

Regolazione delle Pompe Centrifughe 2

Dispense per il corso di
Macchine e Sistemi Energetici Speciali

Corso di Laurea in Scienze ed Ingegneria dei
Materiali

Aggiornamento al 19/09/2006

Ing Amoresano Amedeo

Condizioni di aspirazione e di afflusso sotto battente
(NPSH = Net Positive Suction Head)

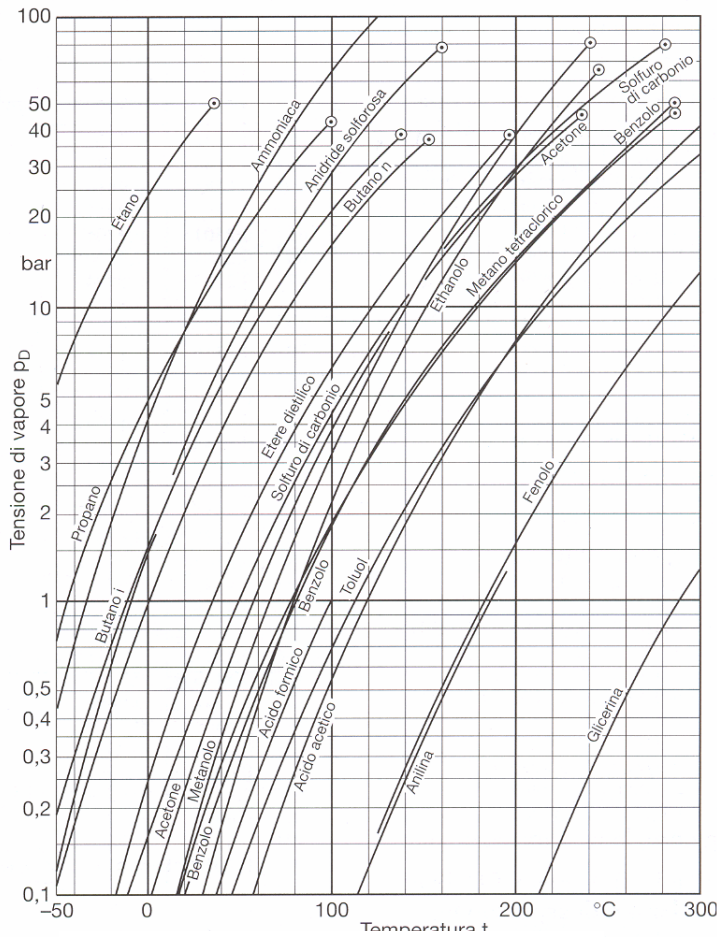


Fig 20 Tensione di vapore per diversi fluidi in funzione della temperatura

convogliato. La Tabella e la Fig. 20 rappresentano le tensioni di vapore dell'acqua e di altri liquidi in funzione della temperatura.

Per la definizione di NPSH,D e NPSH,R si faccia riferimento alla figura

21. Applicando Bernoulli tra la sezione A e la sezione 1 si avrà:

$$P_a/\gamma + c^2_A/2g = P_1/\gamma + c^2_1/2g + Y$$

Dove Y tiene conto delle delle perdite di carico distribuite che indicheremo con ξ e il termine cinetico $\lambda w^2_1/2g$ che tiene conto del fatto che l'ingresso del fluido girante avrà deviazioni,,

Valore NPSH dell'impianto
(NPSH_{disp} = NPSH disponibile)

Il valore NPSH_{disp} è la differenza di pressione esistente fra la pressione totale sulla mezzeria della bocca di entrata della pompa e la tensione di vapore PD (detta anche pressione di saturazione) misurata in m come differenza delle altezze piezometriche. Questo valore può essere un parametro di misura per il pericolo di evaporazione in questo punto e viene determinato solo con i dati dell'impianto e del liquido

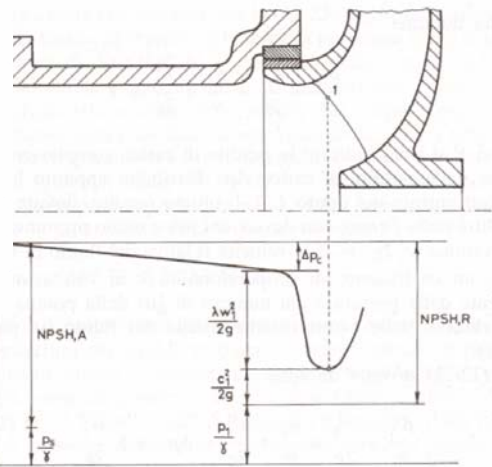


Fig 21

per cui tali perdite sono proporzionali al quadrato della velocità del fluido tangente alla pala mediante un coefficiente di proporzionalità λ che dipende da fattori relativi alle caratteristiche della corrente fluida quali portata e quindi velocità, dal numero di giri della pompa e anche dalla natura del fluido. Tale coefficiente è di difficile valutazione.

Risolvendo rispetto la termine p_1/γ si ottiene

$$P_1/\gamma = + c^2_A/2g + P_a/\gamma - [c^2_1/2g + \xi + \lambda w^2_1/2g]$$

Si tenga a presente che il fluido avrà all'interno del condotto una sua temperatura alla quale corrisponde un determinato valore della tensione di vapore P_s/γ . Il fluido, come si vede dalla figura 21 nel percorso che va dalla sezione a alla sezione 1 perderà parte del suo carico energetico (statico + dinamico) che si ridurrà fino al valore $P_1/\gamma + c^2_1/2g$. Se il termine statico nella sezione 1 si riduce fino ad essere minore della tensione di vapore nelle condizioni di esercizio, le bolle di gas disciolte all'interno del fluido tendono velocemente ad ingrandirsi. Per effetto del repentino salto di pressione la forze di equilibrio superficiali delle bolle di gas non saranno in grado di mantenere più tale equilibrio (il fenomeno è di tipo impulsivo) per cui nel punto di minima pressione statica tenderanno a rompersi gerando onde di pressione dell' ordine dei 4000 / 5000 bar con conseguente danneggiamento dell' organo sul quale andranno a sbattere. In termini di bilancio energetico si avrà:

$$P_1/\gamma = [c^2_A/2g + P_a/\gamma] - [c^2_1/2g + \xi + \lambda w^2_1/2g] > P_s/\gamma$$

E di conseguenza:

$$[c^2_A/2g + P_a/\gamma] - P_s/\gamma > [c^2_1/2g + \xi + \lambda w^2_1/2g]$$

Il termine al primo membro rappresenta il patrimonio energetico che il fluido possiede nel punto A e per tale motivo viene chiamato NPSH,D (disponibile). IL secondo membro invece tiene conto di quanto la pompa con il circuito degrada tale patrimonio e per questo motivo viene chiamato NPSH,R

La condizione per evitare il fenomeno di cavitazione risulta quindi

$$NPSH,D > NPSH,R$$

Tabella 12: Tensione di vapore p_D , densità ρ e viscosità cinematica ν dell'acqua in funzione della temperatura t .

t °C	p_D bar	ρ kg/dm ³	ν mm ² /s	t °C	p_D bar	ρ kg/dm ³	ν mm ² /s	t °C	p_D bar	ρ kg/dm ³	ν mm ² /s
0	0,00611	0,9998	1,792	61	0,2086	0,9826		145	4,155	0,9217	
1	0,00656	0,9999		62	0,2184	0,9821		150	4,760	0,9169	
2	0,00705	0,9999		63	0,2285	0,9816		155	5,433	0,9122	
3	0,00757	1,0000		64	0,2391	0,9811		160	6,180	0,9074	0,1890
4	0,00812	1,0000		65	0,2501	0,9805		165	7,008	0,9024	
5	0,00872	1,0000		66	0,2614	0,9800		170	7,920	0,8973	
6	0,00935	0,9999		67	0,2733	0,9794		175	8,925	0,8921	
7	0,01001	0,9999		68	0,2856	0,9788		180	10,027	0,8869	0,1697
8	0,01072	0,9998		69	0,2983	0,9783		185	11,234	0,8814	
9	0,01146	0,9997		70	0,3116	0,9777	0,413	190	12,553	0,8760	
10	0,01227	0,9996	1,307	71	0,3253	0,9771		195	13,989	0,8703	
11	0,01311	0,9995		72	0,3396	0,9766		200	15,550	0,8647	0,1579
12	0,01401	0,9994		73	0,3543	0,9760		205	17,245	0,8587	
13	0,01496	0,9993		74	0,3696	0,9754		210	19,080	0,8528	
14	0,01597	0,9992		75	0,3855	0,9748		215	21,062	0,8466	
15	0,01703	0,9990		76	0,4019	0,9743		220	23,202	0,8403	0,1488
16	0,01816	0,9988		77	0,4189	0,9737		225	25,504	0,8340	
17	0,01936	0,9987		78	0,4365	0,9730		230	27,979	0,8273	
18	0,02062	0,9985		79	0,4547	0,9725		235	30,635	0,8206	
19	0,02196	0,9984		80	0,4736	0,9718	0,365	240	33,480	0,8136	0,1420
20	0,02337	0,9982	1,004	81	0,4931	0,9713		245	36,524	0,8065	
21	0,02485	0,9979		82	0,5133	0,9706		250	39,776	0,7992	
22	0,02642	0,9977		83	0,5342	0,9699		255	43,247	0,7918	
23	0,02808	0,9975		84	0,5557	0,9694		260	46,944	0,7840	0,1339
24	0,02982	0,9972		85	0,5780	0,9687		265	50,877	0,7759	
25	0,03167	0,9970		86	0,6010	0,9681		270	55,055	0,7679	
26	0,03360	0,9967		87	0,6249	0,9674		275	59,487	0,7594	
27	0,03564	0,9964		88	0,6495	0,9667		280	64,194	0,7507	0,1279
28	0,03779	0,9961		89	0,6749	0,9660		285	69,176	0,7416	
29	0,04004	0,9958		90	0,7011	0,9653	0,326	290	74,452	0,7323	
30	0,04241	0,9956	0,801	91	0,7281	0,9647		295	80,022	0,7227	
31	0,04491	0,9952		92	0,7561	0,9640		300	85,916	0,7125	0,1249
32	0,04753	0,9949		93	0,7849	0,9633		305	92,133	0,7018	
33	0,05029	0,9946		94	0,8146	0,9626		310	98,694	0,6906	
34	0,05318	0,9942		95	0,8452	0,9619		315	105,61	0,6793	
35	0,05622	0,9939		96	0,8769	0,9612		320	112,90	0,6671	0,1236
36	0,05940	0,9935		97	0,9095	0,9604		325	120,57	0,6540	
37	0,06274	0,9932		98	0,9430	0,9598		330	128,64	0,6402	
38	0,06624	0,9929		99	0,9776	0,9590		340	146,08	0,6094	0,1245
39	0,06991	0,9926		100	1,0132	0,9583	0,295	350	165,37	0,5724	
40	0,07375	0,9922	0,658	102	1,0878	0,9568		360	186,74	0,5244	0,126
41	0,07777	0,9918		104	1,1668	0,9555		370	210,53	0,4484	
42	0,08198	0,9914		106	1,2504	0,9540		374,2	225,6	0,326	0,149
43	0,08639	0,9910		108	1,3390	0,9526					
44	0,09100	0,9906		110	1,4327	0,9510					
45	0,09582	0,9902		112	1,5316	0,9496					
46	0,10085	0,9898		114	1,6361	0,9480					
47	0,10612	0,9893		116	1,7465	0,9464					
48	0,11162	0,9889		118	1,8628	0,9448					
49	0,11736	0,9885		120	1,9854	0,9431	0,2460				
50	0,12335	0,9880	0,553	122	2,1144	0,9415					
51	0,12960	0,9877		124	2,2503	0,9398					
52	0,13613	0,9872		126	2,3932	0,9382					
53	0,14293	0,9867		128	2,5434	0,9365					
54	0,15002	0,9862		130	2,7011	0,9348					
55	0,15741	0,9857		132	2,8668	0,9332					
56	0,16509	0,9852		134	3,0410	0,9314					
57	0,17312	0,9847		136	3,2224	0,9296					
58	0,18146	0,9843		138	3,4137	0,9279					
59	0,19015	0,9837		140	3,614	0,9261	0,2160				
60	0,19920	0,9832	0,474								

Densità ρ dell'acqua di mare
 $\rho = 1,030 + 1,040 \text{ kg/dm}^3$

NPSH_{disp} con funzionamento in aspirazione

Nel funzionamento in aspirazione (Fig. 8) la pompa si trova al di sopra del pelo libero del liquido lato aspirante. Il valore di NPSH_{disp} può essere calcolato come segue, in base ai dati delle condizioni rilevate nel serbatoio di aspirazione

$$P_{at}/\gamma = + c^2_A/2g + P_a/\gamma - \xi +$$

con

P_{at} = Pressione nel serbatoio (in questo caso Pressione atmosferica)

P_s = tensione di vapore in N/m^2

h_a = altezza di aspirazione

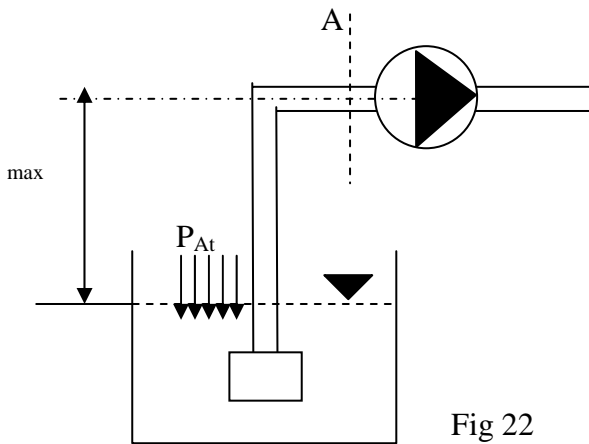


Fig 22

Applicando le equazioni dell' NPSH otteniamo che:.

$$c^2_A/2g + P_a/\gamma - P_s/\gamma = P_{at}/\gamma - h_a - \xi - P_s/\gamma$$

e poiché deve valere la **

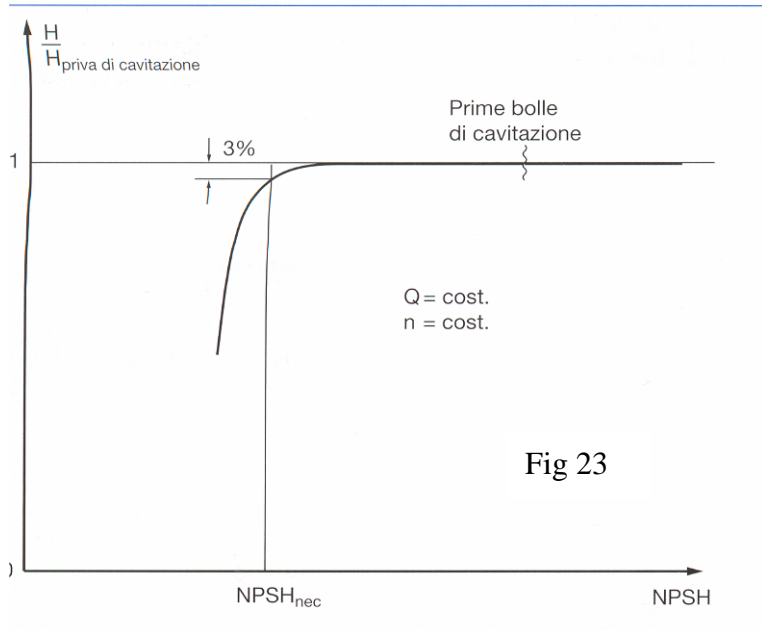
$$P_{at}/\gamma - h_a - \xi - P_s/\gamma > \text{NPSH}_{,R}$$

Da cui si ottiene l'altezza massima di aspirazione:

$$h_{amax} < P_{at}/\gamma - \xi - P_s/\gamma - \text{NPSH}_{,R}$$

Valore NPSH della pompa NPSH_{nec}

Con la diminuzione della pressione nella pompa si formano le prime bolle di cavitazione già molto prima che reagiscano le caratteristiche idrauliche della pompa. Per motivi economici si deve in pratica accettare la comparizione di minime bolle di cavitazione. Comunque, con determinati criteri, si può stabilire la misura ammissibile per il fenomeno di cavitazione. Spesso viene ammessa una caduta del 3 % della prevalenza della pompa come conseguenza della cavitazione. La Fig. 23 mostra il procedimento necessario per determinare il valore: con portata e velocità di rotazione costanti, l'NPSH_{disp} dell'impianto sperimentale viene ridotto finché la prevalenza della pompa si riduce del 3 %. Per la limitazione della cavitazione si può anche ricorrere all'aumento del livello di rumorosità dovuto alla cavitazione, all'asportazione di materiale oppure ad una determinata caduta del rendimento della pompa. Se non si vuole superare questa condizione è necessario un



valore minimo di NPSH espresso in m nelle curve di $NPSH_{nec}$ sotto le curve caratteristiche Q/H . Il piano di riferimento è la mezzeria dell'ingresso della girante) che, nelle pompe verticali, può differire dal piano di riferimento dell'impianto della quota ha

Quindi, per non superare il valore ammissibile della cavitazione deve essere

$$NPSH_{disp} > NPSH_{nec}$$

La Fig. 23 mostra graficamente questa condizione nel punto di intersezione di $NPSH_{disp}$ con $NPSH_{nec}$. Se questo presupposto non viene osservato, la prevalenza cade rapidamente a destra del punto di intersezione (con portata in aumento) e forma i "rami di interruzione". Un lungo periodo di funzionamento in queste condizioni danneggia la pompa.

Possibilità di correzione

I valori numerici di $NPSH_{disp}$ e di $NPSH_{nec}$ si basano sulle dimensioni dell'impianto e della pompa stabilite in fase di progettazione e non più modificabili successivamente, e sui dati del punto di funzionamento. Ne deriva che un successivo miglioramento della condizione $NPSH_{disp} > NPSH_{nec}$ in una pompa centrifuga esistente è possibile solo con interventi

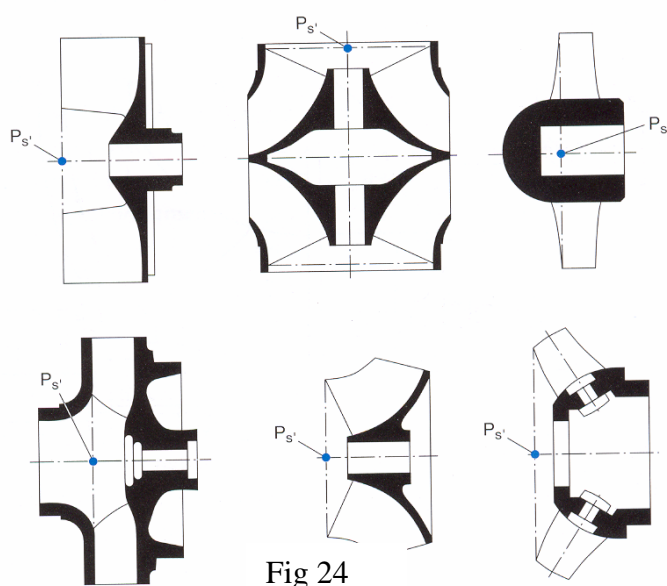


Fig 24

costruttivi significativi e costosi sia sull'impianto che sulla pompa. Ciò riguarda l'aumento di $H_{z_{geo}}$ o la riduzione di $H_{s_{geo}}$ (mediante sistemazione del serbatoio a quota superiore oppure installando la pompa a quota inferiore), la riduzione delle perdite di carico in aspirazione $H_{v,s}$ oppure la sostituzione della pompa. Nell'ultimo caso l'impiego di una speciale girante di aspirazione o l'inserimento di un Inducer (girante ad elica inserita in serie, Fig. 24) può contenere i costi del miglioramento (una modifica della pompa è comunque inevitabile). Si deve comunque considerare che la

riduzione del valore di $NPSH_{nec}$ mediante un Inducer non è possibile per l'intero campo di convogliamento della pompa interessata, ma solo per una parte del campo (vedi Fig. 25). La resistenza alla cavitazione può aumentare, specialmente con pompe aventi diametri

nominali maggiori, scegliendo materiali più adatti (quindi anche più costosi) per la girante.

Solo in un caso speciale la correzione di NPSH è semplice: in circuiti chiusi (ad es. negli impianti di riscaldamento) si può aumentare il livello di pressione per migliorare $NPSH_{disp}$, a condizione che l'impianto consenta un simile aumento.

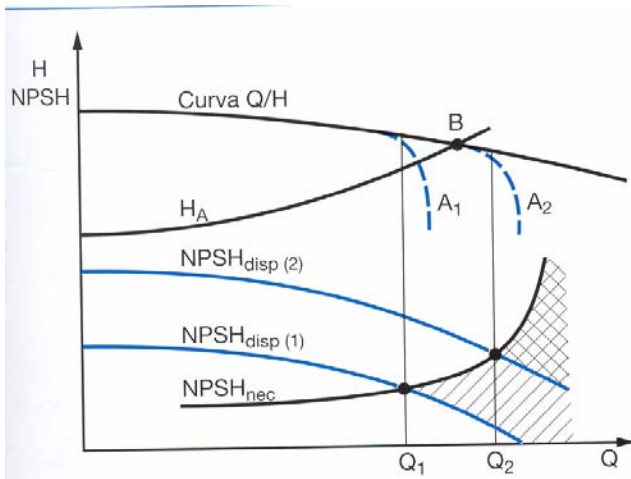


Fig 25

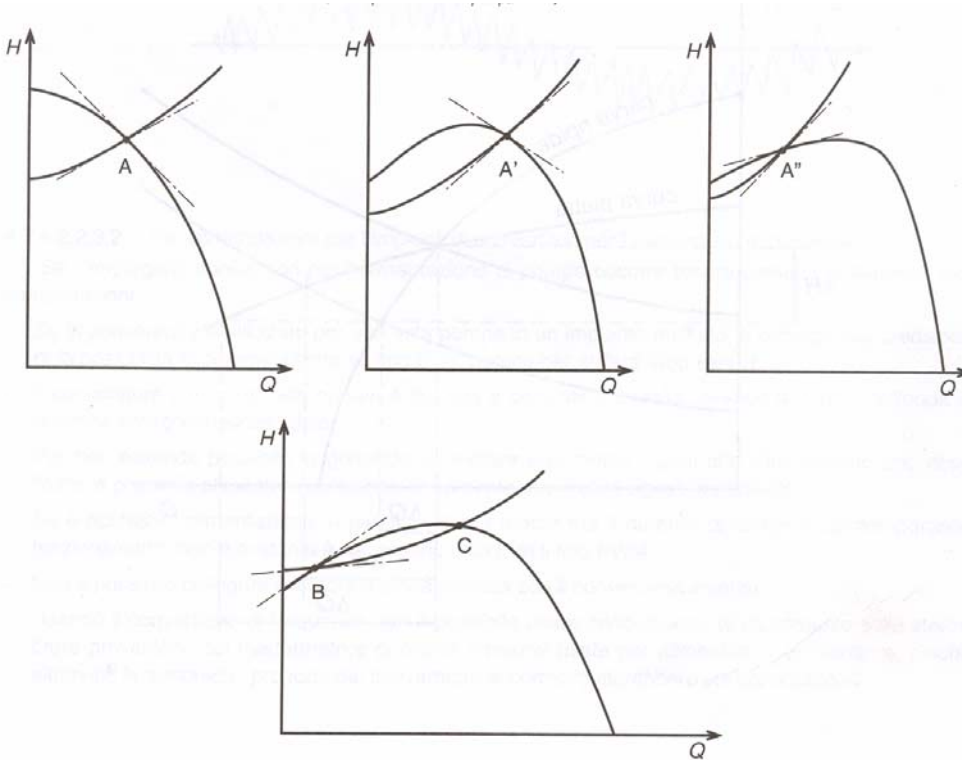
Stabilità di funzionamento e problemi di avviamento

Affinché il punto di funzionamento sia *stabile* è necessario che la pendenza della curva caratteristica dell'impianto, in quel punto, sia maggiore di quella della pompa (ovvero, in termini matematici $dH_{imp}/dQ > dH_{pompa}/dQ$). Ciò è verificato nei primi tre casi di Figura 26 per i punti A, A' e A'', lfi questi casi un accidentale aumento della portata comporterebbe la necessità di una prevalenza H maggiore di quella che la pompa può fornire, sicché la portata diminuirebbe automaticamente e si annullerebbe spontaneamente l'effetto del disturbo. Analogamente una riduzione accidentale portata comporterebbe la disponibilità di un eccesso di prevalenza con spontaneo aumento della p ta fino a pareggiare la portata preesistente al disturbo. Invece nell'ultimo caso di Figura 26 il punto di funzionamento B, nel quale la pendenza della va caratteristica dell'impianto è minore di quella della pompa ($dH_{imp}/dQ < dH_{pompa}/dQ$), un diminuzione accidentale della portata metterebbe a disposizione una prevalenza maggiore di quella rich dall'impianto con conseguente ulteriore aumento della portata; il punto di funzionamento continuerà quindi ad allontanarsi dal punto B fino a raggiungere una situazione stabile in C. Una diminuzione I dentale di portata darebbe luogo a una prevalenza insufficiente, che a sua volta produrrebbe un ulteriore diminuzione della portata e un definitivo allontanamento dal punto di funzionamento iniziale all'arresto del moto. Per questo il punto B è detto un punto di funzionamento *instabile* o *labile*.

Figura 26

Punto di funzionamento:

- A) stabile ($dH_{imp}/dQ > dH_{pompa}/dQ$);
 A') stabile ($dH_{imp}/dQ > dH_{pompa}/dQ$);
 A'') stabile ($dH_{imp}/dQ > dH_{pompa}/dQ$);
 B) instabile ($dH_{imp}/dQ < dH_{pompa}/dQ$).



La condizione d'instabilità non è intrinseca della curva caratteristica della pompa; se la curva presenta un massimo per una portata diversa da zero allora vi sono tratti di tale curva nei quali il funzionamento può essere instabile. Affinché poi si verifichi un punto di funzionamento instabile è necessario che a portata nulla la prevalenza della curva caratteristica dell'impianto sia

maggiore di quella della pompa. In queste condizioni nemmeno l'avviamento dell'impianto può avvenire, perché la pompa non è in grado di fornire la prevalenza necessaria ad avviare il moto. l'avviamento sarà possibile o aumentando temporaneamente il numero di giri della pompa per superare la fase d'innescio del moto o riducendo in questa fase la prevalenza geodetica dell'impianto svuotando in parte la condotta di mandata.