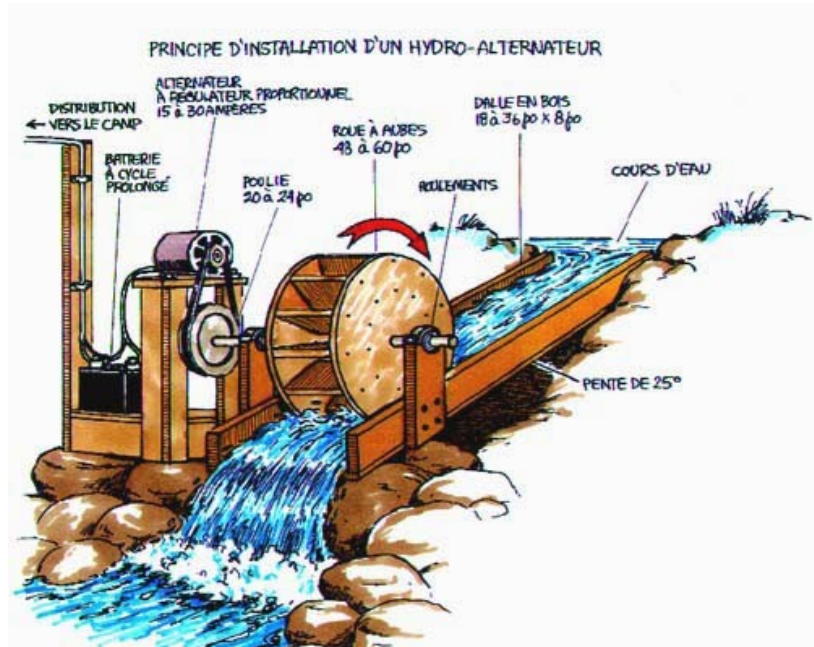


Impianto idroelettrico ad acqua fluente



- Disponibilità della risorsa

A partire dalla misura settimanale dell'altezza d'asta h (ovvero il livello dell'acqua rispetto alla soglia di uno stramazzo) si può risalire alla portata:

$$Q = a \cdot (h + b)^n$$

a , b , n sono dei coefficienti che vengono calcolati a partire da tre coppie di portata e altezza d'asta che siano in progressione geometrica cioè:

$$Q_2 = m \cdot Q_1 \quad Q_3 = m \cdot Q_2 \quad \frac{Q_2}{Q_1} = m = \frac{Q_3}{Q_2}$$

In questo caso $m=2$.

Esprimendo le portate con la prima relazione lasciando incogniti i coefficienti:

$$\frac{h_2 + b}{h_1 + b} = \frac{h_2 + b}{h_1 + b} \quad b = \frac{h_2^2 + h_3 h_1}{2h_2 - h_3 - h_1}$$

$$a(h_2 + b)^n = m \cdot a \cdot (h_1 + b)^n \quad n = \frac{\ln(m)}{\ln\left(\frac{h_2 + b}{h_1 + b}\right)} \quad a = \frac{Q_1}{(h_1 + b)^n}$$

Per ciascuna altezza d'asta si calcola la portata e si costruisce l'idrogramma, ovvero il grafico che mostra l'andamento della portata nel corso dell'anno. Ordinando i valori di portata in modo decrescente si ottiene il diagramma delle durate, il quale indica per quanti giorni all'anno la portata è superiore o uguale al valore considerato.

Idrogramma delle portate

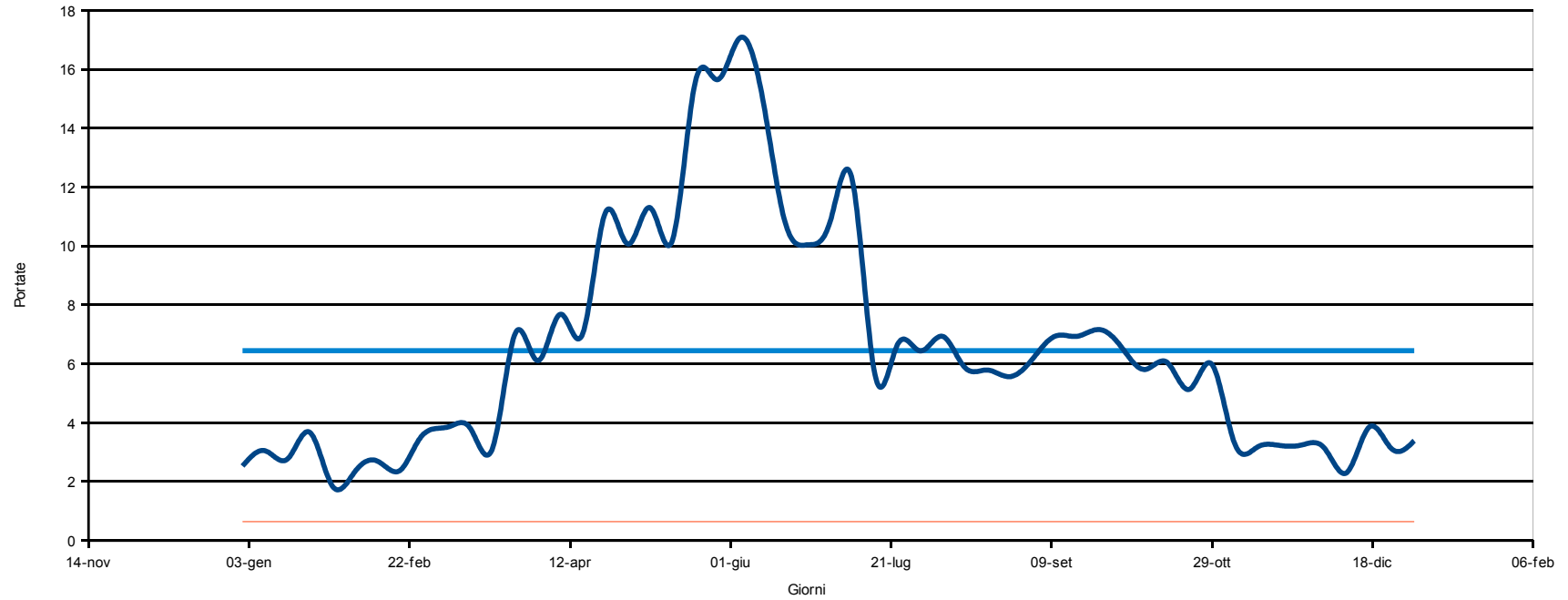
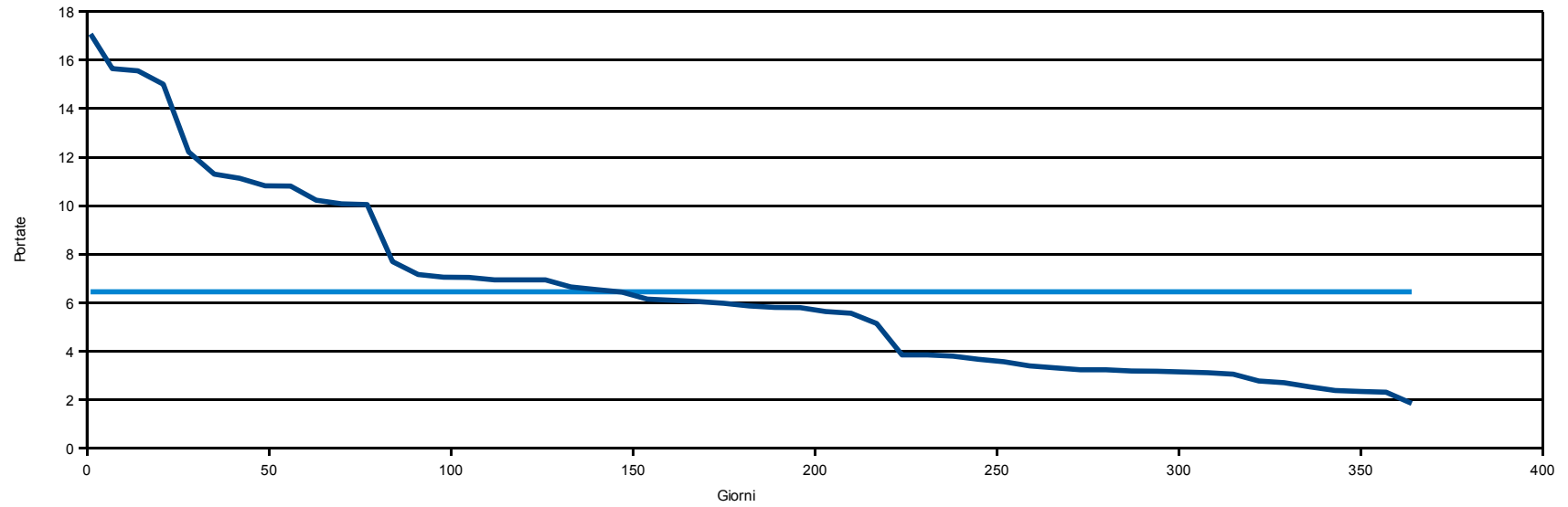


Diagramma delle durate

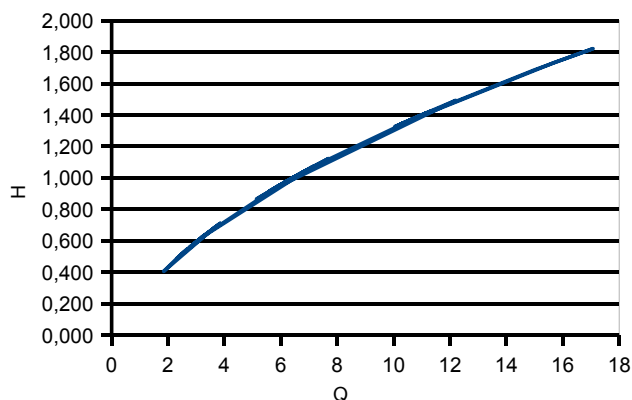


Disponibilità Risorsa

Q (m ³ /s)	h (m)
2,5	0,52
5	0,85
10	1,32

b 0,2596
n 1,9493
a 4,0930

Scala delle portate



Qmedia 6,45 m³/s
DMV 0,64 m³/s
ηO 97,00%
ηT
ηC
Quile 5,8 m³/s

Volume invaso
46,806 Milioni di m³

Giorno	H [m]	Q [m ³ /s]	Giorni	Qord (ordinate) [m ³ /s]	Se(Q>Qm;Q-Qm;0) [m ³ /s]
01-gen	0,522	2,53	1	17,07	0
08-gen	0,600	3,05	7	15,65	0
15-gen	0,559	2,77	14	15,56	0
22-gen	0,686	3,67	21	15,01	0
29-gen	0,405	1,85	28	12,21	0
05-feb	0,491	2,34	35	11,3	0
12-feb	0,548	2,7	42	11,13	0
19-feb	0,497	2,38	49	10,82	0
26-feb	0,673	3,57	56	10,81	0
05-mar	0,710	3,85	63	10,23	0
12-mar	0,703	3,8	70	10,07	0
19-mar	0,619	3,18	77	10,04	0
26-mar	1,062	7,05	84	7,69	0,6
02-apr	0,968	6,1	91	7,16	0
09-apr	1,122	7,69	98	7,05	1,24
16-apr	1,061	7,04	105	7,04	0,59
23-apr	1,411	11,13	112	6,94	4,68
30-apr	1,327	10,07	119	6,94	3,62
07-mag	1,424	11,3	126	6,94	4,85
14-mag	1,340	10,23	133	6,65	3,78
21-mag	1,724	15,56	140	6,54	9,11
28-mag	1,730	15,65	147	6,44	9,2
04-giu	1,821	17,07	154	6,15	10,62
11-giu	1,688	15,01	161	6,1	8,56
18-giu	1,386	10,81	168	6,05	4,36
25-giu	1,325	10,04	175	5,98	3,59
02-lug	1,387	10,82	182	5,87	4,37
09-lug	1,492	12,21	189	5,81	5,76
16-lug	0,918	5,63	196	5,79	0
23-lug	1,023	6,65	203	5,63	0,2
30-lug	1,002	6,44	210	5,56	0
06-ago	1,051	6,94	217	5,14	0,49
13-ago	0,944	5,87	224	3,85	0
20-ago	0,935	5,79	231	3,85	0
27-ago	0,911	5,56	238	3,8	0
03-set	0,973	6,15	245	3,67	0
10-set	1,051	6,94	252	3,57	0,49
17-set	1,051	6,94	259	3,39	0,49
24-set	1,073	7,16	266	3,31	0,72
01-ott	1,012	6,54	273	3,24	0,09
08-ott	0,937	5,81	280	3,23	0
15-ott	0,962	6,05	287	3,18	0
22-ott	0,864	5,14	294	3,17	0
29-ott	0,955	5,98	301	3,14	0
05-nov	0,637	3,31	308	3,11	0
12-nov	0,617	3,17	315	3,05	0
19-nov	0,626	3,23	322	2,77	0
26-nov	0,628	3,24	329	2,7	0
03-dic	0,613	3,14	336	2,53	0
10-dic	0,486	2,31	343	2,38	0
17-dic	0,710	3,85	350	2,34	0
24-dic	0,609	3,11	357	2,31	0
31-dic	0,648	3,39	364	1,85	0

Media
Somma

6,45

77,39

- Scelta della portata nominale dell'impianto

La scelta della taglia dell'impianto è molto importante per un impianto ad acqua fluente. Infatti dimensionando l'impianto sulla massima portata del fiume si riuscirebbe a sfruttare interamente l'energia messa a disposizione, ma l'impianto lavorerebbe per molto tempo a carico parziale provocando un numero di ore equivalenti a funzionamento nominale molto basso. Dimensionando l'impianto per la portata minima del fiume questo lavorerebbe per buona parte dell'anno al massimo della sua potenza, ma così facendo staremo rinunciando a buona parte del potenziale energetico del fiume.

In questo studio preliminare la portata nominale viene scelta arbitrariamente cercando di massimizzare l'indice di redditività economica VAN. In base al valore scelto vengono dimensionati i componenti dell'impianto e vengono calcolati i corrispondenti costi, l'energia producibile, i ricavi, i flussi di cassa e infine il VAN.

Il diametro della condotta per una prefissata velocità: $D = \sqrt{\frac{4 Q_n}{\pi c}}$

La potenza disponibile: $P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H_0$

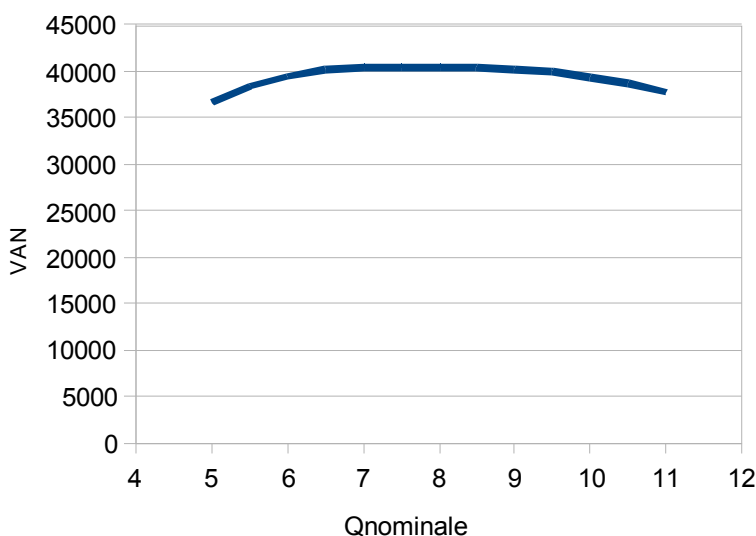
Le perdite di carico distribuite e concentrate: $Y = \left(f \frac{l}{D} + \sum K \right) \frac{c^2}{2g}$

Il rendimento delle opere di adduzione dell'acqua: $\eta_c = 1 - \frac{Y}{H_0}$

Il rendimento della turbina dipende dal rapporto Q/Q_n secondo una funzione mostrata più avanti.

Costo = costo specifico * potenza

Il risultato di questo procedimento porta a una scelta della portata nominale pari a 8 m³/s.



Riportando graficamente il VAN relativo a ogni portata nominale scelta si osserva che per le portate nominali comprese fra 6.5 m³/s e 10 m³/s l'investimento presenta praticamente lo stesso VAN, cioè economicamente non fa grande differenza scegliere l'una o l'altra. In una politica di produzione di energia da fonti rinnovabili per soddisfare gli impegni di riduzione delle emissioni di CO₂ presi con il protocollo di Kyoto si sceglierebbe una portata nominale intorno ai 9.5 m³/s, così da sfruttare una buona parte il potenziale energetico del sito.

- Valutazione del volume di accumulo

Volendo sfruttare a pieno la risorsa, è necessario realizzare un lago in modo da poter accumulare l'acqua nei periodi piovosi e averla poi disponibile nei periodi poco piovosi.

Si costruisce uno sbarramento in una opportuna sezione del fiume in modo da generare un lago a monte il cui volume dipende dall'orografia del territorio. Il volume minimo di accumulo che consente di far funzionare l'impianto a portata nominale durante tutto l'anno è:

$$V = \int (Q - Q_m) dt = 360 \cdot 24 \cdot 7 \cdot \sum_i Q_i - Q_m$$

L'integrale eseguito solo per i momenti in cui $Q > Q_m$ consente di calcolare quale è il volume da invasare. Al lato pratico si è eseguito l'integrale in forma discreta, calcolando il volume per ogni settimana moltiplicando la portata da invasare ($Q - Q_m$, espressa in m^3/s) per il numero di secondi di una settimana.

La portata nominale dell'impianto sarà pari alla portata media del fiume decurtata del deflusso minimo vitale.

- Valutazione dell'energia producibile

La portata elaborata dall'impianto è quella disponibile decurtata del deflusso minimo vitale (DMV). Giunti al valore della portata nominale, l'impianto continua ad elaborare la portata nominale e l'acqua in eccesso prosegue il suo percorso naturale lungo il fiume.

Quando l'impianto lavora a una portata inferiore a quella nominale il rendimento dei componenti cambia. Per esempio il rendimento delle opere di presa aumenta perché la velocità sarà inferiore, mentre il rendimento della turbina diminuisce. Detti rendimenti vengono ricalcolati per le condizioni di funzionamento, cioè per ogni classe di portata.

Per ogni classe di portata viene calcolata la potenza elettrica erogata:

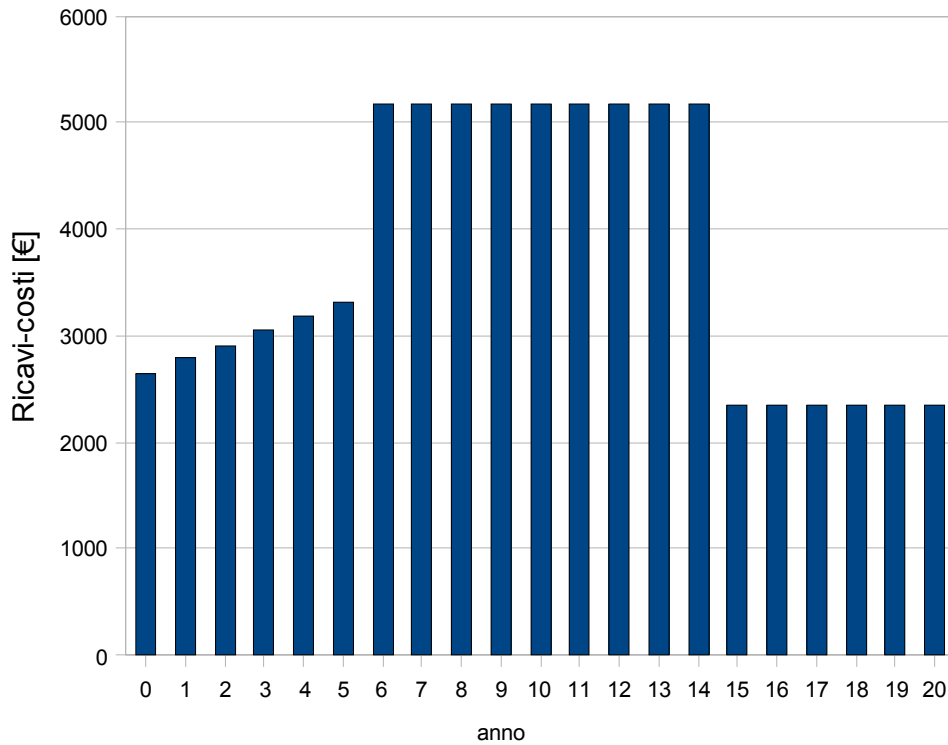
$$P_E = \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_G \quad \text{dove } \eta_G = \eta_C \cdot \eta_T \cdot \eta_O$$

Ciascuna classe di portata si presenta per un certo numero di ore all'anno, in accordo con l'idrogramma delle portate. L'energia prodotta annualmente è la somma dei prodotti fra potenza e corrispondente numero di ore.

$$E_E = \sum P_{e,i} \cdot n_i$$

- Valutazione dei flussi di cassa annui

I flussi di cassa sono calcolati come ricavi-costi. I ricavi derivano dalla vendita dell'energia a 90 €/MWh, e per i primi 15 anni dalla vendita dei certificati verdi a 90 €/MWh. I costi sono quelli relativi alla gestione e manutenzione dell'impianto e la rata del mutuo per i primi 5 anni.



Dimensionamento

Qmedia	6,45 m ³ /s
Qutile(media-DMV)	5,8 m ³ /s
Qnominale	8 m ³ /s
VAN	40419,81 k€

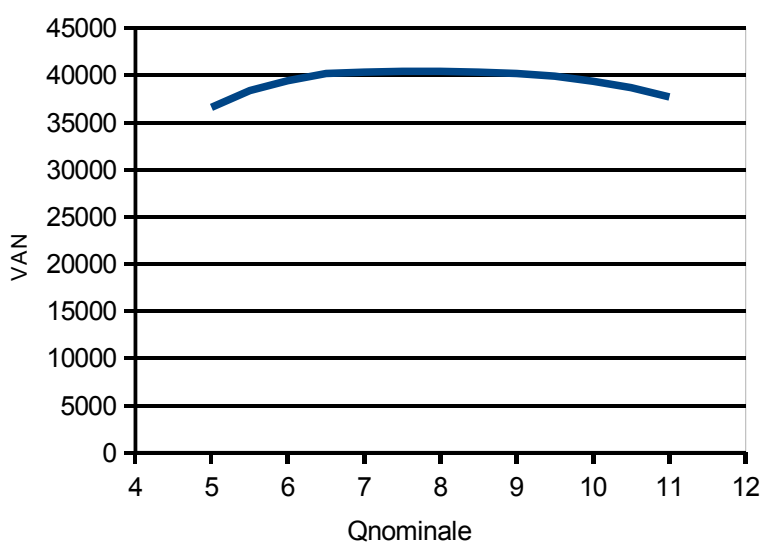
Salto (H0)	90 m
Lunghezza condotta(L)	183 m
velocità (c)	2 m/s
Diametro (D)	2,26 m
Pnominale (Pn)	7063,2 kW
Scabrezza relativa	0,000020
Fattore di attrito	0,014000
Perdite Concentrate	0,13 m
Perdite di carico distribuite	0,23 m
Rendimento condotta(η_c)	0,9980

Costo sp. macch. e op. civili	1100 €/kW
Costo sp. Condotta	220 €/kW
Costo macchinari	7769520 €
Costo condotta	1553904 €
Costo totale	9323,42 k€
Costi fissi = 5% dell'investimento	466,17 k€
Tasso di interesse finanziamento	7,00%
Tasso di attualizzazione	8,00%
Durata finanziamento	5 anni

Energia prodotta	31317,71 MWh
Numero di ore equivalenti	4433,93 h
Fattore di utilizzazione	50,62 %

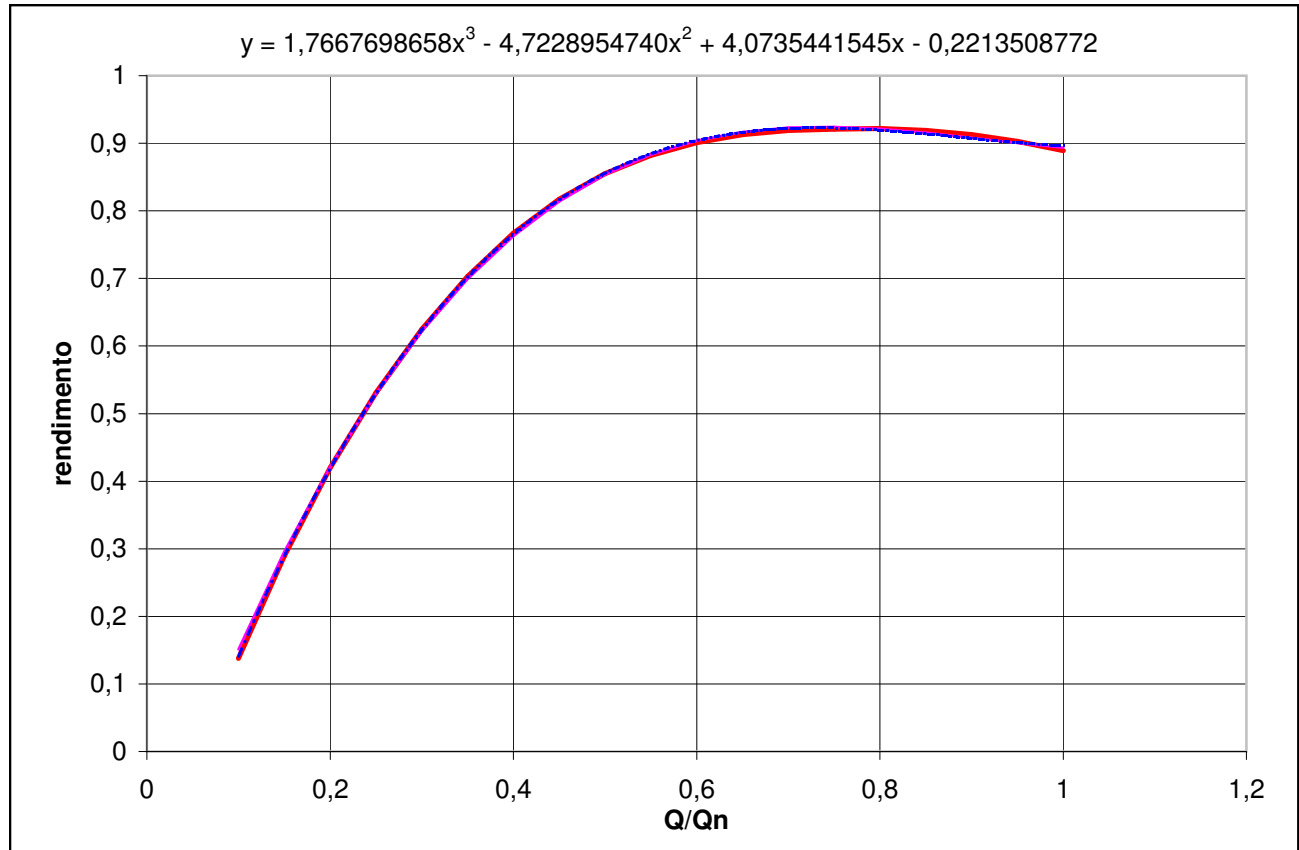
Tariffa CV primi 15 anni	90 €/MWh
Tariffa vendita energia	90 €/MWh
Ricavo annuo da vendita energia	2818,59 k€

Qnominale	VAN
5	36621
5,5	38402
6	39441
6,5	40204
7	40341
7,5	40419
8	40420
8,5	40345
9	40208
9,5	39927
10	39391
10,5	38709
11	37714



Calcolo della funzione che dato Q/Qn approssima il rendimento della turbina

Q/Qn	rendimento turbina	rendimento calcolato con la funzione polinomiale
0	0	0
0,05	0	0
0,1	0,138	0,151326767
0,15	0,289	0,295669938
0,2	0,42	0,421431256
0,25	0,531	0,529820148
0,3	0,625	0,622046038
0,35	0,703	0,699318352
0,4	0,767	0,762846514
0,45	0,817	0,813839949
0,5	0,855	0,853508082
0,55	0,882	0,883060339
0,6	0,901	0,903706144
0,65	0,913	0,916654922
0,7	0,919	0,923116098
0,75	0,921	0,924299097
0,8	0,922	0,921413345
0,85	0,919	0,915668265
0,9	0,913	0,908273284
0,95	0,903	0,900437826
1	0,889	0,893371316



Calcolo energia

Q disponibile m ³ /s	Qdisp-DMV m ³ /s	Qimpianto m ³ /s	numero settimane	n ore	v m/s	Perdite di carico totali (Y) m	ηC	Q/Qn	ηT	ηO	Potenza elettrica netta kW	Energia elettrica netta kWh
1	0,36	0,36	0	0	0,09	0,0007	0,99999	0,04	-0,050	97,00%	-15,11	0
2	1,36	1,36	4	672	0,34	0,0104	0,99988	0,17	0,342	97,00%	396,56	266491,4
3	2,36	2,36	12	2016	0,59	0,0314	0,99965	0,29	0,614	97,00%	1237,23	2494257,69
4	3,36	3,36	5	840	0,84	0,0636	0,99929	0,42	0,787	97,00%	2258,83	1897418,11
5	4,36	4,36	1	168	1,09	0,1072	0,99881	0,54	0,882	97,00%	3284,3	551762,66
6	5,36	5,36	10	1680	1,34	0,1621	0,99820	0,67	0,919	97,00%	4207,67	7068887,93
7	6,36	6,36	8	1344	1,59	0,2284	0,99746	0,79	0,920	97,00%	4994,02	6711966,71
8	7,36	7,36	0	0	1,84	0,3059	0,99660	0,92	0,905	97,00%	5679,32	0
9	8,36	8	0	0	2	0,3619	0,99598	1	0,896	97,00%	6114,55	0
10	9,36	8	3	504	2	0,3619	0,99598	1	0,896	97,00%	6114,55	3081731,97
11	10,36	8	4	672	2	0,3619	0,99598	1	0,896	97,00%	6114,55	4108975,96
12	11,36	8	1	168	2	0,3619	0,99598	1	0,896	97,00%	6114,55	1027243,99
13	12,36	8	0	0	2	0,3619	0,99598	1	0,896	97,00%	6114,55	0
14	13,36	8	0	0	2	0,3619	0,99598	1	0,896	97,00%	6114,55	0
15	14,36	8	1	168	2	0,3619	0,99598	1	0,896	97,00%	6114,55	1027243,99
16	15,36	8	2	336	2	0,3619	0,99598	1	0,896	97,00%	6114,55	2054487,98
17	16,36	8	1	168	2	0,3619	0,99598	1	0,896	97,00%	6114,55	1027243,99
Somma:			52	8736								31317712,4

Flussi di cassa

anno	Rata mutuo	Costi fissi	Ricavi	R-C	VAN
	k€	k€	k€	k€	k€
0	2517,32	466,17	5637,19	2653,69	2653,69
1	2386,80	466,17	5637,19	2784,22	2577,98
2	2256,27	466,17	5637,19	2914,75	2498,93
3	2125,74	466,17	5637,19	3045,28	2417,44
4	1995,21	466,17	5637,19	3175,8	2334,31
5	1864,68	466,17	5637,19	3306,33	2250,23
6		466,17	5637,19	5171,02	3258,62
7		466,17	5637,19	5171,02	3017,24
8		466,17	5637,19	5171,02	2793,74
9		466,17	5637,19	5171,02	2586,8
10		466,17	5637,19	5171,02	2395,18
11		466,17	5637,19	5171,02	2217,76
12		466,17	5637,19	5171,02	2053,48
13		466,17	5637,19	5171,02	1901,37
14		466,17	5637,19	5171,02	1760,53
15		466,17	2818,59	2352,42	741,58
16		466,17	2818,59	2352,42	686,65
17		466,17	2818,59	2352,42	635,79
18		466,17	2818,59	2352,42	588,69
19		466,17	2818,59	2352,42	545,08
20		466,17	2818,59	2352,42	504,71
Somma:	13146,03				40419,81

© www.ingdemurtas.it