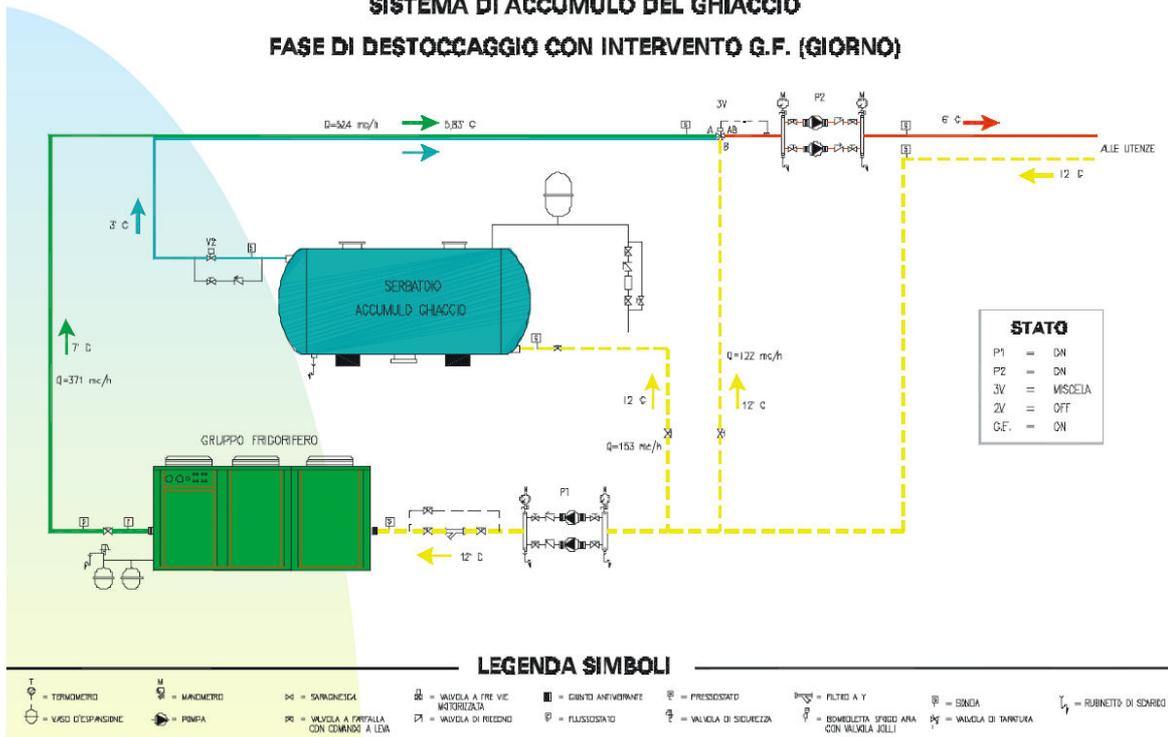


fig.26 schema fase di de stoccaggio con intervento del gruppo frigorifero

**SCHEMA DI PRINCIPIO
 SISTEMA DI ACCUMULO DEL GHIACCIO
 FASE DI DESTOCCAGGIO SENZA INTERVENTO G.F.**

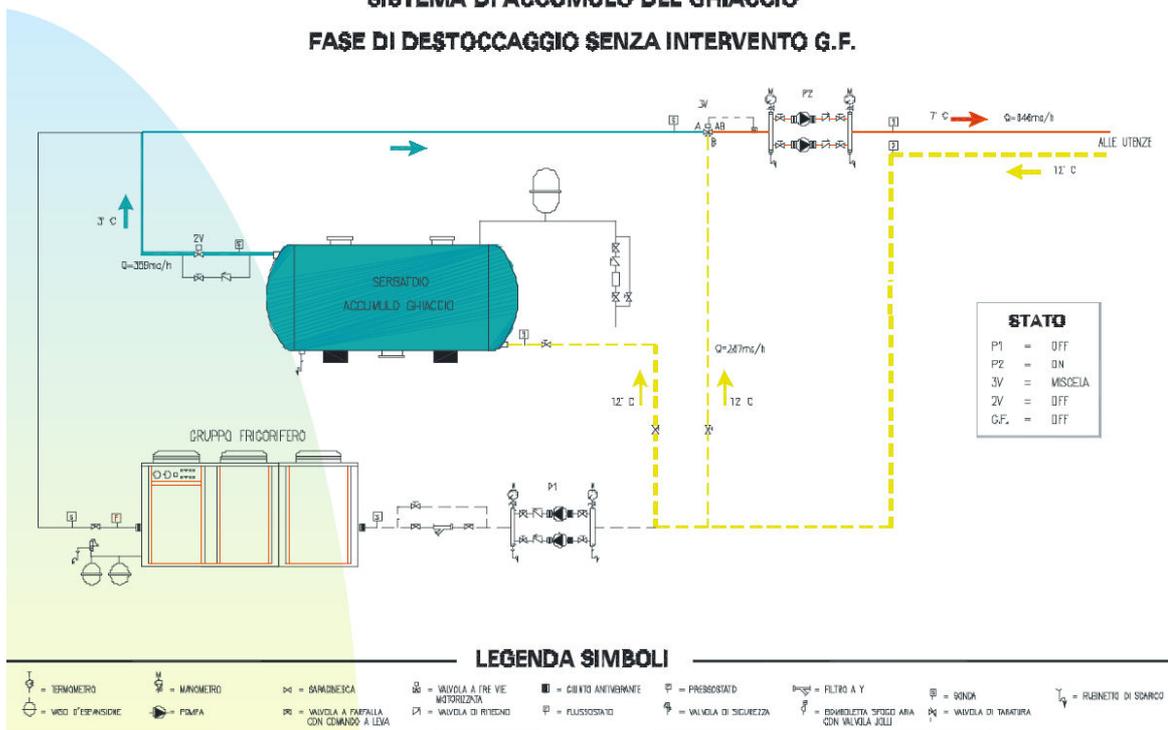


fig.27 schema fase di de stoccaggio senza intervento del gruppo frigorifero

2.2 IL POZZO E GLI ORTI NEL TERRENO DELL'OSPEDALE

L'AUSL è proprietario di un terreno area adiacente all'ospedale confinante a nord di esso. Possiamo vederlo nella mappa di fig.28 delimitato da una linea arancione, mentre il confine del terreno dell'ospedale civile nuovo di Imola è evidenziato con una linea blu. Su questo terreno è sorto un circolo per anziani e una serie di orti per gli anziani iscritti al circolo.

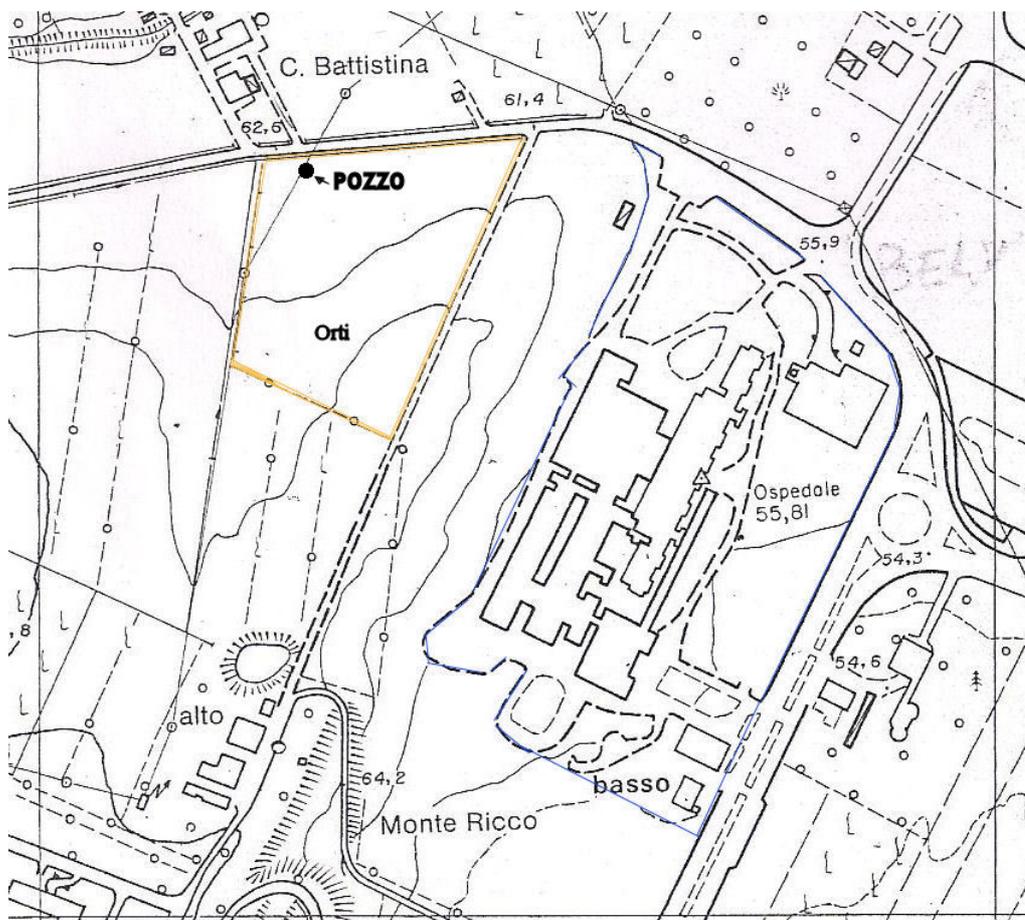


fig.28 piantina del complesso ospedaliero e dintorni. In giallo il terreno degli orti

Vicino all'ingresso della proprietà del circolo, all'altezza della strada Via Bel Poggio (62,6m sopra il livello del mare e adiacente ad essa) è stato scavato un pozzo diversi anni fa poi riscavato nel 2007 a causa dell'insabbiamento dello stesso. Vediamo i dati del pozzo:

Avampozzo	Profondità	Diametro	Livello statico	Portata pozzo verificata
no	103 [m]	100 [mm]	30 [m]	1,5 [l/s]

Il pozzo è dotato di un'elettropompa sommersa multistadio con le seguenti caratteristiche:

potenza	prevalenza	portata
3 [KW]	70 [m]	1,2 [l/s]

Le pompe di pozzo possono essere gestite a velocità di rotazione variabile con alimentazione elettrica tramite convertitore statici di frequenza (inverter-VFD:variable frequency drive).

Stratigrafia terreno su cui è stato scavato:

6 - 15 m	terreno
15 - 22m	ghiaia non acquifera
22 - 95 m	argilla
95 - 130 m	sabbia acquifera fine

Le acque sotterranee contenute negli acquiferi costituiscono le falde, che possono essere di due tipi: falde freatiche e falde artesiane.

Le falde freatiche sono le più superficiali e sono delimitate solo inferiormente da uno strato impermeabile (generalmente argilla) e presentano superiormente una superficie libera a pressione atmosferica, in cui l'acqua risale per capillarità.

La falda intercettata dal pozzo in questione è artesiane: le falde artesiane sono invece comprese fra due strati impermeabili (roccia o argilla), quello inferiore detto ancora "letto" di falda e quello superiore detto "tetto". Nelle falde artesiane l'acqua, essendo compresa fra due strati impermeabili si trova in pressione, similmente ad una condotta. Rispetto a questa ultima il movimento dell'acqua avviene però molto più lentamente. Infatti nelle condotte l'acqua ha a disposizione l'intera sezione mentre nelle falde freatiche l'acqua si deve muovere attraverso le sezioni ridotte formate dagli interstizi fra la matrice solida dell'acquifero.

Introducendo un pozzo in una falda artesiane, l'acqua vi risale, allo stesso modo di come risale in un piezometro inserito nella condotta.

2.2.1 I pozzi

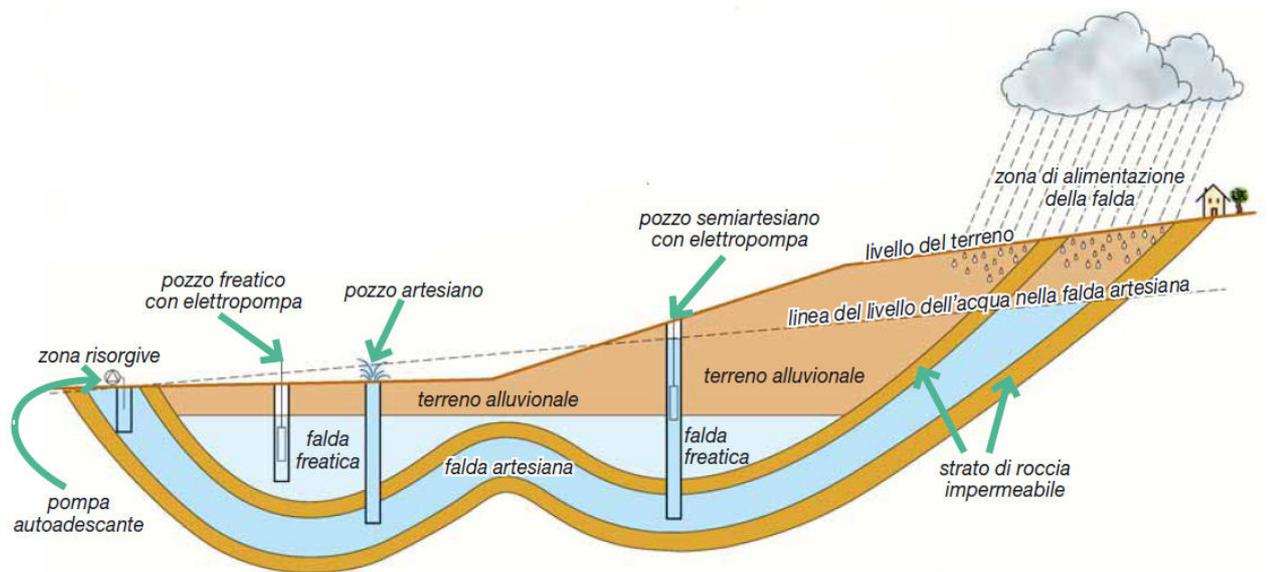


fig.29 ciclo idrologico dell'acqua e diversi tipi di falde

I pozzi sono i manufatti attraverso i quali si attinge l'acqua dalle falde sotterranee, sia freatiche che artesiane. [3]

I pozzi di maggiore interesse per l'approvvigionamento irriguo sono quelli artesiani costituiti da tubi pozzo di diametri generalmente compresi fra 100 e 300 mm, che si approfondiscono fino a raggiungere preferibilmente il "letto" della falda artesianica da emungere.

Il pozzo è costruito da un "tubo pozzo" munito a livello della falda di una parte filtrante, chiamata "tubo-filtro", attraverso il quale avviene il passaggio dell'acqua dall'acquifero al pozzo. Il "tubo filtro" costituisce la principale parte funzionale del pozzo ed ha lo scopo di lasciare passare l'acqua, ma non la sabbia da essa trascinata durante l'esercizio. Il filtro è realizzato praticando opportune finestre nella parete del tubo, di forma adeguata alle caratteristiche granulometriche del materiale circostante.

Il funzionamento a regime del filtro è condizionato dal posizionamento di strati radiali di materiale di diverso diametro attorno al "tubo filtro". La stratigrafia che garantisce il miglior funzionamento è quella realizzata con granulometrie gradualmente decrescenti dal centro verso l'esterno.

Perforazione del pozzo e schema

La perforazione di questi pozzi viene ormai quasi esclusivamente eseguita con una macchina a rotazione che è costituita da un telaio che sostiene e fa ruotare un'asta cava di perforazione alla cui testa si trova uno scalpello dentato in grado di perforare anche rocce o eventuali massi che si possono trovare nel sottosuolo. Per i primi 1-2 metri, dove il terreno è incoerente, viene prima infisso un tubo guida di diametro superiore a quello del pozzo finale, quindi si procede nella perforazione fino al raggiungimento della falda acquifera. Le pareti del foro vengono cementate dal fango bentonitico pompato all'interno dell'asta di perforazione e spinto in superficie; in tal modo i detriti di perforazione vengono fatti uscire. Una volta raggiunta la falda, viene inserito il tubo che costituisce il pozzo vero e proprio e che può essere in acciaio al carbonio, in acciaio zincato o, nelle zone con strati di materiale incoerente (cioè sabbia e ghiaia minuta), in plastica. I primi metri del tubo (quelli più profondi) sono dotati di una finestratura nella zona in corrispondenza della falda per permettere all'acqua di entrare nel tubo. Il pozzo va, quindi, completato mettendo del ghiaino siliceo in corrispondenza della zona finestrata e cementando la parte verso la superficie per evitare che acque di scolo superficiale penetrino nel pozzo e quindi nella falda con conseguente possibilità di inquinamento.

Il pozzo va poi spurgato e tenuto sotto pompaggio per alcune ore o anche qualche giorno per pulirlo da limo e sabbia che passano dalla zona finestrata del tubo del pozzo.

Successivamente è inserita l'elettropompa sommersa con la sua tubazione di mandata. A questo punto il pozzo viene sigillato con un apposito tappo in acciaio che può essere al livello del terreno o all'interno di un tombino di cemento.

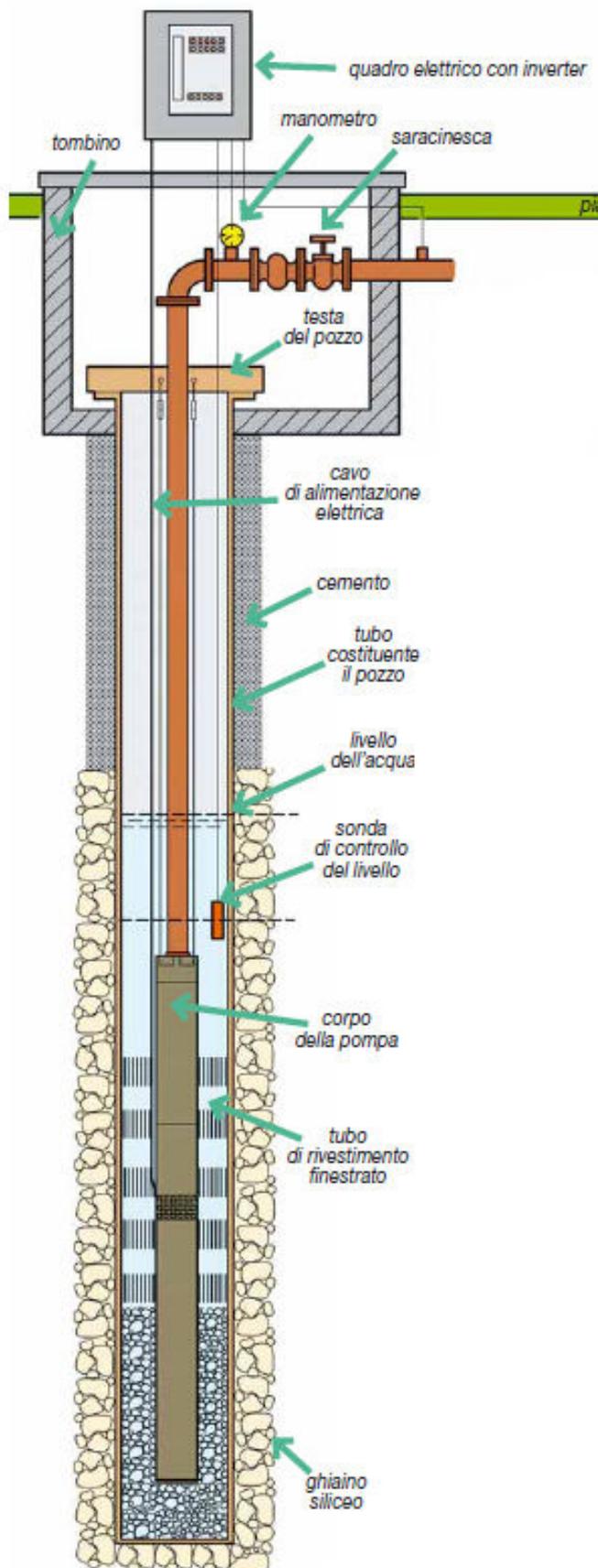


fig.30 schema di un pozzo con relativa pompa elettrica sommersa

Livello statico e livello dinamico del pozzo

Il livello che naturalmente raggiunge l'acqua nel pozzo in assenza di pompaggio si chiama "livello statico" (fig.31). Quando si attiva il pompaggio il livello dell'acqua cala gradualmente fino a raggiungere un punto di equilibrio fisso per ogni valore di portata emunta, che si chiama "livello dinamico". L'altezza di risalita dell'acqua di falda si abbassa gradualmente dal livello statico a quello dinamico, formando un cono di depressione concentrico attorno al pozzo. Il cono di depressione della piezometrica si forma a seguito della graduale diminuzione di pressione dell'acqua nella falda, in conseguenza del progressivo aumento della velocità che assume l'acqua avvicinandosi al tubo filtro. Nel caso di pozzi posti a distanza ravvicinata i coni di depressione possono interferire fra loro, determinando, a parità di portata, valori più bassi dei rispettivi livelli dinamici.

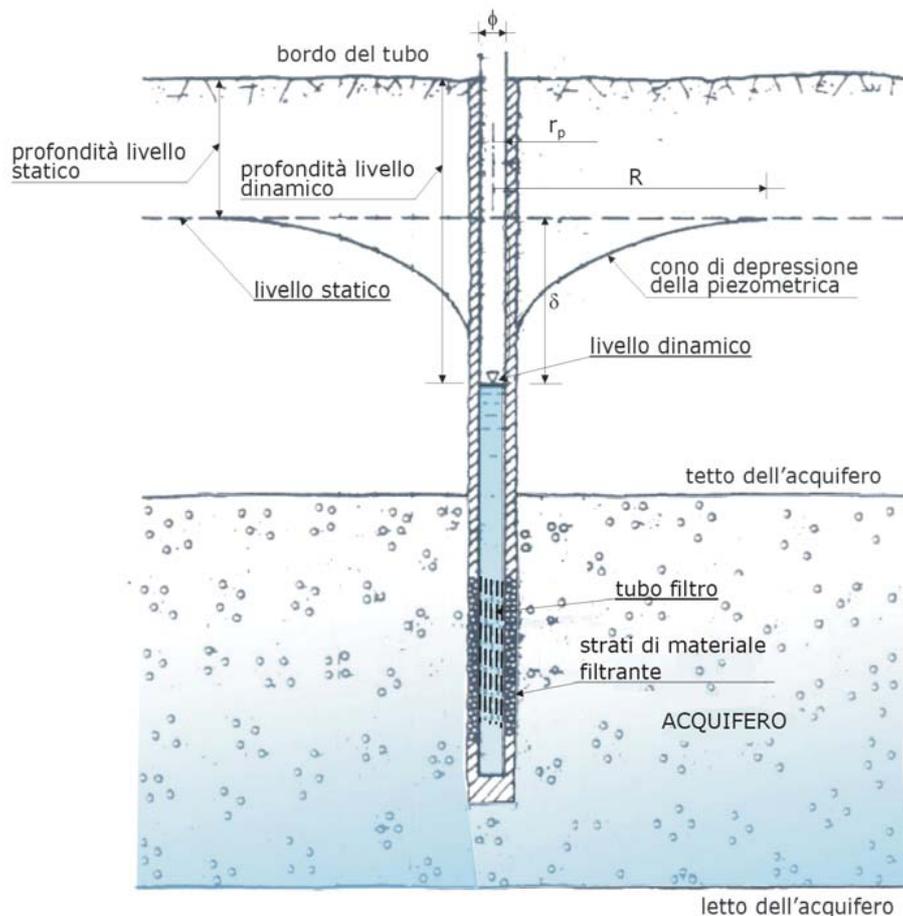


fig.31 – Livello statico e dinamico e cono di abbassamento in un pozzo artesiano.

La relazione che lega la portata emunta dal pozzo (Q) all'abbassamento fra il livello statico ed il livello dinamico, costituisce la curva caratteristica del pozzo. Questa nei pozzi artesiani assume la forma di una retta uscente dall'origine, che sta ad indicare che l'abbassamento del livello è direttamente proporzionale alla portata attinta.

Tuttavia se aumentiamo la portata oltre determinati valori la curva passa da un andamento rettilineo ad andamento curvilineo gradualmente tendente all'orizzontale (fig.32).

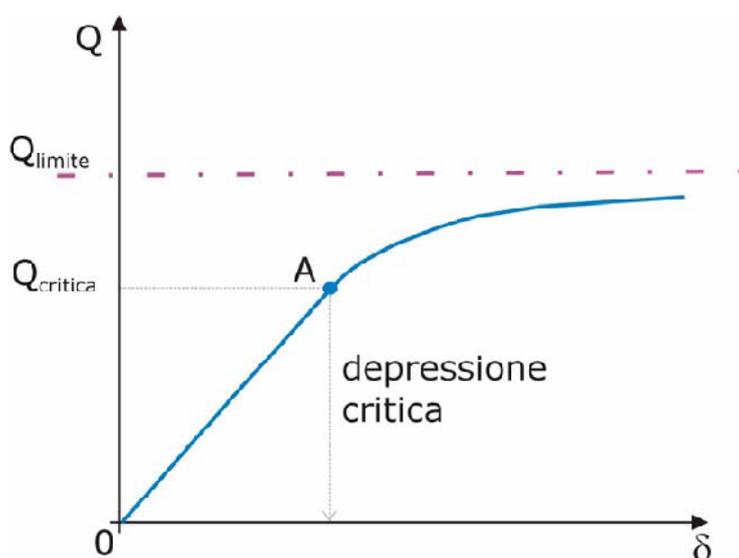


fig.32 – Curva caratteristica portata Q – abbassamento δ in un pozzo artesiano.

Sulla curva possiamo pertanto individuare un punto di abbassamento critico, in corrispondenza del quale si ha la portata critica del pozzo. Questo punto si posiziona a portate tanto più basse, quanto più è sottile la granulometria dell'acquifero e quindi quanto più è bassa la velocità di infiltrazione dell'acqua.

La portata critica del pozzo costituisce praticamente la portata massima che si può trarre dal pozzo. Infatti, oltre questa portata l'emungimento, non solo non è più conveniente, ma è anche dannoso.

2.2.2 Problematiche relative all'eccessivo emungimento delle falde sul sistema idrologico

Abbiamo già detto che, nell'acquifero di una falda artesianica, l'acqua si trova in pressione come in una condotta.

All'aumentare del numero dei pozzi che attingono dalla falda e/o all'aumentare dei volumi emunti, la pressione dell'acqua nella falda sempre più diminuisce.

L'agricoltore che utilizza il pozzo per irrigare se ne accorge dall'abbassamento del livello statico nel pozzo, che ovviamente si ripercuote anche sul livello dinamico a parità di portata emunta. Pertanto per poter continuare a disporre dei volumi d'acqua che gli necessitano, l'agricoltore è costretto ad abbassare la profondità di posizionamento della pompa.

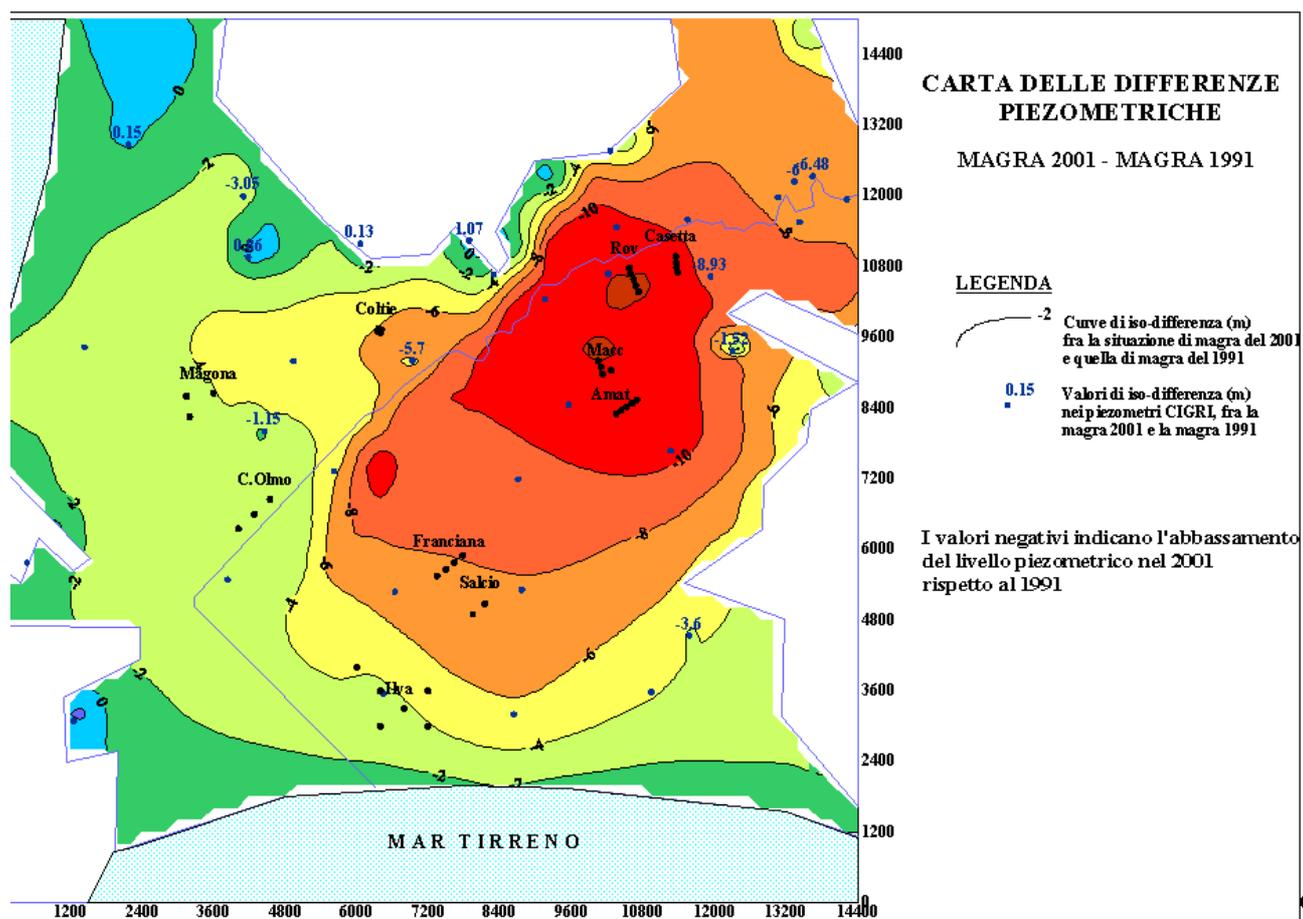


fig.33 – Esempio di abbassamenti dei livelli statici di falda rilevati dal CIGRI fra il periodo di “magra” del 1991 e quello del 2001 in Val di Cornia

Tuttavia la disponibilità di acqua dolce attingibile ha chiaramente un limite determinato dall'estensione ed orografia del bacino di alimentazione della

falda, oltre che dall'andamento stagionale delle precipitazioni sul suddetto bacino. Pertanto aumentando gli emungimenti si può, nel corso della stagione irrigua, andare incontro ad un graduale esaurimento dell'acqua dolce disponibile.

Principali inconvenienti dei pozzi e loro rimedi

L'efficienza idraulica dei pozzi generalmente diminuisce con il tempo, e fondamentalmente si possono verificare i seguenti inconvenienti:

- 1) i pozzi hanno una tendenza a dare sabbia;
- 2) si nota un abbassamento del livello dinamico del pozzo.

- Venuta di sabbia

Quando si interrompe per alcuni mesi l'emungimento si può verificare che il pozzo dia una certa quantità di sabbia, questo può essere dovuto a fenomeni di assestamento nelle vicinanze del filtro. Se invece il pozzo continua a dare sabbia in maniera costante questa può determinare, a lungo andare, fenomeni abrasivi sulle giranti della pompa, determinandone un cattivo funzionamento e la minore durata. Tali fenomeni abrasivi possono esercitarsi anche contro le pareti del pozzo. Inoltre, nel caso d'impianti d'irrigazione localizzata, la sabbia determina un veloce intasamento dei filtri, che devono essere puliti più frequentemente.

L'estrazione di sabbia si verifica quando le pareti del pozzo o, più frequentemente, il filtro presentano delle rotture, per lo più dovute a fenomeni di corrosione. La corrosione è influenzata dalle caratteristiche dell'acqua, dai materiali impiegati nella costruzione del pozzo e anche dalle sue caratteristiche costruttive.

Possono facilmente determinare dei fenomeni corrosivi le acque con le seguenti caratteristiche:

- pH inferiore a 7;
- ossigeno disciolto maggiore di 2 parti per milione;
- acido solfidrico maggiore di 1 parte per milione;
- anidride carbonica libera maggiore 50 parti per milione;
- cloruri maggiori di 500 parti per milione;
- solidi disciolti maggiori di 1000 parti per milione.

In presenza di una o più di queste caratteristiche dell'acqua è necessario scegliere adeguatamente i materiali per la costruzione del pozzo ed evitare il più possibile tutti i punti più soggetti a corrosione che sono:

- zone di saldatura;
- zone di taglio con il cannello ossi-acetilenico;
- aree punzonate;
- aree filettate.

Evitare inoltre di scegliere metalli diversi per la composizione del pozzo e dei filtri soprattutto se questi sono vicini tra loro, ad esempio tubo di ferro e rete del filtro in ottone.

I filtri costruiti in acciaio inossidabile sono i migliori per evitare fenomeni di corrosione. Distinguiamo tre tipologie di acciaio inossidabile:

- 1) AISI 304: 18% di Cr, 8% di Ni, 2% di Mo, 0.08% di C.
- 2) AISI 316: 16% di Cr, 10% di Ni, 2% di Mo, 0.03% di C.
- 3) AISI 405: 11.5% di Cr, 0.3% di Al.

Il più resistente è il 304 e il meno resistente è il 405. Oltre all'acciaio si possono utilizzare dei tubi in PVC speciale che lo rendono resistente alle rotture o anche ABS. Questi materiali hanno il vantaggio di essere refrattari ad alcuni tipi d'incrostazioni, ma hanno lo svantaggio di costare quasi come i tubi in acciaio inossidabile e di avere spessori più elevati di questi e pertanto diametri interni del tubo pozzo inferiori.

Nel caso che la corrosione abbia causato rotture al di sopra del filtro, si può rimediare discendendo nel pozzo una nuova tubazione di diametro inferiore a quella corrosa fino a qualche metro al di sotto della rottura. Poi procedere alla sua cementazione.

Nel caso la venuta di sabbia sia causata da rotture del filtro invece si può provare a diminuire la portata dell'acqua estratta dal pozzo. In questo modo diminuisce anche la forza di trascinamento sui grani del terreno nell'acquifero, perciò molti di essi non verranno più trascinati nel pozzo. Se questo rimedio risulta insufficiente, un metodo drastico consiste nel ritubare il pozzo completamente con una nuova tubazione di rivestimento, di diametro minore di quella già in opera e munita di filtri con finestrate più piccole. Tale soluzione ha una breve durata perché la sabbia tra i due filtri tende a costiparsi rendendo il filtro quasi impermeabile.

- Abbassamento del livello dinamico del pozzo (diminuzione della produttività idraulica)

Se si nota un abbassamento del livello dinamico superiore a quello che aveva in origine il pozzo, allora si deve verificare la quota del livello statico. Se questo si è abbassato nel tempo vuol dire che la falda si è parzialmente prosciugata quindi l'abbassamento del livello dinamico è, almeno in parte, dovuto a questo fenomeno. Se però il livello statico non è variato allora il tutto è dovuto a fenomeni di intasamento dei filtri causati dalle incrostazioni.

Le cause delle incrostazioni possono essere:

- 1) precipitazione di carbonati di calcio e/o magnesio;
- 2) precipitazione dei composti del ferro e/o del manganese;
- 3) produzione di melma da parte di ferro-batteri o altri organismi simili;
- 4) deposizione sulle finestrature di argilla o limo portati in sospensione dall'acqua di falda.

Si deve tenere presente che l'acqua delle falde scorre lentamente nei terreni di struttura granulare e che quindi essa rimane in contatto con i minerali di cui sono composti questi terreni per lunghi periodi, perciò i sali disciolti in essa si trovano in equilibrio chimico con l'ambiente circostante; qualsiasi variazione di tali condizioni ambientali può causare la precipitazione di alcuni materiali insolubili, che vanno a costituire le incrostazioni. E' molto importante tenere presente le caratteristiche dell'acqua per sapere se questa ha una certa propensione a determinare incrostazioni.

Le acque incrostanti hanno le seguenti caratteristiche:

- pH maggiore di 7;
- carbonati maggiori di 300 parti per milione;
- ferro maggiore di 0,5 parti per milione;
- manganese maggiore di 0.2 parti per milione.

Pertanto l'analisi dell'acqua può darci delle indicazioni relative al tipo d'incrostazione. Alcune volte anche acque corrosive possono creare delle incrostazioni in quanto mandano in soluzione il materiale del pozzo, che poi precipita in un secondo momento, occludendo parzialmente il filtro.

In acque ricche di carbonati l'intasamento dei filtri è dovuto molto spesso alle precipitazioni di questi, in seguito silicati possono rimanere inglobati entro tali incrostazioni, che possono così cementare grani di terreno dell'acquifero.

In acque ricche di ferro possono vivere i ferro-batteri, i cui prodotti metabolici sono fanghiglia ed ossidi di ferro insolubile, che contribuiscono entrambi all'intasamento della porzione filtrante del pozzo.

Le incrostazioni dovute invece a particelle di argilla o limo, trasportati in sospensione dall'acqua, sono causa d'incrostazioni in pozzi con filtri con finestre troppo piccole o spurgati male.

In fase di costruzione del pozzo, in presenza di acque incrostanti, è bene avere una superficie filtrante molto ampia in grado di ridurre il più possibile la velocità d'ingresso dell'acqua, spurgare bene il pozzo, preferire la perforazione di più pozzi di bassa portata piuttosto che uno di portata elevata. Per la manutenzione invece sarebbe meglio pulire e/o spurgare frequentemente il pozzo prima che si abbassi la sua produttività idrica.

In caso di intasamento del filtro il ripristino della piena produttività del pozzo richiede attrezzature idonee e personale molto specializzato pertanto a volte è economicamente più conveniente approfondire il pozzo o perforarne uno nuovo. dell'acquifero può facilmente predire quali siano le cause d'inefficienza.

I trattamenti da eseguire prevedono l'utilizzo di acidi forti nel caso le incrostazioni siano dovute a carbonati solfati e composti del ferro, mentre se le incrostazioni sono dovute alla melma dei ferro-batteri si agisce con battericidi o prodotti disinfettanti. La presenza di limo e di argilla può essere eliminata con prodotti disperdenti o flocculanti.

Il ripristino del pozzo consiste in una pulizia dalle incrostazioni seguita da uno spurgo. Talvolta possono essere necessari più cicli di trattamenti e spurgo.

2.2.3 Regolamento delle concessioni di derivazione di acqua pubblica

Il DPR 24 luglio 1977 n. 616, ha che ha delegato in via generale alle Regioni numerose funzioni amministrative prima riservate allo Stato, ha disposto un trasferimento alle Regioni di tutte le funzioni relative alla tutela, disciplina e utilizzazione delle risorse idriche, con esclusione delle funzioni espressamente riservate allo Stato. In concreto, per quanto riguarda le derivazioni di acque pubbliche, ha lasciato allo Stato la competenza a rilasciare le concessioni per le *grandi derivazioni* (derivazioni con portata d'acqua superiore a 100 litri/secondo), mentre per le *piccole derivazioni* (derivazioni con portata fino a 100 litri/secondo) la competenza è stata trasferita alle Regioni. La legge Galli (L. 5 gennaio 1994, n. 36) ha radicalmente innovato la materia stabilendo all'articolo 1 che *tutte le acque superficiali e sotterranee, ancorché non estratte dal suolo, sono pubbliche e costituiscono una risorsa che è salvaguardata ed utilizzata secondo criteri di solidarietà*. L'articolo 1 stabilisce inoltre che gli usi delle acque sono indirizzati al risparmio e al rinnovo delle risorse, per non pregiudicare il patrimonio idrico.

L'uso dell'acqua per il consumo umano è prioritario rispetto agli altri usi del medesimo corpo idrico superficiale o sotterraneo e gli altri usi sono ammessi quando la risorsa è sufficiente e a condizione che non ledano la qualità dell'acqua per il consumo umano.

Recentemente, il D. Lgs. 31 marzo 1998, n. 112 ha trasferito alle Regioni "le funzioni relative alla gestione del demanio idrico, ivi comprese tutte le funzioni amministrative relative alle derivazioni di acqua pubblica, alla ricerca, estrazione e utilizzazione delle acque sotterranee, alla tutela del sistema idrico sotterraneo nonché alla determinazione dei canoni di concessione e all'introito dei relativi proventi" fatto salvo quanto disposto dall'articolo 29 che prevede la perdurante competenza dello Stato per le grandi derivazioni di acque pubbliche per uso idroelettrico.

Adesso è di competenza delle Regioni il rilascio delle concessioni per tutte le derivazioni, sia grandi che piccole, di acque pubbliche, con la sola eccezione delle grandi derivazioni di acque pubbliche per uso idroelettrico.

Per atto di concessione s'intende il procedimento amministrativo con cui l'Amministrazione Provinciale attribuisce al privato (concessionario) facoltà di godimento delle acque del Demanio Idrico. Le concessioni devono essere richieste per le utilizzazioni di acqua pubblica da parte del privato per tutti i fini esclusi quelli domestici.

Le concessioni sono sempre temporanee e la loro durata può variare da 1 a 30 anni a discrezione dell'Amministrazione Provinciale.

Per ogni utilizzazione delle acque deve essere corrisposto dall'utilizzatore un canone annuale, rivalutabile, il cui importo varia a seconda del tipo di utilizzazione e in base a parametri stabiliti dal Regolamento in materia di gestione del Demanio Idrico. L'amministrazione Provinciale potrà prescrivere il versamento di un deposito cauzionale che in nessun caso dovrà essere inferiore a cinque annualità per concessioni maggiori di cinque anni di annualità. Tale deposito sarà restituito tramite Determinazione del Dirigente del Settore una volta terminata la concessione e constatato l'adempimento di tutti gli obblighi dell'atto di concessione.

La concessione può essere rinnovata dietro presentazione di apposita domanda entro sei mesi dalla scadenza della concessione previa dichiarazione del concessionario di non variazione rispetto al titolo in corso di concessione.

2.3 IMPIANTO DI IRRIGAZIONE DEGLI ORTI

Il circolo sfrutta senza concessione da diversi anni il pozzo e ha provveduto alle spese per riscavare lo stesso nel 2007, compreso l'acquisto di una nuova pompa sommersa da pozzo. Come possiamo vedere dai dati precedenti la pompa è stata scelta per un punto di funzionamento con prevalenza di 70 m alla portata di 1,2 l/s. La pompa deve inviare acqua ad un serbatoio di 18 m³ posto in cima alla collina ad un'altezza sul livello del mare di circa 75m e parallelamente deve soddisfare la richiesta della prima metà degli orti (più vicina al pozzo) composta di 4 file e circa un centinaio di utenze rappresentate da rubinetti; ogni orto ha una superficie di 4 m². La restante metà degli orti è servita dal serbatoio sulla collina per semplice caduta. Questo serbatoio da 18m³ funziona a galleggiante e mantenuto tramite esso sempre quasi pieno (il galleggiante fa azionare la pompa quando il livello cala di circa 3 m³).

In cima al pozzo a valle della pompa a livello "piano di campagna" è stata inserita un'autoclave con piccolo serbatoio con capacità 100 litri che pompa ulteriormente l'acqua in uscita dal pozzo fino a 7 bar di pressione.

Nei pressi del pozzo (qualche metro davanti ad esso) è interrato un altro serbatoio da 15 m³ di capacità che raccoglie acqua piovana dalle grondaie. In caso di pioggia il serbatoio si riempie e tramite esso si provvedono ad irrigare gli orti senza l'azionamento della pompa da pozzo.

Le tubazioni di una rete irrigua sono in polietilene ad alta densità PE100PN16; per piccoli diametri solitamente si ricorre al polietilene a bassa densità (Pead), abbastanza flessibile e in grado di seguire l'ondosità del terreno, mentre per diametri più grandi è preferibile il polietilene ad alta densità (Pead); raramente utilizzato è il pvc rigido. Le giunzioni dei tubi di polietilene per questo tipo di utilizzo sono eseguiti con raccordi a compressione. Sotto il sole estivo, i tubi di polietilene si dilatano in maniera abbastanza significativa e, pertanto, è preferibile interrarli oppure lasciarli sul terreno se c'è la possibilità che possano dilatarsi con libertà; un tubo lungo 10 m si allunga di 2 cm per ogni incremento di 10°C di temperatura. Tutti i tubi della rete sono interrati.

La pompa alimenta una piccola autoclave regolata da un pressostato. Sulla linea di mandata, dopo una valvola di intercettazione e una valvola di ritegno, per evitare il riflusso, è montato un filtro a Y. Può affermarsi che il nemico principale di una rete idrica siano le impurità dell'acqua (sabbia, limo, argilla, alghe, detriti vegetali) che tendono a intasare i delicati organi di erogazione dell'acqua (irrigatori, gocciolatori). Se c'è presenza di sabbia è idoneo un separatore centrifugo, disponibile anche per piccole portate idriche.

Un orto richiede 4-5 mm/giorno, cioè 4-5 litri/m²; in genere, per un campo coltivato a ortaggi la stagione irrigua è compresa tra aprile e ottobre e il fabbisogno idrico varia da 400 a 1.200 litri/ m². Oltre al m², per alcune culture il riferimento è diverso; gli arbusti, ad esempio, richiedono 10-30 litri/giorno per pianta, gli alberi a foglia larga circa 50 litri/giorno per pianta (ma occorre tenere in conto l'eventuale acqua che percola dalle vicinanze, se si trova in area irrigata), una siepe 7-8 litri/giorno per metro lineare.

Se un singolo orto ha un'estensione di circa 16 m² in via teorica per i centosessanta orti del circolo si dovrebbero consumare circa 16 m³ giorno.

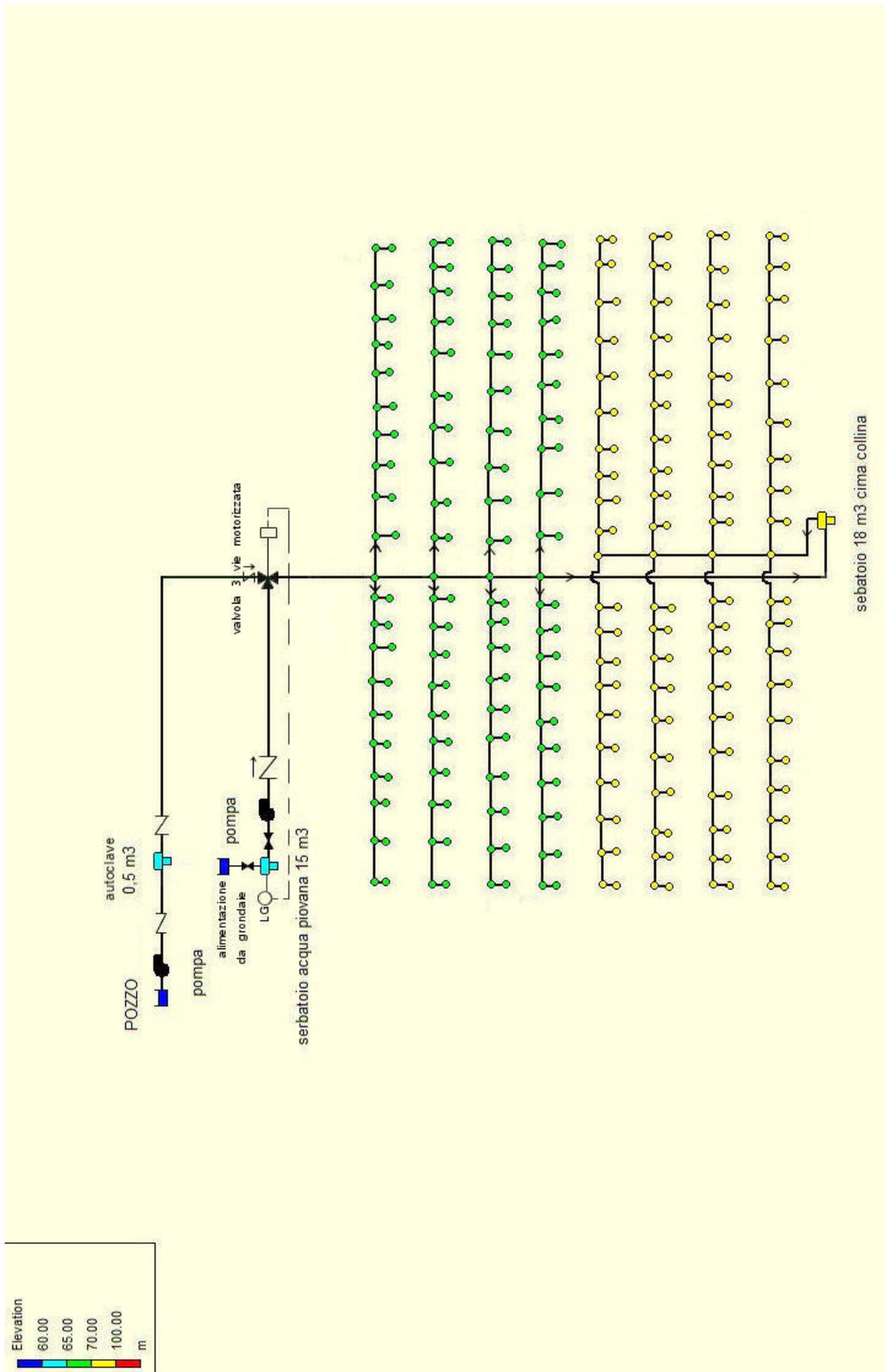


fig.34 schema impianto distribuzione acqua per gli orti con altitudine nodi [m]

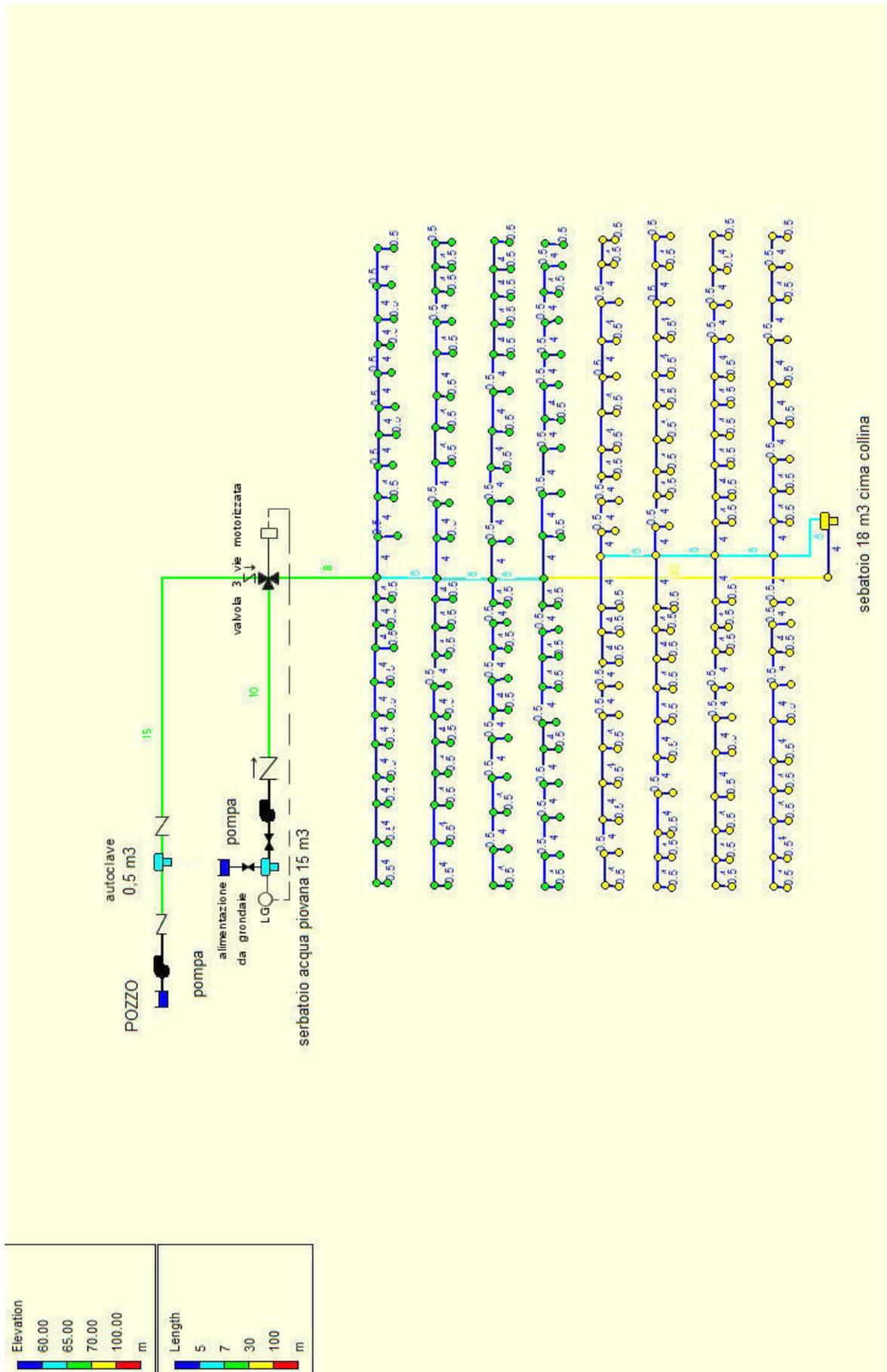


fig.35 schema impianto distribuzione acqua per gli orti con altitudine nodi e lunghezza rami [m]

2.4 LA PROPOSTA

Il costo dell'acqua per metro cubo è rilevante e in aumento: attualmente l'approvvigionamento da acquedotto costa 2,77 €/m³ e si prevede nel 2012 raggiunga quota 3 €/m³ causa cambio fascia di consumo. Considerato un consumo medio di acqua nella stagione estiva per il condizionamento dell'ospedale civile nuovo di Imola pari a circa 80 m³/gg diventa importante abbassare se non eliminare questa importante voce di costo. In questo senso si presenta la grossa opportunità di sfruttare il pozzo che sorge su un terreno di nostra proprietà adiacente alla struttura attraverso una rete di tubazioni che permettano di portare l'acqua fino alla centrale termica. L'acqua verrebbe destinata al reintegro delle torri evaporative per il solo condizionamento estivo di tutta la struttura dell'OCN. Le due torri, come detto precedentemente, provvedono a raffreddare l'acqua nei circuiti condensatore dei due gruppi frigoriferi presenti nella CT. Attualmente il pozzo è già in uso, quindi un importante vincolo del progetto è rappresentato dalla necessità di riportare l'acqua di spurgo delle torri all'impianto di distribuzione degli orti nonché soddisfare il fabbisogno di irrigazione del circolo. L'acqua utilizzata verrebbe quindi destinata ad uso irriguo ed andrebbe a rialimentare con il tempo la falda acquifera sottostante creando una sorta di ciclo e rendendo il progetto più interessante. Nei capitoli precedenti abbiamo analizzato la struttura dell'impianto esistente sia per quanto riguarda la centrale termica dell'ospedale sia per quanto riguarda gli orti: nel prossimo capitolo inizierà lo studio di fattibilità tecnico-economica di questo progetto.

3.1 DATI PRELIMINARI

Il pozzo è scavato su un terreno a 62,6 metri sopra il livello del mare e in linea d'aria dista circa 300 metri dalla centrale termica (CT in figura 36), come possiamo vedere in figura sotto (scala 1:2000), situata a circa 50 metri sopra il livello del mare (interrato sotto il livello dell'ospedale che è a 55,8 msl).

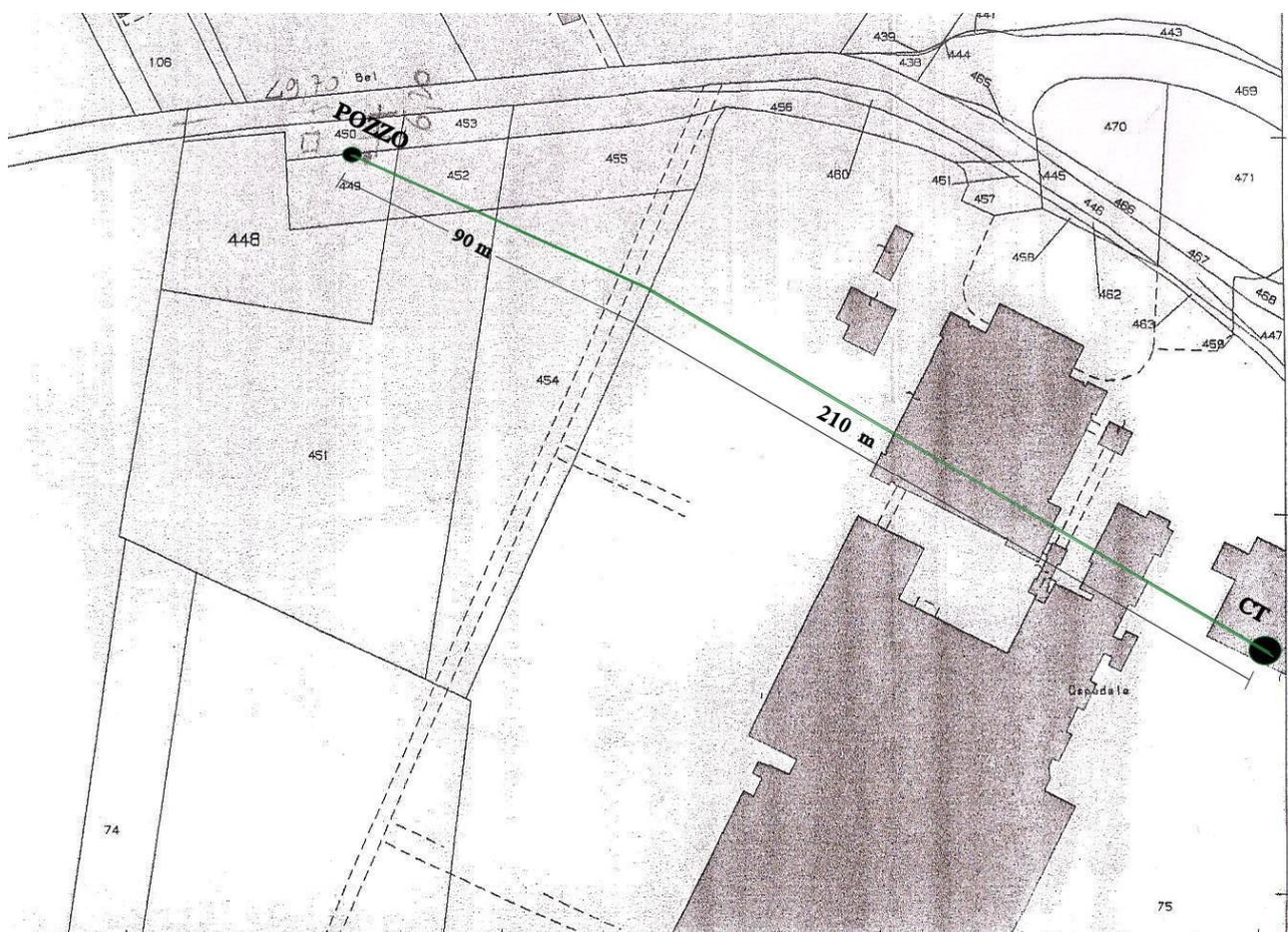


fig.36 scala 1:2000 ; distanze in linea d'aria fra pozzo e utenza finale nella CT

La qualità dell'acqua fornita dal pozzo è paragonabile a quella fornita dall'acquedotto ma con contenuto ferruginoso più alto. Mantiene sempre la caratteristica delle acque dell'Emilia Romagna ovvero un alto valore di durezza. L'acqua in arrivo dal pozzo dovrà quindi essere addolcita ma non potrà essere mescolata all'acqua di rete nell'impianto di addolcimento: sarà necessario

utilizzare un impianto a parte, mentre quello vecchio servirà solamente a trattare l'acqua destinata a tutti gli utilizzi dell'ospedale.

Le torri vengono raramente utilizzate in modo combinato ovvero tenute entrambe in funzione. Ricordiamo che ogni torre è ovviamente accoppiata al rispettivo gruppo frigorifero o pompa di calore e la sua accensione avviene all'avviamento del "frigo" corrispondente; non meno importante il fatto che il funzionamento di una è indipendente dall'altra. Il frigo piccolo viene utilizzato solamente in prestagione e fine stagione quando i carichi termici sono meno rilevanti oppure combinatamente a quello grande nei casi di estrema necessità ove il frigo di maggior potenza non riuscisse a soddisfare il carico richiesto oppure in caso di guasto di frigo ausiliari aria-acqua dislocati nella struttura per specifici usi. L'ospedale dispone ancora di un vecchio frigo acqua-aria funzionante che viene acceso eccezionalmente qualora si verificano temperature anomale (molto basse rispetto alla media) per risparmiare proprio sul consumo d'acqua: si tratta di accensioni molto sporadiche che si possono verificare soprattutto ad inizio stagione (maggio-giugno).

Qualità dell'acqua di ricircolo delle torri di raffreddamento

(buona se rientra nei limiti elencati):

Ph	6,5÷9
Durezza (come CaCO ₃)	da 30 a 500 ppm
Alcalinità (come CaCO ₃)	500 ppm max
Totale sali disciolti	1200 ppm max
Cloruri	250 ppm max
Solfati	250 ppm max

3.2 RILEVAZIONI SUL CAMPO

3.2.1 Andamento del consumo giornaliero delle torri

Il consumo di acqua delle torri varia in base alla conducibilità dell'acqua in entrata e potenza di scambio termico (condizioni igrometriche dell'aria esterna,

temperatura di ritorno del fluido dal condensatore). Ad esempio più l'aria esterna è umida meno acqua riesce ad evaporare, mentre la temperatura esterna (a parità di umidità relativa) influenza la conducibilità dell'acqua che aumenta con t consentendo meno cicli di evaporazione. Dapprima misuriamo il consumo d'acqua giornaliero per le torri attraverso diverse serie di misurazioni, poi calcoliamo quanta parte evaporerà e quanta verrà spurgata, ovvero quanta ne avremo disponibile in uscita per l'irrigazione.

Al fine di calcolare la portata di progetto richiesta non abbiamo bisogno di valori medi ma dei "picchi" di richiesta giornalieri per entrambe le torri, ovvero monitorare l'andamento del consumo nei giorni più caldi, con massima potenzialità frigorifera richiesta. In base a questi valori potremmo procedere al dimensionamento della pompa sommersa per il pozzo e al resto degli elementi dell'impianto.

Ho monitorato il consumo di torre piccola e grande tramite il contatore di portata posto proprio sul ramo addolcitore-torri. Durante le mie rilevazioni mai le due torri sono state accese contemporaneamente (ricordo il fatto che il frigo grande basta a soddisfare tutta la richiesta in quanto leggermente sovradimensionato rispetto ai carichi richiesti e quello piccolo viene acceso qualora si verifici qualche guasto nel gruppo frigorifero ausiliario che serve particolari sale nel nuovo Dea).

Riportiamo i dati tecnici delle due torri:

	Torre piccola	Torre grande
Capacità termica [KW]	1300	1700
Portata acqua totale [l/s]	62	83
t _{bu} entrante [°C]	25	nd
t acqua ingresso	34	nd
t acqua uscita	29	nd
portata d'aria [m ³ /s]	46,3	nd
Volume vasca [l]	5046	nd

Ho monitorato durante tutto l'arco del 30 Giugno il consumo d'acqua della torre piccola, vediamo in dettaglio i dati raccolti:

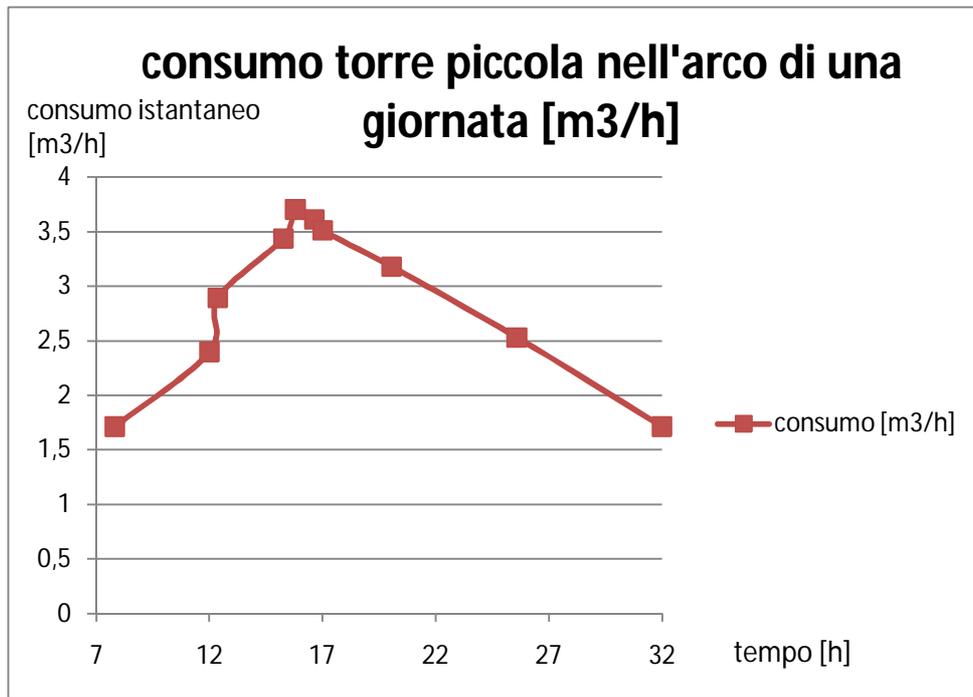
tempo [h]	T est [°C]	umidità%	ΔT cond	ΔT evap	%corr.nom	Pot enza assorbita	Cumulata consumo[m3]
7,83	21	65	3,4	1,8	61	113	0
12	29,7	46	4,8	2,5	85	174	10
12,38	30	46	5	2,6	92	186	11
15,26	31,3	39	5,2	2,8	94	198	21
15,8	31,8	38	5,3	2,8	95	194	23
16,63	30,9	43	5,1	2,7	95	193	26
17	31,6	44	5,2	2,7	93	194	27
20,05	28		5,1	2,7	95	197	37
1,58	22		4	2,2	69	138	51
8	24		4,1	2,1	74	145	62

La colonna tempo si riferisce all'orario della rilevazione trasformato con minuti trasformati in virgola decimale. I due delta si riferiscono rispettivamente al differenziale di temperatura di entrata-uscita acqua dal condensatore ed evaporatore. Le temperature di entrata-uscita acqua dal condensatore variano a seconda della potenza frigorifera e il delta è proporzionale a quest'ultimo valore; la T dell'acqua in uscita dall'evaporatore nonché la temperatura della acqua inviata alle utenze (UTA) viene mantenuta pressoché costante sui 6.1°C. Le penultima e terzultima colonna si riferiscono alle percentuali di corrente nominale e la potenza assorbita dal motore (su cui è calettato il compressore) del frigo piccolo mentre l'ultima colonna riporta le letture del contatore di portata.

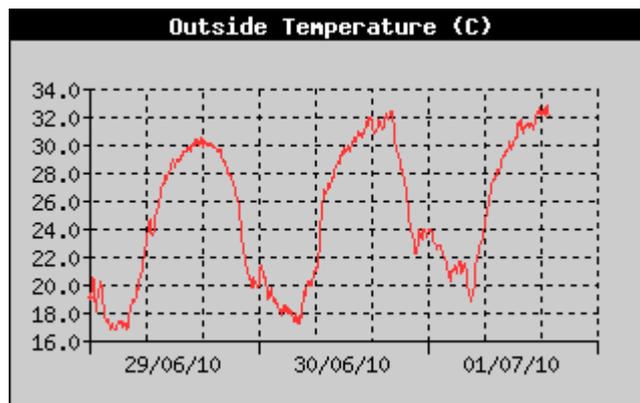
Riepilogando abbiamo registrato in questa giornata un consumo giornaliero pari a 62 m3 alla potenzialità media frigorifera dell' 82,5[%] circa.

La cosa che più ci interessa sono i consumi attraverso i quali andare a graficare l'andamento dei consumi della torre piccola nell'arco delle 24 ore:

orario	[h] deltat	[m3] cumulata	[m3] consumo	[m3/h] consumo istantaneo
07:47	0	0	0	1,7133956
11:57	4,17	10	10	2,3980815
12:23	0,38	11,1	1,1	2,8947368
15:16	2,88	21	9,9	3,4375
15:48	0,54	23	2	3,7037037
16:38	0,83	26	3	3,6144578
17:00	0,37	27,3	1,3	3,5135135
20:03	3,05	37	9,7	3,1803279
01:35	5,53	51	14	2,5316456
08:00	6,42	62	11	1,7133956



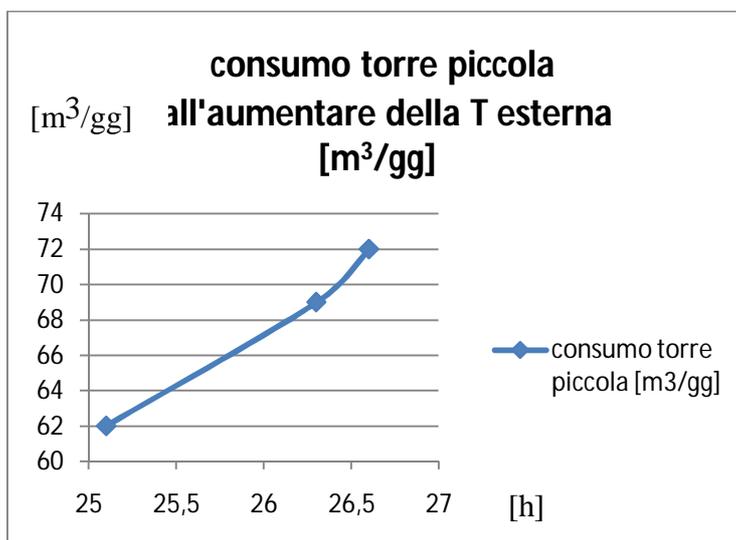
E' stata considerata e successivamente corretta nel grafico l' "anomalia" verificatasi il 30 giugno (come si può apprezzare dal grafico temperatura esterna-tempo) ovvero una brusca diminuzione di T alle 16 e seguente picco verso le 19 ; il consumo risulta maggiore in quelle ore rispetto a quello registrato realmente. Questa curva rispecchia l'andamento della t esterna (con la quale varia la potenza frigorifera richiesta dalle utenze) come possiamo vedere dal grafico sottostante temperatura esterna-tempo nell'arco della stessa giornata.



Registrando giorno per giorno i valori di temperatura nella località di Imola e i relativi consumi di acqua giornalieri delle torri abbiamo verificato la correlazione positiva tra consumo d'acqua-valore di temperatura esterna (come ampiamente prevedibile)..può risultare interessante l'entità della relazione nonché la pendenza della curva consumo-temperatura come possiamo apprezzare nelle figure sottostanti per entrambi le torri.

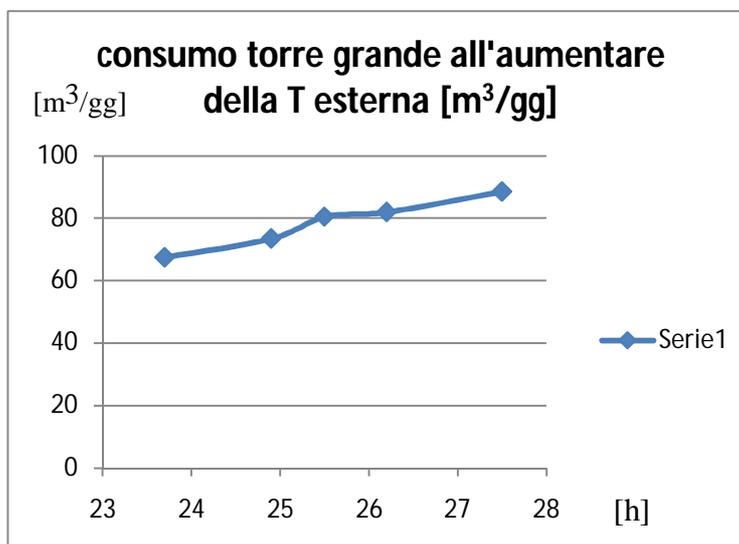
TORRE PICCOLA

data	Tmedia [°C]	consumo [m ³ /gg]
30-giu	25,1	62
02-lug	26,3	69
01-lug	26,6	72



TORRE GRANDE (registrazioni di temperatura non precise)

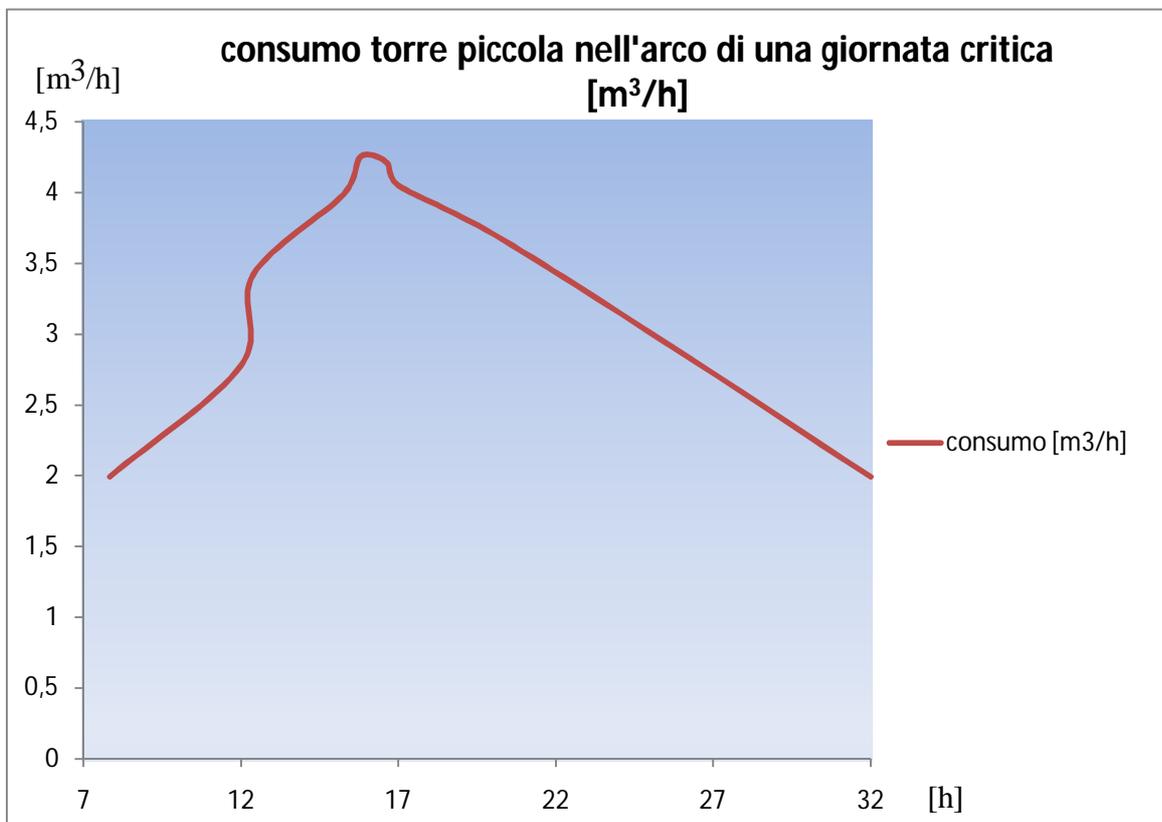
data	Tmedia [°C]	consumo [m ³ /gg]
07-lug	23,7	67,5
06-lug	24,9	73,5
11-giu	25,5	80,5
05-lug	26,2	82
04-lug	27,5	88,5
6-lug	28,9	79
17-lug	29,6	88



Ora possiamo proiettare i dati registrati per ottenere una stima del consumo d'acqua per le torri evaporative in condizioni critiche (scelta in base ai valori massimi di temperatura-umidità registrati negli anni precedenti).

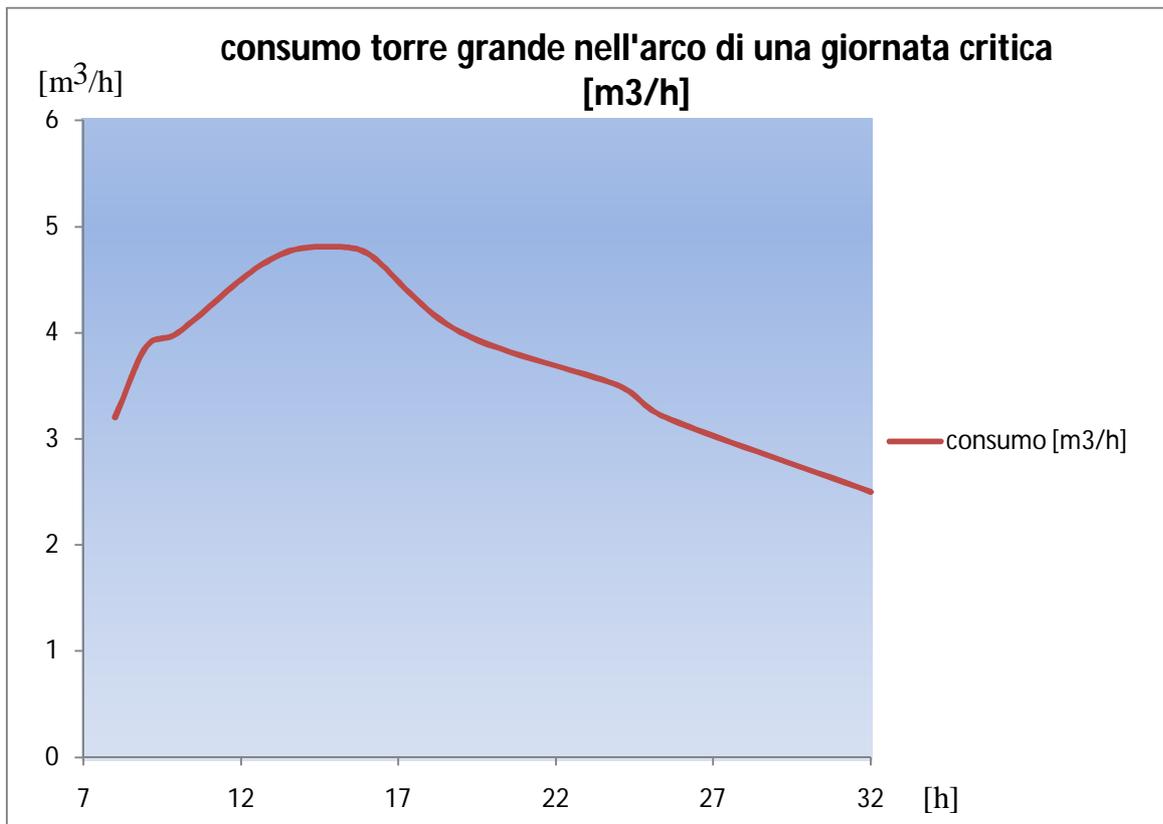
Vediamo il grafico per condizioni di lavoro della torre piccola massime corrispondenti ad un consumo giornaliero di 72 m³ di acqua, T esterna massima di 32.8 gradi, T esterna media di 26,5 gradi e umidità media del 65% (1 Luglio):

orario	[h]	ΔT	[m ³] cumulata	[m ³] consumo	[m ³ /h] consumo istantaneo
07:47			0	0	1,993769
11:57		4,17	11,6	11,6	2,781775
12:23		0,38	12,9	1,3	3,421053
15:16		2,88	24,4	11,5	3,993056
15:48		0,54	26,7	2,3	4,259259
16:38		0,83	30,2	3,5	4,216867
17:00		0,37	31,7	1,5	4,054054
20:03		3,05	43	11,3	3,704918
01:35		5,53	59,2	16,2	2,929476
08:00		6,42	72	12,8	1,993769



Calcolo ora il fabbisogno delle torre grande in condizioni critiche (t_{media} 30,5 °C, 37,1°C T massima nella giornata più calda, 17 luglio 2010).

orario	[h]	[m3]	[m3]	[m3/h]
	deltat	cumulata	consumo	consumo istantaneo
08:00	0	0	0	3,2
09:00	1	3,87	3,87	3,87
10:00	2	11,87	8	4
12:00	2	20,87	9	4,5
13:00	1	25,57	4,7	4,7
14:00	1	30,37	4,8	4,8
15:30	1,5	37,57	7,2	4,8
16:15	0,75	41,095	3,525	4,7
19:00	2,25	50,095	9	4
00:00	5	67,595	17,5	3,5
01:30	1,5	72,395	4,8	3,2
08:00	6,5	88,645	16,25	2,5



3.2.2 Scelta della portata di progetto dell'impianto

Nel suo punto di funzionamento la pompa fornisce una portata massima di 1,2 l/s ad una prevalenza di 70 metri, compatibilmente a quella massima fornita dal pozzo cioè 1,5 l/s.

Il valore di consumo della torre grande appena trovato rappresenta la richiesta che il pozzo dovrà soddisfare. Ora sta a noi decidere se utilizzare tutta la portata fornita dalla pompa oppure una frazione di essa e conseguentemente dimensionare i serbatoi di accumulo (in primis, dato che la richiesta come possiamo vedere non è costante nell'arco della giornata) poi tutti gli altri componenti dell'impianto.

Scegliere di utilizzare ad esempio solamente 1 l/s significa prevedere un minimo di integrazione da acquedotto nelle giornate estive più calde e destinare la restante frazione disponibile di 0,2 litri/secondo direttamente all'utilizzo degli orti.

Nell'arco di una giornata questa frazione di portata garantirebbe una quantità d'acqua pari a 17,28 m³ ovvero poco più della metà del fabbisogno per l'irrigazione. Questa potrebbe tornare utile nelle giornate più fredde nelle quali la torre non riuscisse a spurgare sufficiente quantità d'acqua. Vedremo più tardi in dettaglio l'andamento dei livelli dei serbatoi per giustificare tale scelta o meno. In ogni caso servirà, nella derivazione pozzo-serbatoio di accumulo degli orti, una valvola a 3 vie motorizzata che consenta di convogliare tutta la portata disponibile nel caso il gruppo frigorifero dell'ospedale non sia in funzione.

3.2.3 Calcolo portata d'acqua evaporata e spurgata dalle torri

Dopo aver provveduto al raffreddamento dei condensatori, l'acqua calda che ne esce viene inviata alla torre di raffreddamento per mezzo di pompe di circolazione. Qui essa viene raffreddata per evaporazione parziale fino a raggiungere una temperatura inferiore di quella a bulbo secco dell'aria. Il fenomeno dell'evaporazione dipende dalla capacità di assorbimento dell'acqua da parte dell'aria ambiente non satura. Le due torri di raffreddamento (a circuito aperto) sono posizionate nel tetto della centrale termica. L'acqua di reintegro corrisponde alla somma della quantità evaporata più quella perduta per trascinarsi dal flusso d'aria, a cui va aggiunta la portata necessaria per effettuare lo spurgo di

deconcentrazione. La temperatura limite massima di raffreddamento è uguale alla temperatura a bulbo umido dell'aria, che in pratica però non è possibile ottenere [4]. Chiamiamo *Indice termometrico della torre* (Ith) della torre la differenza massima di temperatura che essa è in grado di fornire tra T entrata acqua (da raffreddare) e T uscita acqua (raffreddata: solitamente il suo valore si attesta sui 4-5 K).

La quantità di acqua evaporata per effetto del raffreddamento deve essere sostituita con un'analogia quantità di acqua di reintegro che penetra nella vasca di raccolta attraverso una valvola automatica a galleggiante: raggiunto il livello minimo nella vasca, la valvola si aprirà riempiendo vasca fino al livello per il quale si richiuderà la valvola.

Chiamiamo Q_v la portata di acqua che evapora: trovare il suo valore non è difficile sapendo che per far evaporare un kilogrammo di acqua ad una certa temperatura sarà necessaria una certa quantità di calore detta entalpia di evaporazione (h_v). Alla temperatura di 25° C essa è uguale a 2434,6 KJ/Kg nonché 2434600 KJ/m³ (dallo stato liquido a T=25° C allo stato gassoso).

Sapendo la quantità di calore smaltita in un'ora dal condensatore (P_c) ovvero la sua capacità termica riusciamo a calcolare la quantità d'acqua che evapora:

$$Q_v = P_c / h_v$$

Per quanto riguarda lo spurgo di deconcentrazione esso è funzione di due parametri: la concentrazione in sali ammissibile nell'acqua circolante (durezza oppure valore di conducibilità) e la qualità dell'acqua di alimentazione. La periodicità degli spurghi deve essere in funzione della composizione dell'acqua di reintegro, in particolare del suo tenore di sali. Se la qualità dell'acqua erogata dall'acquedotto pubblico resta entro certi limiti normali è possibile calcolare l'ammontare del reintegro da prevedere. Sempre restando nei limiti accettabili dal punto di vista dei costi di esercizio occorre infatti avere un equilibrio tra durezza iniziale dell'acqua di reintegro e durezza massima ammissibile per l'acqua del circuito di raffreddamento. Tale equilibrio può essere ricavato con l'aiuto della figura 37: partendo da una determinata durezza iniziale dell'acqua di reintegro (asse delle ascisse) e da una durezza massima ammissibile per il circuito di raffreddamento (asse delle ordinate), all'intersezione delle coordinate corrispondenti si ottiene la portata d'acqua di reintegro (Q_a) da prevedere in

funzione della portata d'acqua evaporata Q_v . La durezza dell'acqua può essere data in gradi francesi [$^{\circ}\text{TH}$] o gradi tedeschi.

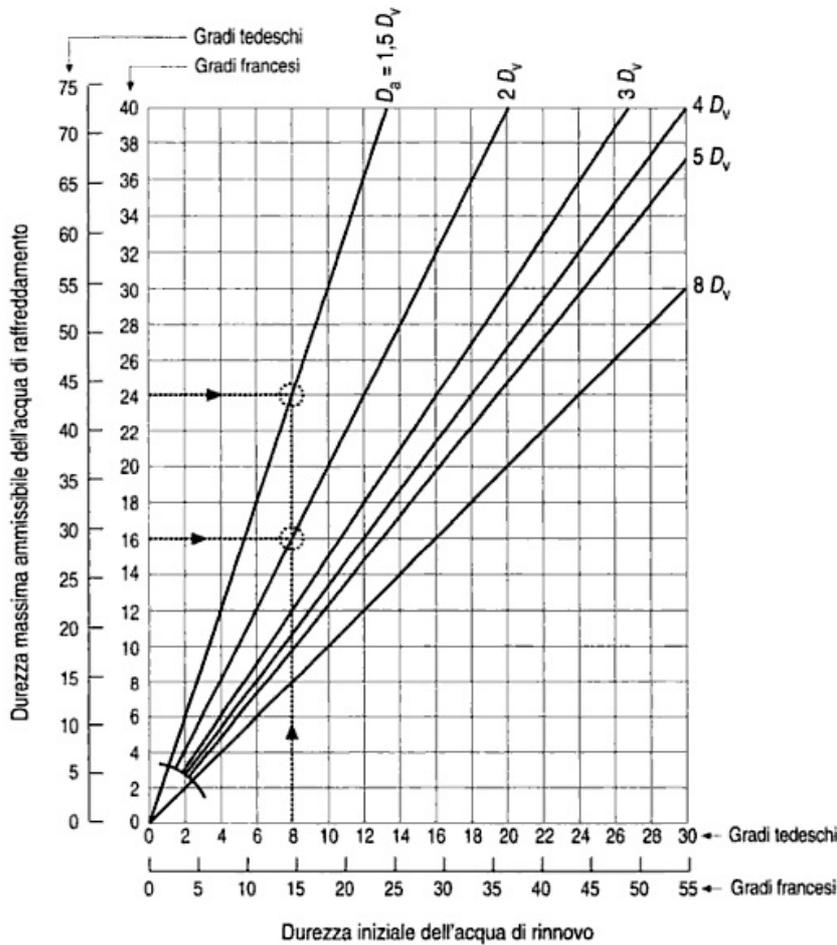


fig.37 grafico durezza acqua rinnovo-massima ammissibile ($D_a=Q_a$, $D_v=Q_v$)

La portata dello spurgo di deconcentrazione sarà $Q_p=Q_a-Q_v$.

Se avessimo ad esempio una portata d'acqua di reintegro di 1232 litri/h con una potenza da smaltire nel condensatore di 1500000 KJ/h e supponiamo di non avere previsto una torre di raffreddamento con smaltimento di calore del condensatore a fascio tubiero per semplice circolazione di acqua a perdere. Con un $\Delta T=12$ K la portata d'acqua a perdere Q_{ep} sarà:

$$Q_{ep} = \frac{1500000}{4,19 \cdot 12} = 29833 \text{ [litri/h]} \text{ ovvero circa } 30 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Si comprende quindi l'interesse nel l'utilizzare una torre di raffreddamento con la quale si utilizzano 1,23 m³/h contro 30m³/h d'acqua a perdere per un risparmio medio d'acqua del 95÷98%.

Nel nostro impianto l'addolcitore fa si che l'acqua in entrata nelle nostre torri sia a durezza pari a 0 gradi francesi. Come precedentemente spiegato i carbonati di

calcio e magnesio non solubili vengono trasformati in sali solubili in acqua:così facendo riusciamo ad eliminare il valore di durezza e nel contempo aumentiamo il valore di conducibilità (che rappresenta il complesso dei sali disciolti nell'acqua,in questo caso tutti solubili). Sappiamo inoltre che l'acqua di reintegro entra a 1000 microsiemens/cm2 e l'elettrovalvola che comanda lo spurgo è tarata per un valore di 2300 μ siemens/cm2, riepilogando:

Conducibilità media in entrata [μ siemens/cm2]	1000
Conducibilità media in uscita [μ siemens/cm2]	2200-2300

Tra conducibilità in uscita e in entrata c'è un rapporto di 2,3. Se utilizziamo la tabella precedente con il nostro rapporto entrata/uscita abbiamo:

$$Q_a = 1,85 * Q_v$$

$$\text{quindi } Q_p = 1,9 * Q_v - Q_v$$

in definitiva abbiamo una Q di evaporazione circa il 14% più grande di quella di spurgo in via teorica.

Ci sarebbe da considerare nel bilancio anche l'acqua perduta per trascinarsi che con gli attuali separatori di gocce assume un valore quasi irrilevante; si parla di perdite pari a circa lo 0,1-0,05% del valore complessivo della portata ricircolata.

Vediamo che risultati ci fornisce questo metodo:

Considerando che mediamente per ogni chilogrammo di acqua evaporata, si ha una dispersione di 600 Kcal/h (valore medio) possiamo calcolare approssimativamente la portata d'acqua che evapora in torre grande (1700KW):

$$Q_v = P_c / 600 = 1461728 / 600 = 2436 \text{ kg/h} = 2436 = 58,47 \text{ m}^3/\text{giorno}$$

dove:

- Q_c è la quantità di acqua consumata espressa in Kg/h. La torre grande ha una capacità termica di scambio pari a 1700KW ovvero 1461728 Kg/h.
- P è la potenzialità termica della torre espressa in Kcal/h
- 600 è la quantità di calore asportata da ogni chilo di acqua evaporata (KCal/Kg) mediamente il valore corretto andrebbe rilevato dal diagramma del vapore, in base alle condizioni effettive di funzionamento, ma in fase di prima approssimazione, questo valore permette una discreta accuratezza, anche in funzione di quanto andremo a definire qui sotto.

Dato questo risultato avremmo, per un'intera giornata di funzionamento a massima potenza costante nelle 24 ore , una $Q_v=58 \text{ m}^3/\text{gg}$ circa, una $Q_a=110\text{m}^3/\text{gg}$ e $Q_p=52$. Se il gruppo frigorifero grande lavora in una giornata tipo con una potenzialità frigifera media del 75% avremo $Q_v=43,8 \text{ [m}^3/\text{gg}]$, $Q_a=83,22 \text{ [mm}^3/\text{gg}]$, $Q_p=39,4 \text{ [m}^3/\text{gg}]$. Nella giornata critica in cui ho effettuato le misurazioni ho registrato un consumo di 88 m^3 circa..che equivale secondo questi calcoli esattamente ad un funzionamento medio (durante le 24 ore) pari a circa l'80% della potenzialità frigifera massima(in questo caso $Q_v=46,8$; $Q_a=88,9$; $Q_p=42,1$). Consideriamo con questo metodo Q_p circa 10% più piccola rispetto Q_v .

Una regola pratica consiste nel prevedere uno spurgo pari alla quantità d'acqua evaporata: in prima approssimazione, soprattutto se si devono fare delle considerazioni sui consumi di acqua di un impianto di raffreddamento, possiamo considerare la portata di acqua di spurgo pari alla portata di acqua persa per evaporazione. Per brevità quindi possiamo dire che il consumo medio di acqua in una torre evaporativa è dato dalla somme delle perdite di acqua per trascinamento più due volte le perdite per evaporazione.

Nonostante la consapevolezza di questa "regola pratica" ho provveduto a dimostare l'uguaglianza fra le portate di spurgo ed evaporazione. Ho raccolto una serie di dati sul campo analizzando i dati durante due cicli di spurgo:

orario	tempo[h]	T[°C]	evento	portata spurgo [m ³ /h]	consumo acqua tot [m ³]	durata spurgo [min]	durata intervallo tra uno spurgo e un altro [min]
08:06	8,1	25	inizio spurgo	1,378	0		
08:24	8,4	26		1,343			
08:36	8,6	26	fine spurgo		1	30	
08:49	8,82	27	inizio spurgo	1,353			13
09:04	9,066				2		
09:27	9,45	27,5	fine spurgo		3	38	
09:41	9,68		inizio spurgo				14

consumi in [litri]	consumo	spurgo	reintegro (dedotta dalle altre due misurate)
1o ciclo: dalle 8:06 alle 8:36	1000	660	340
2o ciclo: dalle 8.36 alle 9.04	1000	338,4	661,6
3o ciclo: dalle 9.04 alle 9.27	1000	519	481
Σ		1517,4	1482,6

ciclo tra due inizio spurghi (8:06-8-49)	consumo	spurghi	reintegro
	1307,2	660	647,2

Considerando più cicli possiamo considerare la quantità di acqua di reintegro uguale all'acqua evaporata (per compensare il fatto che all'inizio del monitoraggio non si conosce il livello del serbatoio della torre).

Il calcolo se pur grossolano ,fatto attraverso misurazioni con cronometro,misuratore di portata e caraffa da 5 litri per la misurazione della portata di spurgo, ci consente di come possiamo considerare le due portate uguali nel tempo (le due portate poi ovviamente varieranno di pari passo in proporzione alla potenzialità dell'impianto,quindi alle condizioni igrometriche esterne).

3.2.4 Misurazione elettrica e calcolo andamento consumi d'acqua per impianto irrigazione orti

Al fine di calcolare il fabbisogno giornaliero dovuto all'irrigazione degli orti è stato utilizzato un Microvip, un analizzatore portatile di energia elettrica e di armoniche per sistemi monofase e trifase. In particolare è stato effettuato un collegamento amperometrico alle fasi della pompa sommersa che alimenta tutto l'impianto di distribuzione per misurare carichi e consumi della stessa.

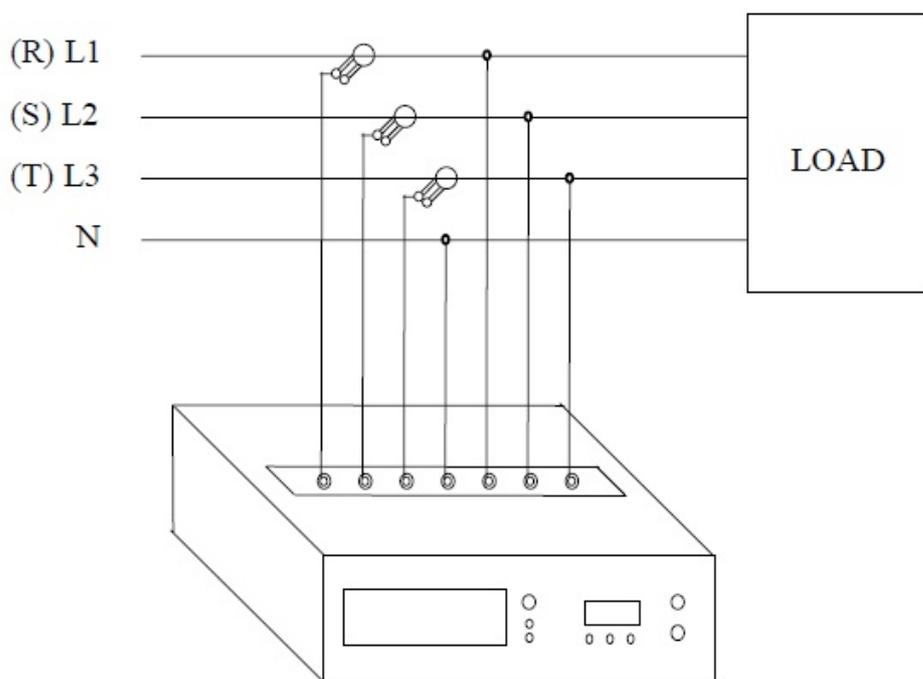


fig.38 misuratore e collegamenti voltmetrici/amperometrici su rete trifase a stella

Lo strumento è rimasto in funzione per 3 giorni da venerdì a lunedì mattina nel penultimo weekend di luglio: ipotizziamo che i carichi misurati rappresentino quelli di massimo consumo annuale (estivo). Ricordiamo che la pompa funziona solo nei mesi estivi da Aprile a Ottobre.

Vediamo una paginata di dati che ci ha fornito lo strumento:

DATA	ORA	TENSIONE V	CORRENTE A	COSFI PF	P W	S VA	Q VAR	F Hz	ENERGIA kWh
23/07/2010	09:08:00	219,25	6,44	-0,414	1011,83	2443,44	-2223,88	50	0,4
23/07/2010	09:09:00	219,78	6,43	-0,415	1015,23	2444,19	-2223,29	50	0,42
23/07/2010	09:10:00	219,87	6,44	-0,42	1030,56	2452,56	-2225,5	50,01	0,44
23/07/2010	09:11:00	220,85	6,47	-0,425	1051,74	2473,99	-2239,28	49,99	0,46
23/07/2010	09:12:00	220,81	6,46	-0,423	1043,58	2469,07	-2237,67	49,99	0,47
23/07/2010	09:13:00	220,77	6,44	-0,425	1045,88	2461,24	-2227,93	50	0,49
23/07/2010	09:14:00	220,53	6,44	-0,425	1044,13	2458,94	-2226,14	49,99	0,51
23/07/2010	09:15:00	220,58	6,44	-0,423	1041,83	2461,15	-2229,74	49,98	0,52
23/07/2010	09:16:00	220,06	6,43	-0,423	1037,05	2453,9	-2223,97	49,99	0,54
23/07/2010	09:17:00	219,84	6,43	-0,418	1024,84	2449,71	-2224,94	49,99	0,56
23/07/2010	09:18:00	220,5	6,42	-0,422	1037,05	2455,49	-2225,72	49,98	0,58
23/07/2010	09:19:01	220,59	6,42	-0,422	1037,62	2455,93	-2225,94	50,01	0,59
23/07/2010	09:20:01	220,52	6,44	-0,424	1044,34	2462,48	-2229,98	49,98	0,61

In figura possiamo vedere i primi dati registrati dal microvip la mattina del 23 luglio dal momento in cui è stato attaccato ovvero alle 9:08. Lo strumento ha registrato ogni misura ad intervalli di un minuto fino ad arrivare al 25 luglio alle 21:00 quando ha terminato la capacità della memoria interna. I valori riportati in tabella sono (per tensione trifase):

- TENSIONE : Valore efficace della tensione concatenata [V]
- CORRENTE : Valore efficace della corrente equivalente del sistema trifase [A]
- $\text{COS}\phi$: fattore di potenza del sistema trifase
- P : Potenza attiva del sistema trifase [W]
- Q : Potenza Reattiva del sistema trifase [VAr]
- S : Potenza Apparente del sistema trifase [VA]
- F : Frequenza della tensione [Hz]
- ENERGIA : Consumo di Energia Attiva del sistema trifase [KWh]

Altri valori misurati dallo strumento ma non riportati in tabella sono:

- Tensione in vero valore efficace tra fase L1 e neutro (STAR) [V]
- Tensione in vero valore efficace tra fase L1 ed L3 (DELTA) [V]
- Tensione in vero valore efficace tra fase L2 e neutro (STAR) [V]
- Tensione in vero valore efficace tra fase L2 ed L3 (DELTA) [V]
- Tensione in vero valore efficace tra fase L3 e neutro (STAR) [V]
- Tensione in vero valore efficace tra fase L1 ed L2 (DELTA) [V]
- Corrente in vero valore efficace della fase L1 [A]
- Corrente in vero valore efficace della fase L2 [A]
- Corrente in vero valore efficace della fase L3 [A]
- Valore massimo (picco) di Potenza Reattiva media del sistema trifase [VAr]
- Valore massimo (picco) di Potenza Apparente media del sistema trifase [VA]
- Valore massimo (picco) di Potenza Attiva media del sistema trifase [KW].

I risultati riepilogativi della misurazione sono:

	CORRENTE	COSFI	P	S	Q	ENERGIA
	A	PF	W	VA	VAR	kWh
MAX	283,76	0,028	1189,22	110923	8989,04	23,09
MIN	0	-0,473	-248,85	0	-37372	
MEDIA	2,393092	-0,4282	378,329	916,63	-802,23	

E' 23,09 KWh il consumo di energia della pompa al termine delle 60 h di prova (con una potenza media di 378,329 W).

Per trovare il consumo d'acqua basterebbe sapere la portata della pompa alla potenza assorbita di 0,378 KW. Sappiamo solamente che il motore nella pompa nel suo punto di funzionamento ovvero (Q=1,2 l/S, H=70 m) assorbe una potenza di 1,45 KW. Basterebbe avere la curva di potenza assorbita che associa una potenza assorbita ad ogni valore di portata Q.

Metodo alternativo è quello di spulciare dai dati il tempo di effettivo funzionamento alla potenza nominale assorbita per determinare il consumo (ipotizzando che in quel tempo lavori nel suo punto di funzionamento).

In assenza di curva di potenza assorbita procediamo in questo modo:

552 minuti di funzionamento sabato 24 luglio a 1 KW e 6,45 A di media, consumo di 9,73 KWh.

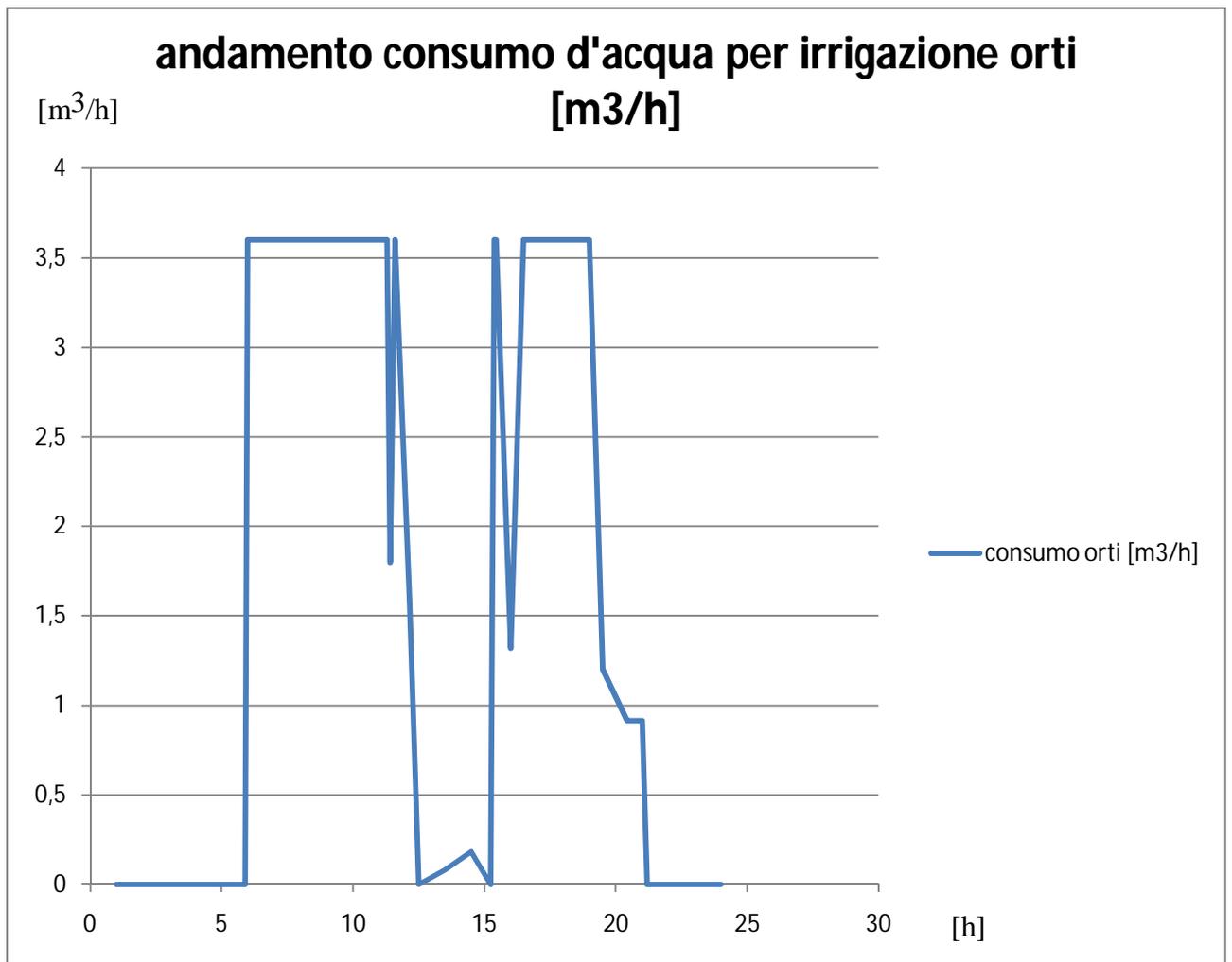
In base a questi dati abbiamo 9,2 h di funzionamento giornaliero per un consumo massimo di

$4,32 \text{ [m}^3/\text{h}] * 9,2 \text{ [h/gg]} = 39,75 \text{ [m}^3/\text{gg}]$ di consumo massimo giornaliero

Al suo punto di funzionamento la pompa dovrebbe assorbire una potenza di 1,45 ma ciò non avviene: assorbe in media 1.05 KW ed a quella potenza dovremmo avere una portata che si aggira su 1 l/s per una prevalenza invariata di 70 m. il ragionamento ci porta a modificare il calcolo:

$3.6 \text{ [m}^3/\text{h}] * 9,2 \text{ [h/gg]} = 33,12 \text{ [m}^3/\text{gg}]$ di consumo massimo giornaliero.

Riportiamo in fig. l'andamento dei consumi d'acqua per l'irrigazione degli orti nell'arco di 24 ore.



Possiamo vedere come ci siano due periodi durante i quali la pompa è sempre in funzione: la mattina dalle 6 alle 12 e dalle 15 circa alle 20 con qualche interruzione in quest'ultima fascia. Ripetiamo il fatto che rappresenta il consumo massimo registrato nel fine settimana in uno dei weekend più caldi dell'anno (23-24-25 luglio).

3.3 LA POMPA SOMMERSA: CALCOLO DEL LIVELLO DINAMICO DEL POZZO E SCELTA DEL PERCORSO

Il pozzo è attualmente dotato di un'elettropompa sommersa (pompa e motore sommersi) per la distribuzione dell'acqua agli orti. Vediamo in breve le sue caratteristiche : il motore, necessariamente elettrico, è sommerso in profondità solidale con la pompa ed alimentato tramite un appropriato cavo elettrico (vedi fig).. Non richiedendo asse di trasmissione, con questo tipo di pompe si possono raggiungere dislivelli ancora maggiori di quelli raggiungibili con pompe sommerse con motore in superficie. Le elettropompe sommerse sono utilizzate per l'emungimento da pozzi profondi anche con limitati diametri del tubo pozzo.

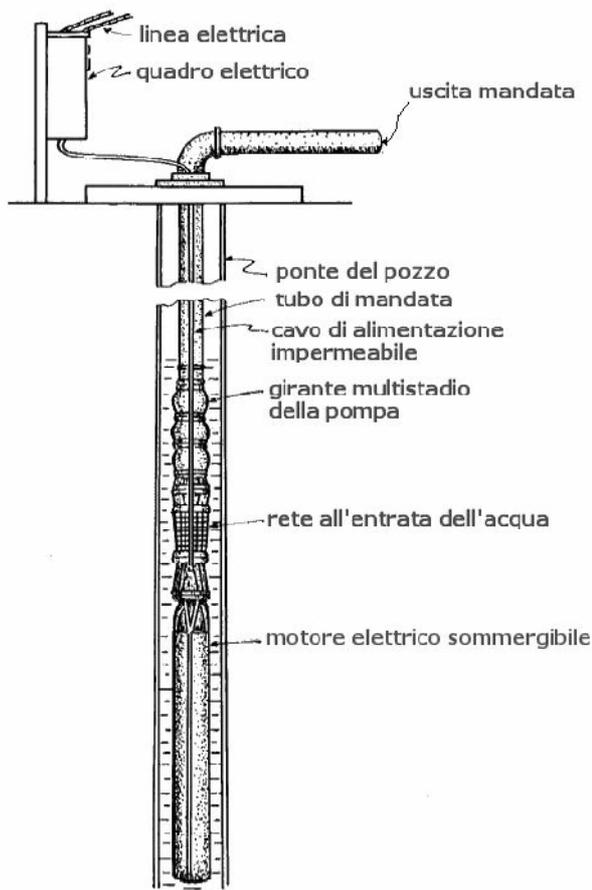


fig.39 schema del pozzo con elettropompa sommersa

Il motore elettrico di tipo asincrono ha una velocità di rotazione praticamente costante in relazione alla frequenza della fornitura elettrica,

che come noto è di 50 Hz. Il numero dei giri è fisso, pertanto si ha una unica curva caratteristica prevalenza-portata.

Le caratteristiche della pompa attualmente installata che ci sono state fornite sono:

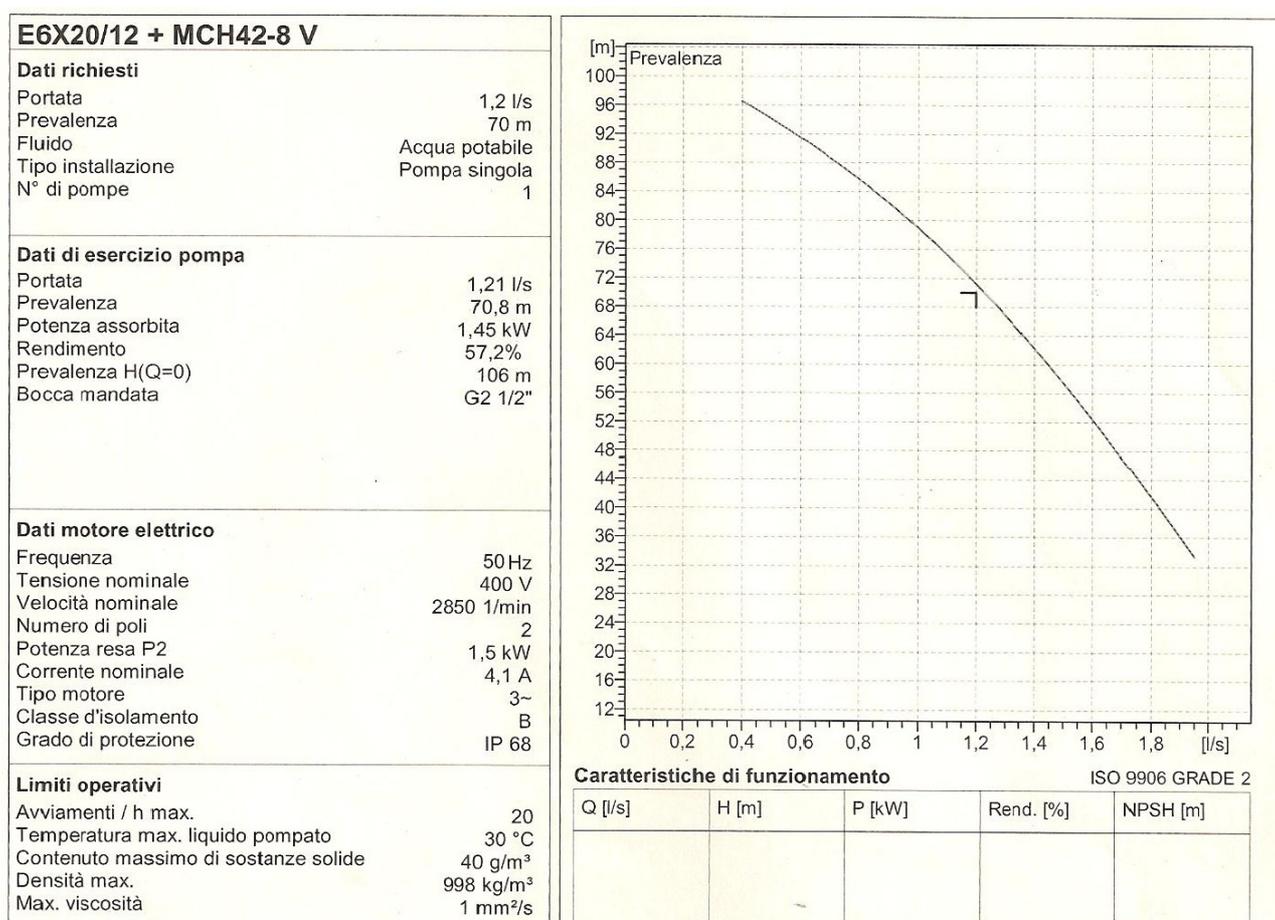
Potenza: 3 (4 cavalli)

Punto di funzionamento: Prevalenza 70 m

Portata 1,2 l/s

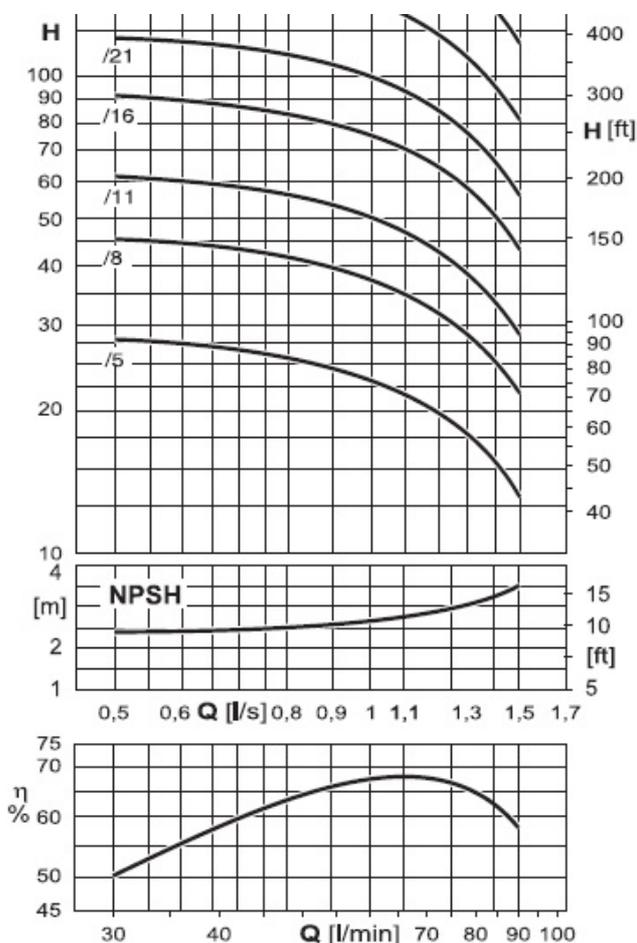
Non esiste in commercio però nessuna pompa con queste caratteristiche e le misurazioni elettriche al motore della pompa hanno evidenziato come, in condizioni attuali di lavoro, fornisca una potenza di 1,1 KW alla pompa con valore massimo intorno a 1,2KW. Non sappiamo però se attualmente stia lavorando nel suo punto di funzionamento quindi alla sua potenza nominale.

La pompa commerciale trovata al suo punto di funzionamento è la seguente:



Utilizzeremo questi dati in caso di futuro dimensionamento della pompa sommersa.

Un'altra pompa trovata in commercio con caratteristiche simili a quelle di attuale utilizzo:



Potenza nominale: 1,1 KW

Punto di funzionamento:

Prevalenza 70 m

Portata 1,1 l/s

(In corrispondenza del massimo della curva di rendimento ,vedi figura a lato curva /16)

Il modello di riferimento si riferisce E4XP30/16+MCH415 trifasi della ditta caprari.

Dopo questa premessa verifichiamo se le sue caratteristiche siano sufficienti a “portare acqua” alla centrale termica e vincere tutte le perdite di carico. In questo momento possiamo ipotizzare una lunghezza del percorso di 350m e considerare a valle della pompa due filtri (per eliminar eventuali particelle solide in sospensione come sabbia acquifera ed un altro per abbattere il contenuto ferruginoso) e un addolcitore.

In prima battuta ci servono livello statico (altezza del pelo libero dell’acqua nel pozzo)e dinamico dell’acqua del pozzo e l’altezza geodetica dell’utenza finale. L’utenza finale (ovvero il serbatoio di accumulo) sarà posto a livello dei sotterranei della Centrale termica (50 msl circa) .Di queste tre l’unica incognita è il livello dinamico che andiamo a calcolare.

3.3.1 Calcolo livello dinamico del pozzo

Dati:

tipologia pozzo: pozzo artesiano parzialmente penetrante
 profondità pozzo [m] 103
 livello statico del pozzo[m] -30 (sotto la sommità del pozzo)

Stratigrafia del terreno

6-15 m terreno
 15-22m ghiaia non acquifera
 22-95 m argilla
 95-130 m sabbia acquifera fine

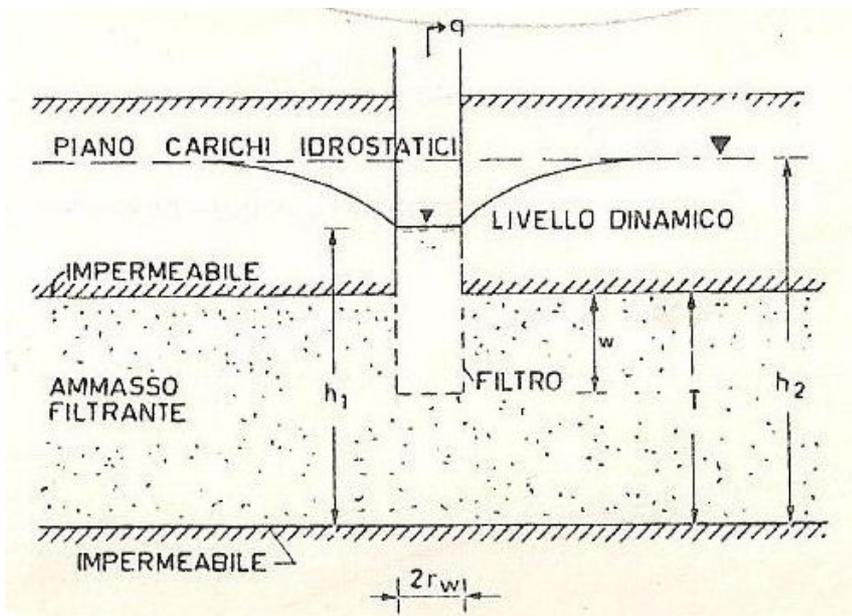


fig.40 schema pozzo artesiano parzialmente penetrante

Procediamo ora al calcolo del coefficiente di permeabilità del terreno K che dipende dal fluido che filtra e dal mezzo filtrante. Abbiamo due strati con differente valore di permeabilità. Il primo va da 30 a 95m (argilla) e il secondo da 95-103m (sabbia acquifera fine), i valori seguenti di k si riferiscono all'acqua come fluido filtrante:

strato [m]	k [m/s]
65	1,00E-08
8	0,000275

Ponderiamo i due valori di k per lo spessore degli strati e troviamo il valore medio di k per lo strato di terreno da cui filtra acqua.

$$k = ((2,75 \cdot 10^{-4} \cdot 8) + (1 \cdot 10^{-8} \cdot 65)) / (8 + 65) = 3,0146 \cdot 10^{-5} \text{ [m/s]}$$

Ora possiamo procedere al livello dinamico del pozzo conoscendo portata di prelievo Q, raggio di influenza R (distanza alla quale non si risente più dell'effetto di pompaggio pari a 500 per terreni medi), raggio rw del pozzo, k precedentemente calcolato e w (lunghezza del filtro dentro lo strato permeabile). Per avere riscontro di alcuni dei dati richiesti si può fare riferimento alla fig.40.

Q [m3/s]	0,0012	0,001
R (raggio di influenza) [m]	500	
rw (raggio del pozzo) [m]	0,05	
K [m/s]	3,01459E-05	
w [m]	8	
ln (R/rw)	9,2103	
$\Delta h = h_2 - h_1$ [m]	7,2976	6.0813
liv dinamico pozzo [m dal piano campagna]	-37,2976	-36.0813

Si chiama *caratteristica di un pozzo* [5] la relazione $Q = f(\Delta h)$ fra la portata erogata dal pozzo e l'abbassamento a regime Δh dell'acqua del pozzo sotto il piano dei carichi idrostatici (livello nel pozzo a riposo).

$\Delta h = h_2 - h_1$ (vedere fig) dove h_2 è il livello statico mentre $h_1 = h_2 - \Delta h$ il livello dinamico del pozzo. La caratteristica è lineare per pozzi artesiani (immersi in falda in pressione detta appunto artesia).

Per il nostro caso ovvero quello di un pozzo artesiano parzialmente penetrante (vedi sempre fig) possiamo utilizzare l'espressione seguente quando la lunghezza w del filtro non supera 0,3 T (T è lo spessore della falda):

$$Q = 2\pi kT * \frac{h_2 - h_1}{\ln\left(\frac{R}{rw}\right)} * \frac{w}{T}$$

da cui ricaviamo

$$\Delta h = \frac{q * \ln\left(\frac{R}{rw}\right)}{2\pi kw}$$

Dal quale ricaviamo il livello dinamico $h_1 = h_2 - \Delta h$

3.3.2 Scelta del percorso ed opere edili

La definizione del percorso è un passo fondamentale per stabilire la fattibilità del progetto. Vincoli a livello morfologico/geologico del terreno oppure spazi nelle strutture inaccessibili possono pregiudicarne la validità. I costi per le opere edili rappresentano circa il 17% dell'esborso iniziale per l'esecuzione del progetto (dato dalla somma dei costi meccanici, elettrici, edili e sicurezza dei cantieri).

La prima operazione è stata quella di misurare le distanze reali dal pozzo al primo muro dove effettuare i primi carotaggi tramite una "bicycle" che ci fornisce la misurazione con una precisione al decimo di metro; oltre il muro verranno utilizzate le mappe disegnate su supporto AutoCad dell'intera struttura.

Questi i risultati della prima misurazione:

- pozzo-recinzione 90m
- terreno interno ospedale-recinzione 75m
- strada interna 12m
- marciapiede 1,5 m
- n 4 carotaggi per l'attraversamento di muro di spessore 30 cm per entrare nel piano interrato del Dea.

Al termine di uno scavo di 160 metri di cui 90 nel terreno degli orti e 70 nel terreno interno dell'ospedale il primo ostacolo è rappresentato dall'attraversamento del tratto stradale di 12 metri sotto il quale sono posate ad una profondità di circa 2 metri altre tubazioni fra cui gas medicale, metano, elettricità con i quali non dobbiamo assolutamente interferire (vedi fig.41). A tal fine si utilizzerà una canaletta in cemento armato che racchiuderà al suo interno entrambi i tubi di andata/ritorno più due cavi elettrici, uno per la corrente elettrica ed uno per la trasmissione di segnali di controllo al quadro della pompa sommersa del pozzo. L'utilizzo della canaletta evita lo scavo attraverso il manto stradale quindi la possibilità di interferire con le altre tubazioni: la canaletta viene effettuata solamente tramite un "taglio" del manto stradale di circa 20x20 cm (profondità x larghezza) a valle dell'altra canaletta destinata allo scolo in fogna dell'acqua presente sul manto stradale.

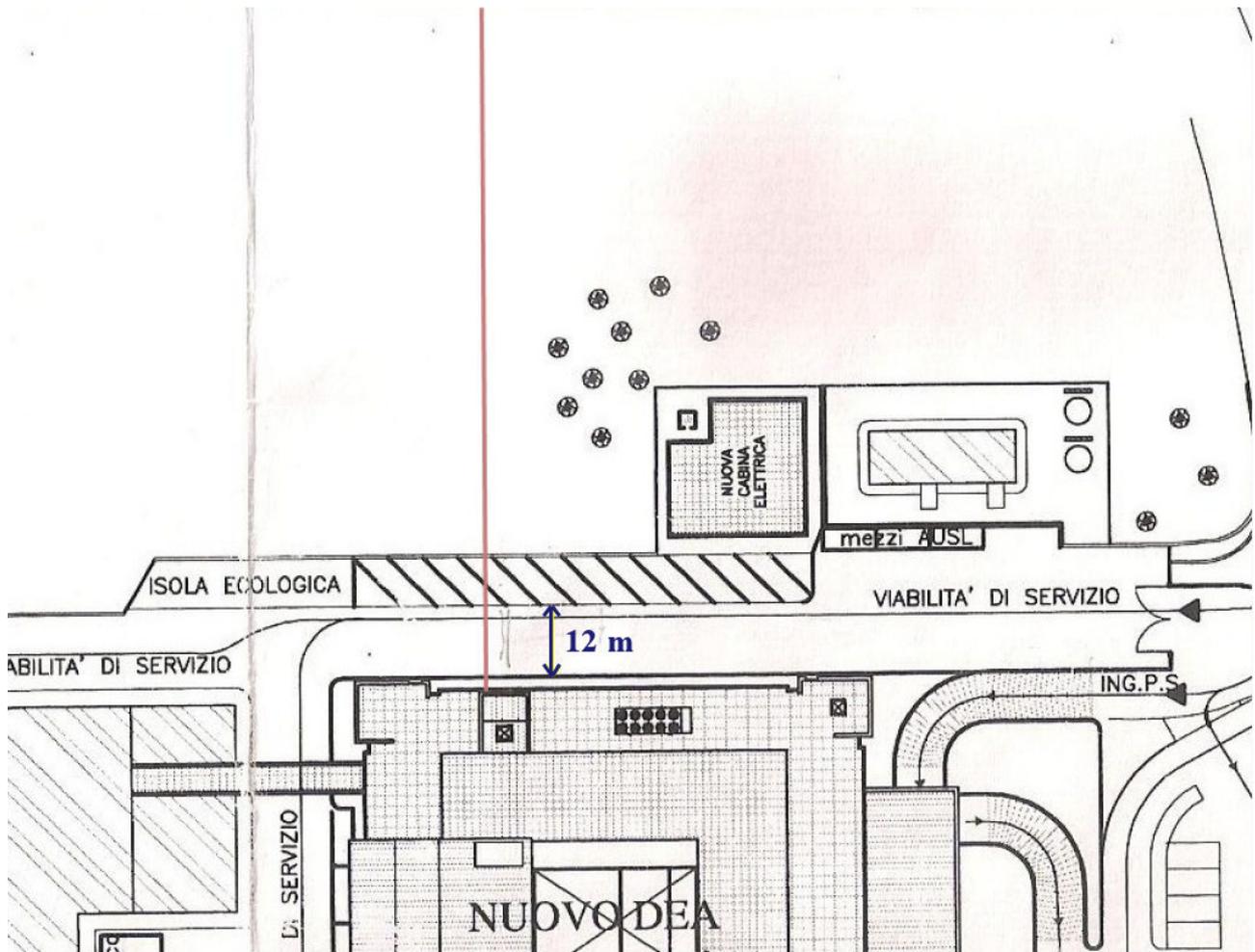


fig.41 in rosso la tubazione che arriva dal pozzo e attraversa strada di 12 m di larghezza

Si effettueranno all'interno del piano interrato del Dea altri quattro carotaggi, uno per ogni tubo (quindi 16 totali). Si entra nel piano interrato in prossimità di un locale tecnico. I tubi saranno a vista e posizionati con staffe a soffitto o, dove non consentito, a parete. Le figure seguenti da fig.42 a fig.45 rappresentano in sequenza il percorso delle tubazioni dal lato orti del Dea alla centrale termica: in fig.42 e 43 è rappresentato il percorso all'interno del piano interrato, mentre nelle fig.44 e 45 la restante parte di percorso attraverso il corridoio tecnologico e la CT. L'ultimo dei quattro carotaggi porta le tubazioni all'esterno dell'edificio del Dea per un breve tratto. Qui si effettuerà un ultimo scavo per penetrare attraverso il pozzetto sottostante dal quale ha inizio il corridoio tecnologico. Il corridoio è in parte pedonabile, arriva direttamente alla CT (come possiamo vedere in fig.44). All'interno di esso verranno posate le tubazioni richieste con staffaggi a parete. I due tubi in polietilene per acqua saranno isolati tramite in guaina di gomma. Per ogni carotaggio invece dovrà essere previsto un collare antifluoco costituito da

materiale speciale che si espanderà in caso di incendio ed eviterà la dispersione delle fiamme all'esterno del locale oggetto del fenomeno di incendio.

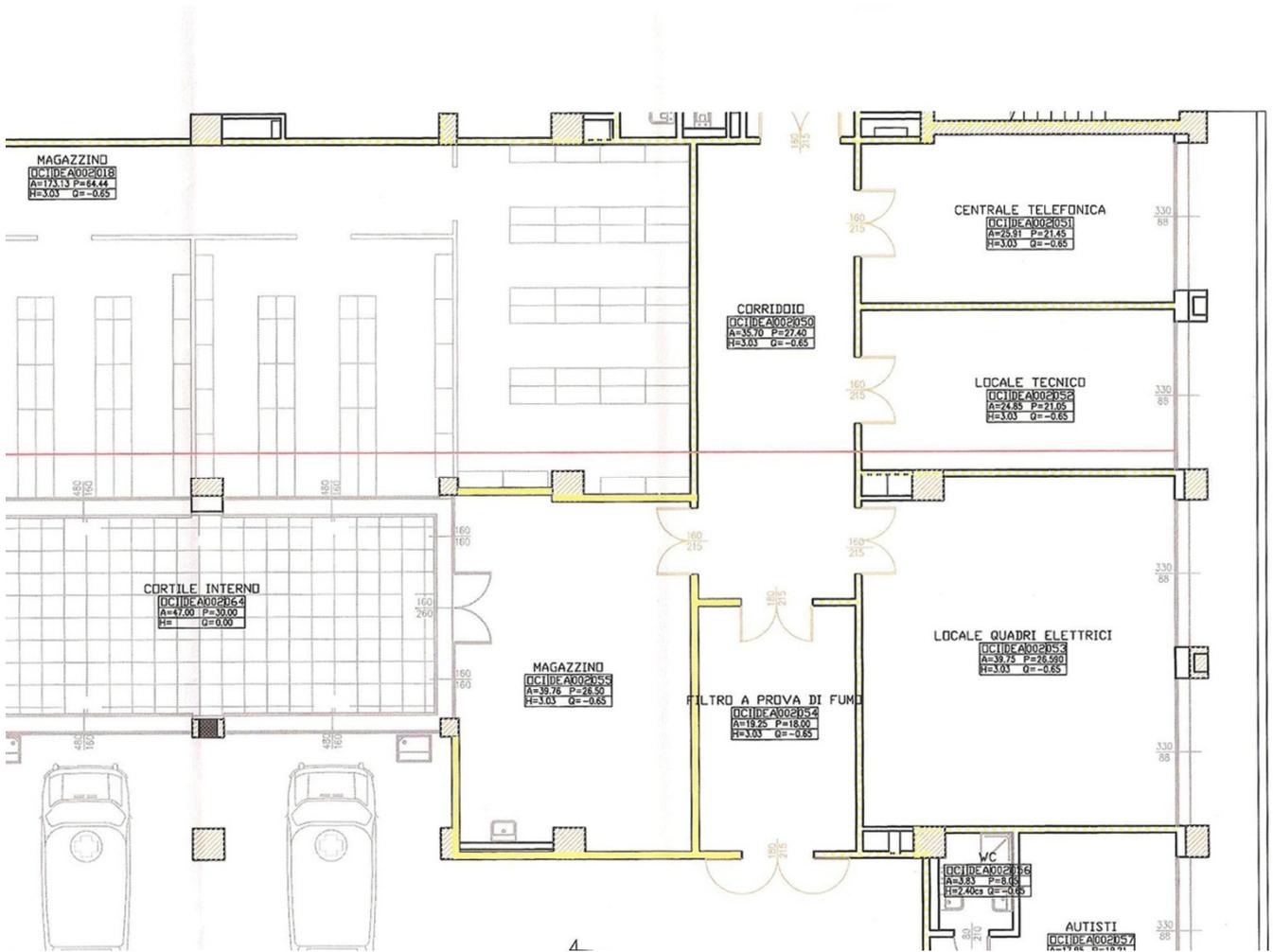


fig.42 percorso delle tubazioni nel piano interrato del Dea (1a parte). a destra il lato orti dell'ospedale, a sinistra il lato CT

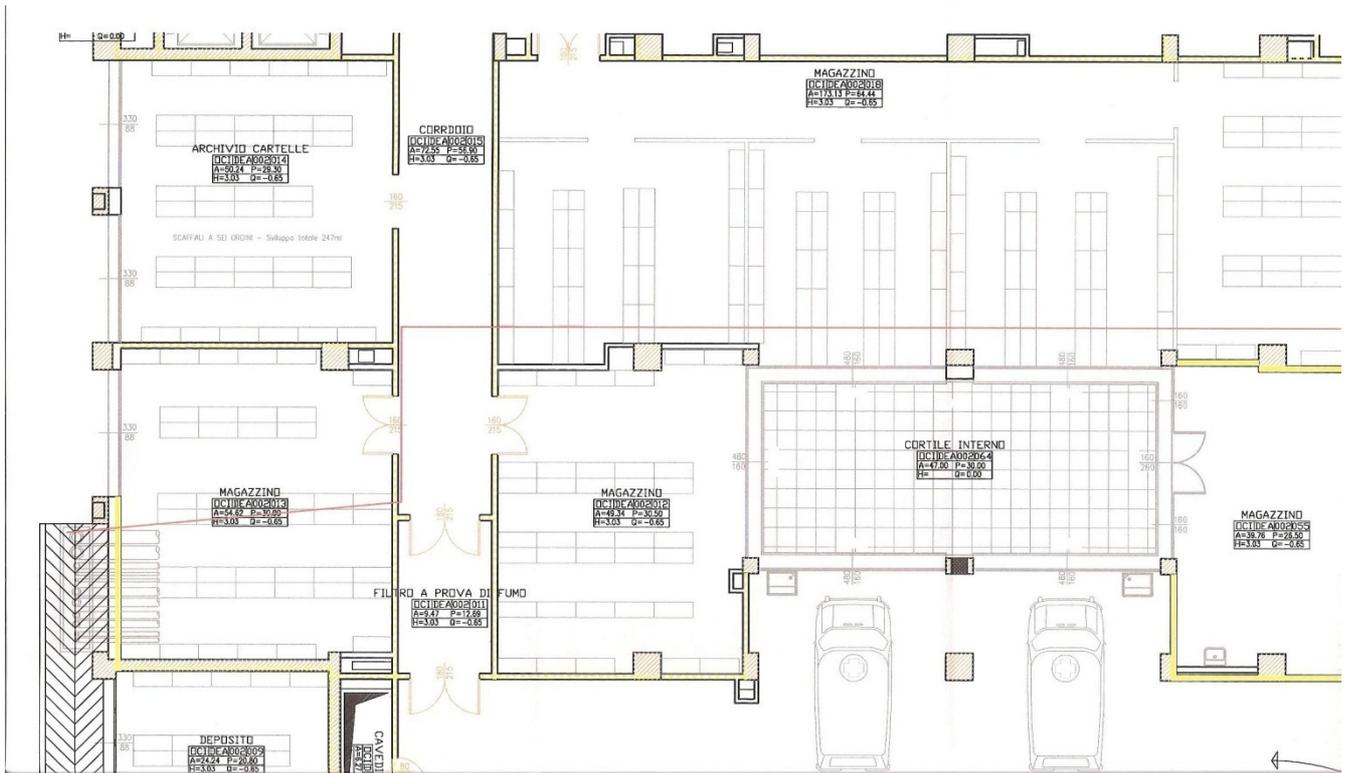


fig.43 percorso delle tubazioni nel piano interrato del Dea (2a parte). a destra il lato orti, a sinistra il lato CT

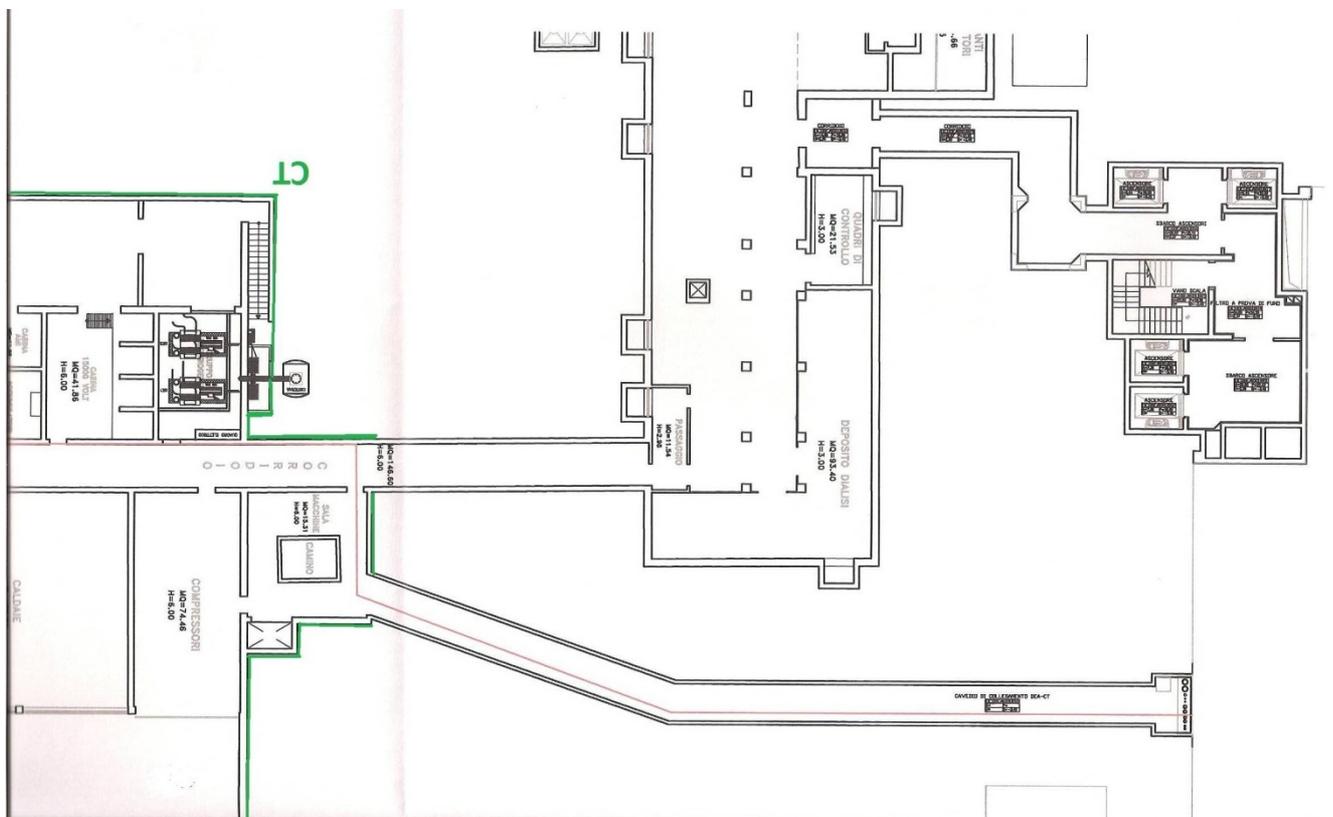


fig.44 percorso delle tubazioni attraverso il corridoio tecnologico ed entrata nella CT. confine della CT in verde. a destra il lato orti, a sinistra il lato CT

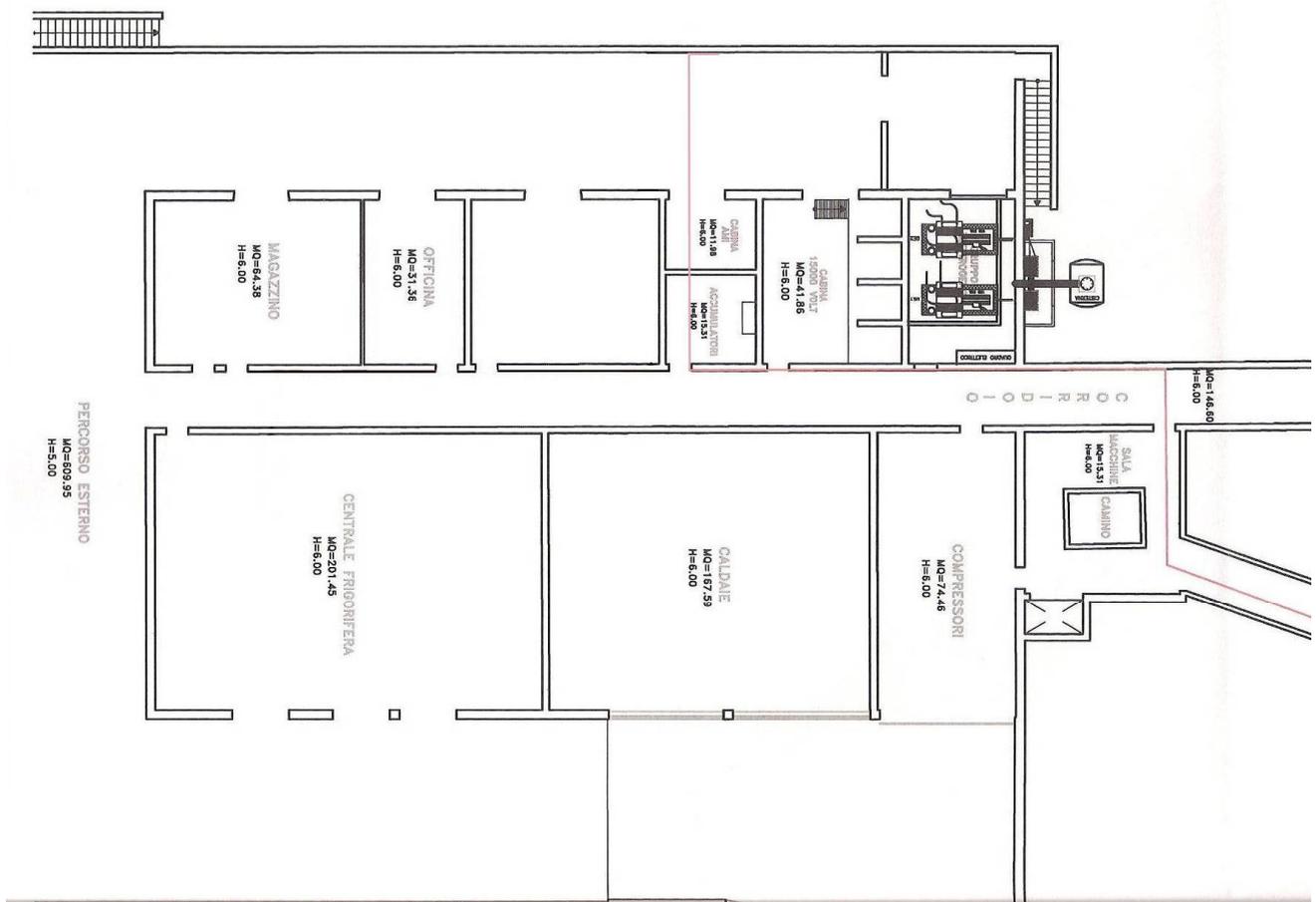


fig.45 percorso delle tubazioni all'interno della CT e arrivo in corrispondenza del serbatoio di accumulo. a destra il lato orti

Nella figura seguente (fig.46) possiamo apprezzare l'intero percorso da pozzo a centrale termica per un lunghezza totale da capo a capo per ogni tubazione di 350 metri.

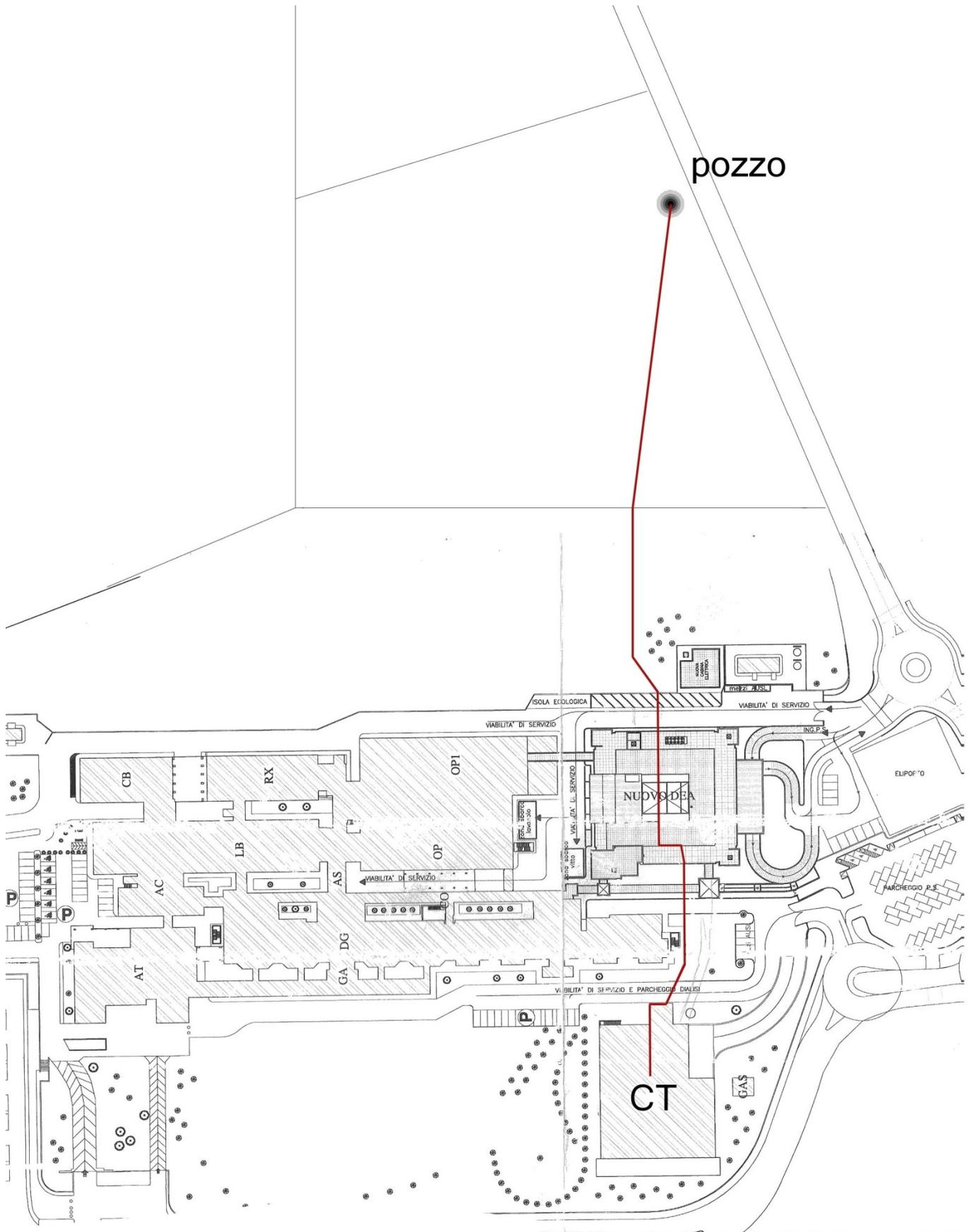


fig.46 percorso totale delle tubazioni da pozzo a centrale termica dell'ospedale nuovo di imola

3.4 DIMENSIONAMENTO DEI COMPONENTI E PIPING POZZO-CT

3.4.1 Le possibili configurazioni di impianto

Diamo uno sguardo innanzitutto a quello che sarà l'impianto nella CT.

In una prima possibile configurazione l'acqua arriverà alla CT tramite il piping pozzo-CT e dovrà attraversare un solo filtro deferrizzatore per essere immessa nel serbatoio di accumulo. Ripetiamo il fatto che non potrà essere utilizzato il vecchio impianto di addolcimento in quanto non possiamo mischiare acqua di pozzo e di rete: ciò significa che si necessiterà di un nuovo impianto di addolcimento indipendente (dedicato solamente alla nuova linea) e dovremo studiare un sistema di integrazione da rete acquedotto in caso di sovra consumo di acqua per le torri. Il serbatoio in questo caso funge anche da sedimentatore: sarà necessario sezionarlo in due parti per permettere l'ispezione e svuotamento del residuo di sabbia periodico. Possiamo anche non sezionare in due parti il serbatoio ma sovradimensionarlo prevedendo solamente un maggiore strato d'acqua minimo sul fondo per permettere la sedimentazione e la pulitura del serbatoio suolo a fine stagione.

A valle del serbatoio il fluido verrà pompato ad almeno due bar per soddisfare la pressione d'esercizio dell'addolcitore ed entrare nelle torri tramite un'elettrovalvola a galleggiante (regolata in base al livello della vasca di accumulo della torre evaporativa).

La seconda possibile configurazione prevede invece l'utilizzo di due sistemi di filtraggio a monte del serbatoio: filtro autopulente automatico ed un filtro deferrizzatore per eliminare rispettivamente particelle solide di sabbia acquifera e particelle di ferro-manganese disciolte nel fluido. In quest'ultimo caso il serbatoio non fungerà da sedimentatore e potrà essere utilizzato ad una sola camera.

La prima soluzione che ci consentirà di avere meno perdite di carico sulla linea e scegliere un diametro di tubo leggermente inferiore mentre la seconda ha il vantaggio di prevedere un serbatoio di accumulo di capacità minore con relativi minori costi di manutenzione.

Il dimensionamento dell'addolcitore, dei sistemi di filtraggio e del serbatoio è indipendente dalla scelta di una o dell'altra configurazione. Il dimensionamento

del serbatoio e dei sistemi di filtraggio è invece sensibilmente influenzato dal valore di portata di progetto. D'ora in poi prenderemo in considerazione due possibili scelte: $Q=1$ [l/s] oppure $Q=1,2$ [l/s]. Optando per una portata di 1 l/s risparmiamo sull'acquisto del filtro deferrizzatore e sul diametro dei tubi (le perdite di carico sono proporzionali alla velocità del fluido). Scegliere una portata di 1,2 l/s significa utilizzare tutta la portata che ci può fornire la pompa sommersa da pozzo e dimensionare il serbatoio di accumulo con una capacità minore. D'ora in poi prenderemo in considerazione tutte le varianti e decideremo più avanti quale adottare compatibilmente al fabbisogno di torri e orti.

3.4.2 Dimensionamento addolcitore e scelta modello

Parametri di progettazione

obiettivo di qualità [°F]	0
Durezza acqua da trattare [°F]	40
Portata giornaliera di calcolo [m ³ acqua/gg]	104
giorni di rigenerazione	1
Potenzialità impianto [m ³ /F°]	4160
Portata massima oraria [m ³ /h]	6

Si prevede un impianto di addolcimento a scambio ionico composto da:

- Colonna a scambio ionico, cationica forte, in ciclo sodico;
- Serbatoio di produzione e stoccaggio salamoia (soluzione di NaCl)

Si prevede una colonna a scambio ionico di riserva, al fine di dare una erogazione continua di acqua addolcita anche durante le fasi di rigenerazione. L'impianto è a funzionamento completamente automatico, prevedendosi manualmente solo il caricamento periodico del sale.

Schema dell'impianto in figura 47.

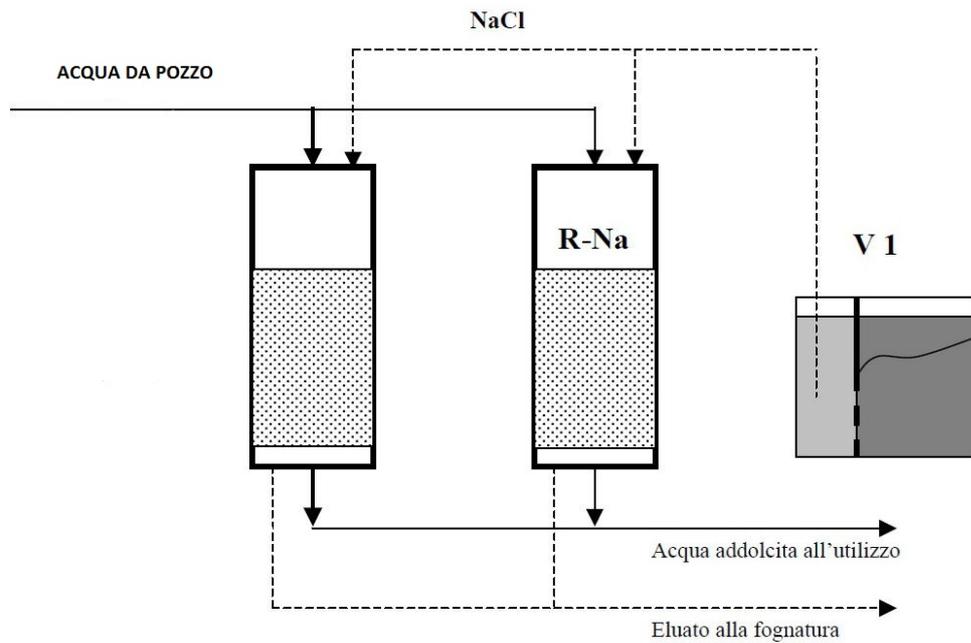
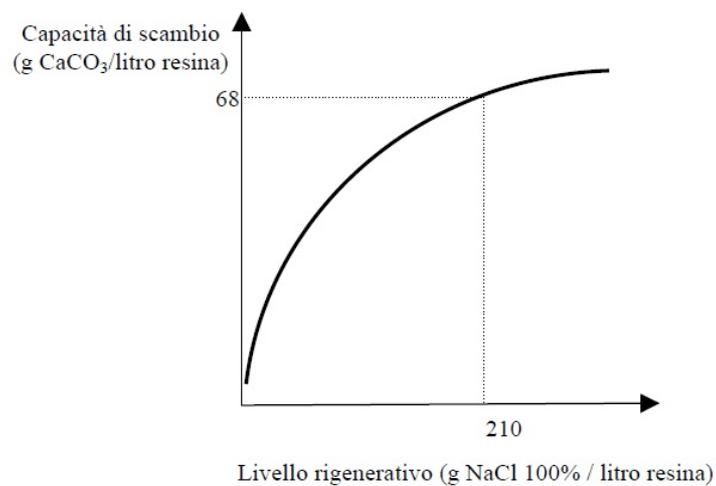


Fig.47:schema di funzionamento addolcitore:R-Na -Resina cationica forte in ciclo sodico
 V 1 - Serbatoio preparazione Salamoia (dissoluzione sale + stoccaggio salamoia)

Calcolo delle colonne a scambio ionico:

- Scelta del tipo di resina: si sceglie una resina cationica forte con gruppo radicalico solfonico in ciclo sodico ($R-SO_3Na$) avente la capacità di scambio come da grafico:



Si sceglie:

- un livello rigenerativo di 210 g NaCl 100% / litro resina

- una corrispondente capacità di scambio di 68 g CaCO₃/litro resina

Calcolo del volume di resina (VR)

$$VR = \frac{V \cdot Ci}{CSc} \quad [\text{litri}]$$

Al numeratore è rappresentato il carico ionico da scambiare (grammi di CaCO₃ o grammi-eq.) in un ciclo operativo e al denominatore sono rappresentate le capacità di scambio della resina (grammi CaCO₃/litro resina oppure grammi-eq/litroresina).

V = volume di acqua da trattare in un singolo ciclo operativo = 104 m³=104000 [l]

Ci = concentrazione ionica da scambiare = 40 °F= 400 g CaCO₃/m³

VR = (104000*40)/(68*100)=611 litri di resina/giorno per una rigenerazione al giorno

Riepiloghiamo i dati trovati:

Litri resina per giorno	611,7647 (per una rigenerazione al giorno!)
Litri di acqua addolcita (capacità ciclica)	104000
velocità oraria massima istantanea sopportata [l/h]	
max	61176,47
consumo di sale per rigenerazione [grammi/gg*ciclo]	128470,6
quantità di acqua richiesta nel tino della salamoia [litri]	428,2353

Questi 5 valori si riferiscono ad una rigenerazione al giorno.

Il consumo di sale per rigenerazione è dato da i litri di resina per giorno (ipotizzando una rigenerazione per giorno) moltiplicato per il livello di rigenerazione (210 g di NaCl per litro di resina).

La quantità di sale richiesta per rigenerazione nel tino è data dal consumo di sale diviso per 300 siccome per rigenerare un litro di resina servono 300 grammi di sale per litro.

Le specifiche di fornitura delle resine raccomandano il rispetto di un certo range della portata specifica di esercizio. Da essa dipende infatti il tempo di contatto e quindi l'efficienza di scambio:

La verifica risulta positiva in quanto:

- portata specifica di esercizio resina (valore max): 10.000 litri/h / 611 litri resina = 16,34 litri/h /litro di resina (ok, il range raccomandato per le resine scelte è di 5-50 litri acqua/h /litro di resina).

Per quanto riguarda il dimensionamento delle colonne se prevediamo uno strato di resina di altezza 1,2 m possiamo trovare diametro e altezza utile di colonna (parte cilindrica):

- Diametro: $(611/1000) / 1,2 \text{ m} = 0,588 \text{ m} \rightarrow$ diametro ca 0,90 m
- Altezza colonna: dovendosi prevedere una fase di espansione (del 50%-70%) in fase di controlavaggio, le colonne vengono dimensionate di altezza pari a $h = 2,0 \text{ m}$ (parte cilindrica)

Riepiloghiamo gli ultimi dati trovati:

Verifica della portata specifica di servizio:	16,34615	(deve essere compresa 5 e 50)
Calcolo diametro e altezza colonna:		
Se prevediamo uno strato di resina di altezza [m]	1,2	
di diametro colonna [m]	0,509804	
di altezza colonna [m]	2	(parte cilindrica)
Prevediamo numero di colonne pari a 2 (una di riserva)	il volume di resina per colonna sarà	611,7647
portata oraria max in colonna [m ³ /h]	6	
Consumo NaCl 100% per ciclo: [Kg NaCl per ciclo]	128,4706	

Da tenere in considerazione il fatto che per questo impianto si può usare la rigenerazione a volume per portate variabili.

Le ipotesi da valutare potrebbero essere quella di utilizzare un impianto doppia colonna Culligan modello ULTRALINE DUPLEX HA430 per soddisfare la richiesta giornaliera di 4160 m³x°F.

Come ordine di grandezza l'impianto potrebbe avere un costo di circa 14000€/17000€(solo fornitura impianto addolcimento).

Ai fini della progettazione è importante sapere come la pressione dell'acqua d'esercizio debba essere fra i 2 ed i 7 bar ,mentre la perdita di pressione tipica si attesta fra 0,6 e 0,7 bar (alla pressione di alimento di 3 bar).

3.4.3 Sistemi di filtraggio

- Filtro autopulente automatico per particelle solide:



A monte del serbatoio vogliamo inserire un filtro autopulente in materiale plastico o acciaio studiato per la rimozione di tutti i solidi sospesi presenti nelle acque di superficie (fiumi, laghi, mare), di pozzo e acque di scarico. Sono particolarmente indicati per le applicazioni di prefiltrazione per impianti di ultrafiltrazione (UF), acque di processo, torri evaporative, scambiatori di calore e irrigazione.

Scegliamo un sistema di filtraggio a filtri autopulenti ad ugelli aspiranti con grado di filtrazione di 500÷50 µm con portata in continuo (anche durante la pulizia del filtro) in acciaio aisi360 modello FILBLUE 2000 2-10 per portate fino a 40 m³.

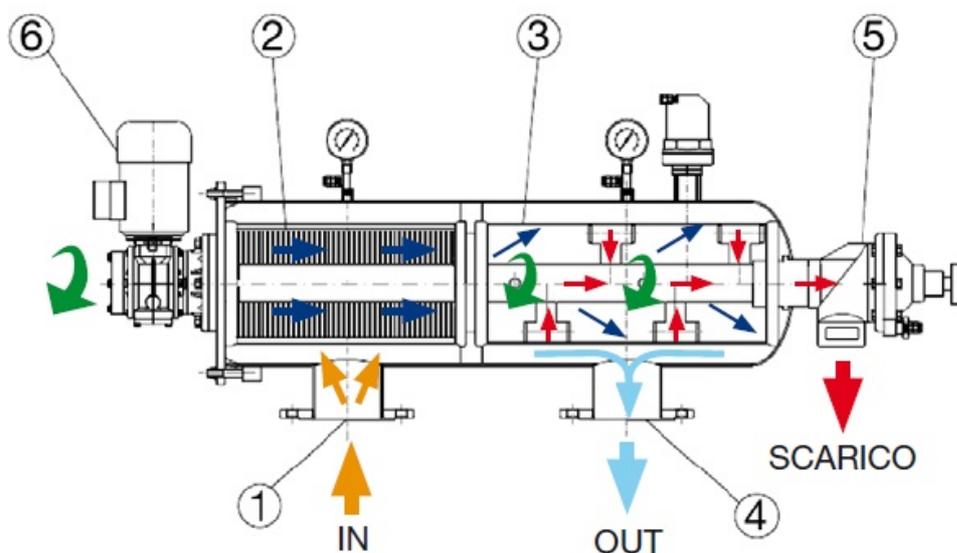


fig.48: schema funzionamento filtro autopulente automatico con ugelli aspiranti

L'acqua entra nel filtro tramite l'ingresso (IN), attraversa la camera di pre-alimento (1) ed entra nel cilindro di filtrazione (2). La filtrazione avviene dall'interno all'esterno. La rete filtrante in poliestere posizionata sul cestello di sostegno trattiene tutti i solidi sospesi aventi dimensioni più grandi o uguali al grado di filtrazione installato. L'acqua filtrata fuoriesce attraverso la valvola master (3). Il continuo depositarsi di solidi sospesi crea un impedimento di passaggio all'acqua il quale si traduce in una differenza di pressione (ΔP). Ad un valore stabilito di ΔP (regolabile da 0,3 ÷ 1 Bar) avviene il ciclo automatico di pulizia del cilindro filtrante. Questa operazione, che ha inizio tramite un segnale, avviene nel seguente modo:

- chiusura della valvola master (3) con conseguente azzeramento del ΔP .
- apertura della valvola di scarico (5).
- contemporaneo azionamento del motore elettrico (4) che pone in rotazione le spazzole all'interno del cilindro filtrante le quali allontanano il contaminante che viene evacuato attraverso la valvola di scarico (5). Il ciclo di pulizia ha una durata di circa 15 secondi.

La pressione minima di esercizio è 1 bar e va fino ad un massimo di 10 bar.

La potenza richiesta è 90 W ed un'alimentazione di 380 volt e 50 Hz.

L'alimentazione pneumatica (pressione dell'aria) da 2 a 8 bar.

Il prezzo si aggira sui 2800 euro.

Alternativa a questo filtro è la sua versione in polietilene che a differenza di questo richiede pressione minima di esercizio di 0,5 bar e consente portate fino a

50 m³/h ma scegliamo il modello in acciaio per le maggiore solidità e durata dei materiali.



fig.49: filtro autopulente automatico con ugelli aspiranti in polietilene

- Scelta del filtro automatico deferrizzatore

Questa tipologia di filtro rimuove ferro e manganese presenti nell'acqua in forma disciolta. Il letto filtrante è costituito da quarzite sferoidale in due diverse granulometrie e da una speciale massa catalitica PL costituita da ossidi di manganese che permette l'ossidazione e la filtrazione del ferro e del manganese.

Si dovrà prevedere a monte del filtro l'additivazione di cloro tramite un dosatore al fine di mantenere il letto filtrante attivo e favorire la completa ossidazione del ferro e manganese. Nessun prodotto chimico è richiesto per la rigenerazione; il letto filtrante è periodicamente rigenerato mediante un semplice contro lavaggio con acqua. Il letto filtrante inoltre non necessita di trattamenti particolari ma deve essere sostituito solo a distanza di anni. E' inoltre presente uno strato di materiale inerte come coadiuvante alla filtrazione. Il modello scelto è il filtro deferrizzatore automatico serie FFV/T della ditta Nobel. Il sistema di filtraggio è composto da:

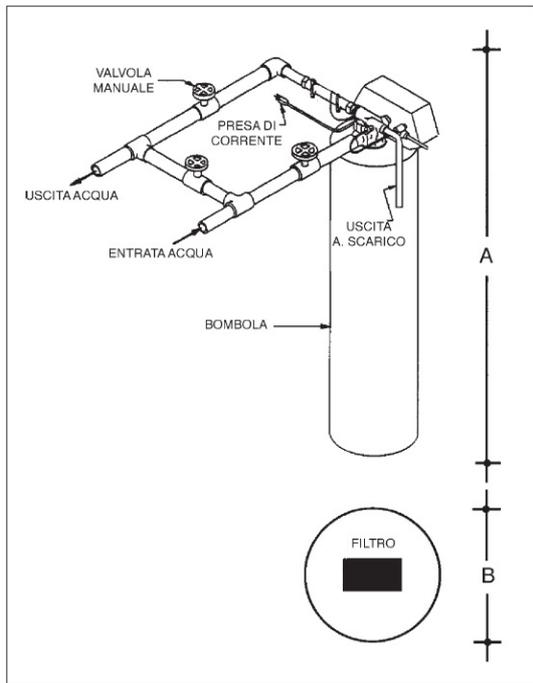
- Valvola di comando idropneumatica con funzionamento automatico
- Bombola in vetroresina con masse filtranti

Si può impostare la durata del ciclo di rigenerazione oppure si può comandare manualmente tramite un pulsante.

Per quanto riguarda le condizioni di esercizio la pressione dell'acqua in entrata alla valvola deve essere fra 2 e 6 bar, con temperatura da 5 a 45°C, mentre la perdita di pressione tipica (a filtro pulito con pressione di alimento di 3 bar) è tra i 0,4 e 0,7 bar.

Il prezzo del sistema di filtraggio FFV09/T per portata d'esercizio di 4,5m³/h e portata massima di 20 m³/h e serbatoio di 10 litri si aggira intorno ai 4200 euro.

Per i costi di esercizio consideriamo un assorbimento elettrico di 10 Watt.



Gruppo Comando 1"

CONDIZIONI DI ESERCIZIO

- Pressione 2 - 5 bar
- Temperatura 40° C max
- Tensione alimentare 220 V - 50 Hz



Gruppo Comando 1.1/2" - 2"



fig.50: schema filtro deferrizzatore automatico serie FFV/T

Alternativa è quella di scegliere un sistema di filtraggio che consenta anche di poter regolare la rigenerazione in base al valore di perdita di carico attraverso il filtro stesso. Sono sempre filtri automatici con letto filtrante costituito da quarzite sferoidale e massa catalitica. Il funzionamento dell'apparecchiatura è gestito da un automatismo elettronico che permette di effettuare il contro lavaggio ad intervalli di tempo regolari. La bombola è realizzata in acciaio al carbonio rivestito

internamente. La scelta ricadrebbe sul sistema filtrante automatico serie FF/D-DP modello FF 08/D con portata di esercizio di 4 m³/h e picco di 18 m³/h.

Pressione di funzionamento: 2÷8 bar;
temperatura d'esercizio: 5÷40°C.

Alimentazione elettrica: 220V 50/60Hz
, assorbimento 10W.

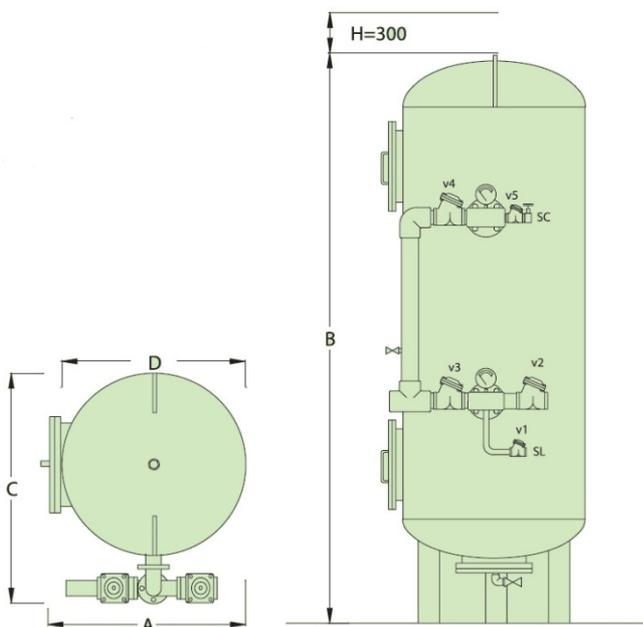


fig.51: filtro deferrizzatore automatico serie FF/D-DP

Il dosaggio di ipoclorito di sodio a monte del filtro verrà garantito da un dosatore Feeder Basic2-40 della Culligan. Ci serviremo di altre due dosatori dello stesso modello per l'iniezione di bisolfito a valle del filtro deferrizzatore (per abbattere il cloro presente nel fluido) e per una post-clorazione di rispetto a valle dell'addolcitore. Il feeder è costituito da una pompa dosatrice magnetica ad interfaccia analogica e funzionamento in continuo o comandato da uno strumento di regolazione on/off. Tramite selettore e manopola è possibile impostare la frequenza di dosaggio. Potenza assorbita per ciascun feeder : 17 W.

Il deferrizzatore sarà posizionato a monte del serbatoio: non avendo problemi di perdite di carico nel ramo compreso fra i due possiamo scegliere il modello FFV09/T senza regolazione di rigenerazione in base al valore di perdita di carico attraverso il filtro stesso (la rigenerazione sarà comandata giornalmente dal timer).

3.4.4 Dimensionamento del serbatoio di compensazione

Dati in input il grafico dell'andamento portata-tempo relativo al consumo della torre grande (vedi fig 52) e portata di progetto $Q=1$ l/s (1° caso) e $Q=1,2$ l/s (2° caso) vogliamo procedere al dimensionamento del serbatoio di accumulo. Ricordiamo che in una configurazione esso dovrà essere sezionato in due parti fungendo anche da sedimentatore di particelle come la sabbia eventualmente presenti mentre nel secondo caso ha una sola camera essendoci a monte un filtro chiarificatore (a sabbia).

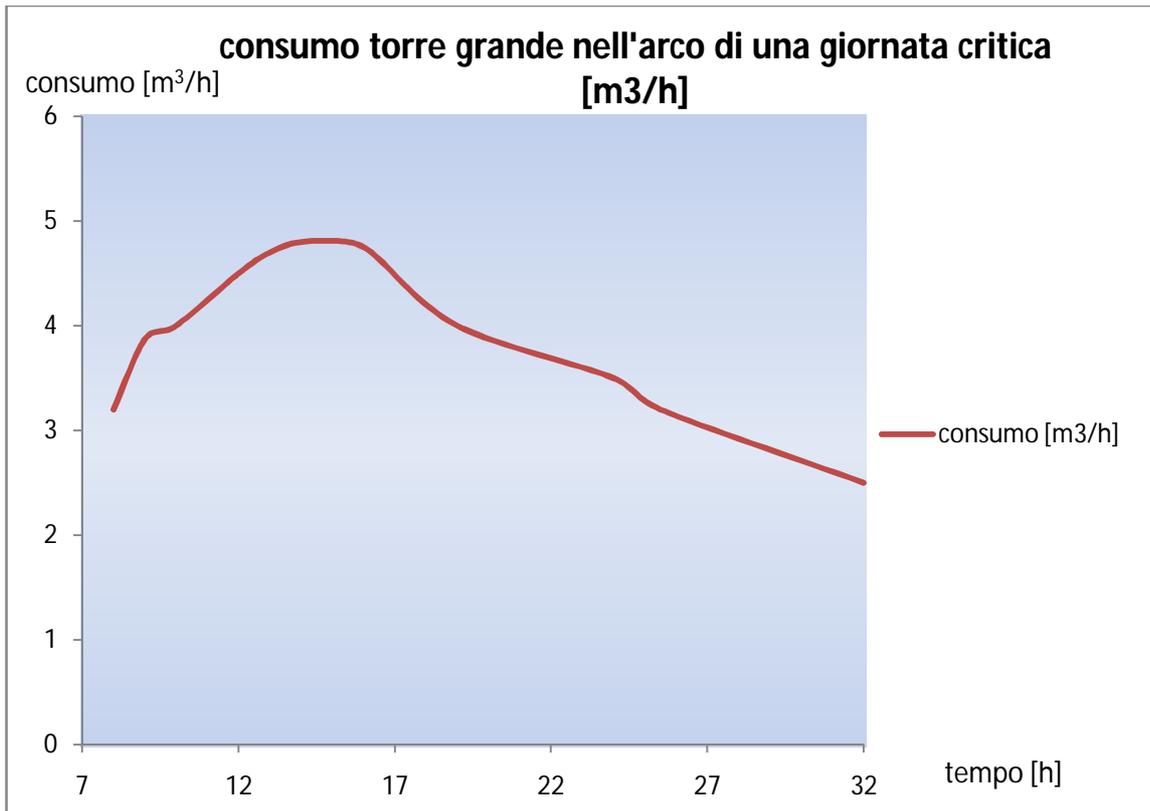


fig.52: andamento portata-tempo relativo al consumo della torre grande nell'arco di 24h

Sono partito con 2 metodi che rispettivamente sovrastimavano e sottostimavano eccessivamente la capacità del serbatoio; brevemente li riporto.

- 1° metodo: prendiamo la curva del consumo della torre grande in una giornata critica ed individuiamo l'area sottesa dalla linea orizzontale per $y=3,6$ (che corrisponde alla portata oraria della nostra pompa da pozzo)
 La differenza fra l'area totale sottesa dalla curva e l'area che individua la retta per $y=3,6$ ci dà il valore della possibile capacità del serbatoio
 Considerando un periodo che va dalle 9 alle 22 si consumano circa 50 metri cubi d'acqua. Vediamo il risultato derivante da questo metodo:

SERBATOIO PARALLELEPIPEDE:

capacità [l]	a	b	H totale	(tutte le dimensioni in cm)
50.000	250	820	310	

- 2° metodo: come possiamo vedere dal grafico di consumo max della torre grande vediamo un picco a circa $5\text{m}^3/\text{h}$ di portata. Nel dimensionamento di un addolcitore alimentato a serbatoio vediamo come sia richiesto una vasca di

accumulo almeno pari a un consumo di 2 ore. In questa ottica servirebbe un serbatoio di accumulo con capacità pari a 12 m³.

Vediamo il risultato derivante da questo metodo:

SERBATOIO PARALLELEPIPEDE:

capacità [l]	a	b	H totale	(tutte le dimensioni in cm)
12.000	250	320	210	

- Ora utilizziamo il metodo del calcolo dettagliato delle portate di afflusso/efflusso e tutti gli altri parametri:

Si analizza in dettaglio la curva dei consumi. Ho creato un foglio excel nel quale specificando in input volume del serbatoio, livello minimo, velocità dell'acqua e portate di afflusso/efflusso possiamo velocemente calcolare i tempi di riempimento/svuotamento del serbatoio nei vari cicli. Vediamo un esempio di dati di input con calcolo automatico dei tempi ed infine di durata di un ciclo (tra due riempimenti) nelle 3 fasi:

volume serbatoio [m ³]	15
velocità acqua tubazione [m/s]	1,1099
Lunghezza tubazione [m]	350
portata efflusso [m ³ /s] Q _e	0,001265
portata afflusso [m ³ /s] Q _a	0,001
sens livello minimo da mantenere [m3]	9,108
t_ riempimento iniziale serbatoio [h]	4,166667
vol riempimento al segnale_minimo [m3]	5,892
t_riempimento [h]al segnale di minimo	1,636667
ciclo normale (se q _{efflusso} =afflusso)	1,636667
ciclo richiesta maggiore (6/10 ore) (q _e >q _a)	costante
ciclo medio in richiesta minore (q _e <q _a)	2,104286

Considerato un arco di 24 ore la portata di afflusso Q_a e la portata di efflusso Q_e verifichiamo l'andamento del volume del serbatoio nel caso Q_e>Q_a.

Dobbiamo tenere d'occhio i 4 campi evidenziati nella tabella sopra (tempo di riempimento a livello minimo del serbatoio, livello minimo, Q_e e Q_a).

Impostiamo Q_e secondo la portata massima della fase della giornata considerata.

Esempio con i dati di tabella:

Al termine delle 1,636666667 ore avremo capacità residua del serbatoio pari a 7,54662 m³ con delta di livello (Δ livello= livello minimo di serbatoio deciso in input meno il livello raggiunto al termine delle 1,63 ore) pari a 1,56138 m³.

Con questi dati si arriva a soddisfare la richiesta max giornaliera $Q_e=0,001265[\text{m}^3/\text{s}]=4,5[\text{m}^3/\text{h}]$ per 7,450733753 ore (se mettiamo come ipotesi di non poter scendere sotto i 2 m³ di livello di serbatoio).

Ora analizziamo la curva dei consumi ed individuiamo due momenti distinti:

- La fase, tra le ore 13 e 16, in cui $Q_e=5 \text{ m}^3/\text{h}$
- La fase in cui $Q_e=4 \text{ m}^3/\text{h}$ lunga 11 ore nel caso $Q_a=1 \text{ l/s}$, mentre nel caso $Q_a=1,2 \text{ l/s}$ consideriamo 3 ore ad una $Q_e=4,55 \text{ m}^3/\text{h}$

Poi c'è ovviamente una terza fase in cui $Q_e < Q_a$ la cui durata si può trovare sottraendo dalle 24 ore quelle a consumo $Q_e < Q_a$, ma non serve per il dimensionamento; ci servirà solo per il calcolo delle ore di funzionamento della pompa.

Inserendo nei campi i dati di input per ogni fase di consumo troviamo i risultati per entrambi i casi di portata di progetto:

- caso $Q=1 \text{ l/s} = 3,6 \text{ m}^3/\text{h}$

Vogliamo garantire 3 ore di picco dalle 13 alle 16 a 5 m³/h nei quali si consuma un delta di serbatoio negativo pari a 4,2 m³.

Nelle le restanti 11 ore di Q_e medio di 4 m³/h consumiamo un delta di 4,4 m³.

Al fine di soddisfare la richiesta del periodo $Q_e > Q_a$ ci servirà una capacità minima di serbatoio di 8,6 m³ più un livello minimo di acqua da mantenere che terrà in considerazione l'altezza massima di aspirazione della pompa a valle del serbatoio e l'eventualità che quest'ultimo potrà essere sezionato in due parti per permettere la pulitura nel caso volessimo effettuare la decantazione delle particelle solide.

Nella scelta del serbatoio dobbiamo inoltre tener conto del volume utile del serbatoio nonché due volumi interni non utilizzabili: uno all'estremità inferiore

con lo scarico di fondo e uno all'estremità superiore con lo scarico di troppo pieno.

Ora dovremo analizzare in dettaglio la fase in cui $Q_e=Q_a$ in modo da trovare il livello minimo (sotto il quale verrà attivata la pompa per riportare il livello a quello massimo) compatibilmente a quello che è il numero massimo di avviamenti della pompa sommersa da pozzo per giorno cioè 20.

Nella tabella excel creata scegliamo la capacità del serbatoio voluta e il livello minimo dopodiché avremo in automatico il numero di avviamenti per giorno della pompa.

Caso $Q_a=1$ l/s

1° tentativo: scegliamo innanzitutto un serbatoio in polietilene ad alta densità verticale e guardiamo nei cataloghi quali sono le capacità commerciali dei serbatoi.

➤ capacità 12 m^3 ; dim $2,25 \times 3,1$ m (dxh) ; capacità utile: $11,47\text{ m}^3$.

scelta livello minimo di riempimento di 10 m^3 .

calcolo numero di avviamenti della pompa: 22 avviamenti/giorno : NO ($22 > 20$)

con processo iterativo vediamo che il livello minimo deve essere posto al massimo a $9,7\text{ m}^3$ in corrispondenza del quale si hanno 20 avviamenti/giorno della pompa.

Verifichiamo ora la capacità minima che può raggiungere ovvero $9,8 - 8,6 = 1,2\text{ m}^3$; $1,2\text{ m}^3$ equivalgono a $0,3\text{ m}$ sopra il fondo. Volendo porre la tubazione di mandata ad un'altezza compresa tra $0,3 \div 0,5\text{ m}$ dal fondo (per ragioni cautelative) non abbiamo margine di livello di sicurezza. Se il livello scendesse sotto quello di presa, la pompa di mandata si arresterebbe aspettando un nuovo segnale al raggiungimento di un livello più elevato da impostare. In tal caso si aprirebbe il circuito di alimentazione da vecchio impianto di addolcimento con acqua proveniente da acquedotto. Possiamo cautelarci scegliendo la capacità successiva:

scelta finale:

➤ capacità 17 m^3 ; dim $2,25 \times 4,4$ m (dxh) ; capacità utile: $16,8\text{ m}^3$

scelta livello minimo 14 m^3

calcolo numero di avviamenti della pompa: 13 avviamenti/giorno : OK ($13 < 20$)

capacità minima del serbatoio: $14 - 8,6 = 5,4\text{ m}^3$ che corrispondono ad un livello minimo di $1,36\text{ m}$ (sui $4,4$ totali). Ponendo il tubo di presa sempre a $0,3 \div 0,5\text{ m}$ avremmo un'ulteriore capacità cautelativa rispetto al caso precedente di $3,4\text{ m}^3$.

Nel caso volessimo utilizzare il serbatoio come sedimentazione possiamo considerare i 0,5 m di livello dal fondo sufficienti per lasciare sedimentare le eventuali particelle solide in sospensione.

- caso $Q=1,2 \text{ l/s} = 4,32 \text{ m}^3/\text{h}$

Vogliamo garantire 3 ore di picco dalle 13 alle 16 a $5 \text{ m}^3/\text{h}$ nei quali si consuma un delta serbatoio pari a $2,1 \text{ m}^3$

Nelle restanti 3 ore con Q_e medio di $4,55 \text{ m}^3/\text{h}$ si consuma un delta $0,7 \text{ m}^3$.

Per soddisfare la richiesta del periodo $Q_e > Q_a$ ci servirà una capacità minima di serbatoio pari a $2,8 \text{ m}^3$ più eventuale livello minimo di acqua al quale non dobbiamo scendere nel serbatoio.

Operiamo nel caso precedente con tentativi inserendo i dati nel foglio excel creato e scegliamo come prima cosa una capacità da serbatoio commerciale.

Scelta capacità $5,5 \text{ m}^3$; dim $1,6 \times 3 \text{ m}$ ($\phi \times h$) ; capacità utile: $5,56 \text{ m}^3$

Possiamo alzare il livello minimo (che corrisponde all'azionamento della pompa a monte) fino ad un massimo di $2,5 \text{ m}^3$ oltre il quale avremmo 20 avviamenti per giorno. Questo valore trovato non è però compatibile con la capacità minima del serbatoio per soddisfare la richiesta giornaliera in caso di consumo massimo.

Scegliamo un serbatoio di capacità maggiore:

- Prendiamo un serbatoio di 7 m^3 ; dim $2 \times 2,35 \text{ m}$ ($\phi \times h$) ; capacità utile: $6,89 \text{ m}^3$.

Livello minimo posto a 4 m^3 . Considerato un abbassamento di capacità massimo di $2,8 \text{ m}^3$ oltre quel livello abbiamo un livello massimo residuo di $0,38 \text{ m}$ e posizionando il tubo di mandata a $0,3 \text{ m}$ sopra il fondo abbiamo solamente una capacità aggiuntiva (oltre quella richiesta) di $0,25 \text{ m}^3$. In caso di sovra consumo delle torri la pompa di mandata si arresterebbe aprendo il vecchio circuito di addolcimento da acquedotto.

Scelta finale:

- Ci cauteliamo scegliendo la capacità successiva di 9 m^3 con capacità utile di $8,9 \text{ m}^3$ e dimensioni $2 \times 3,1 \text{ m}$ ($\phi \times h$). Impostiamo il livello minimo a 6 m^3 .
Rispetto al caso precedente abbiamo un'ulteriore capacità cautelativa fino a $1,7 \text{ m}^3$ (oltre il livello massimo di presa impostato a $0,5 \text{ m}$ dal fondo).

Nel caso volessimo utilizzare il serbatoio come sedimentazione possiamo considerare $0,5 \text{ m}$ di livello dal fondo sufficienti per lasciare sedimentare le

eventuali particelle solide in sospensione. In figura 53 possiamo dare un'occhiata al catalogo dei serbatoi verticali in polietilene ad alta densità per trattamento acque considerato.

Vertical	Modello	Capacità Litri	Dimensioni		
			Ø	P	Cop Ø
	120	120	500	750	200
	220	220	620	900	200
	325	325	620	1300	200
	500	510	740	1350	300
	800	800	840	1600	300
	1000	1010	950	1650	300
	1500	1530	1100	1850	300
	2000	2040	1200	1950	400
	2500	2530	1300	2050	400
	3000	3040	1400	2250	400
	3500	3530	1300	2700	400
	4500	4500	1600	2450	400
	5000	5030	1725	2450	400
	5500	5560	1600	3000	400
	7000	6890	2000	2350	400
	9000	8900	2000	3100	400
	10000	10400	2500	2500	400
	12000	11470	2250	3100	400
	17000	16800	2250	4400	400
	22000	22200	2500	4800	400

fig.53: serbatoi verticali polietilene

Calcolo *durata annuale di sollevamento massima [h/anno]* della pompa del pozzo nei casi di $Q=1$ l/s , $Q=1,2$ l/s:

dapprima calcoliamo i cicli di funzionamento della pompa nel caso di $Q_e < Q_a$ dove Q_e medio si è supposto pari a 2,8 m³/h.

- Caso $Q_a=1$ [l/s] = 3,6 [m³/h]

Con un serbatoio a valle di 12m³ e livello minimo di 10 m³ circa. Come detto abbiamo 20 accensioni al giorno:

$$\text{Accensioni/giorno} = 1 + (10/1.37) = 8,28$$

dove 10 [h] è la durata del periodo in cui $Q_e > Q_a$ in un giorno e l'1 iniziale rappresenta il numero di accensioni per il periodo in cui $Q_e > Q_a$.

Avremo un durata giornaliera di sollevamento pari a:

$$\text{h/gg di sollevamento} = 24 - (0,05 * (10/0,52)) = 23,03 \text{ [h/gg]}$$

dove "24" sono le h/gg, "0,05" la durata media in cui la pompa viene staccata ogni ciclo di riempimento ovvero "0,52" ore, mentre "10" le ore di funzionamento in cui $Q_e < Q_a$ in un giorno.

Considerando 120gg di funzionamento anno, un costo del Kwh di 0,17 euro ed una potenza assorbita del motore della pompa di 1,1 KW nel punto di funzionamento (Q=1 l/s;H=70m)possiamo calcolare il costo d'esercizio massimo annuo:

$$\text{Costo annuo} = P_{\text{motore}}[\text{KW}] * \text{durata sollevamento}[\text{h/anno}] * [€/\text{KWh}] = 517 [€/\text{anno}]$$

Riepilogando:

max avviamenti/ora pompa	20
avviamenti pompa per giorno	20
durata giornaliera di sollevamento [h/gg]	23,03226
giorni di funzionamento torre per anno	120
durata annuale max di sollevamento h[anno]	2763,871
costo energia max pompa/anno [€/anno]	521

Importante considerare il fatto che la durata annua massima di sollevamento nonché il costo d'esercizio massimo per la pompa non variano al variare della capacità del serbatoio scelto ma dipendono solamente dall'andamento del consumo delle torri (quindi dalla portata di efflusso) e dalla portata di afflusso al serbatoio.

- Caso $Q_a = 1,2 [l/s] = 4,32 [m^3/h]$

Consideriamo un serbatoio di compensazione di 9m³ e livello minimo di 6 m³.

20 avviamenti al giorno della pompa come già calcolato.

$$\text{Accensioni/giorno} = 1 + (18/0,92) = 20,5$$

Avremo un durata giornaliera di sollevamento pari a:

$$h/\text{gg di sollevamento} = 24 - (0,09 * (18/0,92)) = 22,25 [h/\text{gg}]$$

dove "18" questa volta sono le ore per fiorno in cui $Q_e < Q_a$.

Considerando 120gg di funzionamento anno, un costo del Kwh di 0,17 euro ed una potenza assorbita del motore della pompa di 1,2 KW possiamo calcolare il costo d'esercizio annuo massimo:

$$\text{Costo annuo} = P_{\text{motore}}[\text{KW}] * \text{durata sollevamento}[\text{h/anno}] * [€/\text{KWh}] = 470 [€/\text{anno}]$$

Riepilogando:

max avviamenti/ora pompa	20
avviamenti pompa per giorno (per 14h cont)	20
durata giornaliera di sollevamento [h/gg]	19,19372
giorni di funzionamento torre per anno	120
durata annuale max sollevamento h[anno]	2303,246
costo energia max pompa/anno [€/anno]	469,8622

I due casi si riferiscono al caso in cui funzioni solamente la torre grande in giornata critica. In caso di consumo combinato fino ad un max di 130 m³/gg potrei proiettare la curva dei consumi combinata e si necessiterebbe di un serbatoio di capacità maggiore;più semplicemente nei casi straordinari, ove richiesto consumo combinato, si chiude il circuito pozzo-torre manualmente con valvola saracinesca e si apre quella per l'alimentazione da rete nello stesso modo manualmente oppure tramite un'elettrovalvola comandata da un segnale di pressione sulla linea pozzo-torri.

3.4.5 Scelta pompa a valle del serbatoio

Operiamo allo stesso modo di prima per il dimensionamento della pompa da pozzo calcolando prima la prevalenza dell'impianto,le perdite continue e accidentali,prevalenza della pompa,potenza utile per arrivare alla scelta del modello e infine al calcolo del costo annuo d'esercizio.

I seguenti dati si riferiscono al calcolo della configurazione con addolcitore a monte del serbatoio e serbatoio con unica camera in polietilene verticale:

Q [m ³ /s]	0,0013889	(calcolo alla Qmax)	5 m ³ /h
prevalenza impianto			
pm [Pa]	300000	(p mandata 3 bar per entrare nell'addolcitore)	
pa [Pa]	100000		
ρ [kg/m ³]	1000		
g [m/s ²]	9,81		
Hg [m]	4		
lunghezza tubazione	10		
perdite continue e accidentali	0,6		
Htot[m] (prevalenza totale)	20,39		

Calcolo potenza pompa	PE100-PN16	scelta tubo	φ 50 [mm]
Putile=(Q*Htot*ρ*g)/1000= [Kw]	0,286		
Scelta pompa		pompa calpeda MXHM 403/A orizzontale multistadio monoblocco in acciaio inox 0,55 KW	
pot nominale motore[KW]	0,55		
Pot assorbita motore [KW]	0,9		
Durata annua sollevamento (pompa) [h]	2880	servizio continuo 24/h su 24 siccome il serbatoio di decantazione è mantenuto sempre ad un certo livello	
Costo en_el [€/Kwh]	0,17		
costo annuo esercizio max[€/anno]	269,28		
Prezzo pompa da catalogo:	325,83	€	

Il serbatoio è posto a pavimento nella centrale termica: l'addolcitore si trova alla stessa altezza geodetica quindi la pompa a valle del serbatoio dovrà mettere solamente in pressione il fluido per poter entrare nell'addolcitore ad una pressione minima di esercizio di 2 bar.

La scelta ricade fra una pompa sommergibile GXC40A (catalogo calpeda) e in alternativa al modello MXHL 403/A orizzontale multistadio monoblocco in acciaio aisi 316L. Scegliamo la pompa orizzontale con NPHS richiesto di 2 metri di colonna d'acqua (nell'aspirazione del fluido in serbatoio) e consente una facile ispezione/manutenzione(cosa che creerebbe tantissimi problemi nel primo caso).

La pompa scelta ha le seguenti caratteristiche:

- Prevalenza di 23 m ad una portata di 5 m³/h
- Potenza nominale motore: 0,55 KW
- Massima potenza assorbita: 0,9 KW

Schema del serbatoio

Nella prima configurazione con serbatoio diviso in due camere (al fine di permettere l'ispezione periodica) la pompa non verrà direttamente posta sul ramo d'uscita del serbatoio ma a valle del punto in cui convogliano i due flussi in uscita dalle camere del serbatoio. Vediamo in figura 54 una schematizzazione del serbatoio e delle pompe.

Da sottolineare il fatto che per ogni gruppo di spinta utilizzeremo due pompe in parallelo con riserva: una in funzione mentre la seconda che si attiva in caso di guasto della prima.

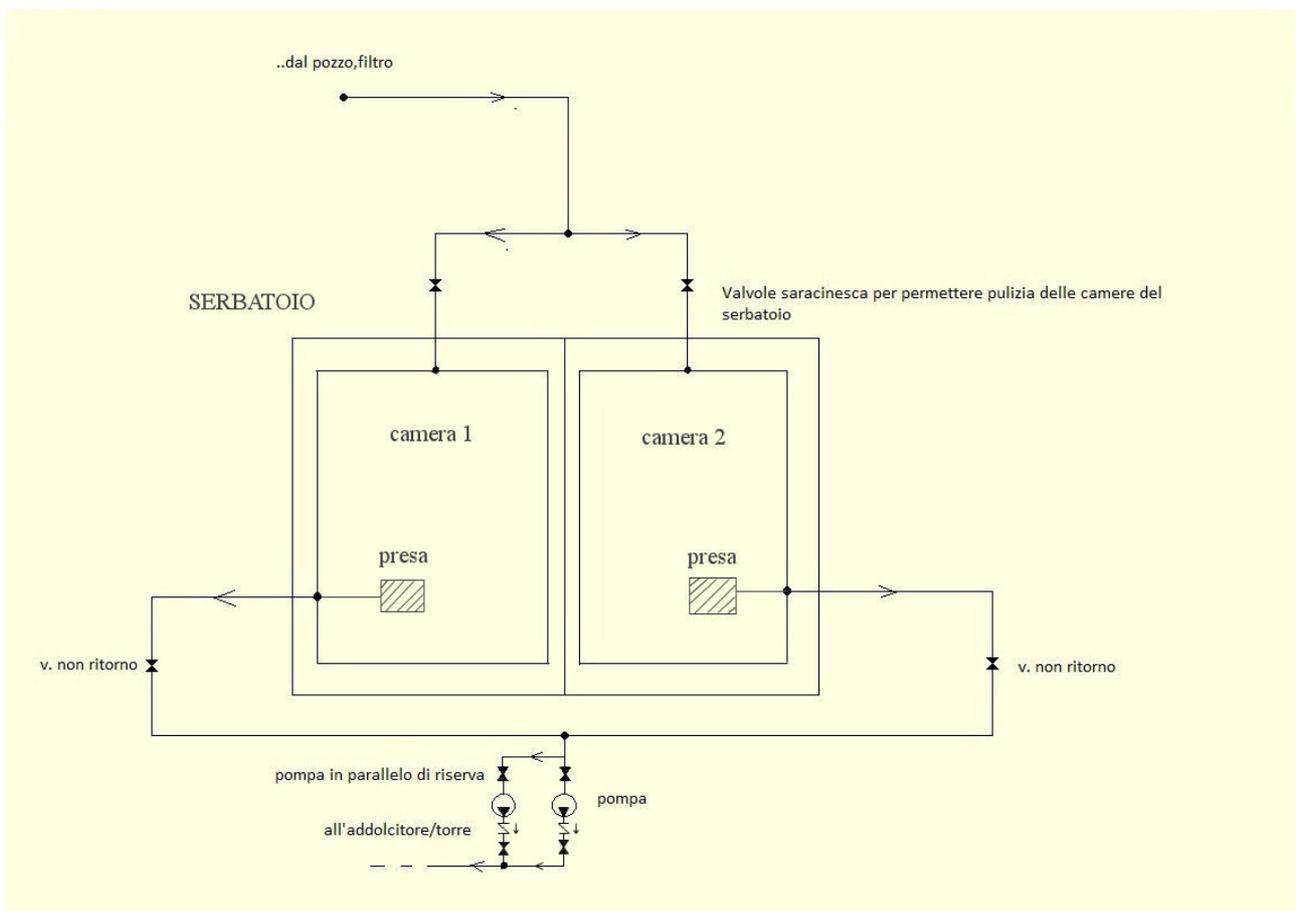


fig.54: schema serbatoio a doppia camera per sedimentazione

Alternativa è quella di utilizzare un serbatoio con camera singola ed eventualmente sovradimensionarlo per permettere la sedimentazione di eventuali particelle in sospensione. Nella figura 55 possiamo vedere la schematizzazione del serbatoio con camera unica:

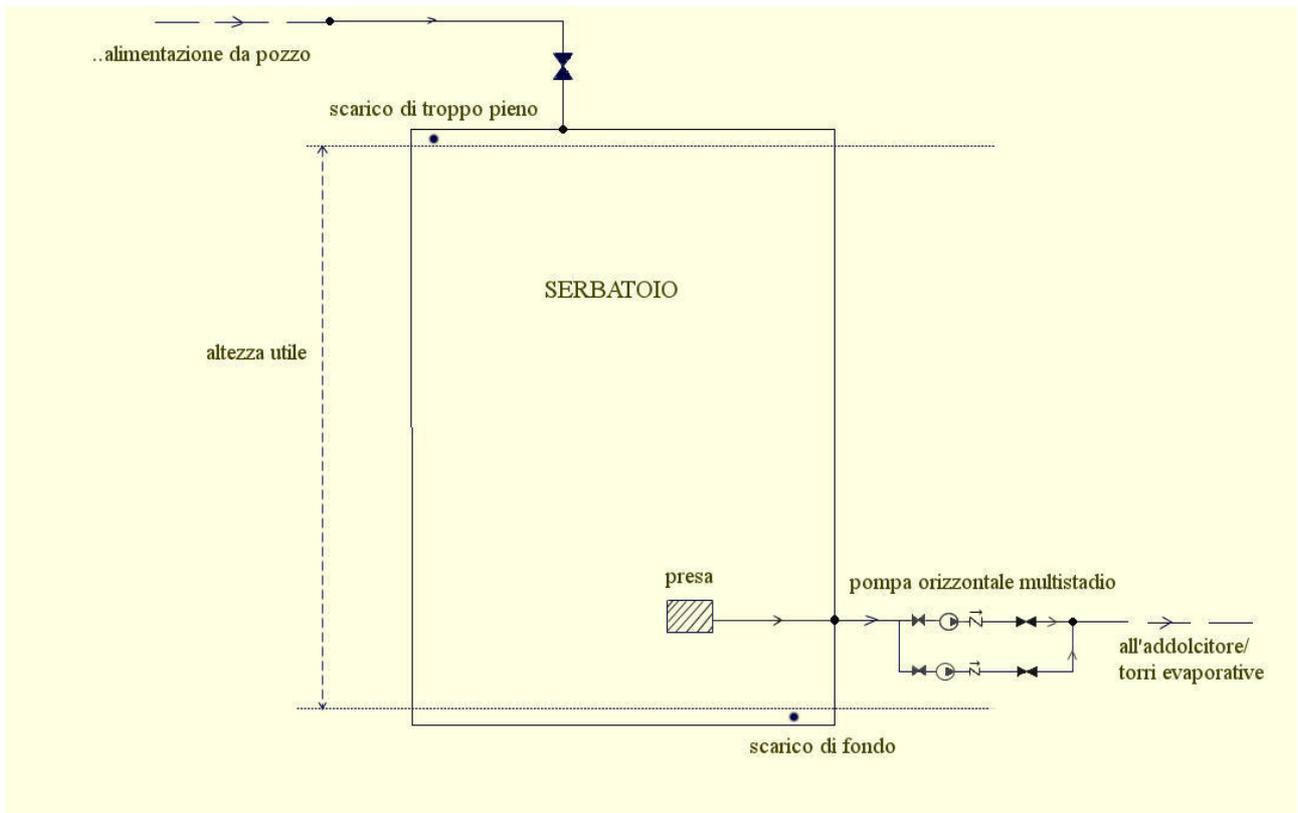


fig.55: schema serbatoio a camera singola

3.4.6 Calcolo diametro tubazione pozzo-centrale termica e verifica dell'elettropompa sommersa per pozzo

Ora abbiamo le altezze geodetiche che ci servono per calcolare il dislivello geodetico totale fra livello dinamico pozzo e utenza finale.

Fondamentale per i calcoli è stabilire la portata di progetto. Partiamo dal caso $Q=1$ l/s poi analizziamo l'intera portata di 1,2 l/s.

o CASO 1 , $Q=1$ l/s

Dati

Q =portata di progetto[m ³ /gg]/[m ³ /s]	86,4	0,001
h relativa pelo libero acqua pozzo [m]	-30	
h pozzo (liv.superficiale) [m]	62,6	
Z1= h pelo acqua sul liv mare [m]	25,3	
Z2=h utenza finale liv mare [m]	50	
Hg=dislivello geodetico totale [m]	24,7	
L=lunghezza tubazione [m]	350	

Scelta materiale tubazione:

Polietilene PE100 - PN16

	Spess [mm]	Φ interno [mm]
Φ 40 mm	3,7	32,6
Φ 50 mm	4,6	40,8

Il polietilene è materiale materiale plastico ad Alta Densità PE 100 a norma UNI EN 12201 colore nero con righe azzurre coestruse longitudinali. PN è il valore di pressione nominale che può sopportare al suo interno. La scelta è ricaduta su questo materiale in quanto le tubazioni in polietilene PE vengono sempre più utilizzate nella realizzazione di condotte per fluidi in pressione per la comprovata atossicità, l'eccezionale resistenza alla corrosione, il basso peso specifico e la grande flessibilità. E' inoltre un materiale insostituibile per affidabilità, durata e sicurezza d'impiego, mentre la sua flessibilità ne permette anche la posa in terreni ostili (non è il nostro caso però). La differenza fra i vari tipi di PE (PE 80, PE 100) è legata alle diverse innovazioni nelle tecnologie produttive, che hanno consentito di ottenere un materiale dalle caratteristiche meccaniche sempre migliori.

Dal punto di vista fisiologico il PE non presenta alcun inconveniente e non ha nessuna influenza organolettica sui fluidi trasportati. Le perdite di carico nei tubi in polietilene sono alquanto contenute e la superficie liscia delle pareti impedisce la formazione di depositi. La pressione nominale infine è stata scelta in via cautelativa a 16 bar considerando un massimo di pressione di esercizio di 4-5 bar e tenendo conto di possibili colpi d'ariete che si presentano quando si presenta in una condotta quando al suo interno un flusso di liquido in movimento viene bruscamente fermato dalla repentina chiusura di una valvola o viceversa quando una condotta chiusa e in pressione viene aperta repentinamente.

Partiamo da un diametro di 75 mm calcolando sezione, velocità del fluido e prezzo e via via per tentativi arriviamo alla scelta dei due candidati al nostro utilizzo: il $\phi 40$ e il $\phi 50$ mm. “ ϵ_{tot} ” in tabella si riferisce alla lunghezza del piping pari a 350m.

	ϕ est[mm]	ϕ int[m]	A[m ²]	v [m/s]	€/m	€ tot
Polietilene PE100 - PN10	75	0,066	0,003419	0,292444	3,95	1382,5
Polietilene PE100 - PN16	75	0,0614	0,002959	0,337904	5,55	1942,5
Polietilene PE100 - PN16	32	0,026	0,000531	1,884446	1,13	395,5
Polietilene PE100 - PN16	40	0,0326	0,000834	1,198658	1,78	623
Polietilene PE100 - PN16	50	0,0408	0,001307	0,765262	2,59	906,5

Scelta del diametro e profilo economico dell'impianto:

Il *costo d'impianto* C_i , comprendente le tubazioni e la pompa, è rappresentato dalla somma di tre termini: l'interesse e l'ammortamento del capitale impiegato per la costruzione e il costo della manutenzione; esso è crescente col crescere del diametro. Il corrispondente onere annuo è in genere assunto pari a una percentuale r , detta tasso di ammortamento annuo, del costo C_i . Viceversa più il diametro della tubazione è piccolo, più elevate sono le perdite di carico e quindi gli *oneri economici annui* C_e di gestione per il maggiore assorbimento di energia. La somma P dell'onere annuo relativo al costo d'impianto e alla gestione è detta passività:

$$P = r \cdot C_i + C_e$$

con r calcolabile con la formula:

$$r = i \cdot (1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$$

ove i è il tasso medio d'interesse praticato con riferimento ad n anni ed n il numero di anni della vita prevista dell'opera.

Il costo dell'energia C_e è dato, a sua volta dal prodotto della potenza elettrica assorbita W [KW] per il numero di ore annuo di funzionamento T_{annuo} per il costo dell'unità di energia c_e [€/KWh] :

$$C_e = W \cdot T_{\text{annuo}} \cdot c_e \text{ [€/anno]}$$

La passività P in funzione del diametro della tubazione D è una curva (Figura 56) che presenta un minimo la cui ascissa corrisponde al diametro D_e economicamente più conveniente, detto appunto diametro di massimo tornaconto.

La ricerca di questo diametro D_e si conduce valutando per un certo numero di diametri commerciali le corrispondenti spese d'impianto e di esercizio, costruendo quindi per punti la curva della passività e individuando sul grafico il valore del diametro commerciale più prossimo al diametro teorico per il quale si verifica la minima passività.

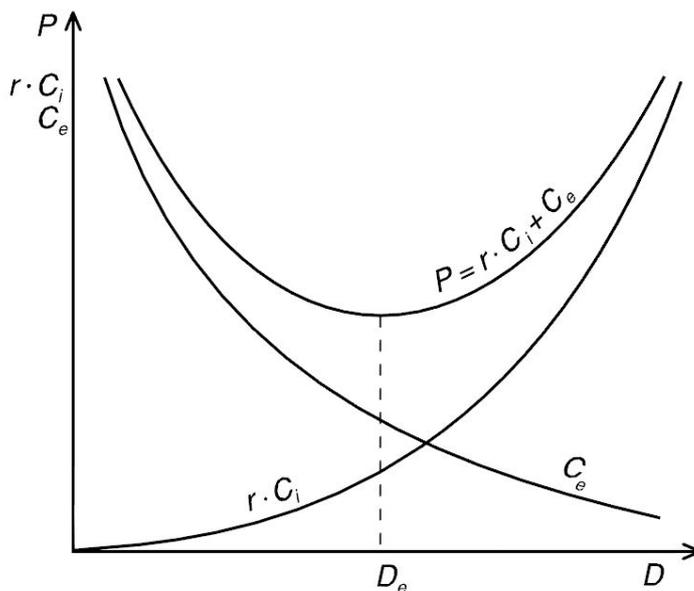


fig. 56 – Passività in funzione del diametro della tubazione.

Molti sono i fattori che influenzano i costi di gestione di un impianto di sollevamento. La lunghezza delle tubazioni è, generalmente, un dato del problema difficilmente modificabile, mentre con un'attenta valutazione si può, in certi casi, minimizzare il numero delle curve sia nel piano orizzontale che in quello verticale; uno sguardo al corretto dimensionamento idraulico della condotta può essere utile. Il diametro del tubo è il fattore più importante, in quanto le perdite di carico risultano in genere circa inversamente proporzionali alla quinta potenza del

diametro e quindi una piccola variazione del diametro può indurre notevoli variazioni nel costo di esercizio.

Si dimostra che in generale, fissato il periodo di funzionamento dell'impianto, la velocità corrispondente al diametro di massimo tornaconto, detta *velocità di massimo tornaconto*, è praticamente indipendente dalla portata dell'impianto e dai costi dei materiali e dell'energia e perciò può essere considerata una invariante cui è comodo riferirsi per un dimensionamento di massima delle condotte. Per impianti funzionanti con continuità durante tutto l'anno la velocità di massimo tornaconto assume valori intorno a 1 m/s, potendo oscillare tra 0.5 e 2.5 m/s.

Non si deve però dimenticare che il limite minimo accettabile per la velocità viene determinato principalmente dalla esigenza di evitare la sedimentazione di eventuali sostanze trasportate. Tale problema per i normali contenuti di scarichi civili insorge per spinte inferiori a 1.0 N/m² ed è sicuramente eliminato per spinte di 1.5 N/m², corrispondenti in pratica a velocità rispettivamente di 0.5 e 0.6 m/s; tuttavia per acque in cui possono essere presenti sabbie fini con elevato peso specifico, la velocità di trasporto minima è da considerarsi pari a 1 m/s. Il limite massimo accettabile per la velocità viene invece determinato in considerazione della necessità di prevenire sia l'usura delle pareti interne delle condotte sia eccessive sollecitazioni di colpo d'ariete. Indicativamente tale limite massimo può essere assunto pari a 2 m/s per condotte d'impianti con funzionamento continuo e pari a 2.5 m/s per condotte d'impianti con funzionamento occasionale.

Nel nostro caso scegliamo un velocità del fluido tra 0,6 e 2 m/s. Scartiamo subito il diametro $\phi 75$ mm per la bassa velocità. La scelta definitiva fra i tre restanti diametri verrà effettuata in base alle perdite di carico distribuite $Y[m]$ ed accidentali $Y_a [m]$ lungo tutto il percorso.

ϕ est[mm]	Manning	Hazen-W	(Con hazen)	$Y_a[m]$	Htot [m]
	J	J [m/m]	Y [m]		
75	0,001189	0,001554319	0,466296		
75	0,00169	0,002209793	0,662938		
32	0,111076	0,145198015	43,5594		
40	0,036909	0,048247173	16,88651	1,66	43,25
50	0,012375	0,016176614	5,661815	0,677	31,04

Nel calcolo della perdita di carico distribuita di ogni diametro di tubo utilizziamo la formula di Hazen-Williams formula valida per tubi di diametro inferiore a 1,8 m che convogliano acqua :

$$Y = J L = \frac{10.675 Q^{1.852}}{C^{1.852} D^{4.8704}} L$$

Dove J [m/m] è la perdita di carico unità di lunghezza, L[m] lunghezza della tubazione, D[m] diametro interno del tubo, Q [m³/s] portata della condotta, D[m] dislivello piezometrico e C coefficiente di scabrezza adimensionale che è pari a 150 per tubi PE, PVC e PRFV.

Ho utilizzato anche la formula di Darcy con scabrezza relativa e=0,01[mm]: Hazen sottostima le perdite distribuite di circa 7% circa rispetto a Darcy. Per tubi in materia plastica lisci possiamo usare anche il coefficiente di scabrezza pari a 0 ed in questo caso Darcy sovrastima le perdite rispetto ad Hazen dell'1%

Per tubi in pressione ho utilizzato invece la formula di Manning: Manning dà il 76,5% di hazen (23,5% in meno di perdite).

Utilizziamo la formula di Hazen Williams.

Calcolo delle perdite accidentali o perdite di carico localizzate Ya [m] tramite il metodo diretto:

	gomito	saracin.	ritegno	tee	allarg/restring	curva norm.
coeff di perdita localizzata ξ ($\phi 18 \div 28$ mm)	1,5	0,2	2	10	8	1
ξ (per tubi $\phi 30 \div 54$ mm)	1	0,1	1	8	7	0,5
ξ (per tubi con $\phi > 54$ mm)	0,8	0,1	1	8	6	0,4
z [mm c.a.](PE100-PN16 $\phi 50$)	29,848398	2,98484	29,8484	238,7872	208,9388	14,9242
z [mm c.a.](PE100-PN16 $\phi 40$)	73,230379	7,323038	73,23038	585,843	512,6127	36,61519
numero di elementi nel piping	6	4	3	1	4	3
	PE100-PN16 50mm		PE100-PN16 40mm			
$\Sigma_{tot}=Y_a$ [mm]	677,55		1662,33			

Con questo metodo le perdite di carico localizzate si calcolano con la formula:

$$z = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2 \cdot 9,81}$$

dove: z è la perdita di carico localizzata [mm di colonna d'acqua]

ξ è il coefficiente di perdita localizzata, adimensionale

ρ è la massa volumica del fluido, [kg/m³]

v è la velocità media del flusso, [m/s]

Il coefficiente ξ risulta dipendere soprattutto dalla forma della resistenza localizzata ed è, con buona approssimazione, indipendente da altri fattori, quali il peso specifico, la viscosità e la velocità del fluido. Il suo valore può essere determinato sia con formule (in casi a geometria semplice), sia sperimentalmente.

In fig sono stati riportati dalle tabelle i coefficienti per le diverse accidentalità e divisi per diametro del tubo di riferimento.

Calcolati le perdite localizzate in mm di colonna d'acqua per ogni accidentalità e dato il numero di ogni accidentalità nel piping è stato trovato il totale delle perdite di carico localizzate Ya [m] per tubi di diametro 40 e 50mm (ricordiamo che la scelta verrà effettuata fra questi due diametri).

Calcolo prevalenza dell'impianto:

Per poter calcolare la prevalenza della pompa dobbiamo ancora calcolare e aggiungere alla prevalenza della pompa i termini (p/qg) dovuti alla presenza dei filtri. Nel primo caso abbiamo nella linea solo un filtro deferrizzatore subito a monte del serbatoio con pressione di esercizio di 2 bar $H = \frac{p_m}{g \cdot g} - \frac{p_a}{g \cdot g}$ [m] dove

per pm consideriamo la pressione misurata a valle del filtro e pa la pressione a monte del filtro (pressioni con valori assoluti in Pa), mentre g e g rispettivamente la densità dell'acqua e accelerazione di gravità:

pm [Pa]	300000		
pa [Pa]	100000	(pm-pa)/9g=	20,38736
ρ [kg/m ³]	1000		
g [m/s ²]	9,81		

Nel secondo caso abbiamo nella linea due filtri. Prima consideriamo la presenza del filtro autopulente per i solidi sospesi:

pm [Pa] (p esercizio filtro)	300000		
pa [Pa]	100000	(pm-pa)/ $\rho g =$	20,38736
ρ [kg/m ³]	1000		
g [m/s ²]	9,81		

A valle del filtro autopulente abbiamo una caduta di pressione di 0,5 bar per lo sporco dello stesso (il manometro quando rileva questa Δp provvederà al contro lavaggio del filtro). A monte del successivo filtro deferrizzatore avremo una pari a 1,5 bar relativi:

pm [Pa] (p esercizio filtro)	300000		
pa [Pa]	250000	(pm-pa)/ $\rho g =$	5,09684
ρ [kg/m ³]	1000		
g [m/s ²]	9,81		

Per il secondo filtro abbiamo una pressione d'esercizio di 2 bar e perdita di pressione massima di 0,5 bar dovuta allo sporco del sistema filtrante.

Calcolo della prevalenza H_{tot} [m] della pompa per i due diametri di tubo tra cui ricade la scelta (dove H_g =altezza geodetica, H_{fil} = altezza piezometrica appena calcolata da aggiungere per il funzionamento dei sistemi filtranti):

$$H_{tot} [m] = H_g + H_{fil} + Y + Y_a$$

Dove Y_a e Y sono le perdite accidentali e distribuite nel tubo di mandata già calcolate in precedenza. Caso 1 si riferisce alla configurazione con un solo filtro deferrizzatore nella linea a monte del serbatoio mentre il caso 2 si riferisce alla situazione con due filtri nella linea (uno autopulente per solidi e uno deferrizzatore):

ϕ est[mm]	Manning J	Hazen-W J [m/m]	(Con hazen)		Htot [m]	(hazen) con filtri	
			Y [m]	Ya[m]		caso1 Htot [m]	caso2 Htot [m]
75	0,001189	0,001554319	0,466296				
75	0,00169	0,002209793	0,662938				
32	0,111076	0,145198015	43,5594				
40	0,036909	0,048247173	14,47415	1,66233	40,83648	63,63	68,73
50	0,012375	0,016176614	4,852984	0,677559	30,23054	51,43	56,52

La scelta di un ϕ 40 mm per una portata di progetto di 1 [l/s] soddisfa entrambe le configurazioni. La velocità del tubo è di circa 1,2 [m/s] che si avvicina alla velocità ottimale di tornaconto che minimizza le passività dell'impianto.

Il costo dell'energia elettrica da rete attuale è 0,17 [€/Kwh] ; abbiamo già calcolato il costo annuo d'esercizio della pompa attuale per un punto di funzionamento pari a 1 l/s e 78m di prevalenza. Oltre a questa riportiamo i costi d'esercizio teorici che avremmo scegliendo una nuova pompa per ogni configurazione e diametro di tubazione utilizzato. Prima calcoliamo la potenza utile fornita al liquido dalla pompa (o potenza utile della pompa) che moltiplicata per il rendimento del gruppo $\eta_{gr} = \eta * \eta_m$ (dove η è il rendimento della pompa e η_m è il rendimento del motore di azionamento.) ci dà la potenza assorbita dal motore (ovvero la potenza effettivamente assorbita dal motore della pompa).

La durata massima annua (solamente estiva nel nostro caso) di sollevamento della pompa in ore/anno è già stata calcolata: 2764 [h/anno].

(potenze utili caso ϕ 50 e ϕ 40 calcolate nel caso di un solo sistema di filtraggio)

Calcolo potenza pompa	Pompa attuale	PE100-PN16 ϕ 50	PE100-PN16 ϕ 40
Putile=(Q*Htot* ρ *g)/1000= [Kw]	0,76	0,5	0,624
rendimento della pompa $h_p=0,75$	0,75	0,75	0,75
Scelta pompa [Kw] pot ass dalla pompa	1	0,67	0,83
Rendimento del motore di azionamento	0,92	0,92	0,92
Potenza assorbita dal motore	1,1	0,73	0,9
Durata annua sollevamento (pompa) [h]	2764	2764	2764
Costo en_el [€/Kwh]	0,17	0,17	0,17
costo annuo esercizio (a det Q)[€/anno]	521	344	425

(potenze utili caso ϕ 50 e ϕ 40 calcolate nel caso 2 filtri)

Calcolo potenza pompa	Pompa attuale	PE100-PN16 ϕ 50	PE100-PN16 ϕ 40
Putile=(Q*Htot* ρ *g)/1000= [Kw]	0,76	0,55	0,67
rendimento della pompa $h_p=0,75$	0,75		
Scelta pompa [Kw] pot ass dalla pompa	1	0,4	0,9
Rendimento del motore di azionamento	0,92		
Potenza assorbita dal motore	1,1	0,8	1
Durata annua sollevamento (pompa) [h]	2764		
Costo en_el [€/Kwh]	0,17		
costo annuo esercizio (a det Q)[€/anno]	521	378	460

Nel caso dovessimo scegliere una nuova pompa sommersa da pozzo avremmo un risparmio annuale di circa 82 € sui costi d'esercizio scegliendo un piping di diametro esterno 50mm rispetto a 40mm.

Concludiamo da queste verifiche che la pompa fornisce la potenza utile necessaria a soddisfare gli utilizzi del nostro progetto per quanto riguarda il caso $Q=1$ [l/s] pertanto non dovrà essere effettuato nessun nuovo investimento e possiamo utilizzare entrambi i diametri di tubo per entrambe le configurazioni.

o CASO 2 , $Q=1,2$ l/s

Il livello dinamico del pozzo si abbassa a -37,3 m dal livello "terreno" quindi il dislivello geodetico totale si alza a 30,5 m.

Vediamo i parametri principali che variano in questo secondo caso:

	ϕ est[mm]	ϕ int[m]	A[m ²]	v [m/s]			
Polietilene PE100 - PN16	40	0,0326	0,000834	1,438389			
Polietilene PE100 - PN16	50	0,0408	0,001307	0,918314			
					(hazen)	1filtro	2filtri
	ϕ est[mm]	J [m/m]	Y [m]	Ya[m]	Htot [m]	Htot	Htot
Polietilene PE100 - PN10	75	0,002178631	0,653589				
Polietilene PE100 - PN16	75	0,003097386	0,929216				
Polietilene PE100 - PN16	32	0,203518712	61,05561				
Polietilene PE100 - PN16	40	0,067626287	23,6692	2,393755	50,76295	71,15	76,25
Polietilene PE100 - PN16	50	0,022674164	7,935957	0,975684	33,61164	54	59,1

In questo secondo caso non possiamo utilizzare il diametro $\phi 40$ mm in quanto le perdite di carico lungo la linea supererebbero quelle consentite di 70 metri equivalenti per una portata della pompa di 1,2 [l/s]. Con il tubo $\phi 50$ non abbiamo alcun problema per ciascuna delle due configurazioni.

Ora diamo un'occhiata alla potenza utile che la pompa sommersa da pozzo dovrebbe fornire al fluido nei casi di piping pozzo-CT rispettivamente con una tubazione di diametro 50mm e 40mm.

In questo caso (vedi calcoli precedenti) abbiamo una durata annua di sollevamento massima di 2303 [h/anno].

(potenze utili caso $\phi 50$ e $\phi 40$ calcolate nel caso un solo sistema di filtraggio)

Calcolo potenza pompa	Pompa attuale	PE100-PN16 $\phi 50$	PE100-PN16 $\phi 40$
Putile= $(Q \cdot H_{tot} \cdot \rho \cdot g) / 1000 =$ [Kw]	0,82404	0,63	0,84
rendimento della pompa $h_p=0,75$	0,75		
Scelta pompa [Kw] pot ass dalla pompa	1,1	0,85	1,12
Rendimento del motore di azionamento	0,92		
Potenza assorbita dal motore	1,2	0,92	1,21
Durata annua sollevamento (pompa) [h]	2303		
Costo en_el [€/Kwh]	0,17		
costo annuo esercizio (a det Q)[€/anno]	468	361	475

(potenze utili caso $\phi 50$ e $\phi 40$ calcolate nel caso di due sistemi di filtraggio)

Calcolo potenza pompa	Pompa attuale	PE100-PN16 $\phi 50$	PE100-PN16 $\phi 40$
Putile= $(Q \cdot H_{tot} \cdot \rho \cdot g) / 1000 =$ [Kw]	0,82404	0,7	0,9
rendimento della pompa $h_p=0,75$	0,75	0,75	
Scelta pompa [Kw] pot ass dalla pompa	1,1	0,93	1,2
Rendimento del motore di azionamento	0,92	0,92	
Potenza assorbita dal motore	1,2	1	1,3
Durata annua sollevamento (pompa) [h/anno]	2303	2303	
Costo en_el [€/Kwh]	0,17	0,17	
costo annuo esercizio (a det Q)[€/anno]	468	395	509

Concludiamo da queste verifiche che la pompa fornisce la potenza utile necessaria a soddisfare gli utilizzi del nostro progetto per quanto riguarda il caso $Q=1,2$ [l/s] ma solo utilizzando una tubazione con ϕ esterno di 50 mm e in tal caso non dovrà essere effettuato alcun investimento per l'acquisto di una nuova pompa sommersa.

3.4.7 Scelta tra le due configurazioni di impianto e considerazioni sulla portata di progetto

La prima configurazione consente di eliminare l'esborso per il filtro autopulente per solidi sospesi (4000 euro circa) , costi relativi alla sua installazione e manutenzione e spese d'esercizio (41 euro/anno per elettricità). Dall'altra parte aumenterebbe il costo per l'acquisto di un serbatoio di capacità maggiore e il costo di manutenzione dello stesso in particolar modo se viene diviso in 2 camere per permettere la pulizia senza interrompere il funzionamento dell'impianto.

Eliminando un filtro nel primo tratto del piping diminuiscono le perdite di carico della linea: se non avessimo già una pompa sommersa da pozzo acquisita potremmo risparmiare sul costo d'acquisto e costi d'esercizio: certo i costi d'esercizio per la pompa appena calcolati nei casi di tubazione di diametro 50 e 40mm sono in via teorica perché dovremmo scegliere una pompa commerciale che ci garantisca una potenza nominale (o potenza assorbita dalla pompa) maggiore o uguale a quella calcolata. In via teorica potremmo risparmiare con la prima configurazione circa 34 [€/anno] sia nel caso di $Q=1$ [l/s] ,sia nel caso di una portata fornita dalla pompa di $Q=1,2$ [l/s] rispetto alla seconda configurazione.

- Siamo costretti però a scartare la prima configurazione con un solo un sistema di filtraggio: la difficoltà di effettuare la sedimentazione nel serbatoio (dato l'elevato ricambio di acqua) e la necessità di avere comunque un pre-filtraggio prima del filtro deferrizzatore ci portano a scegliere la seconda configurazione. Potrebbero infatti crearsi intasamenti nel letto filtrante del deferrizzatore dovuti a particelle solide e impurità dell'acqua di pozzo.

Scegliamo la seconda configurazione con due sistemi di filtraggio.

Considerazioni sulla portata di progetto :

La scelta della pompa a valle del serbatoio non varia da caso a caso in quanto è sempre dimensionata sulla richiesta massima della torre e indipendente dalla portata di afflusso. Stesso discorso per l'addolcitore dimensionato per lo stesso consumo massimo giornaliero, ma per diverso valore di portata massima: questi bassi valori di portata massima non giustificano l'acquisto di un addolcitore differente nei due casi. Riguardo al filtro deferrizzatore con una massima portata

di 1 [l/s] avremo un risparmio di circa 400 euro sul prezzo d'acquisto rispetto alla soluzione con $Q=1,2$ [l/s] (3,6 contro 4,32 m³/h) e stessi costi d'esercizio.

Nel caso di portata di progetto di 1 l/s la scelta fra i due diametri di tubo ricade al $\phi 50$ mm che ci consente di avere meno perdite di carico e di cautelarci in caso di possibile intasamento di un filtro; consideriamo la velocità del fluido di 0,76 accettabile.

Possiamo abbozzare i costi differenziali relativi alla scelta delle diverse portate di progetto della pompa del pozzo:

CASO $Q=1$ l/s	
filtro deferrizzatore [€]	3800
serbatoio 17m ³ [€]	5831
Σ	9631

Caso $Q=1,2$ l/s	
filtro deferrizzatore [€]	4200
serbatoio 9 m ³ [€]	2658
Σ	6858

In questo calcolo abbiamo considerato i costi per la manutenzione delle pompe, addolcitore, serbatoio e filtro uguali nei due casi e stessi costi di esercizio.

Scegliendo la portata di progetto pari a 1,2 l/s abbiamo un risparmio sull'acquisto di componenti pari a 2773 € rispetto alla prima soluzione (con $Q=1$ l/s).

Quale ragione può spostare la decisione definitiva da una parte o all'altra? Fino ad ora abbiamo preso in considerazione solo il soddisfacimento del fabbisogno delle torri trascurando quello per l'irrigazione degli orti. Nel caso di portata di progetto di 1 l/s al secondo potrebbe risultare importante l'utilizzo dei restanti 0,2 l/s per il mantenimento del livello del serbatoio degli orti. Vedremo questo aspetto più avanti.

Dovremo simulare il funzionamento del sistema nei due casi di portata verificando che venga parallelamente garantito il fabbisogno d'acqua giornaliero per l'irrigazione degli orti. Rimandiamo quindi la scelta della portata di progetto dopo analisi più accurate. Per il momento privilegiamo la scelta di una portata di progetto pari a 1,2 l/s che ci consente un risparmio di 2773 euro ed effettueremo le simulazioni partendo da questo dato.

3.4.8 Schema dell'impianto ed interfacciamento con rete esterna

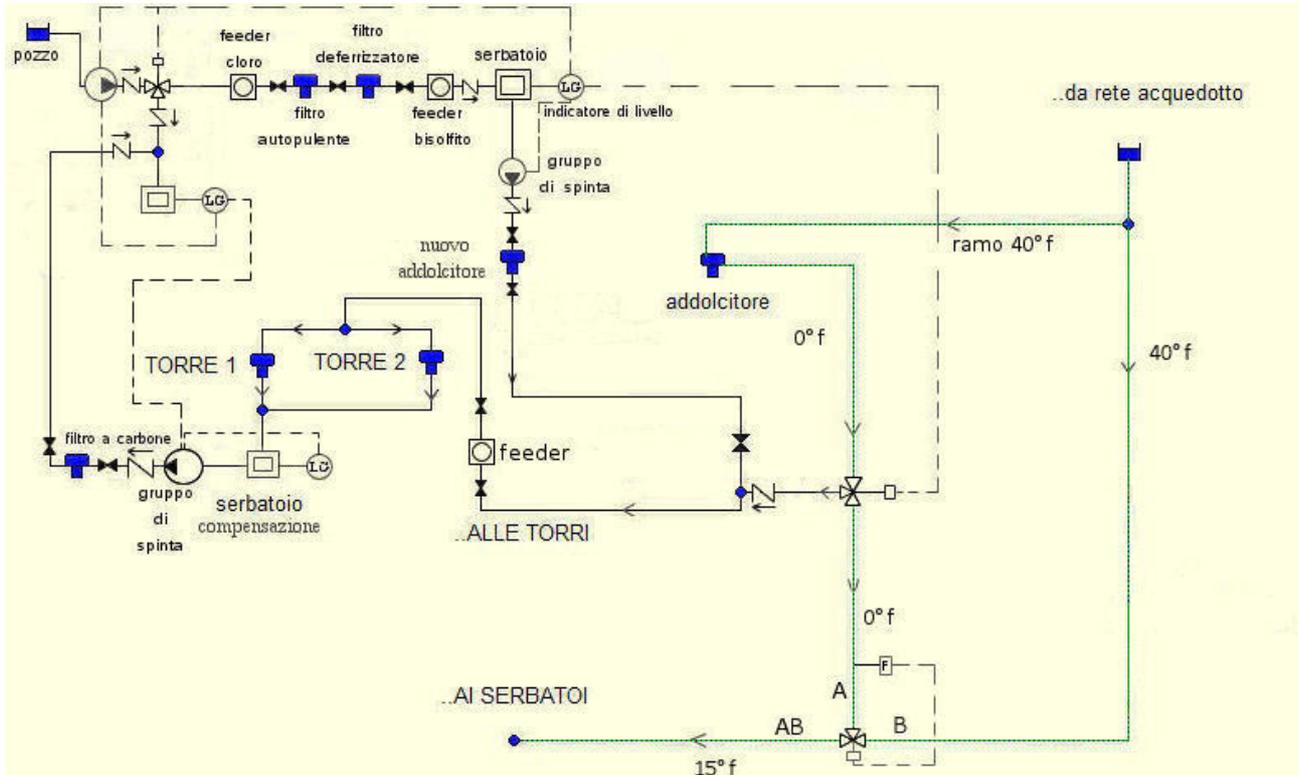


fig.57 schema nuovo impianto e vecchio impianto in verde

In fig.57 possiamo vedere la configurazione di impianto scelta: l'acqua proveniente dal pozzo entra in CT attraverso il percorso nel piano interrato dell'ospedale per passare attraverso un filtro autopulente automatico per particelle solide poi in un filtro deferrizzatore. A valle e a monte del deferrizzatore inseriamo nel circuito due dosatori (feeder): quello a monte per l'iniezione di cloro e quello a valle per l'abbattimento del cloro con iniezione di bisolfito. L'acqua viene accumulata in un serbatoio di compensazione e successivamente pompata ad almeno 2 bar per poter entrare nell'addolcitore ed entrare nella vasca delle torri sul tetto della centrale termica. Il reintegro delle torri è regolato da

meccanismo di regolazione del livello dell'acqua situato all'interno della vasca e comandato da un galleggiante (fig.58). In corrispondenza del livello minimo si aprirà la valvola per il reintegro.

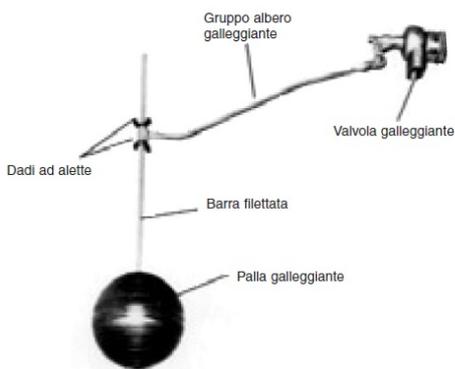


fig.58 gruppo valvola a galleggiante per reintegro torri

Il circuito di addolcimento esistente è evidenziato in colore verde in fig.18.

Il nuovo impianto è interfacciato con il vecchio attraverso una valvola a tre vie motorizzata. Il ramo di derivazione si aprirà al segnale del livello minimo del serbatoio di compensazione a monte delle torri (livello minimo diverso da quello che comanda l'alimentazione della pompa del pozzo). Lo switch avverrà in automatico. Per ogni sistema di filtraggio e addolcitore provvediamo ad inserire a valle ed a monte una valvola a saracinesca per permettere di sezionare il circuito in caso di manutenzione.

3.5 DIMENSIONAMENTO DEL PIPING TORRI-ORTI

3.5.1 Problema della qualità dell'acqua spurgata

L'acqua di spurgo delle torri dovrà essere riportata all'impianto di distribuzione degli orti e soddisfare la richiesta di acqua giornaliera per l'irrigazione.

Sarà importante ora capire se l'acqua spurgata dalle torri sarà idonea all'uso irriguo. Per trovare risposta a questo quesito sono stati contattati i tecnici che effettuano le analisi chimiche dell'acqua e il dosaggio dei prodotti anti-alghe e anticorrosivi nel circuito frigo-torri presso l'ospedale nuovo di Imola.

Preliminarmente sono stati raccolti dati e dosi utilizzate relative ai due prodotti per il trattamento dell'acqua: l'antialghe WTD842/D immesso nel circuito in quantità pari a 1,5 litri 3 volte a settimana per un totale di 4,5 litri a settimana e l'anti incrostante WTC153 pompato automaticamente nel circuito attraverso piccola pompetta collegata al misuratore di portata in quantità di circa 1,25 ml ogni circa 4-5 litri di acqua in ingresso alle torri (calcolo effettuato con cronometro e provetta graduata) in soluzione 90% acqua,10% anti incrostante.

Considerando l'acqua di falda alla pari di quella dell'acquedotto (caratteristica che riguarda particolarmente l'acquedotto di Imola alimentato dalle falda da 60 a 120 metri di profondità) allo spurgo normalmente la conducibilità rilevata è bassa e, per quanto riguarda l'anti-incrostante WTC153 a questi dosaggi non ci sono problemi per l' utilizzo in irrigazione. Per quanto riguarda invece l'antialghe

WTD842/D, trattandosi di un biocida, bisognerebbe verificarne l' eventuale residuo; per sicurezza verrà montato un filtro a carbone capace di trattenere queste sostanze ed evitare così che finiscano nell' ambiente.

3.5.2 L'idea per l'impianto

L'acqua di spurgo verrà raccolta in una vasca di accumulo per poi essere pompata ad un altro serbatoio di accumulo presso gli orti previa filtrazione a carbone per eliminare residui di antialghe utilizzati nella torre.

Dobbiamo scegliere innanzitutto quale dei due serbatoi posti nel terreno degli orti alimentare: stando ai dati di progetto dell'impianto di irrigazione ,non potendo alimentare a caduta tutte le utenze ma solo metà di esse, l'idea è quella di pompare acqua al serbatoio da 15m³ situato nei pressi dello scavo del pozzo ora utilizzato per accumulo dell'acqua piovana e dotarlo di una pompa in grado di svolgere il "lavoro" che compie attualmente la pompa da pozzo coadiuvata dall'autoclave che pressurizza l'acqua in uscita fino ad un massimo di 8 bar. La pompa in tal senso dovrà quindi garantire il fabbisogno della prima metà degli orti e soddisfare la richiesta del serbatoio da 18 m³ situato in cima alla collina il quale serve a caduta la restante metà degli orti.

3.5.3 Dimensionamento del serbatoio a valle delle torri e scelta portata della pompa

Questa volta servirà un serbatoio,il più piccolo possibile (dato che non ci sono vincoli per quanto riguarda accensioni/spegnimenti della pompa per giorno) che permetta di rendere disponibile più velocemente possibile l'acqua alla cisterna di destinazione degli orti.

La pompa si accende ad un determinato livello massimo del serbatoio di aspirazione es. ogni 30 minuti, ma dovremmo impostare questo tempo in base alle condizioni di prelievo acqua serbatoio di mandata. La pompa del serbatoio

dovrebbe in ogni caso spegnersi al segnale di troppo pieno del serbatoio di mandata e al segnale di livello minimo del serbatoio. L'acqua di spurgo raggiunge il serbatoio per caduta. Volendo rendere sempre disponibile l'acqua dovremmo ridurre al minimo la capacità del serbatoio potendo abbassare così anche la portata di efflusso. Dilatando il periodo minimo di riempimento quindi il livello massimo del serbatoio dovremmo pompare ad una portata più elevata in modo che il livello del serbatoio di destinazione non si abbassi a 0 o comunque sotto un certo livello minimo. Prendiamo come esempio il caso in cui si verificano condizioni di afflusso/efflusso critiche e la cisterna degli orti da 15 m³ raggiunga un picco di livello minimo pari a 2,55 m.

In input abbiamo l'andamento della portata di spurgo in condizioni "critiche" cioè di scarsa potenza termica richiesta e l'andamento del fabbisogno d'acqua richiesto (ritenuto costante e in condizione critiche di massimo utilizzo d'acqua).

Dovremmo verificare come diverse frequenze di invio d'acqua possono modificare il livello del serbatoio di destinazione. Operiamo un primo dimensionamento del serbatoio:

Q_a = portata d'afflusso minima notturna = 0,65 m³/h

Q_a minima diurna = 0,7 m³ (al mattino)

$Q_{massima}$ d'afflusso (influenza la portata minima della pompa) = 2,2 m³/h

La portata minima della pompa dovrà essere 2,2 m³/h.

Scegliamo la portata della pompa pari a 3,6 m³/h e studiamo due possibili casi al fine di capire come possono variare i livelli dei serbatoi degli orti variando la capacità del serbatoio a monte (posto a valle delle torri).

Al fine di capire gli effetti a cui può portare la scelta di una capacità o un'altra studiamo due casi esempio a parità di andamento di portata di afflusso (spurgo delle torri) e parità di andamento di portata richiesta per l'irrigazione degli orti.

Nei seguenti due casi poniamo l'ipotesi che possa essere utilizzata tutta la capacità del serbatoio e non esista un livello minimo quindi la pompa si attiva in corrispondenza del livello massimo e si interrompe a livello 0. I casi seguenti riprendono un caso critico di minima portata di spurgo e massima richiesta dell'impianto di irrigazione:

1° caso:

scelta serbatoio	polietilene	
capacità serbatoio [m3]		1,5
t riempimento massimo [h]		2,3
t riempimento minimo [min]		40

Scegliendo un serbatoio di capacità 1,5 m3 siamo in grado di soddisfare la richiesta degli orti arrivando in un momento ad una capacità residua del serbatoio di 0,9 m3 (vedi fig.59)

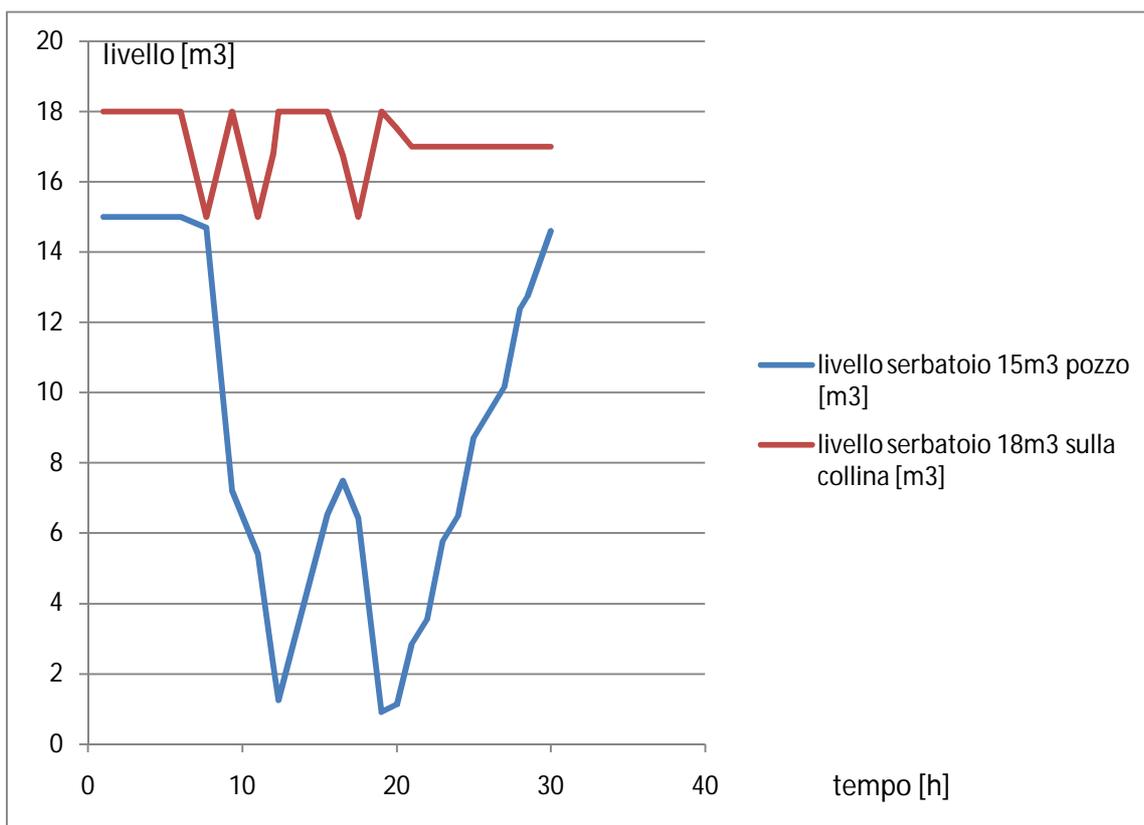


fig.59: livelli dei serbatoi degli orti in corrispondenza di serbatoio da 1,5 m3 a valle delle torri

Dai calcoli possiamo riportare il fatto che mediamente il serbatoio a valle delle torri si riempie con frequenza pari a circa 2 ore.

In questo caso abbiamo registrato 12 accensioni della pompa per giorno

2° caso

scelta serbatoio	polietilene	
capacità serbatoio [m3]		0,5
t riempimento massimo [min]		45
t riempimento minimo [min]		14

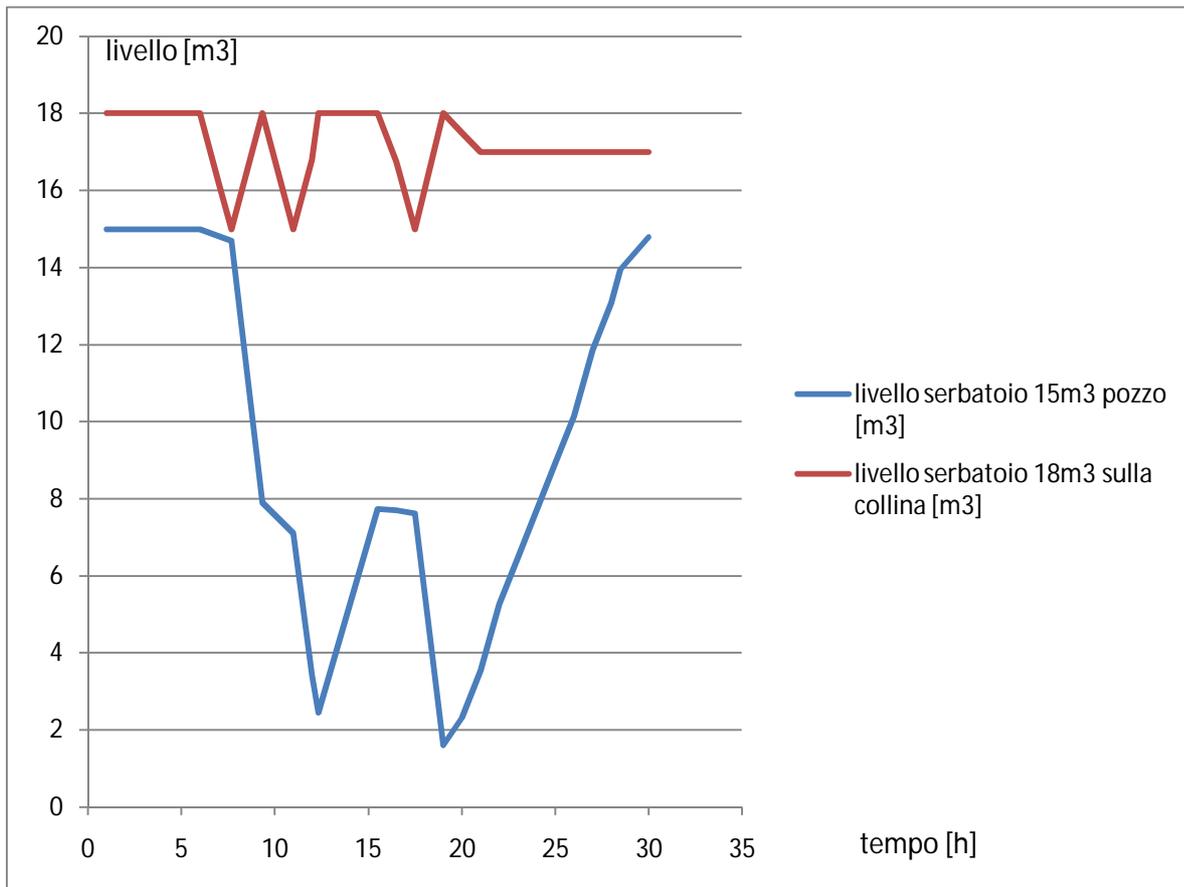


fig.60: livelli dei serbatoi degli orti in corrispondenza di serbatoio da 0,5 m3 a valle delle torri

In questo caso la curva di livello del serbatoio di 18m3 degli orti si avvicina a quella calcolata nel caso ideale di portata di spurgo istantaneamente disponibile al serbatoio degli orti. In questo caso abbiamo registrato 33 accensioni della pompa per giorno.

Tra i due casi, considerato il fatto che il numero di accensioni/spengimenti della pompa non è un vincolo, il secondo è quello che consente di avere una frequenza di pompaggio maggiore e ciò aiuta a mantenere il livello del serbatoio di destinazione più alto soprattutto nei momenti di maggior richiesta (cumulata) al termine della mattinata.

Nello studio dei due casi non abbiamo preso in considerazione il livello minimo del serbatoio al di sotto del quale non dobbiamo andare per evitare fenomeni di cavitazione della pompa. La simulazione effettuata è comunque valida e le capacità dei serbatoi presi possiamo considerarli come capacità utile del serbatoio tra livello minimo e massimo all'interno del quale oscillerà il livello del serbatoio.



Scegliamo un serbatoio orizzontale in polietilene di capacità 1m³:

- 1,05 m³ di capacità utile
- dimensioni 1,19x1,28x1,07 [m] (HxPxL)
- prezzo: 327,10 [€]

fig.61 serbatoio orizzontale in polietilene

Il serbatoio è stato scelto orizzontale in modo da essere posizionato all'esterno della CT sul prato ad un'altezza di 55,8 m.s.l.

Come dimostrato precedentemente fissiamo il livello minimo del serbatoio a 0,5 m³ (livello al quale la pompa di mandata si spegne aspettando che venga raggiunto il livello massimo da circa 1m³).

3.5.4 Scelta del filtro automatico a carbone attivo

A valle del serbatoio appena dimensionato e della pompa che provvederà al rilancio del fluido all'impianto degli orti andrà inserito un filtro a carbone. La filtrazione a carbone permette la rimozione di cloro, gas, sapori ed odori sgradevoli. E' inoltre in grado di rimuovere alcuni inquinanti come olii, detersivi, fenoli, pesticidi o come nel nostro caso biocidi (o antialghe). Il sistema di controlavaggio automatico permette di rimuovere le impurità grossolane che depositano sul letto filtrante durante l'esercizio.

Il sistema di filtraggio è costituito da:

- valvola monoblocco a 3 fasi per il contro lavaggio (esercizio-controlavaggio-lavaggio equicorrente) con programmatore elettronico a microprocessori per la selezione della frequenza di rigenerazione.
- bombola in vetroresina
- carbone attivato

Condizioni di esercizio:

- pressione acqua in entrata alla valvola da 2 a 8 bar



-temperatura dell'acqua da 5 a 45°C

-perdita di pressione tipica (a filtro pulito con pressione di alimento di 3 bar) 0,6-0,7 bar

Il letto filtrante è costituito da uno strato di carbone attivo supportato da uno strato di quarzite di tipo sferoidale. Il carbone attivo è di tipo granulare a granulometria differenziata, specifico per il trattamento dell'acqua e con elevata capacità di azione fisica (filtrazione meccanica), chimica (ossidazione-riduzione) e chimico fisica (adsorbimento). Il controllo del letto

filtrante avviene automaticamente a pre-fissati intervalli di tempo. La rigenerazione potrà essere comunque effettuata alla pressione di un pulsante.

Modello ACF-A-350 della B&P Water Technologies con portata minima e massima d'esercizio rispettivamente 3,4 e 5,4 m³/h. Potenza assorbita: 10W Prezzo: circa 3327 euro.

3.5.5 Dimensionamento del piping inverso CT-pozzo e della pompa a valle del serbatoio

Il serbatoio verrà posto all'esterno della CT ad un'altezza geodetica di circa 55,8 metri sul livello del mare mentre quello di destinazione a 60 msl per un dislivello geodetico totale di 4,2 metri. Il piping ricalca il percorso deciso precedentemente con lunghezza di 350 metri. Utilizziamo a valle della pompa un filtro a carbone che ha pressione d'esercizio minima di 2 bar.

La portata della pompa scelta è 3,6 m³/h.

Diamo uno sguardo ai dati relativi alle perdite di carico:

ϕ est[mm]	Manning J	Hazen-W J [m/m]	(Con hazen) Y [m]	Ya[m]	Htot [m]	(hazen) con filtro a carbone Htot [m]
40	0,036909	0,048247173	16,88651	1,66233	22,74884	33
50	0,012375	0,016176614	5,661815	0,677559	10,53937	22

L'acqua di ritorno è priva di impurità: scegliendo un tubo PE100 PN16 di diametro esterno ϕ 50mm abbiamo una velocità di 0,76 m/s che possiamo assolutamente accettare. L'adozione di un diametro maggiore per il piping ci consente, a parità di portata, di scegliere una pompa con prevalenza minore e minor potenza di assorbimento con minori costi di esercizio.

Scegliamo quindi un tubo PE 100 PN 16 ϕ 50 mm e procediamo alla scelta di una pompa a catalogo che soddisfi le nostre richieste:

prevalenza impianto	
Q [m ³ /s]	0,001
Hg [m]	4,2
lunghezza tubazione	350
prevalenza della pompa Htot[m]	22
Calcolo potenza pompa	
Scelta pompa [Kw] pot nominale motore	0,55
Potenza assorbita dal motore [Kw]	0,9
Durata annua sollevamento (pompa) [h]	
Costo en_el [€/Kwh]	0,17
costo annuo esercizio (a det Q)[€/anno]	243,5

Scegliamo una pompa da catalogo Calpeda MXHL 403/A multistadio orizzontale monoblocco in acciaio inox che fornisce una portata di 3,6 m³/h ad una prevalenza di 27,2 metri m in corrispondenza di un rendimento pari al 53%. Potenza nominale del motore 0,55 KW e potenza assorbita dal motore pari a 0,9 KW. Prezzo: 325,83 €.

3.5.6 Verifica di soddisfacimento del fabbisogno per l'irrigazione

Ora dobbiamo chiederci se la portata di spurgo sarà in grado di soddisfare il fabbisogno per l'irrigazione degli orti. Abbiamo come input l'andamento della portata di spurgo che ricaviamo dalla curva del consumo delle torri ricordandoci che la portata di spurgo è circa il 90% della portata di evaporazione. Abbiamo anche l'andamento del consumo di acqua degli orti che rappresenta il fabbisogno da soddisfare. Analizziamo gli andamenti delle curve:

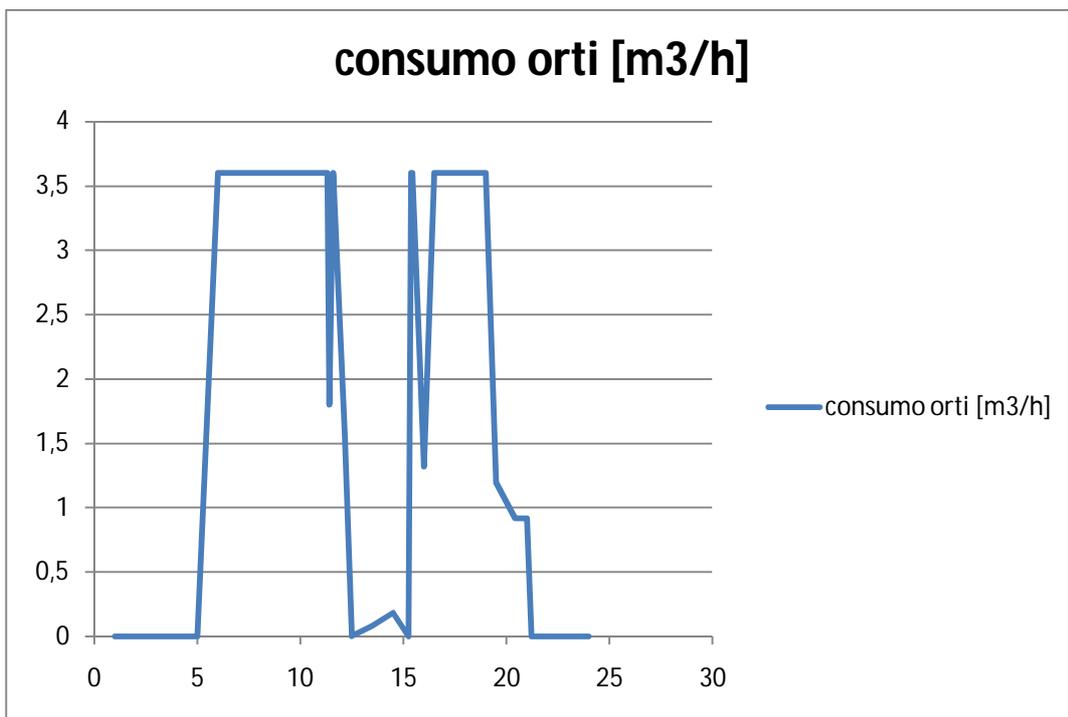


fig.62: andamento del fabbisogno di irrigazione degli orti : caso critico di massimo consumo d'acqua

Consumo massimo= 33 m3/giorno

curva della portata di spurgo massima (considerando $Q_p=90\% Q_v$)

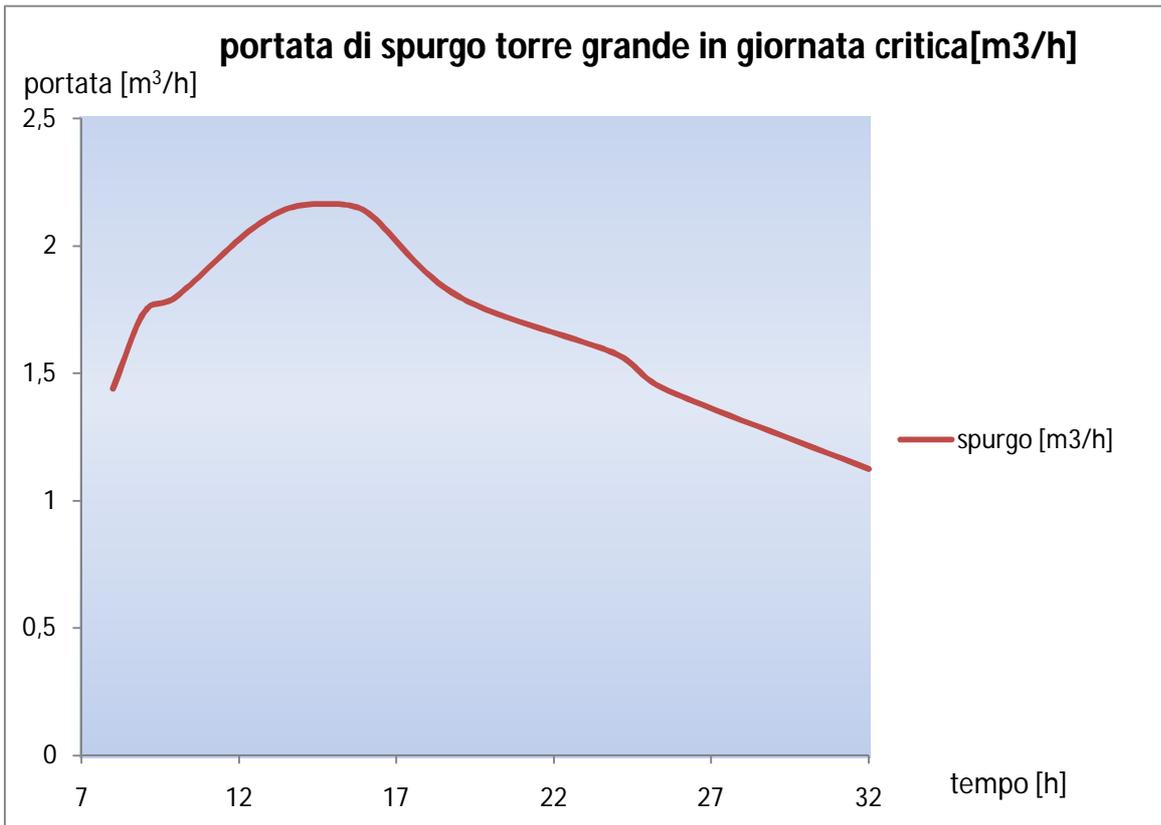


fig.63: andamento portata di spurgo torre grande in giornata con consumo torri di 88,6 [m3/gg]

- *Verifica del soddisfacimento fabbisogno orti nel caso utilizzo di tutta la portata del pozzo alla CT (caso 1,2 l/s)*

La portata massima giornaliera di spurgo con $Q_p=90\% Q_v$ è uguale a 40m³ per giorno (sarebbe 44 m³ per giorno nel caso $Q_p=Q_v$). In linea teorica riusciamo in queste condizioni a soddisfare il fabbisogno per l'irrigazione.

Analizziamo la curva del fabbisogno degli orti (fig.62): nelle 10 ore notturne in cui non vi è alcun fabbisogno possiamo fornire acqua alla cisterne degli orti per 15 m³. Nella mattinata abbiamo una richiesta quasi costante dalle 6 alle 12 di 3,6 m³ per un fabbisogno mattutino di circa 21,6 m³. Nel pomeriggio invece abbiamo un fabbisogno di 13,5 m³ spalmato in 5 ore e mezzo (dalle 15e30 alle 21) alla media di circa 2,5 m³/h.

Analizzando la curva dello spurgo in condizioni di consumo massimo delle torri possiamo vedere con riusciamo nella mattinata a fornire circa 10m³ (dalle 6 alle 12) mentre nel pomeriggio (dalle 12 alle 21) circa 18 m³.

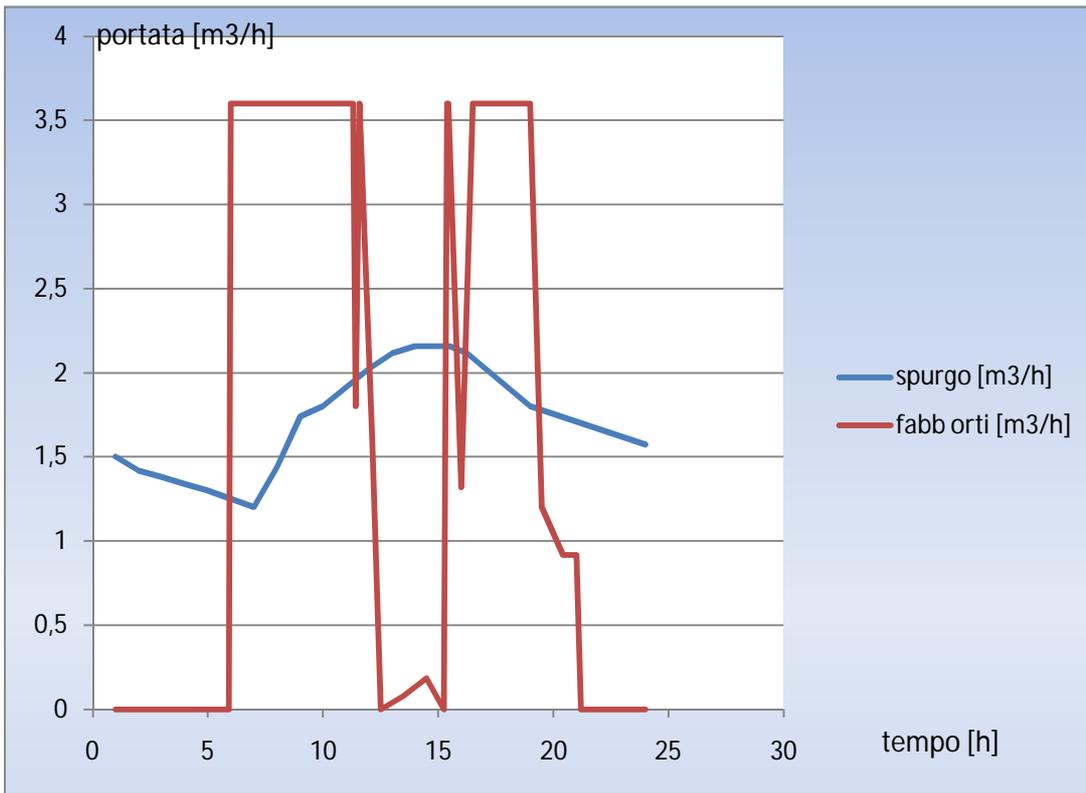


fig.64: andamenti portata di spurgo torre e fabbisogno orti in giornata critica

Ora possiamo vedere l'andamento del livello del serbatoio di 15 m³ degli orti:

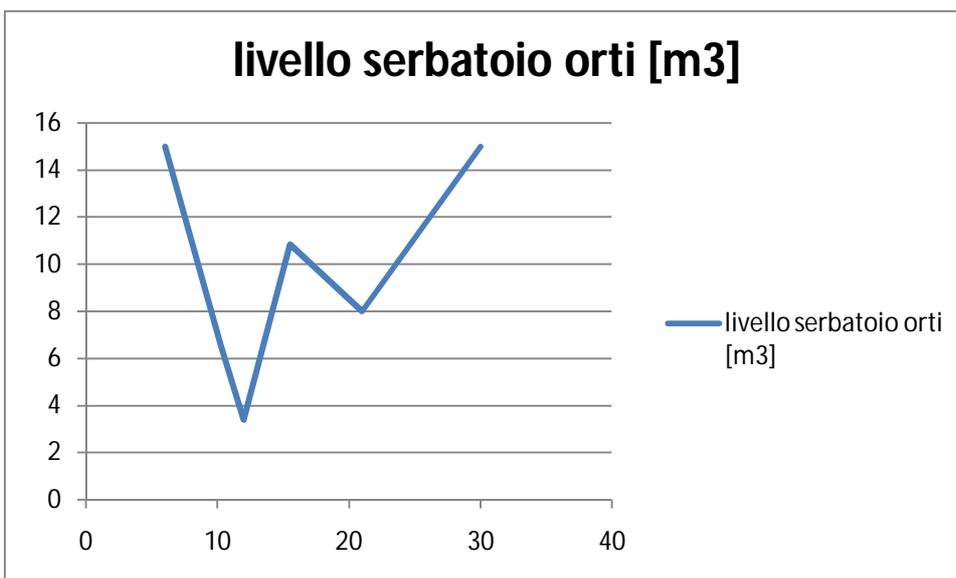


fig.65: andamenti livello serbatoio da 15 m³ degli orti nel caso non esistesse l'altro da 18 m³

Dobbiamo però considerare il fatto che è presente un secondo serbatoio in cima alla collina di capacità 18 m³ con un livello minimo di 15 m³, quindi andiamo a effettuare una simulazione del funzionamento di tutto l'impianto e riportiamo i livelli dei due serbatoi degli orti in situazione di cumulata di spurgo massima giornaliera e massimo consumo d'acqua per l'irrigazione degli orti:

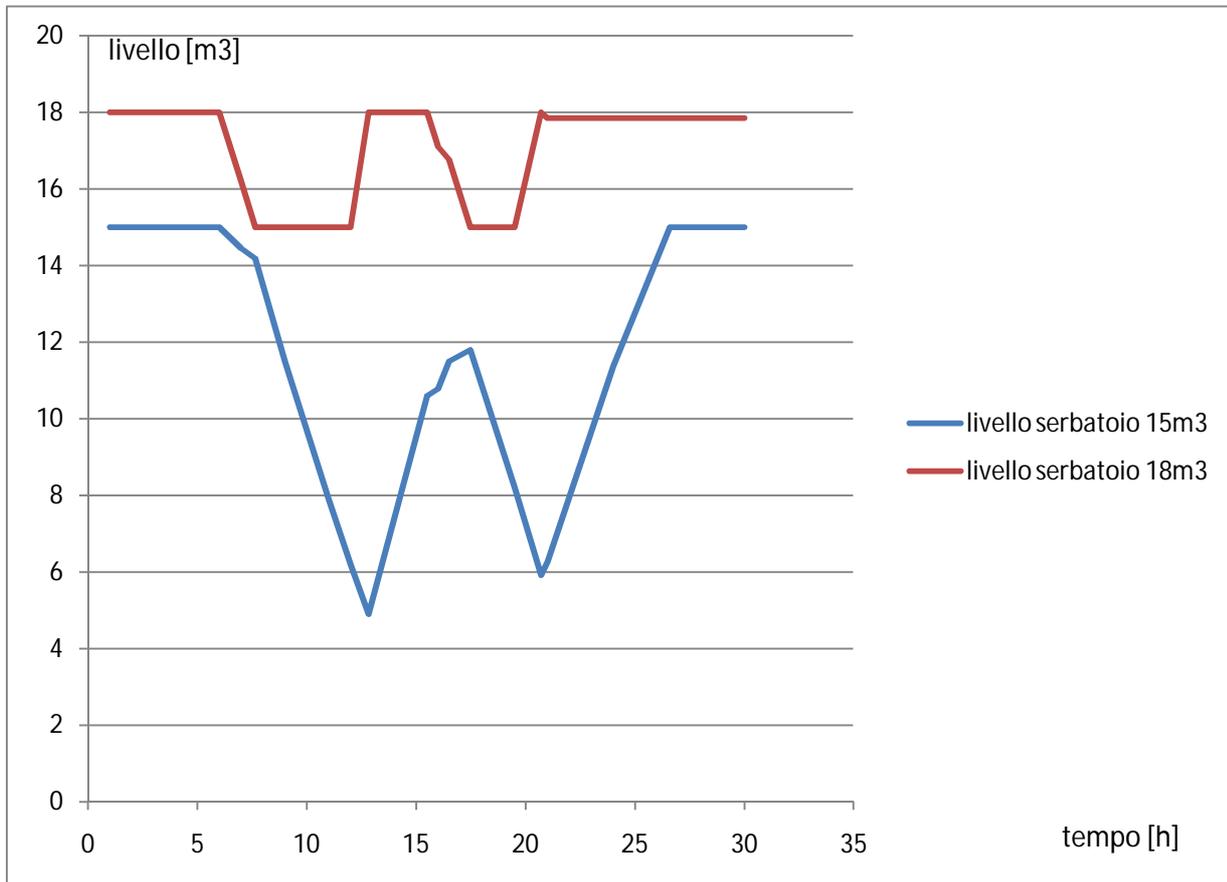


fig.66: livelli dei serbatoi degli orti in caso di massimo consumo torri e fabbisogno orti

Il grafico dei livelli è stato costruito simulando l'arco delle 24 ore di una giornata tipo con valori di temperatura massimi estivi e conseguente portata di spurgo massima/fabbisogno di irrigazione massimo (quest'ultimo non varia linearmente con la temperatura esterna come invece la portata di spurgo). Abbiamo posto come ipotesi lo stesso consumo d'acqua per la prima e seconda metà degli orti ovvero un consumo istantaneo identico per entrambi i serbatoi degli orti. Ricordiamo come il serbatoio da 15m³ interrato alla base della collinetta sia destinato al soddisfacimento del fabbisogno della prima metà degli orti a partire dalla base della collina e contemporaneamente al riempimento del serbatoio da 18m³ situato in cima alla collina degli orti qualora il suo livello scendesse sotto i 15m³.

Ora possiamo calcolare il limite oltre al quale non riusciamo a soddisfare il fabbisogno di irrigazione: il limite è in corrispondenza di un consumo giornaliero della torre inferiore a circa 72 m³ ai quali corrispondono una portata massima di spurgo di 33 m³ pari al fabbisogno degli orti.

Vediamo a tal proposito il grafico limite seguente che si riferisce ad un consumo giornaliero della torre grande di 66 m³/gg per una portata massima di spurgo di circa 30 m³: dal grafico possiamo vedere come non riusciamo a soddisfare il fabbisogno massimo degli orti. Alle ore 19 della simulazione il livello del serbatoio di 15 m³ tocca il livello 0.

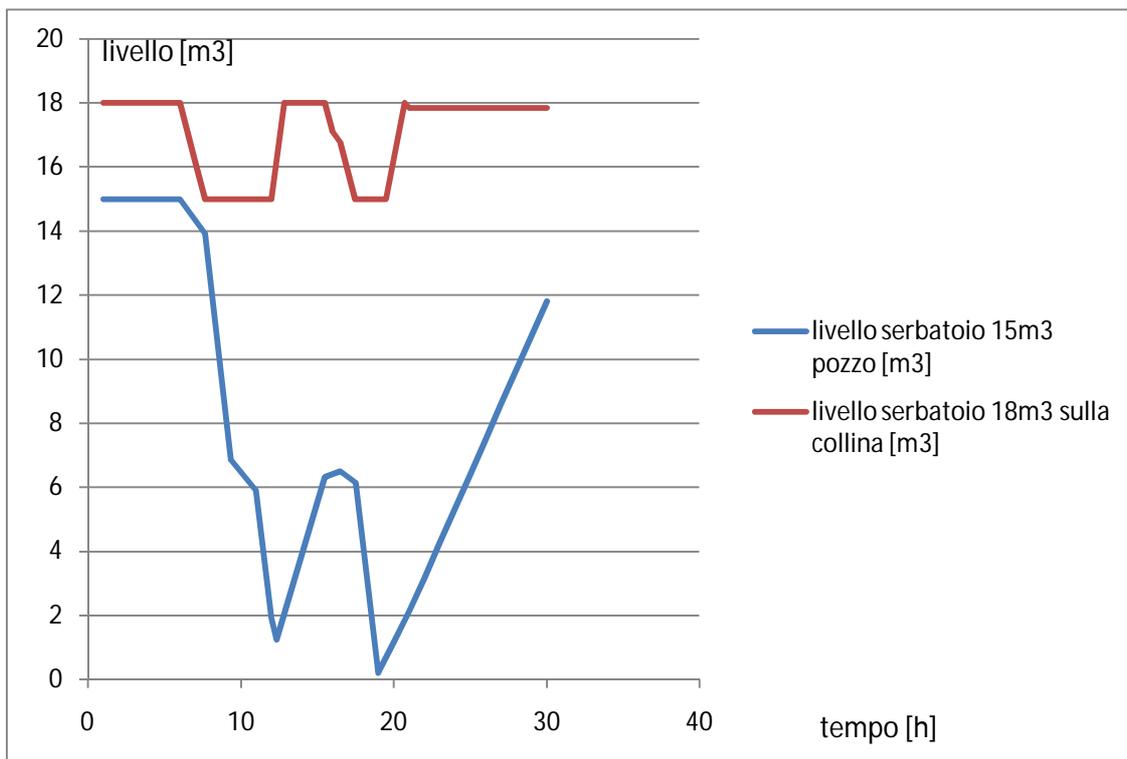


fig.67: livelli dei serbatoi degli orti in caso di massimo consumo torri pari a 72 m³/gg

Ora bisognerà studiare una soluzione per ovviare a questo problema e mantenere sempre il livello dei serbatoi durante l'arco della giornata in qualsiasi situazione di fabbisogno delle torri quindi portate di spurgo. Provando a variare il livello minimo del serbatoio sulla collina il discorso non varia perché scendendo sotto i 72 m³ (pari al 65% della potenza termica del gruppo frigorifero grande) non riusciamo a soddisfare la richiesta massima degli orti.

- ✚ La soluzione di creare una derivazione che porti il flusso direttamente al serbatoio degli orti può risolverci in tal senso il problema. Destineremo così una frazione o l'intera portata fornita dalla pompa sommersa del pozzo

direttamente al serbatoio da 15m³ per cercare di soddisfare entrambi i fabbisogni di centrale termica e irrigazione degli orti.

- ✚ L'idea è quella di inserire una valvola a tre vie motorizzata comandata dai segnali di livello dei serbatoi da 9m³ della CT e da 15m³ degli orti in modo che tutta la portata possa essere convogliata agli orti nel caso di mancanza di richiesta d'acqua del serbatoio di accumulo della CT.

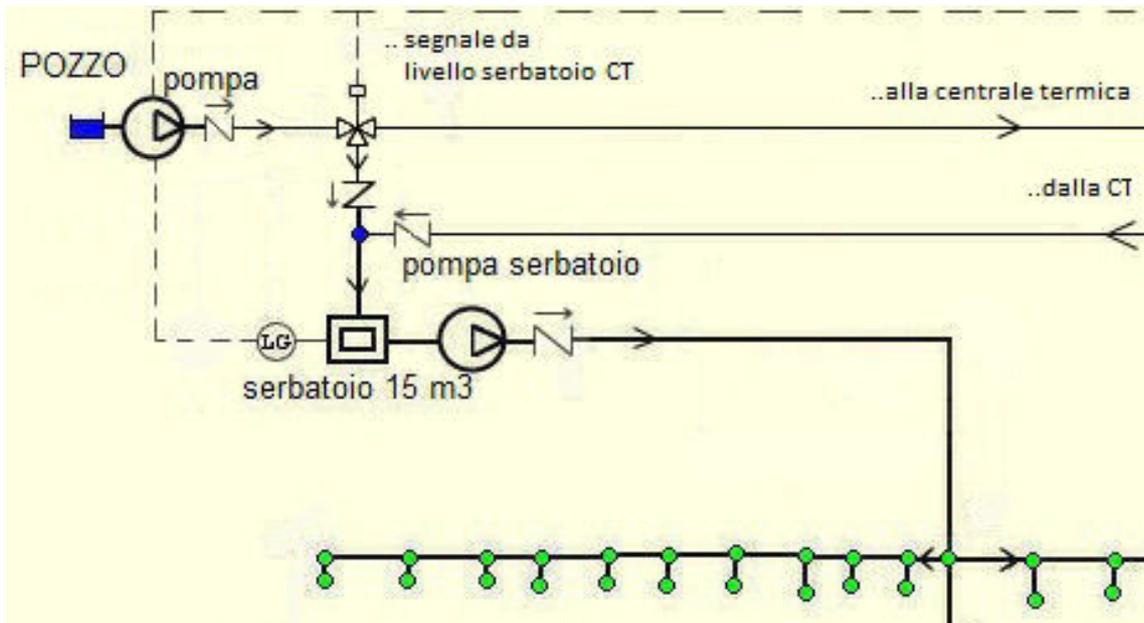


fig.68 particolare della nuova derivazione pozzo-orti

Il misuratore di livello del serbatoio della CT comanda l'attivazione della pompa al segnale di livello minimo; raggiunto il livello massimo il misuratore invia un segnale a pompa sommersa e valvola a tre vie chiudendo il ramo che porta alla CT e aprendo quello di derivazione. Se il livello del serbatoio degli orti è sotto al livello minimo la pompa si attiva e tutta la portata è destinata alla derivazione. Il nuovo segnale di livello minimo del serbatoio della CT chiude il ramo di derivazione e apre quello principale. Il segnale di livello dalla CT è prioritario rispetto al segnale proveniente dal serbatoio degli orti che come ripetiamo verrà riempito solo nel periodo in cui non c'è richiesta d'acqua dalla CT.

Analizziamo la soluzione e verifichiamone la validità.

- *Caso 1,2 l/s per la CT e derivazione con elettrovalvola a 3 vie che apre il ramo pozzo-orti in caso di mancanza di richiesta della CT*

Abbiamo già verificato come nel caso di consumo giornaliero delle torri inferiore a 72 m³ non riusciamo a soddisfare la richiesta degli orti. Ora però inseriamo una derivazione al piping che porta direttamente al serbatoio da 15m³ degli orti.

Questo ramo si apre quando non c'è richiesta dal serbatoio della CT ovvero quando il suo livello è sopra a quello minimo.

Ricordiamo che il serbatoio nella CT a monte delle torri è stato dimensionato con capacità utile di 8,9 m³ e livello minimo fissato a 6 m³ (che comanderà l'azionamento della pompa).

Analizzando la curva di andamento del consumo totale di acqua delle torri e tenendo conto di tutti i parametri con cui abbiamo dimensionato il serbatoio a monte delle torri possiamo trovare in quali periodi non c'è richiesta nel ramo pozzo-CT ovvero quando il livello del serbatoio supera quello minimo di 6m³ (con l'ausilio delle tabelle excel). Analizziamo i risultati trovati e simuliamo i livelli dei serbatoi in caso di massimo consumo delle torri pari a 88,645 m³/gg:

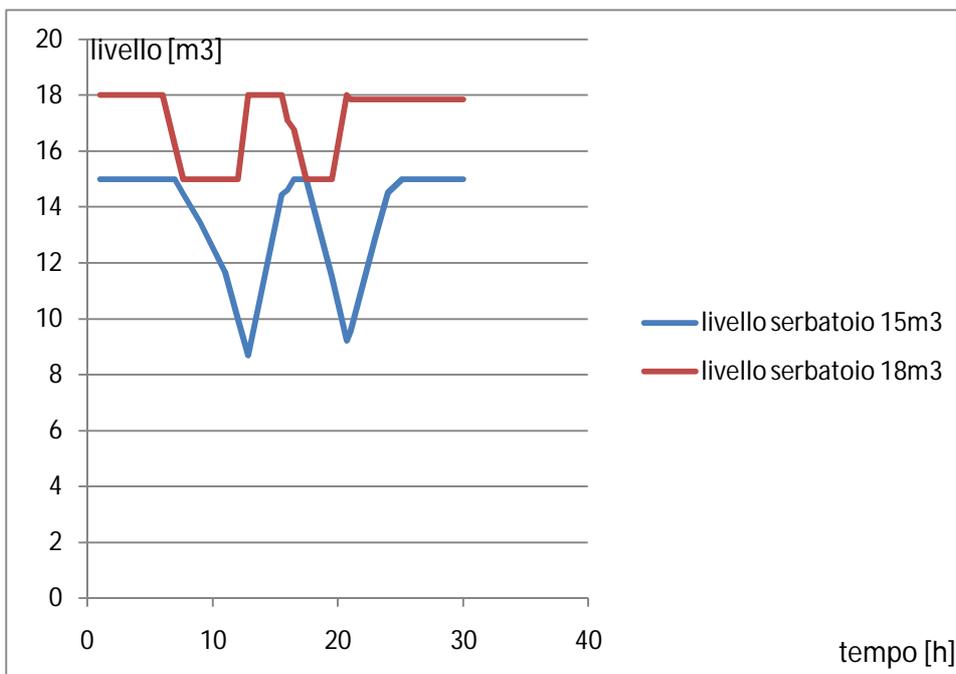


fig.69: livelli dei serbatoi degli orti in caso di massimo consumo giornaliero delle torri

-richiesta continua della CT dalle 12 alle 23

Dalle 23 alle 12 del giorno successivo la pompa rimane staccata per circa 3,4 ore sulle 13 rimanenti. In queste 3,4 ore riusciremmo a fornire agli orti 14,7 m³ (la pompa rimarrebbe spenta 0,177 ore ogni 0,68 ore). In particolare dalle 6 alle 12 riusciamo ad inviare al serbatoio degli orti fino a 5,87m³. Possiamo infatti vedere come i livelli siano più alti in presenza della nuova derivazione.

Passiamo ora alla simulazione dei casi più critici:

Abbiamo appurato precedentemente come solamente con portata di spurgo delle torri riusciamo a soddisfare il fabbisogno degli orti con un consumo minimo giornaliero delle torri di circa 73 m³/gg.

Ad esempio spingiamoci oltre questa soglia ed effettuiamo una simulazione nel caso di 70% di potenzialità termica rispetto alla massima registrata per un consumo giornaliero delle torri di 62 m³/gg e cumulata dello spurgo di circa 28 m³/gg.

Otteniamo prima di tutto l'andamento del consumo della torre grande e calcoliamo successivamente la frequenza con cui si "stacca" la pompa (ovvero non c'è richiesta da parte del ramo pozzo-CT):

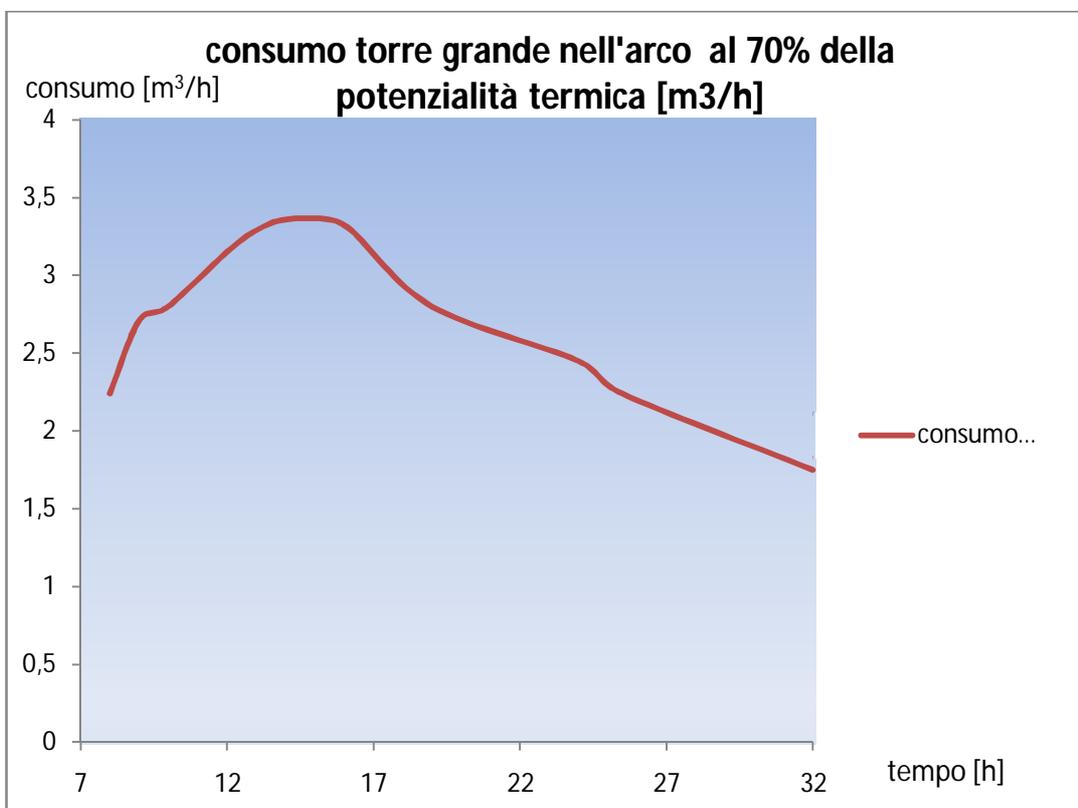


fig.70: andamento consumo giornaliero torre grande nel caso 70% potenzialità termica

Al 70% di consumo giornaliero delle torri mediamente il serbatoio a monte ha un livello superiore a quello minimo per 0,42 ore ogni 1,1 ore. In queste 0,42 ore ovvero 25 minuti tutta la portata della pompa (1,2 l/s) va al serbatoio degli orti.

Prendiamo anche il relativo andamento dello spurgo giornaliero:

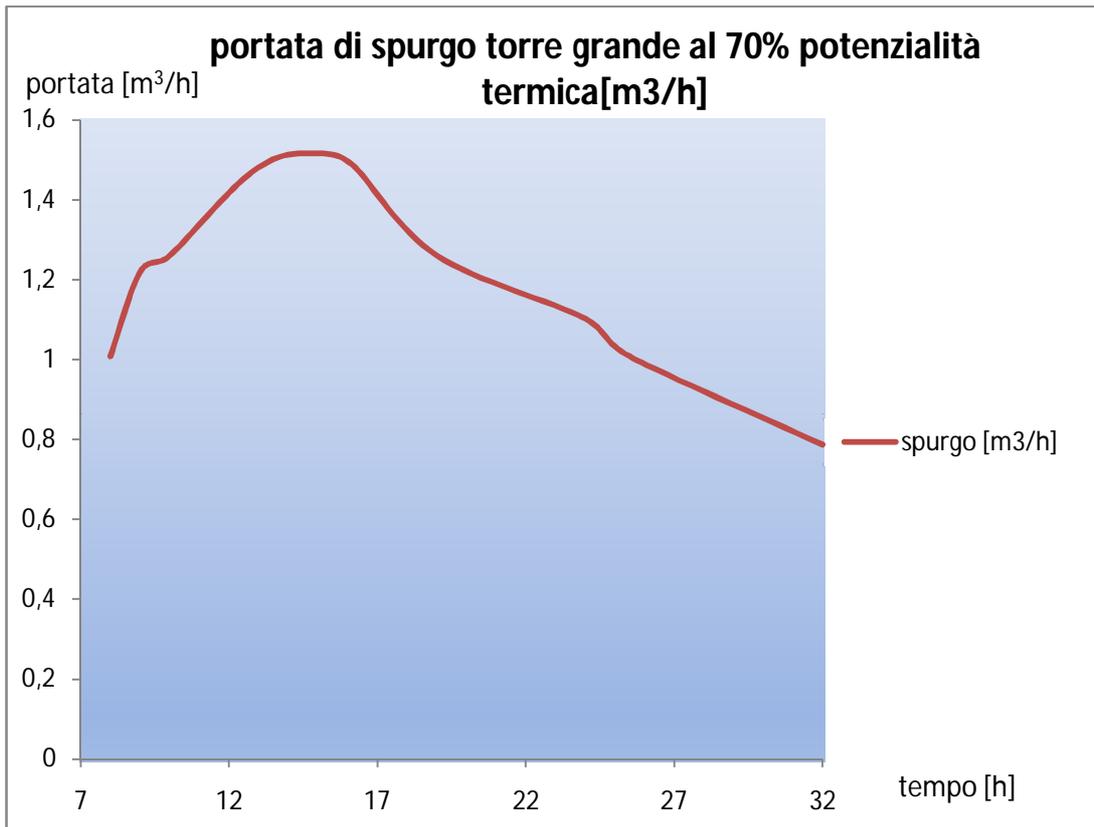


fig.71: andamento dello spurgo giornaliero delle torri per potenzialità richiesta media giornaliera pari al 70% della potenzialità massima dello stesso gruppo frigorifero

Ripetiamo la simulazione:

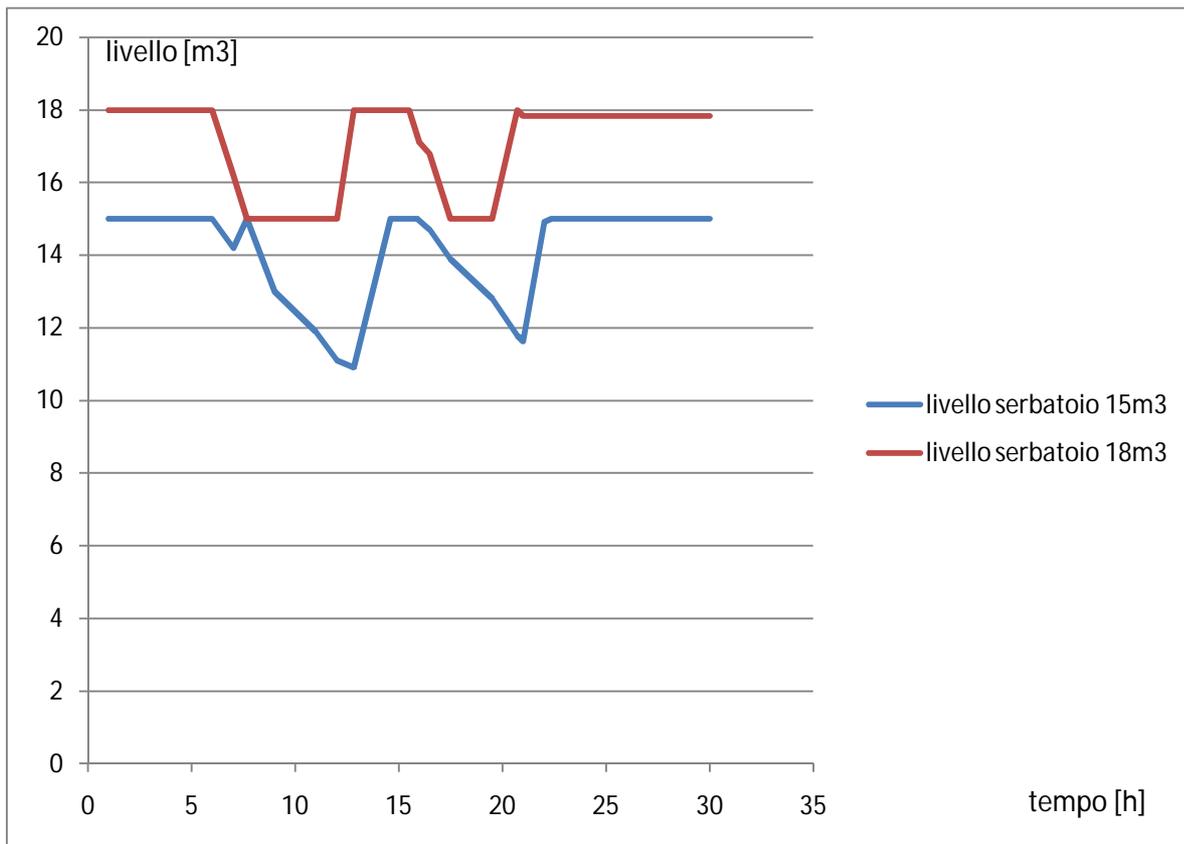


fig.72: livelli dei serbatoi degli orti in caso di consumo torri pari a 62 [m3/gg]

Il grafico dei livelli ci mostra come la soluzione adottata sia valida e si riescano a soddisfare entrambi i fabbisogni di torri e orti anche in caso basso consumo delle torri quindi di bassa frequenza di spurgo.

Spingiamoci ancora oltre ed effettuiamo altre due simulazioni in casi di 60% e 40% di potenzialità termica.

Il caso di 60% di potenzialità termica corrisponde ad un consumo giornaliero delle torri di 53 m3/gg e cumulata dello spurgo di circa 24 m3/gg.

Procediamo come nel caso precedente otteniamo prima l'andamento del consumo giornaliero della torre grande quindi la frequenza di "stacco" della pompa per quanto riguarda il ramo pozzo-CT e infine l'andamento dello spurgo giornaliero della torre grande.

La pompa del pozzo rimane staccata 30 minuti ogni 1,18 ore circa nonché ogni 1 ora e 10 minuti. Vediamo il risultato della simulazione:

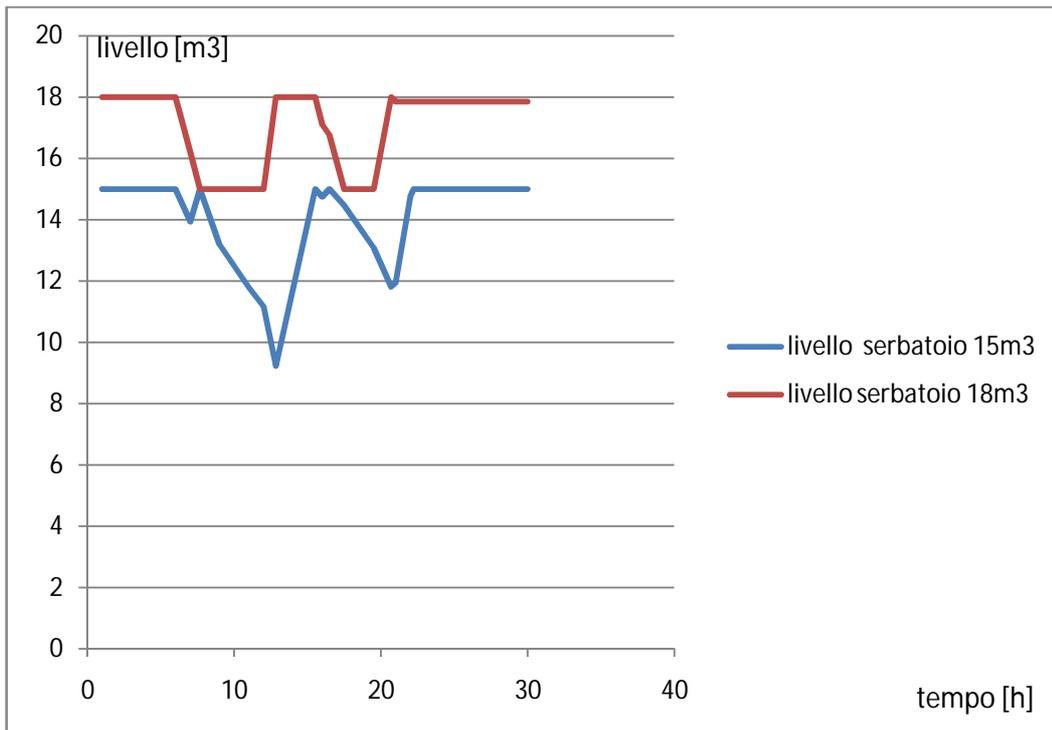


fig.73: livelli dei serbatoi degli orti in caso di massimo consumo torri pari a 53 m³/gg
Anche questa volta la simulazione ha dato esito positivo.

Procediamo all'ultima simulazione nel caso di consumo giornaliero delle torri di 35 m³/gg (40% rispetto al caso di massimo consumo) e cumulata dello spurgo di circa 16 m³/gg:

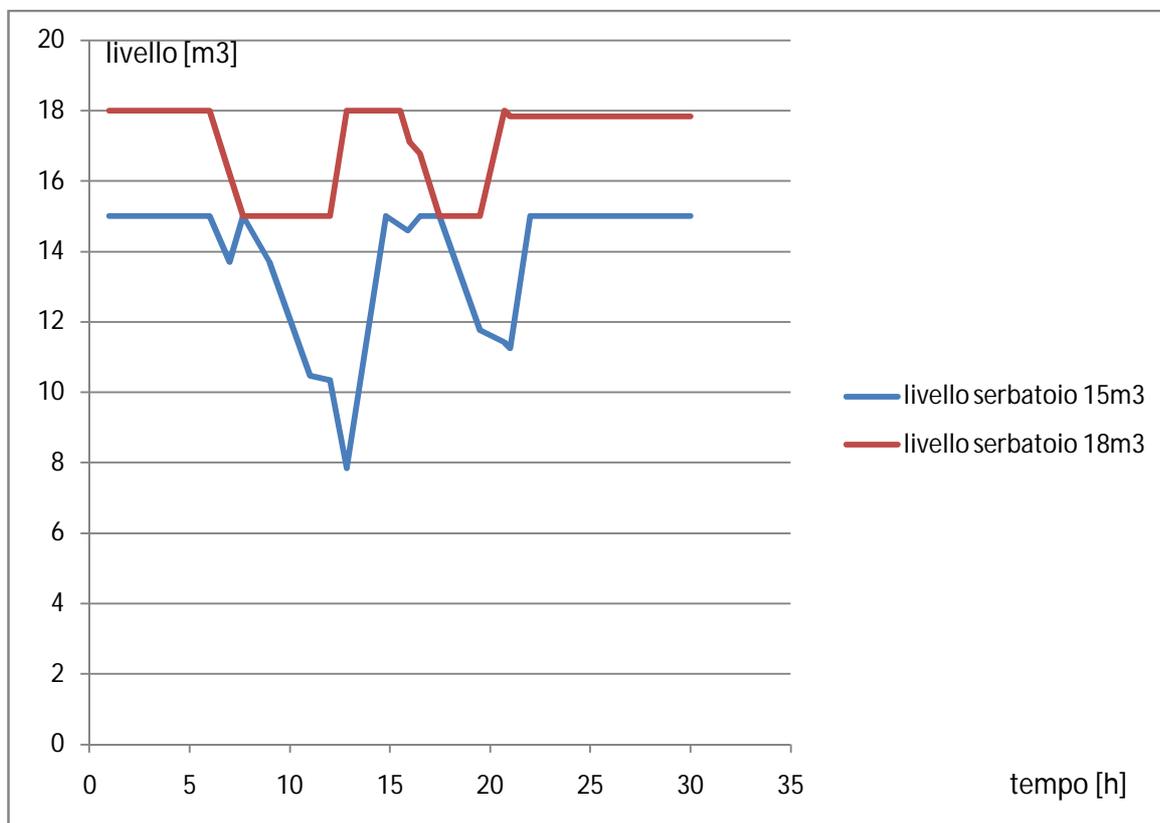


fig.74: livelli dei serbatoi degli orti in caso di massimo consumo torri pari a 35 [m³/gg]

Abbiamo appena dimostrato che la soluzione adottata è valida e si riescono a soddisfare entrambi i fabbisogni di torri e orti in qualsiasi condizione di lavoro del gruppo frigorifero dell'ospedale e in qualsiasi situazione di consumo d'acqua per l'irrigazione degli orti.

Ora verificiamo in tre casi appena analizzati quanta acqua di ritorno delle torri va persa e quanta acqua di pozzo consumiamo:

- caso 1 (100%): 6,37 m³ di spurgo al giorno in fogna durante la notte (quando il livello del serbatoio da 15m³ degli orti ha raggiunto il suo massimo) su circa 40m³ spurgati. 3,64 sono i m³ di acqua forniti direttamente alla derivazione pozzo-serbatoio orti (in 5 ore al mattino e 1 ora dalle 23 alle 24) e 88,6 sono i m³ consumati dalle torri per un totale di circa 92m³ prelevati dal pozzo per giorno.

- caso 2 (70%): 10 m³ di acqua di spurgo buttati in fogna (1,5 durante il giorno e i restanti 8,5 durante la notte quando il livello del serbatoio da 15m³ degli orti ha raggiunto il suo massimo) su circa 28m³ di acqua spurgati dalle torri in un giorno. 22,2 sono i m³ di acqua forniti direttamente alla derivazione pozzo-serbatoio orti (consumati tra le 6 e le 22.30) e 62 sono i m³ consumati dalle torri per un totale di circa 84m³ prelevati dal pozzo per giorno.

- caso 4 (40%): 5m³ di acqua di spurgo buttati in fogna durante le ore notturne (quando il livello del serbatoio da 15m³ degli orti ha raggiunto il suo massimo) su circa 16 m³ di acqua spurgati dalle torri in un giorno. 24,7 sono i m³ di acqua forniti direttamente alla derivazione pozzo-serbatoio orti (consumati tra le 6 e le 22) e 35,4 sono i m³ consumati dalle torri per un totale di circa 60m³ prelevati dal pozzo per giorno.

Nei casi precedenti abbiamo sempre considerato il consumo di acqua per l'irrigazione pari all'andamento del consumo massimo rilevato, pertanto i m³ prelevati dal pozzo nell'arco di un'intera giornata potrebbero essere minori di quelli calcolati con la simulazione nel caso il consumo per irrigazione sia correlato con la temperatura esterna.

3.5.7 Dimensionamento della pompa del serbatoio principale degli orti da 15 m³

La suddetta pompa deve soddisfare le utenze della prima metà degli orti (circa 100 orti) e nel contempo provvedere al riempimento del serbatoio da 18 m³ posto sopra la collina al segnale di livello minimo: quest'ultimo serbatoio provvede al soddisfacimento della richiesta della restante metà delle utenze poste più in cima alla collina per semplice caduta.

Questa pompa dovrà sostituire di fatto la pompa da pozzo (a livello di solo utilizzo, non di parametri caratteristici). Attualmente il serbatoio è già dotato di una pompa per il sollevamento dell'acqua piovana ma non siamo in possesso di alcun dato e al momento non sappiamo se potrà garantire tutto il fabbisogno. Procediamo quindi al dimensionamento di quella pompa.

La strada più breve è quella di scegliere una pompa con caratteristiche simili a quella da pozzo considerando il nuovo dislivello geodetico. Sarebbe conveniente infine riutilizzare l'autoclave attualmente in uso per pressurizzare l'acqua in uscita fino ad 8 bar ma per ora non consideriamo un suo utilizzo.

Prendiamo in considerazione il piping che parte dal serbatoio di 15 m³ alla base della collinetta e che serve la prima metà degli orti più il serbatoio da 18 m³ in cima alla collina tramite un'unica diramazione.

La portata della pompa possiamo sceglierla dando un'occhiata all'andamento del consumo degli orti: deve essere almeno 1 l/s. Il dislivello geodetico tra serbatoio di partenza e arrivo in cima alla collina è circa 15 metri.

La lunghezza totale del piping dato dalla somma delle lunghezze di tutti i rami è circa 445 m ($L = \text{lunghezza [m]}$). Ad ogni derivazione si monta una valvola a saracinesca in modo da poter isolare l'intero impianto, ad esempio per lavori di manutenzione.

Facendo uso della tabella excel creata per il dimensionamento dei piping precedenti possiamo calcolare:

- perdite di carico distribuite per ogni tratto Y [metri di colonna acqua equivalente]
- perdite di carico accidentali per ogni tratto Y_a [metri colonna acqua]

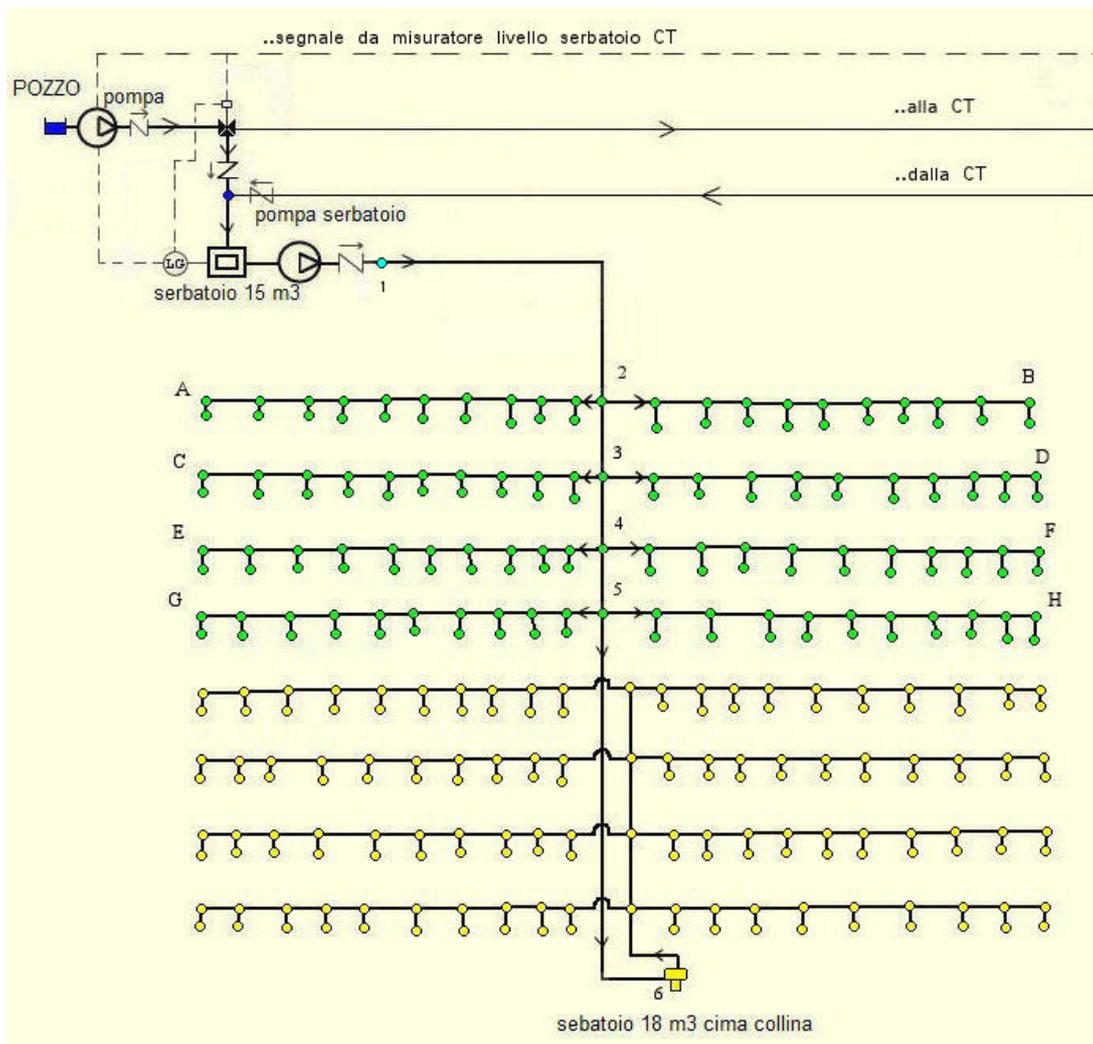


fig.75 : schema nuovo impianto di distribuzione per orti

tratto	ϕ [mm]	Q [l/s]	L [m]	Y	Ya
1-2	50	1,2	15	0,34	0,387
2-A	20	0,0875	50	0,85	0,46
2-B	20	0,0875	50	0,85	0,46
2-3	40	1,025	6	0,3	0,654
3-C	20	0,0875	50	0,85	0,46
3-D	20	0,0875	50	0,85	0,46
3-4	40	0,85	6	0,214	0,45
4-E	20	0,0875	50	0,85	0,46
4-F	20	0,0875	50	0,85	0,46
4-5	32	0,675	6	0,42	0,866
5-G	20	0,0875	50	0,85	0,46
5-H	20	0,0875	50	0,85	0,46
5-6	32	0,5	30	1,2	0,66

Tratto più sfavorito 1-6:

$$Y_{tot}=Y+Y_a= 0,727+ (1,31*8)+ 0,954+ 0,664+1,286+1,86= 15,971 \text{ [m ca]}$$

Dislivello geodetico serbatoio-utenza finale(serbatoio cima collina) = 15 metri

$$\text{Prevalenza della pompa} = H_{tot} = 15,971+15=30.97$$

Alle utenze per l'irrigazione dobbiamo dare una pressione di almeno 2 bar (relativi). Ci cauteliamo e forniamo 3 bar relativi(4 assoluti) e aggiungiamo il relativo termine.

$$H_{tot} \text{ pompa} = 15,971+15+29=60\text{m}$$

Scelta della pompa da catalogo: Pompa centrifuga pluristadio ad asse orizzontale
CAPRARI HMU 50-1

$$Q=1,2 \text{ l/s } H=60\text{m}$$

Putile 3 KW

Prezzo indicativo: 800 euro.

Calcolo durata di sollevamento della pompa giornaliera:

mattino dalle 6 alle 12 : 6 ore

pomeriggio dalle 15.30 alle 21: 5,5 ore

per un totale di 11,5 ore al giorno

Considerando una stagione estiva di 120 giorni la pompa ha una durata di sollevamento annuale di circa 1380 h/anno. Calcoliamo il costo d'esercizio:

Calcolo potenza pompa	Pompa attuale
Scelta pompa [Kw] pot ass dalla pompa	3
Durata annua sollevamento (pompa) [h]	1380
Costo en_el [€/Kwh]	1,7
costo annuo esercizio (a det Q)[€/anno]	703,8

Analisi economico-finanziaria del progetto

4.1 IL RISPARMIO ANNUALE DOVUTO ALL'UTILIZZO DI ACQUA DI FALDA E CALCOLO DEL WACC

L'idea di questo progetto è nata tenendo conto del prezzo elevato e crescente dell'acqua di rete (acquedotto). Il risparmio derivante dall'utilizzo dell'acqua di falda negli anni deve giustificare la scelta di intraprenderlo.

Dati in input:

- Costo acqua per metro cubo: 2,77 €/m³
- Richiesta media giornaliera di acqua per le torri in un'anno: 78 m³/gg
- Giorni medi di funzionamento delle torri: 120 gg/anno

Calcoliamo il risparmio annuale dato dalla moltiplicazione dei tre fattori in input appena elencati per un totale di 26112 €/anno.

Nel 2012 si prevede un aumento del costo dell'acqua di rete fino a 3€ per un totale di 28281 €/anno. Tale "ricavo" si potrà teoricamente per n anni. Il tasso d'inflazione a settembre 2010 a pari all'1,4% ma utilizziamo tassi di nominali e flussi di cassa espressi anch'essi in termini nominali per coerenza.

Elementi per il calcolo del wacc (costo medio ponderato del capitale):

- r_f = tasso risk free: 3,75 % (riferimento ai BTP a 10 anni ,asta del 30/8/2010)
- total risk premium (MPR) per l'italia: 5,4 % (aggiornato a gennaio 2010)
- aliquota fiscale sulle imposte sui redditi (T_c) : 32%
- $E/E+D$ = rapporto equity su totale capitale investito = 82,22 %
- $D/E+D$ = rapporto indebitamento su capitale investito= 17,78% €

$$WACC = r_e * \frac{E}{V} + r_d * (1 - T_c) * \frac{D}{V}$$

dove r_d è il costo del debito ovvero il tasso che l'azienda pagherebbe nelle attuali condizioni di mercato per ottenere un nuovo finanziamento a medio-lungo termine:

$$r_d = r_f + spread$$

ed

$$r_e = r_f + \beta * MPR$$

Dove r_e è il costo del capitale proprio (con β rischio sistematico dell'azienda).

L'ospedale in quanto ente pubblico può beneficiare di prestiti a tassi agevolati dovuti alla certezza della riscossione delle rate. Si prevede di contrarre un mutuo ventennale: il tasso variabile che ci offrirebbe la banca è del 2,5% annuo (compreso lo spread) per un mutuo ventennale ma consideriamo, ai fini del calcolo del costo del debito, un tasso fisso per mutuo ventennale pari al 4% compreso lo spread. Considerata l'assenza di scudo fiscale ovvero l'aliquota fiscale che permette la deducibilità degli interessi passivi dall'imponibile il calcolo del tasso di rendimento al quale attualizzare i flussi di cassa del progetto si semplifica al tasso fisso che ci fornisce la banca per un mutuo ventennale più lo spread (margine ovvero ricarico che considera spese di gestione, struttura creditizia, rischi dell'operazione e piccolo margine per la banca). Il beta, avendo pochi elementi a disposizione, è stato assunto con valore pari a 1 (rischiosità media del mercato).

$$WACC = (0,0375 + 0,054) * 0,1778 + (0,04 * 0,8222) = 0,04916 = 4,92\%$$

Ora analizziamo tutti gli esborsi da effettuare per la modifica l'impianto esistente e la costruzione del nuovo. Abbiamo già analizzato e giustificato economicamente nei paragrafi precedenti le scelte tra le diverse possibili configurazioni d'impianto. Rappresentiamo nella figura successiva (fig.76) l'intero impianto di adduzione dell'acqua dal pozzo, utilizzo in torri e restituzione agli orti per uso irriguo.

I primi esborsi sono relativi alle prove preliminari sul pozzo per stabilire con precisione la portata massima che può garantire. I dati che ci sono stati forniti parlano di 1,5 l/s ma è opportuno procedere ad un'ulteriore verifica prima di cominciare qualsiasi lavoro per il nuovo impianto. Abbiamo contattato la ditta Geonet di Imola la quale ci ha inviato un'offerta che prevede un costo di 840 euro per la preparazione della prova (estrazione pompa) e 913 euro per la prova di portata critica.

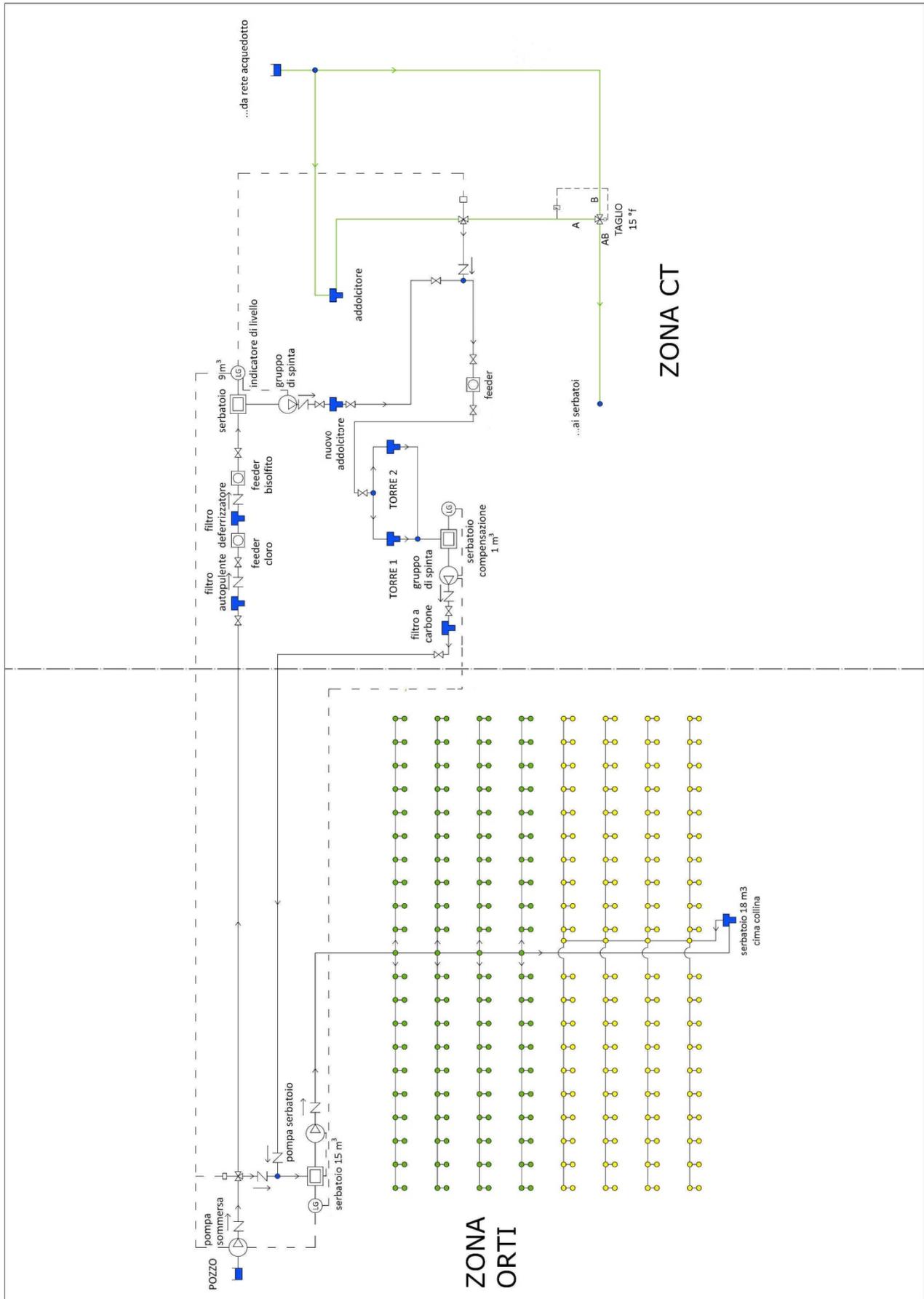


fig.76 : impianto totale

4.2 Esborsi per opere meccaniche (componenti dell'impianto)

I filtri autopulente, deferrizzatore, a carbone e l'addolcitore il verranno posti all'interno della centrale termica nella stanza dove attualmente risiede l'impianto di addolcimento e trattamento acqua per le torri. Il serbatoio di compensazione da 9 m³ verrà posizionato nel passaggio esterno della CT a pavimento mentre quello da 1 m³ verrà posto all'esterno della struttura.

Alla lunghezza del piping trovata (350m) aggiungeremo un 20% per tener conto del trasporto, posa diretta entro scavo o in vista su apposite staffe e pezzi speciali (raccordi, gomiti..).

Riepiloghiamo i componenti dell'impianto:

Articolo	Quantità	Prezzo unitario	importo
Tubazione PE100 PN16 ϕ 50	900	2,59	2331
filtro autopulente automatico	1	2800	2800
feeder Basic2-40	2	500	1000
filtro deferrizzatore	1	4200	4200
addolcitore HA430	1	14000	14000
serbatoio verticale PE 9m ³	1	2657,8	2657,8
gruppo di spinta (n2 pompe MXHL 403/A)	2	325,83	651,66
serbatoio orizzontale PE 1m ³	1	327,1	327,1
filtro a carbone attivo	1	3327	3327
gruppo di spinta (n2 pompe MXHL 403/A)	2	325,83	651,66
gruppo di spinta orti (n2 pompe HMU 50-1)	2	800	1600

Totale [€] IVA ESCLUSA

33546

Calcolo esborsi per valvolame:

-le valvole considerate sono quelle in fig.1 (a parte utenze orti)

-non consideriamo le saracinesche e le valvole di non ritorno dei gruppi di spinta in quanto considerati successivamente nei costi di posa in opera dei gruppi (tutti parallelo con riserva)

valvole DN 50 e misuratori:	quantità	prezzo unitario	importo [€]
saracinesca cuneo gommato corpo piatto DN 50,PFA 16	9	77,5	697,5
valvola di ritegno ogiva venturi PFA10/40 DN 50	5	174	870
misuratore livello dinamico dei serbatoi	3	742	2226
valvole a 3 vie motorizzate	2	80	160

Totale [€] IVA ESCLUSA

3953,5

Aggiungiamo a questi i costi derivanti da (tutti costi si considerano senza IVA):

-Raccordi flangiati per tubi in polietilene $\phi 63\text{mm} \times \text{DN}50\text{mm}$; PN16 bar.

2 per ogni valvola, 1 raccordo tes per valvola a 3 vie (i raccordi per tee li abbiamo già considerati nella maggiorazione del 20% della lunghezza totale del piping).

Prezzo singolo: 24,9 €. Totale importo: 488 €

-Realizzazione impianto di controllo e commutazione. Importo: 6000 €

-Posa in opera dei tre gruppi di sollevamento (per la pompa a valle e monte delle torri e pompa orti): consideriamo l'esborso relativo alla creazione di un parallelo con riserva quindi 2 tee, 4 curve con relativi raccordi (flangia a bicchiere), 4 saracinesche, 2 valvole di non ritorno: importo per gruppo di spinta di circa 750 euro per un totale di 2250 €.

-Trasporto e posa in opera dei due serbatoi, dei tre sistemi di filtraggio e dei due feeder comprese le installazioni e tutti gli oneri necessari per il funzionamento. Importo: € 3000

-Fornitura e posa in opera dell'isolamento delle tubazioni mediante guaina di gomma flessibile di elastomerico. Omologazione ministeriale. Compresa la sigillatura ermetica con colla e supporti isolanti rigidi negli attraversamenti degli staffaggi. Guaina di diametro 54 mm e spessore 13mm. Lunghezza : $350+350=700\text{m}$. Importo: 5110 €

-Fornitura e posa in opera di collari antifluo pronti all'uso per tubazioni composti da una camicia in lamiera di acciaio zincato comprensiva di ganci di fissaggio, al cui interno vi è un rivestimento di materiale intumescente formato di grafite. Diametro collare = 52/64 mm. Quantità: 12. Importo: 816 €

Totale opere meccaniche (iva esclusa): 55163 €

4.3 I costi d'esercizio relativi ai componenti dell'impianto

Partiamo dai costi d'esercizio della pompa sommersa. Li ricalcoliamo tenendo conto della derivazione agli orti e considerando un consumo medio della torre di 70m³/gg per 120 gg/anno (come si evince dai dati di consumo storici): abbiamo un tempo di funzionamento della pompa di 16,2 h/gg per soddisfare il fabbisogno della CT e 3,87h/gg di richiesta del serbatoio degli orti per un totale di 20h di funzionamento per giorno ad una portata di 1,2 l/s m e prevalenza di 70metri.

Potenza assorbita	1,45
Durata annua sollevamento (pompa) [h]	2400
Costo en_el [€/Kwh]	0,17
costo annuo esercizio [€/anno]	591,6

-filtro autopulente automatico(90W): 44€/anno

-filtro deferrizzatore(50W): 24,5€/anno

-n3 dosatori (17W): 8 €/anno

-addolcitore nd (non consideriamo il consumo di sale,costo non differenziale)

-gruppo di spinta a valle serbatoioCT(pompa MXHL403/A;0,55KW): 269,3 €/anno

-gruppo di spinta a valle torri (pompa MXHL403/A;0,55KW): 164 €/anno

-filtro a carbone attivo(10W):5 €/anno

-gruppo di spinta irrigazione orti (CAPRARI HMU 50-1;3 KW) :703,8 €/anno

-costo ipoclorito di sodio per dosatore (2 l/gg , 0,3 €/litro): 72 €/anno

-costo bisolfito per dosatore (2 l/gg , 0,3 €/litro): 72 €/anno

-costi personale per manutenzione: 1500 €/anno

Per un totale di 3454 €/anno di costi di esercizio

4.4 Esborsi per opere edili, elettriche e sicurezza

E' previsto uno scavo di 90x0,3x1 metri (lunghezza, larghezza, profondità) nella zona interna orti ed uno successivo di 75x0,3x1 nella zona parco Ospedale. eseguiti con mezzi meccanici. Importo: 990 €

Corrispondente reinterro o riempimento dei cavi eseguito tramite mezzo meccanico con materiale proveniente dagli scavi. Importo: 420,75 €

Attraversamento marciapiede di 1,5x0,7x0,7m :

Taglio a forza di strutture in cemento armato con martello demolitore. L'importo comprende ogni opera e magistero per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte.

Importo: 222,67 €

Numero 5 pozzetti prefabbricati in cemento armato di dimensioni interne 60x60x40 cm per permettere manutenzione della tubazione. Importo: 442,6 €

Sono previste relative 5 prolunghie dei pozzetti con elementi prefabbricati in cemento armato vibrato di dimensioni interne 60x60x25cm. Importo: 153,95 €

5 chiusini in cemento armato vibrato per pozzetti di raccordo delle fognature di dimensioni 70x70cm. Importo: 315,6 €

Fornitura, scavo e posa di canaletta in calcestruzzo (completo di griglia in ghisa e barrette di fissaggio) la quale conterrà i due tubi PE100 ϕ 50mm e un cavo in rame per collegamenti elettrici per l'attraversamento della strada di 12,5 metri di larghezza. Scavo di 20x20cm (larghezza x profondità). Importo: 1280,38 €

Assistenza muraria impianti meccanici ed elettrici: realizzazione di tutte le tagliole orizzontali, verticali e delle forature necessarie, idonea protezione delle tubazioni posate, realizzazione di tutti i fori passanti per passaggio dell'impianto attraverso solai o pareti. Importo: 10000 €

Totale opere edili (iva esclusa): **13825,95** €

Realizzazione di punti di allacciamento per le apparecchiature (sonde, valvole, sistemi di controllo, allarmi,..) di comando e controllo del sistema idrico. Importo: 2500 €

Fornitura e posa in opera di cavo a corda flessibile in rame ricotto stagnato 5x6 mm². Lunghezza del cavo :350 m. Isolamento ad alto modulo e guaina esterna di materiale termoplastico. Importo: 1820 €

Fornitura e posa in opera di cavo a corda flessibile in rame ricotto stagnato per comando e segnalazione di tipo FG7(O)M1 a bassa emissione isolato e con guaina in materiale termoplastico. Dimensioni 19x1,5 mmq. Lunghezza:350 m .
Importo: 2758 €

Fornitura e posa in opera di quadro elettrico di alimentazione e comando pompa in poliestere da parete di qualità e marchio CE. Importo: 2000 €

Fornitura e posa in opera di quadro elettrico di comando sistema idrico in poliestere da parete di qualità e marchio CE. Importo: 3000 €

Totale opere elettriche (iva esclusa): 12078 €

Delimitazione aree di lavoro tramite paletti completi di catena di colore bianco – rosso. Zona interna orti: 2*90 m ; zona parco ospedale: 2*75m ; attraversamento strada 2*12,5. Totale di 355 metri. Importo: 461,5 €

Nolo di 2 estintori portatile omologato montati a parte nella baracca di cantiere con apposita staffa compresa manutenzione periodica prevista per legge per tutta la durata dei lavori. Importo: 28,36 €

Cartello segnalatore in lamiera metallica formato quadrato. Fornitura e posa per tutta la durata del cantiere. Numero 5 segnali di avvertimento, 5 segnali di divieto, 5 segnali d'obbligo per un importo totale di 214,2 €

1 adeguamento dotazione D.P.I. per tutti gli addetti al cantiere. Importo: 500 €

numero 2 trabattello a telai prefabbricati su ruote compreso trasporto, montaggio, smontaggio con quota massima del piano di lavoro di 3,00 m e nolo per tutta la durata dei lavori. Importo: 147,3 €

Riunioni bimensili di informazione e coordinamento sulla sicurezza del cantiere.

Importo: 750 €

Totale importo per la sicurezza (iva esclusa): **2101,36 €**

4.5 Esborsi per concessione di derivazione acqua pubblica e spese d'istruttoria

Dovrà essere presentata domanda di concessione per la derivazione di acqua pubblica alla regione emilia romagna-servizio tecnico bacino reno.

Per ottenere la concessione il richiedente deve presentare domanda debitamente compilata e legalizzata con marca da bollo di €14,62, con allegata la ricevuta delle spese di istruttoria e la documentazione richiesta. Le spese di istruttoria per concessione di derivazione di acqua pubblica con concessione ordinaria nel 2011 ammonteranno a 177 euro e il prezzo crescerà ad un ritmo di +1,5% annuo (secondo il tasso di inflazione). Dal 2012 in poi si dovranno pagare 83 euro per spese di istruttoria per effettuare il rinnovo della concessione (anch'esso aumenterà di +1,5% l'anno).

Il deposito cauzionale, pari ad una annualità del canone, dovrà essere versato in un'unica soluzione all'atto del rilascio del titolo concessorio.

La tipologia di utilizzo di acqua pubblica rientra nell'uso industriale per volumi superiori a 3000 m³/anno. Dato il nostro consumo annuale di circa 9400 m³/anno dobbiamo pagare 2034 €/anno per avere la concessione (anche questi prezzi cresceranno secondo il tasso di inflazione dell' 1,5 % annuo).

4.6 Analisi dei flussi finanziari, calcolo VAN e payback

Riepiloghiamo l'importo complessivo dell'opera:

OPERE EDILI	13825,95
OPERE MECCANICHE	55163
OPERE ELETTRICHE	12078
SICUREZZA	2101,36
IMPORTO COMPLESSIVO DELL'OPERA	83169 €
IMPORTO COMPLESSIVO con IVA 20%	99803 €

Nei seguenti prospetti le voci, ove richiesto, si considerano comprese di IVA al 20%

flussi finanziari(esborsi,ricavi) [€]	anno 0	anno 1	anno 2	anno 3	anno 4	anno 5	anno 6
Prove tecniche preliminari pozzo							
Preparazione alla prova	-840						
Prova di portata critica	-913						
Opere meccaniche							
Costi d'esercizio		-3454	-3454	-3454	-3454	-3454	-3454
Opere edili, elettriche e sicurezza	-33606						
Concessione derivazione acqua pubblica							
spese istruttorie per concessione	-174	-82	-83	-84	-85	-87	-88
Risparmio consumo acqua		26113	28281	28281	28281	28281	28281
esborsi per sostituzione componenti						-2280	
	anno 0	anno 1	anno 2	anno 3	anno 4	anno 5	anno 6
sommatoria flussi di cassa attualizzati	-103763	19579	20602	19609	18662	15967	16903
VAN	-103763	-84183	-63581	-43972	-25310	-9343	+7560

PAYBACK: All'anno sesto il VAN diventa positivo e abbiamo il ritorno dell'investimento.

Ora procediamo al calcolo del VAN per un arco tempo ventennale considerando vita utile dei componenti, durata media di un pozzo pari a circa 25 anni e

aleatorietà dei possibili sviluppi su aumenti di energia, costo dell'acqua al metro cubo. Analizziamo successivamente anche il caso di durata teorica dell'impianto di n anni nel quale consideriamo la possibilità di riscavo del pozzo ogni 25 anni. Nel calcolo del VAN del progetto consideriamo una vita utile diversa per ogni categoria di componenti dell'impianto:

COMPONENTI	vita utile [anni]	importo	importo con IVA	VA (per n anni)
n2 dosatori	5	1400	1680	6829,27
sostituzione carbone (per filtro)	5	600	600	2439,02
sostituzione resine addolcitori	7	400	400	1161,4
gruppo pompa sommersa	8	2400	2880	7317,07
addolcitore e 3 sistemi di filtrazione	10	27000	32400	65853,7
n3 gruppi di spinta (n2 pompe ciascuno)	14	5735	6882	9991,3
valvole e raccordi tubazione	20	5329	6395	6498,8
scavo pozzo	25	12000	15000	12195

Consideriamo la vita utile di una pompa pari a 7÷8 anni. Ogni gruppo di spinta è costituito da 2 pompe gestite a parallelo con riserva; consideriamo la vita utile di ogni gruppo di spinta pari a 14 anni di vita.

Considerando un arco di tempo ventennale:

flussi finanziari(esborsi,ricavi) [€]

al netto dell'IVA del 20%

anno 0 anno 1 anno 2

Prove tecniche preliminari pozzo

Preparazione alla prova

-840

Prova di portata critica

-913

Opere meccaniche

-66195,6

costi d'esercizio da anno 1 ad anno 20

-43338

Opere edili, elettriche e sicurezza

-33606

concessione di derivazione acqua anno 1

-2034

concessione di derivazione acqua da anno 1 a 20

-29119

spese istruttorie anno 1

-174

spese istruttorie da anno 1 ad anno 20

-1174

Risparmio consumo acqua anno 1

+26112,79

risparmio acqua da anno 2 ad anno 20

+344010

VA esborsi sostituzione componenti

-35122,4

VAN

+128328

Considerando n anni di vita dell'impianto:

flussi finanziari(esborsi,ricavi) [€] al netto dell'IVA del 20%	anno 0	anno 1	anno 2
Prove tecniche preliminari pozzo			
Preparazione alla prova	-840		
Prova di portata critica	-913		
Opere meccaniche	-66195,6		
costi d'esercizio da anno 1 ad anno n		-70203	
Opere edili, elettriche e sicurezza	-33606		
concessione di derivazione anno 1	-2034		
concessione di derivazione acqua da anno 1 a n		-59474	
spese istruttorie anno 1	-174		
spese istruttorie da anno 1 ad anno n		-2398	
Risparmio consumo acqua anno 1		+26112,79	
risparmio acqua da anno 2 ad anno n			+574817
VA esborsi sostituzione componenti	-112286		
VAN	+205130		

Il VAN risulta positivo al termine di entrambi gli orizzonti temporali e si evince come il progetto risulti conveniente dal punto di visto economico-finanziario e crei valore per l'ospedale.

Si è analizzata la fattibilità tecnica ed economica di un impianto di prelievo d'acqua di falda da destinare allo scambio termico nell'impianto frigorifero centralizzato dell'ospedale civile nuovo di Imola.

Si è giunti al dimensionamento del nuovo impianto al termine di un lungo processo di raccolta dati attraverso il monitoraggio di componenti, misurazioni meccaniche ed elettriche. I dati di input sono stati inseriti in differenti tabelle excel create per il calcolo dei parametri utili al dimensionamento dei diversi componenti. Grazie all'ausilio del software di simulazione di reti idrauliche (Epanet), del software di disegno (Autocad) e del programma grafico (Photoshop) si è arrivati a definire e rappresentare la configurazione ottimale di impianto rispettando i vincoli preposti riguardo al riutilizzo dell'acqua di spurgo delle torri in ottica di risparmio idrico.

L'analisi dei flussi finanziari generati dal progetto ha evidenziato come esso abbia un VAN positivo dal sesto anno per raggiungere un valore di +128315 € dopo un arco temporale di 20 anni: possiamo affermare che l'investimento ha un'ottima redditività. Un progetto che risulta oneroso nei primi anni di vita data la complessità dell'intervento globale, aumentata notevolmente dall'impianto di rilancio dell'acqua agli orti in ottica di soddisfacimento del fabbisogno giornaliero di irrigazione. Provvedere al suddetto fabbisogno senza piping di ritorno è tecnicamente fattibile: nelle giornate di consumo d'acqua giornaliero delle torri maggiore di 70 m³ (ovvero potenzialità richiesta media giornaliera del gruppo frigorifero da 1500 KW maggiore del 65%) si dovrà provvedere al l'integrazione da acquedotto per la quantità che eccede i 70 m³/gg di prelievo. Analizzando i dati storici dei consumi avremo un'integrazione massima annuale di 1200 m³/anno ovvero un costo di circa 3600 euro/anno a fronte di una diminuzione di investimento iniziale di 11605€ e diminuzione di 159 €/anno di costi d'esercizio senza contare i minori costi di manutenzione ed il minore esborso iniziale per l'acquisto di componenti dimensionati per consumi giornalieri minore. In particolare l'investimento per il progetto semplificato ha un payback di 5 anni e genera in n anni un VAN inferiore di 39611 €. Tale soluzione diventerebbe più conveniente in caso di consumi medi stagionali bassi, cosa che si è verificata

in diversi anni passati. Al di là di questi dati, il fatto di riutilizzare l'acqua per scopo irriguo contribuendo a rialimentare la falda sottostante è di estrema importanza in ottica di sostenibilità ambientale del progetto. I calcoli eseguiti in precedenza hanno evidenziato come, con la configurazione di impianto adottata con rilancio dell'acqua agli orti, diminuisca il prelievo medio di acqua di falda di 20 m³/gg per circa 2400 m³/anno e ciò è importante in ottica di sostenibilità ambientale del progetto. Questo sta a significare un minore emungimento della falda nonché la possibilità di diminuire notevolmente i rischi di prosciugamento della stessa: in poche parole un minore impatto ambientale.

L'andamento crescente dei consumi per la climatizzazione dovuti all'apertura di nuovi locali nell'ospedale e possibili ulteriori aumenti a breve termine del costo dell'acqua di acquedotto per metro cubo aumentano la convenienza della soluzione d'impianto proposta.

Riferimenti bibliografici

- [1] Prof.Ing. Alberto Cavallini: Le pompe di calore geotermiche - incontri Aermec
- [2] Dott.Ing. Ennio Menotti: L'accumulo del freddo
- [3] Marcello Bertolacci, Pasquale Delli Paoli: Elementi di base sulle pompe per un impianto di irrigazione e sulla utilizzazione di acque sotterranee tramite pozzi
- [4] Rolf Seidel, Hugo Noack: Manuale dell'installatore frigorista – tecniche nuove editore
- [5] Nuovo Colombo. Manuale dell'ingegnere – Hoepli editore

Ringraziamenti

Grazie.