

“MANUALE PRATICO DELL’OLEOSTATICA”

INTRODUZIONE

Il “**manuale pratico dell’oleostatica**” nasce dalla constatazione che di questa materia esistono molti testi che dicono poco, più descrittivi che informativi, e pochi che dicono troppo, più matematici che pratici. Per questo si è deciso di scrivere un manuale che desse tutti i criteri tecnici e le formule fondamentali, ma anche i numeri, i dati sperimentali, i normogrammi di calcolo, le tabelle dei componenti commerciali che servono davvero a dimensionare e realizzare un impianto. Si tratta di un manuale di uso pratico sia per i nuovi impiantisti che per gli utilizzatori più accorti. Uscirà a puntate in un arco di tempo di circa due anni e verrà successivamente pubblicato su CD, previo ampliamento e integrazione con metodi di ricerca, utility e programmi di calcolo.

N.B. il termine oleostatica, tecnicamente più corretto per le ragioni che saranno chiarite al cap. 2, verrà da noi utilizzato indifferentemente in alternativa ed insieme al termine più conosciuto oleodinamica.

CAPITOLO 1°

Ai fini di una corretta rappresentazione della struttura e dei componenti di un circuito oleostatico è fondamentale l’utilizzo di una rappresentazione simbolica universalmente conosciuta ed accettata mediante la quale sia possibile individuare univocamente le funzioni e le caratteristiche di ogni gruppo e facilitare la comprensione del funzionamento d’assieme. Di fatto è di solito estremamente problematico capire la struttura di un circuito ispezionandolo dal vero, molto più facile avendo uno schema da consultare. Ancora negli anni sessanta in assenza di simboli convenzionali si ricorreva a rappresentazioni quasi fotografiche dei componenti, al giorno d’oggi abbiamo a disposizione una unificazione internazionale secondo ISO 1219 Parte 1 e Parte 2 riassunta nel suo complesso nelle [fig. 1-0](#). I simboli complessi sono una combinazione di quelli riportati e potranno essere trovati in cataloghi tecnici quali www.atos.com, www.comatrol.it, www.aron.it, ecc.

Uno schema di principio di un circuito aperto ci guiderà nella successione degli [argomenti](#) e dei capitoli. In [fig. 1-1](#) una rappresentazione quasi fotografica del circuito, in [fig. 1-2](#) la schematizzazione dello stesso mediante l’utilizzo della simbologia ISO. Il primo numero che individua ogni posizione corrisponde al capitolo in cui saranno reperibili le relative informazioni.

Pos.		Descrizione
1/1	=	serbatoio per il fluido di trasmissione della potenza
1/2	=	scambiatore di calore
1/3	=	resistenza elettrica di preriscaldamento
2	=	fluidi per la trasmissione di potenza
3/1	=	condotte, tubi, raccordi
3/2	=	blocchi di supporto valvole
4/1	=	filtro in aspirazione
4/2	=	filtro in scarico
5/1	=	campana e giunto d’accoppiamento pompa-motore
5/2	=	motore primo
5/3	=	livello ottico
5/4	=	livellostato
5/5	=	termostato
5/6	=	manometro completo di rubinetto esclusore
5/7	=	pressostato
5/8	=	accumulatore oleopneumatico
5/9	=	filtro sfiato aria
6	=	pompa
7/1	=	valvola di non ritorno in linea

7/2	=	valvola di sicurezza, detta anche di massima
7/3	=	valvola overcenter, detta anche controllo discesa
7/4	=	rubinetto bassa pressione di fondo
7/5	=	rubinetto alta pressione
8	=	elettrovalvola di messa a scarico
9	=	elettrovalvola proporzionale direzionale
10/1	=	attuatore lineare detto anche martinetto o cilindro, a doppio effetto
10/2	=	motore

Serbatoio: recipiente per l'accumulo di fluido idraulico ([fig. 1-3](#)). Svolge molteplici funzioni fra cui raffreddamento, decantazione di inquinanti, separazione dell'aria; il volume è pari usualmente a $2 \div 5$ volte la portata al minuto delle pompe collegate. Nelle macchine mobili il serbatoio è poco più di un recipiente da cui si dipartono le condotte di aspirazione e che supporta i filtri. Invece negli impianti industriali rappresenta anche la struttura sulla quale viene spesso supportato l'intero impianto idraulico cioè: gruppo di generazione di potenza fluida, relative valvole di sicurezza, elettrovalvole, filtri, ecc ([fig. 1-1](#)).

Gamma dei serbatoi: sebbene spesso non sia necessario utilizzare serbatoi speciali a disegno non esiste tuttavia una unificazione per le dimensioni dei serbatoi standard perciò ogni costruttore propone una sua gamma, vedi ad esempio [fig. 1-4](#) e [fig. 1-5](#). Per ragioni di spazio e di ottimizzazione di costi, verranno tenuti a magazzino i componenti sfusi, cioè gli scafi, le testate o spalle, i setti separatori, i coperchi che saranno saldati solo al momento dell'utilizzo. Evidenti ragioni di economia spingono ad utilizzare lamiere dello spessore minore possibile. Le norme europee non impongono un limite minimo, al contrario le normative antincendio di alcuni paesi come il Giappone non ammettono l'utilizzo di lamiere di spessore inferiore ai 3 mm in alcun tipo di serbatoio. Le testate, che devono irrigidire la struttura e supportare il peso con i loro piedi di sostegno, vanno realizzate di spessore maggiore (+ $1 \div 2$ mm) rispetto a quello dello scafo. Per grosse cubature il serbatoio sarà rinforzato all'interno con ferri al L o ad U, ed il coperchio sarà realizzato anche in più parti, supportato da ferri trasversali oltre che dal bordo dello scafo. ([fig. 1-5](#))

Scelta dimensionale dei serbatoi: è dettata principalmente da quattro elementi: 1) è necessario mantenere un fattore di ricircolo favorevole, essenzialmente per preservare nel tempo le caratteristiche del fluido. E' bene pertanto che la cubatura sia minimo 2 volte la portata al minuto delle pompe installate, fino a 5 volte. 2) Il coperchio del serbatoio supporta spesso il gruppo motopompa, le valvole, accumulatori, filtri, ecc. e pertanto deve avere la superficie necessaria, che determina implicitamente la cubatura minima. 3) Qualora non si utilizzino scambiatori di calore è necessario che il serbatoio abbia la superficie sufficiente per dissipare il calore prodotto dall'impianto. 4) Le oscillazioni del pelo libero non devono indurre aspirazione di aria delle pompe per effetto di gorgi. Il battente minimo di olio sul tubo di aspirazione deve essere almeno 10 volte il diametro interno dello stesso.

Forma dei serbatoi: le forme costruttive più semplici sono in tabella [fig. 1-4](#), ove il fondo è piano e l'appoggio del coperchio è ottenuto per ragioni di economia con una piega nella lamiera dello scafo e delle testate. Con un piccolo costo aggiuntivo il fondo potrà essere realizzato con inclinazione semplice o doppia a V ($5 \div 7^\circ$) per favorire la raccolta di morchie e di condense di acqua in prossimità dello scarico di fondo. Essi non ottemperano alla norma EN 982 per quanto riguarda l'inquinamento ambientale a meno che non poggino su vasche di raccolta olio. Per contenere allora almeno in parte le perdite d'olio il coperchio potrà essere incassato ([fig. 1-6](#)) di $10 \div 20$ mm nella vasca, poggiando su ferri di larghezza $30 \div 50$ mm. Poiché però la guarnizione piana, normalmente tagliata in strisce da fogli di gomma-sughero, ha delle discontinuità negli angoli ed attorno alle viti di fissaggio, è possibile che, qualora la realizzazione non sia davvero accurata, lo sporco raccolto e trattenuto dal coperchio incassato col tempo entri nel serbatoio ad inquinare il fluido idraulico. Una soluzione molto valida che ottempera alle norme per il controllo dell'inquinamento è visibile in [fig. 1-7](#). Il coperchio debordante protegge la sottostante guarnizione di tenuta, il fluido che eventualmente cada dal coperchio verrà raccolto dalla grondaia che corre in basso intorno ai fianchi del serbatoio. Da qui esso potrà essere estratto mediante un apposito rubinetto ed eliminato

secondo le disposizioni di legge (= conferimento a ditte autorizzate allo smaltimento o alla rigenerazione). Una forma costruttiva evoluta per serbatoi di medie cubature, completa di fondo inclinato e coperchio incassato, è visibile nella tabella di [fig. 1-5](#).

Qualora il serbatoio sia esposto ad agenti atmosferici esso sarà dotato di una tettoietta o di una copertura completa, munita di sportelli d'ispezione. Nel caso bisogna provvedere al raffreddamento dei motori elettrici o scambiatori ad aria eventualmente presenti sul coperchio mediante griglie di aerazione. Per serbatoi di piccola cubatura ([fig. 1-8](#)) alcuni produttori mettono a disposizione versioni con coperchio in alluminio pressofuso già predisposto per ricevere eventuali filtri ed elettrovalvole. Spesso la vasca stessa è realizzata in alluminio. Essi hanno notevoli caratteristiche di robustezza ed ermeticità, per contro non ammettono molte varianti nella realizzazione del sovrastante circuito. A volte, per questione di ingombri, sarà necessario montare il gruppo motopompa orizzontale, immerso come in [fig. 1-9](#). Si realizzerà di tornitura una flangia robusta ed indeformabile da saldare al fianco del serbatoio, sul diametro interno per evitare fuoriuscita d'olio dalle madreviti se passanti, predisposta per supportare il gruppo motopompa. Inoltre dovranno essere interposte guarnizioni, normalmente in carta o in gomma-sughero, fra pompa e lanterna e fra lanterna e flangia saldata. Si sconsiglia tuttavia ove possibile tale soluzione perché basta una porosità nella fusione della lanterna od altre imperfezioni anche minime per avere perdite d'olio significative. Per contro questa è la disposizione classica per tutte le mini centrali che realizzano circuiti ausiliari o di piccola potenza ([fig. 1-10](#)) laddove tuttavia per ottenere l'ermeticità si utilizzano guarnizioni OR. Quando si debbano realizzare grossi impianti e sia conveniente avere le pompe sotto battente, cioè sotto il pelo libero dell'olio per facilitarne l'innesco, normalmente si adottano due soluzioni: 1) serbatoio sopraelevato, sostenuto da montanti in tubolare, con sottostanti gruppi motopompa ([fig. 1-11](#)). 2) Serbatoio affiancato ai gruppi motopompa sostenuti da una struttura piana in tubolari ([fig. 1-12](#)). La prima soluzione risulta più compatta e di minor ingombro in pianta, per contro presenta problemi di montaggio, smontaggio e manutenzione dei gruppi motopompa che devono essere infilati e sfilati da sotto il serbatoio, quando non si ricorra allo smontaggio dello stesso. La seconda è decisamente preferibile quando gli ingombri lo permettano. Entrambi le soluzioni prevedono lamiere di chiusura saldate a tenuta per eliminare le luci fra i tubolari posti sotto le pompe, per contenere le perdite d'olio.

Materiale dei serbatoi: Si utilizzerà di norma lamiera decapata con valori medio bassi del carico di snervamento ma con buone caratteristiche di saldabilità. Allo stato di fornitura essa si presenta priva di macchie di ruggine e lucida poiché ricoperta da oli che ne impediscono la ossidazione dopo il trattamento di decapaggio. Per applicazioni speciali in ambiente marino o particolarmente aggressivo si utilizzeranno anche acciai inossidabili, normalmente in qualità AISI 304, secondo la classificazione USA. La lamiera sarà di prima scelta poiché, dati i piccoli spessori utilizzati, è indispensabile che essa non presenti sfogliature e disomogeneità sui bordi, che pregiudicherebbero la presa della saldatura e quindi la sua successiva tenuta idraulica.

Lavorazione dei serbatoi: Le saldature, effettuate a filo con protezione in gas, dovranno interessare preferenzialmente le zone esterne del serbatoio per evidente praticità nelle successive operazioni di asporto della scoria e pulizia del cordone. Nel taglio e piegatura delle lamiere si provvederà a fare in modo che i bordi da saldare si incontrino secondo una disposizione a T, dove un lembo di 3-5 mm sporga sempre all'esterno del serbatoio ([fig. 1-13](#)). La saldatura deve essere effettuata da personale specializzato per avere quelle caratteristiche di qualità che ne permettano nel tempo la successiva perfetta tenuta idraulica. La pulizia dei cordoni a vista sarà effettuata mediante l'uso di smerigli a tela. La lavorazione dei coperchi riveste particolare importanza in quanto spesso essi sostengono pompe, motori, valvole, filtri, bocchettoni di carico, ecc. Su di essi dovranno essere realizzati una serie di fori più o meno grandi, circolari o rettangolari, e fori filettati per i fissaggi. Tradizionalmente i fori grandi sono realizzati con la fiamma ossidrica, i più piccoli ed i filetti sotto il trapano a bandiera o manuale. Nelle lavorazioni manuali i coperchi per prima cosa devono essere tracciati, utilizzando apposite maschere qualora le centrali siano ripetitive. Sotto il trapano si lavorano contemporaneamente anche 6-8 coperchi vincolati assieme da morsetti. Per la realizzazione dei fori maggiori si tende oggi ad utilizzare sempre più il taglio al plasma o laser. Esistono macchine al plasma per uso manuale che hanno l'ingombro e le sembianze di piccole

saldatrici a filo. Il vantaggio è di poter lavorare più coperchi contemporaneamente senza sbavature o gocciolamenti, ottenendo pertanto tagli finiti che non necessitano di smerigliatura successiva. Un'ottima soluzione per numeri elevati e ripetitivi di coperchi è l'uso di una macchina punzonatrice. Essa lavora un coperchio alla volta, ma da sola svolge le operazioni di tracciatura (implicita nella programmazione), taglio dei fori grandi e di quelli piccoli. Più rapide le lavorazioni se la macchina possiede un magazzino con sistema di cambio punzone. Se il coperchio è di grosso spessore (15-20 mm) esso si lavora usualmente sotto un centro di lavoro.

Dopo le lavorazioni meccaniche sul serbatoio è sempre buona regola utilizzare un aspirapolvere per la rimozione anche dei più piccoli sfridi metallici.

La verniciatura dei serbatoi va effettuata a freddo in apposita cabina. Nei casi più semplici essa prevede, come prima operazione, l'asportazione, mediante diluente o prodotto sgrassante, dell'olio di protezione delle lamiere decapate. Come seconda operazione una mano di fondo di vernice antiolio sia all'interno che all'esterno, infine una mano di finitura all'esterno con vernice alla nitro, nel colore richiesto. La vernice interna serve sia per fissare eventuali ossidi prodotti dalle saldature esterne che non si sia riusciti ad asportare sia, principalmente, ad evitare che le condense di umidità che si formeranno nel serbatoio durante il funzionamento del circuito, inducano effetti di corrosione. Per ambienti aggressivi si utilizzerà una diversa sequenza di operazioni.

Si inizierà dalla **sabbiatura**, non strettamente necessaria per lamiere decapate, ma che in ogni caso dà una migliore superficie di attacco per le vernici. Come fondo si utilizzerà una vernice allo zinco seguita sull'esterno da due mani di vernice epossidica bicomponente. Queste ultime mani sono estremamente lente ad asciugare e pertanto il tempo totale necessario per la verniciatura andrà dalle 24 alle 48 ore. Il serbatoio in acciaio inox potrà essere verniciato anche solo esternamente, una sabbiatura preventiva avrà eventualmente lo scopo di dare una miglior presa alla vernice la quale avrà funzione prevalentemente estetica. Alla verniciatura non devono seguire altre lavorazioni sui serbatoi, se non il montaggio dei componenti. Poiché spesso anche taluni componenti dovranno essere verniciati, sarà possibile seguire una diversa sequenza finale e cioè: trattamenti e verniciatura di fondo, montaggio componenti, verniciatura finale.

Sistema di fissaggio del coperchio: il metodo più radicale è la saldatura ermetica allo scafo. Il montaggio dei componenti deve allora essere possibile mediante l'uso di passi di mano, di oblò o di tubi flessibili prolungati ([fig. 1-14](#)). Normalmente essi verranno bullonati alla vasca forando e filettando i bordi di appoggio della stessa (molto comodo allo scopo l'uso di maneggevoli utensili pneumatici) oppure si punteranno dei dadi sotto i bordi di appoggio in corrispondenza dei fori realizzati. La tenuta viene fatta interponendo guarnizioni piane in gomma sughero od in gomma, tagliate in strisce da grandi fogli o rotoli. Abbiamo già evidenziato i punti di discontinuità esistenti, da riempire eventualmente con piccole quantità di sigillanti per aversi la perfetta ermeticità. Assolutamente sconsigliabile sostituire del tutto, per la fretta del montaggio, il sigillante alla guarnizione piana almeno finché non siano disponibili prodotti che non abbiano alcuna adesività residua, poiché diviene problematica una successiva riapertura del coperchio. E' invero possibile stender un velo d'olio sulla cornice inferiore del coperchio per evitare l'incollaggio ma sussiste in subordine la possibilità che del sigillante coli nel serbatoio e sia aspirato dalle pompe ovvero che formi antiestetiche sbavature verso l'esterno.

Sollevamento e trasporto dei serbatoi: le norme EN 982 prevedono che tutti i serbatoi debbano essere dotati di dispositivi di sollevamento, in genere realizzati utilizzando golfari commerciali avvitati agli angoli del coperchio o saldati allo scafo. I punti di sollevamento devono essere evidenziati in vernice rossa. Per motivi di sicurezza i serbatoi viaggiano vuoti d'olio per cubature superiori ai 150 dm³.

Morchia: è la conseguenza del degrado dell'olio e dell'accumulo di inquinanti esogeni ed endogeni (metalli, gomme, polveri) nonché della presenza d'acqua di condensa che è catalizzatore all'azione di alcuni batteri in grado di degradare le molecole degli oli. Va favorita la sua raccolta in un punto determinato del fondo e deve essere estratta con cadenze precise, a centrale ferma da alcune ore. In ambienti umidi se ne consiglia la rimozione mediante lo scarico di fondo ogni 15 gg, in condizioni normali ogni 3 mesi.

Scarico di fondo: viene utilizzato sia per estrarre le morchie che per svuotare il serbatoio. Si predispongono sulle testate, in corrispondenza del fondo del serbatoio, una o più borchie solitamente da ¾” o da 1”, alle quali si avvitano rubinetti a sfera bassa pressione più un tappo di chiusura per evitare sgocciolamenti residui. ([fig. 1-15](#))

Setto separatore: all'interno dei serbatoi è bene prevedere dei setti di separazione fra le zone di aspirazione e scarico olio, non tanto per separare zone sporche da zone pulite, poiché già per piccole portate si ha un continuo rimescolamento d'olio senza possibilità del depositarsi della morchia ad impianto in moto, quanto per evitare che le turbolenze ed i gorgi generati dagli scarichi, anche se correttamente portati al fondo, migrando nel serbatoio conducano aria alle aspirazioni delle pompe. Si migliora inoltre il fattore di ricircolo e la termostatazione evitando che sia prevalentemente lo stesso olio a tornare direttamente in circuito dallo scarico. I setti sono indispensabili qualora il serbatoio sia montato su gruppi mobili, per frenare ed interrompere l'onda che si genera inevitabilmente all'interno. In tal caso esso sarà portato fin sotto il coperchio. In tutti gli altri casi esso sarà realizzato come in [fig. 1-16](#), avrà cioè due smanchi negli spigoli inferiori e terminerà poco sotto il pelo libero previsto.

Oscillazione del pelo libero: il riempimento iniziale delle condotte e degli attuatori del circuito porta ad un abbassamento del livello del fluido nel serbatoio. Bisogna rabboccare per evitare che le pompe aspirino aria. Il moto di martinetti a camere differenziali o la carica di accumulatori oleopneumatici comportano variazioni di livello. Utilizzare serbatoi a pianta larga per minimizzare il fenomeno.

Fattore di ricircolo: si definisce fattore di ricircolo Fr il rapporto fra la cubatura C (dm³) del serbatoio e la portata nominale Q (dm³/min) delle pompe principali (o di potenza) installate. $Fr = C / Q$. In applicazioni normali esso oscilla fra **2** e **5**, essendo tale valore limitato nel suo valor minimo da eccessivi dislivelli d'olio nel serbatoio dovuti alle camere differenziali degli attuatori lineari o dalla presenza di accumulatori oleopneumatici, e nel massimo dai costi di acquisto del fluido, contrapposti alla necessità di una maggior durata della carica. Infatti quanto più grande è Fr tante meno volte al minuto lo stesso fluido passa per le pompe, subendo minor stress meccanico e termico.

Oblò: se ne fa uso nei serbatoi piccoli con funzione di passo di mano ed in quelli più grandi di passo d'uomo. Sono realizzati normalmente in alluminio, di forma circolare, possono portare al centro la predisposizione per un livello od un termometro, fanno tenuta direttamente sulla lamiera in quanto dotati di OR di grande sezione precaricato sul piano dal tiro di 6-10 viti ([fig. 1-17](#)). Viti che attraversano lo spessore della lamiera del serbatoio e la cui testa viene saldata a tenuta sulla parete interna: dalla parete esterna fuoriescono pertanto i gambi delle viti. L'oblò risulta indispensabile in caso di coperchi saldati, per i collegamenti fra pompa immersa e blocchi, per la pulizia interna di grossi serbatoi, per accedere con rapidità ai componenti supportati sotto il coperchio.

Rendimento di un impianto oleostatico: può essere definito come la frazione di energia, immessa nell'unità di tempo dal motore primo nel fluido mediante i gruppi pompanti, effettivamente trasformata in lavoro meccanico dagli attuatori, divisa per l'energia immessa nell'unità di tempo. Si capisce come sia difficile da definire, anche come valore medio, poiché la potenza utilizzata non è costante nel tempo ed il rendimento stesso varia in dipendenza di molti fattori (regime delle pompe e dei motori, viscosità dell'olio, ecc.). L'energia dissipata per perdite di carico o trasformazioni termodinamiche irreversibili si trasforma integralmente in calore che viene disperso in parte nell'ambiente tramite i tubi, le masse delle valvole e dei blocchi e le superfici del circuito, in parte si accumula nell'olio determinandone il rapido innalzamento della temperatura e ne deve essere estratto per assicurare la durata dei componenti. Il rendimento dipende da fattori molteplici: tipo e caratteristiche delle pompe, tipo di fluido, dimensionamento delle condotte e delle valvole, maggior o minor uso di valvole riduttrici e regolatori di flusso che degradano pressione in calore, presenza di circuiti con valvole proporzionali direzionali, presenza di compensatori di pressione, ecc. Anche i drenaggi delle pompe, in particolare di quelle a palette a cilindrata variabile, concorrono spesso in maniera determinante ad abbattere il rendimento. Ai fini pratici, in base all'esperienza dell'impiantista, si assume una percentuale della potenza totale installata come dissipata di continuo in calore.

Ottimo rendimento	:	20%	della	potenza	nominale	istallata
Medio rendimento	:	30%	“	“	“	“
Cattivo rendimento	:	40%	“	“	“	“
Pessimo rendimento	:	50%	“	“	“	“

Esiste tuttavia un sistema tecnicamente corretto per valutare a consuntivo, cioè ad impianto realizzato, lo sviluppo di calore equivalente in un impianto a ciclo ripetitivo. Quel che interessa definire ai fini della termostatazione è la potenza persa apparente, che determina l'aumento della temperatura al serbatoio al netto del calore disperso naturalmente dalla restante parte dell'impianto. Deve essere nota la massa del fluido mediamente presente nel serbatoio, il suo calore specifico, deve potersi iniziare un normale ciclo di funzionamento macchina con l'olio a temperatura ambiente, il rimescolamento del fluido nel serbatoio deve essere efficiente. Si rilevano le temperature crescenti al centro del serbatoio nei primi minuti tracciando la curva di carico termico (fig. 1-18), successivamente con metodo grafico o con più sofisticati metodi matematici (metodo dei minimi quadrati) si deduce la tangente trigonometrica nell'origine dei tempi. Il valore numerico di questa tangente rivela la quantità equivalente effettiva di energia dissipata in calore dal circuito, secondo l'equazione 1-1, funzione derivata nell'origine dei tempi della eq. 1-0 di cui al paragrafo successivo.

$$\left(\frac{dT_i}{dt}\right)_{t=0} = \frac{\omega}{m * C_{sp}} \quad \text{eq. 1-1}$$

Quando non si possa iniziare il ciclo macchina con olio a temperatura ambiente, ad esempio per rischio di avaria dello stesso in assenza di preriscaldamento ($T < 5-10 \text{ }^\circ\text{C}$), si estrapolerà graficamente la curva a ritroso fino al tempo di coincidenza delle temperature, accettando la minor precisione che ne consegue.

Esempio: in [fig. 1-18](#) è riportata una curva di carico termico sperimentale. E' nota la temperatura ambiente $T_e = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, la massa del fluido mediamente contenuta nel serbatoio $m = 50 \text{ kg}$, il suo calore specifico $C_{sp} = 1840 \text{ j/kg }^\circ\text{C}$. Il metodo grafico porge:

$$\left(\frac{\Delta T_i}{\Delta t}\right)_{t=0} = 0,9/100 = 0,009 \text{ (}^\circ\text{C/s)}$$

Applicando invece il metodo dei minimi quadrati:

$$T_i = -4 * 10^{-6} * t^2 + 8,843 * 10^{-3} * t + 15 \quad \left(\frac{dT_i}{dt}\right) = -8 * 10^{-6} * t + 8,843 * 10^{-3}$$

$$\left(\frac{dT_i}{dt}\right)_{t=0} = 0,008843 \text{ (}^\circ\text{C/s)}$$

Si assumerà valido il primo valore (approssimato per eccesso) che, introdotto nella eq. 1-1, porge:

$$\omega = \left(\frac{dT_i}{dt}\right)_{t=0} * m * C_{sp} = 0,009 * 50 * 1840 = 828 \text{ (W)} = \text{potenza persa apparente.}$$

Termostatazione del fluido contenuto nel serbatoio: assieme alle superfici di tubi, raccordi, valvole, broccchiere costituenti il circuito, le facce del serbatoio concorrono in maniera determinante alla dissipazione nell'ambiente circostante del calore prodotto durante il funzionamento del circuito.

Si noti tuttavia che quanto più grande è il serbatoio tanto meno esso è in grado di disperdere calore, infatti le superfici di scambio aumentano col quadrato del lato mentre la massa di olio da raffreddare col cubo. La formula generale che analizza gli scambi termici fra il fluido contenuto nel serbatoio e l'ambiente circostante è la seguente:

$$\omega = k S (T_i - T_e) \frac{e^{\left(\frac{k S t}{m C_{sp}}\right)}}{e^{\left(\frac{k S t}{m C_{sp}}\right)} - 1} \quad \text{eq. 1-0}$$

$e = 2,71828$ $S =$ superficie serbatoio (m^2) $k =$ coeff. conduzione = $5,5 \setminus 11 \setminus 22 \text{ (J/ m}^2 \text{ s }^\circ\text{C)}$ $C_{sp} =$ calore specifico, per olio idraulico $1840 \div 1900 \text{ (j / kg }^\circ\text{C)}$ $T_e =$ temperatura ambiente ($^\circ\text{C}$) $T_i =$ temperatura olio

(°C) m = massa olio (kg) t = tempo (s) ω = potenza (W) da estrarre dal fluido per raffreddamento, da fornire per preriscaldamento. I tre valori di k corrispondono a scarso o nullo ricambio d'aria (ventilazione) sulle superfici del serbatoio, medio ricambio, ottimo ricambio (p.es. esterni in ombra).

La temperatura di funzionamento massima dell'olio non deve superare in circuito aperto i 60 °C se si utilizzano fluidi standard, i 100 °C in circuito chiuso nel punto più caldo utilizzando fluidi e guarnizioni particolari (viton), pena invecchiamento precoce del fluido e dei componenti, fino al rischio di grippaggio delle parti in movimento per eccessiva riduzione della viscosità.

Raffreddamento del fluido contenuto nel circuito. Il limite della eq. 1-0 calcolato per t tendente all'infinito

$$\omega = k S (T_i - T_e) \quad T_i = T_e + \frac{\omega}{kS} \quad \text{eq. 1-2}$$

permette di valutare l'asintoto della temperatura al serbatoio, cioè il valore che raggiungerebbe il fluido in assenza di raffreddamento.

Esempio: con riferimento al circuito di cui sopra dove risulta $\omega = 828$ (W), assunto cautelativamente $k = 11$, se il serbatoio è assimilabile ad un cubo di lato $l = 0,4$ (m) cioè $S = 0,96$ (m²), risulta $T_i = 93,4$ °C.

E' pertanto necessario introdurre un dispositivo, detto scambiatore di calore, che sottragga una giusta aliquota della potenza persa apparente ω . Se tale dispositivo è in grado di estrarre 500 W su complessivi 828, la temperatura finale al serbatoio dalla eq. 1-1 risulterà 46 °C.

Scambiatori di calore. Solo impianti con meno di 3 kW installati, pressioni di funzionamento inferiori ai 50 bar, fattore di ricircolo 4÷5, frequenze di lavoro medio-basse, buono sviluppo di tubazioni, possono fare a meno di scambiatori. Negli altri casi è buona norma includerli sempre o realizzare una predisposizione per l'eventuale successivo montaggio. I tipi di scambiatori utilizzati sono principalmente tre: scambiatori ad acqua o fluidi refrigeranti, nelle versioni a piastre ([fig. 1-19](#)) o a fascio tubiero ([fig. 1-20](#)), scambiatori ad aria con motore a corrente continua o alternata, con motore idraulico ([fig. 1-21](#)), scambiatori a ciclo frigorifero ([fig. 1-22](#)). Questi ultimi, grazie ad un ciclo basato sull'espansione di gas frigoriferi, possono disperdere il calore d'impianto anche in un ambiente a temperatura ad esso superiore ovvero, quando sia richiesto, mantenere il fluido idraulico a temperature particolarmente basse (presse, macchine utensili). Necessitano sulla centrale dell'impianto oleodinamico di uno scambiatore a piastre o fascio tubiero nel quale circola il fluido di scambio che può essere acqua o meglio paraflù, una miscela acqua-glicole. Per il costo elevato sono utilizzati per grossi impianti automatici, in zone desertiche o più in generale climaticamente sfavorevoli. Gli scambiatori ad acqua sono da preferirsi per il basso costo, l'ottimo rendimento e l'assenza di emissioni acustiche. In cambio sono esposti a corrosioni elettrolitiche causate da correnti vaganti, alle quali si ovvia applicando lato acqua piastrine di zinco. La normativa inoltre prevede che non si possa utilizzare acqua a perdere, imponendo perciò di predisporre cisterne o torri di raffreddamento con temperature acqua che possono raggiungere i 25-30 °C. Ciò ne limita l'utilizzo. Gli scambiatori ad aria sono l'unico sistema adatto alle applicazioni mobili e stanno prendendo ampiamente piede anche nell'industriale. Essi possono essere ad azionamento elettrico o idraulico. Hanno rendimenti inferiori causa la minor capacità termica dell'aria rispetto all'acqua, producono rumore dalla ventola ed il loro rendimento è pesantemente influenzato dalle condizioni ambientali e dalla temperatura dell'aria. Gli scambiatori ad acqua sono soggetti ad accumulo di calcare. E' necessario effettuare con regolarità la manutenzione mediante asportazione meccanica dei depositi smontando i gruppi, normalmente una volta ogni due anni o con maggior frequenza per acque particolarmente incrostanti. Gli scambiatori ad aria richiedono invece una pulizia delle superfici radianti mediante soffio concentrato di aria compressa in controcorrente al flusso di aria di raffreddamento per la rimozione dei grassi e delle polveri. La pulizia va di regola effettuata ogni 15 gg, ma si dà il caso di applicazioni mobili dove essa deve essere effettuata giornalmente. Per i frigo attenersi alle indicazioni dettagliate del costruttore. Nell'inserimento dello scambiatore nel circuito si tenga conto della necessità di avere una portata quanto più possibile costante per ottimizzare il rendimento e non pulsante per evitare le sovrappressioni dovute al colpo d'ariete. Infatti le strutture degli scambiatori sono meccanicamente delicate e resistono a pressioni pulsanti con picchi non

superiori agli 8-10 bar, pressioni statiche di 10-15 bar. La soluzione migliore è sempre quella di dedicare un circuito specifico alla termostatazione e filtraggio del fluido ([fig. 1-24](#)).

Scelta dimensionale dello scambiatore. Definita la potenza da estrarre dal circuito con i metodi di cui sopra, si sceglierà da catalogo uno scambiatore sovradimensionato almeno del 50% per far fronte a picchi inattesi o emergenze. Nella pratica della termostatazione si fa ancora uso della unità di misura caloria (kCal) per il riscaldamento e frigoria (dimensionalmente identica) per il raffreddamento. Vale l'equivalenza $1 \text{ kW} = 860 \text{ kCal/h} = 3600 \text{ kJ/h}$. La termostatazione del fluido verrà affidata allora a dispositivi accessori fra i quali non mancherà un termostato meccanico o analogico - digitale, una sonda termostatica (spesso individuata con la sigla PT100) o una valvola termostatica a dilatazione di fluido (vedi cap. 5). Per gli scambiatori ad acqua si danno principalmente tre sistemi per controllare il flusso di raffreddamento: valvola termostatica per acqua a dilatazione di fluido, termostato + elettrovalvola per acqua a due vie, termostato + valvola a due vie a comando pneumatico + elettrovalvola pneumatica. Questa ultima soluzione si utilizza in caso di acque di raffreddamento particolarmente dure o torbide che potrebbero bloccare gli altri dispositivi. Per gli scambiatori ad aria e per i frigoriferi il controllo è sempre dato da termostati o da sonde termostatiche. Si noti che l'utilizzo di questi dispositivi è in on-off, quasi mai proporzionale eccettuato per alcuni tipi di frigoriferi evoluti e per le valvole termostatiche, pertanto le oscillazioni delle temperature regolate a serbatoio difficilmente sono inferiori ai 3-4 °C e dipendono principalmente dal differenziale d'intervento del gruppo termostatico e dall'isteresi di tutto il sistema di regolazione.

Preriscaldamento del fluido contenuto nel circuito. Ogni fluido idraulico ha una temperatura minima al di sotto della quale cambia stato fisico (acqua in ghiaccio) o subisce alterazioni chimico fisiche (oli che separano la paraffina). Prima ancora di raggiungere questa situazione limite il fluido può metter in crisi vari componenti del circuito per l'aumento eccessivo della sua viscosità: molti tipi di pompe sono soggette a problemi di cavitazione già per viscosità cinematiche di 500-600 cSt. E' necessario pertanto riscaldare il fluido al serbatoio prima di avviare le pompe ed il circuito. Definita la temperatura di preriscaldamento T_i che si vuole raggiungere ed il tempo t in cui si vuole compiere tale operazione, l'equazione 1-0 permette di valutare la potenza ω da installare per il preriscaldamento del fluido. Valori usuali di T_i sono $10 \div 25$ °C, temperature alle quali usualmente la viscosità inizia a livellarsi a valori accettabili, e il tempo di preriscaldamento t dovrebbe essere limitato per motivi di praticità entro $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$. Quando l'impianto non è esteso, all'avviamento è sufficiente preriscaldare il fluido contenuto nel serbatoio. Per lunghi circuiti è necessario creare anche by-pass dissipativi in prossimità degli attuatori (rubinetti manuali od elettrici che degradino potenza fluida in calore). Il preriscaldamento può essere effettuato con resistenze elettriche ([fig. 1-23](#)) a bassa potenza specifica superficiale ($< 1 \text{ Watt/cm}^2$) oppure utilizzando un apposito circuito con una pompa (solitamente ad ingranaggi) poco sensibile a problemi di cavitazione, dissipando integralmente la potenza del suo motore elettrico su una valvola di sicurezza ([fig. 1-24](#)). La medesima pompa può essere usata per la filtrazione in by-pass e la termostatazione.

Le resistenze elettriche per fluidi ([fig. 1-23](#)) sono composte da più tubi in acciaio inox piegati ad U e portati da una borchia filettata da $1\frac{1}{4}'' \div 2\frac{1}{2}''$ ([fig. 1-23](#)). Al loro interno è alloggiata la spirale della resistenza. Normalmente i tubi sono tre in modo che i sei capi possano essere collegati a stella o a triangolo per una tensione di alimentazione di 380 oppure 220 V. In questo caso le resistenze singole vengono costruite per funzionare a 220 V. I terminali elettrici vengono racchiusi in una scatola con buona classe di ermeticità ($> \text{IP55}$). Come si può notare la superficie di scambio totale non è grande e la potenza termica è concentrata in zone ristrette. Poiché la circolazione dell'olio fra le resistenze è dovuta solo all'effetto termosifone, se il surriscaldamento è eccessivo il calore non può essere allontanato con sufficiente velocità, l'olio a contatto con le superfici carbonizza aumentando ancora l'isolamento termico fino alla fusione delle resistenze. Per questo la potenza specifica superficiale è bene che non superi 1 Watt/cm^2 . Per ridurre ulteriormente lo shock termico dei fluidi si racchiudono a volte le resistenze in un contenitore cilindrico di acciaio inox all'interno del quale una speciale sabbia si occupa di trasferire il calore dalle resistenze alla superficie esterna con la massima uniformità. La bassa potenza superficiale impone spesso notevoli lunghezze per queste resistenze elettriche.

Circuito idraulico di preriscaldamento ([fig. 1-24](#)). E' un altro metodo, molto più sicuro e tecnicamente corretto, per effettuare il preriscaldamento dell'olio in grosse centrali, usualmente già dotate di circuito separato di ricircolo olio per raffreddamento e filtrazione. Esistono pompe ad ingranaggi, create specificamente per il settore mobile, che in caso di eccessiva viscosità per bassa temperatura dell'olio danno la massima garanzia di funzionamento al limite della cavitazione anche per lunghi periodi. Si utilizzi pertanto una di queste pompe per il circuito di ricircolo e si includa anche una valvola di massima come in [fig. 1-24](#).

All'avviamento la potenza elettrica W installata verrà trasformata in calore secondo la formula:

$$W \text{ (kW)} = P \text{ (bar)} \times Q \text{ (dm}^3\text{/min)} / 600$$

avendo cura di regolare la pressione P misurando con un amperometro l'assorbimento massimo del motore elettrico. La portata Q sarà di solito compresa fra 40 e 120 (dm³/min = lpm), di solito dimensionata per la successiva termostatazione. La temperatura al serbatoio aumenterà fino a che anche le pompe principali, più sensibili alla bassa temperatura, possano essere avviate. Diseccitando la elettrovalvola sulla mandata, lo stesso circuito servirà successivamente per il raffreddamento dell'olio.

Esempio: sia dato un serbatoio cubico di lato $l = 1$ (m) perciò con superficie $S = 6$ (m²), contenente 900 dm³ di olio con massa totale $m = 900 * 0,86 = 774$ kg, avente calore specifico $C_{sp} = 1900$ (J/kg°C). Si voglia innalzare la temperatura dal valore ambiente $T_e = 5$ (°C) a quella finale $T_i = 20$ (°C) in un tempo $t = 3600$ (s).

Ipotizzando un coeff. di conduzione $k = 11$ (J/ m² s °C), la eq. 1-0 indica $\omega = 7630$ (W). Potranno allora essere installate due resistenze da 3000 ed una da 2000 W, ovvero per maggior cautela tre da 3000 W.