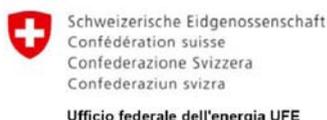


SUPSI

Le micro-centrali idroelettriche

Michela Conti
Dipl. ing. rurale ETHZ
Studio Ingegneria Sciarini SA



05/05/2011

SUPSI DACD / ISAAC / Le micro-centrali idroelettriche

2

Impianti idroelettrici negli acquedotti

Contenuto

- Concetti di adduzione dell'acqua dalle captazioni ai serbatoi
- Condotte in pressione
- Recupero energetico: potenza e energia prodotta
- Investimento e costo annuo
- Prezzo di ripresa dell'energia e ricavo medio annuo
- Redditività dell'impianto
- Aspetti costruttivi
- Contributi e documentazione
- Procedure autorizzative
- Certificazione dell'energia
- Esempio di calcolo

05/05/2011

Concetti di adduzione dell'acqua dalle captazioni ai serbatoi

Per il trasporto dell'acqua dalle captazioni alte (sorgenti) al serbatoio principale si considerano, di regola, i seguenti concetti di adduzione:

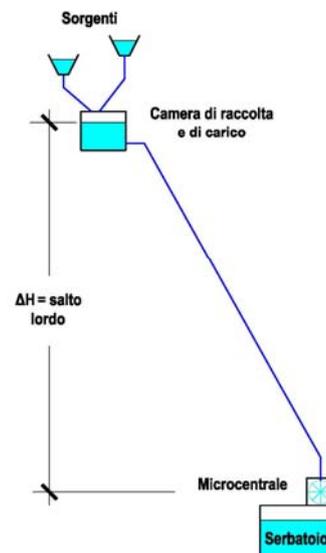
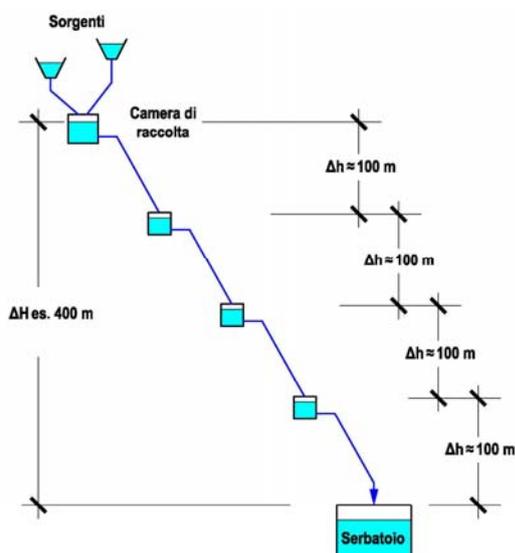
- condotta di adduzione a pelo libero e camere di dissipazione (rottura) dell'energia,
- condotta di adduzione in pressione, con eventuale recupero energetico (microcentrale al serbatoio):

- ⇒ condizioni minime per un'analisi di fattibilità:
- salto di almeno 80 - 100 m
 - portata media annua di almeno ca. 3 - 5 l/s

05/05/2011

Concetti di adduzione dell'acqua dalle captazioni ai serbatoi

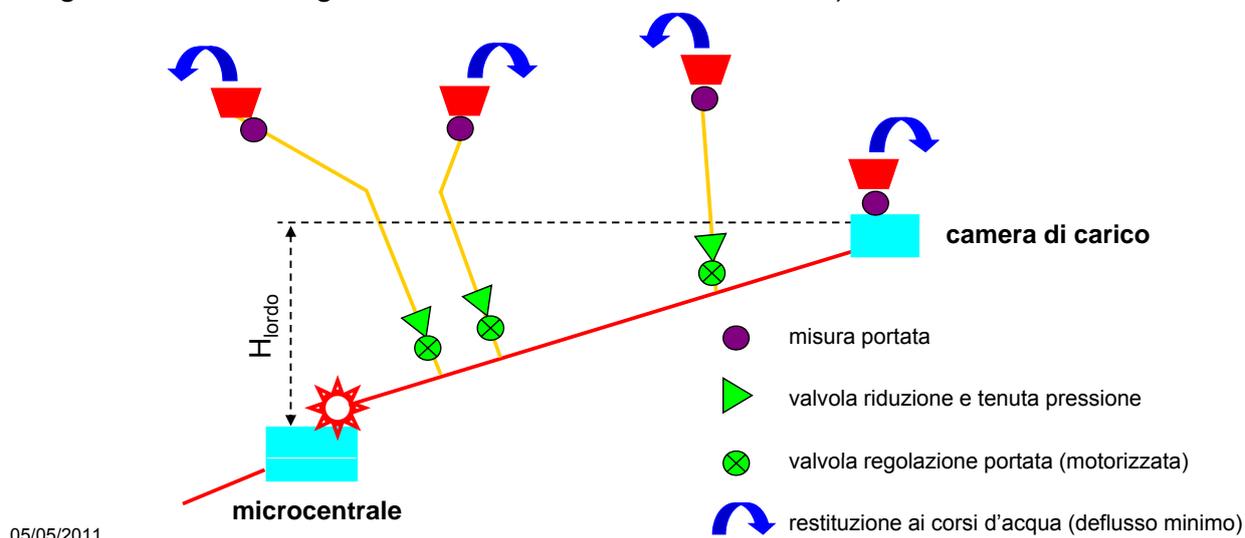
- Adduzione con condotta a pelo libero e camere di rottura
- Adduzione con condotta in pressione e microcentrale



05/05/2011

Concetti di adduzione dell'acqua dalle captazioni ai serbatoi

Adduzione con condotte in pressione e rilascio di una parte dell'acqua (eccedenza non necessaria all'approvvigionamento idrico) direttamente ai punti di captazione (concetto da applicare soprattutto in caso di nuove captazioni sorgive e relative esigenze ambientali – LPAc Art. 29-32)

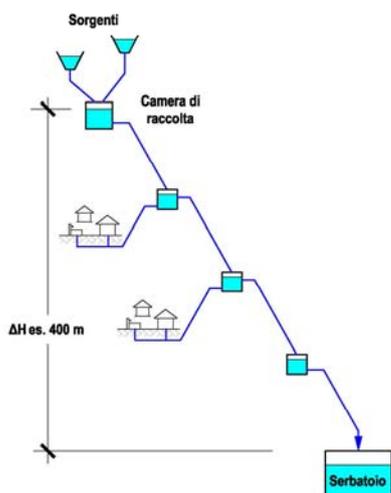


05/05/2011

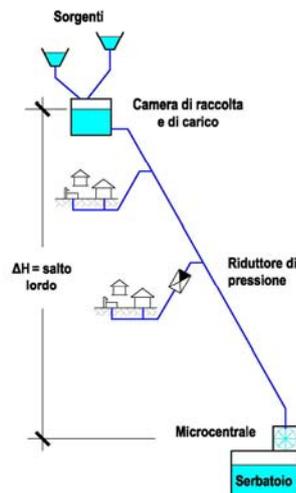
Concetti di adduzione dell'acqua dalle captazioni ai serbatoi

Nel caso di dover distribuire acqua a utenze intermedie (es. zona di Monti), i concetti possono essere i seguenti:

- Adduzione con condotta a pelo libero e camere di rottura
- Adduzione con condotta in pressione e microcentrale

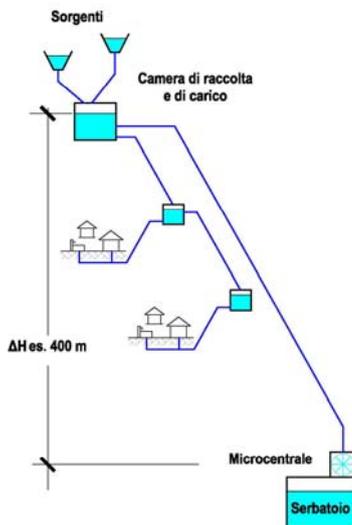


05/05/2011

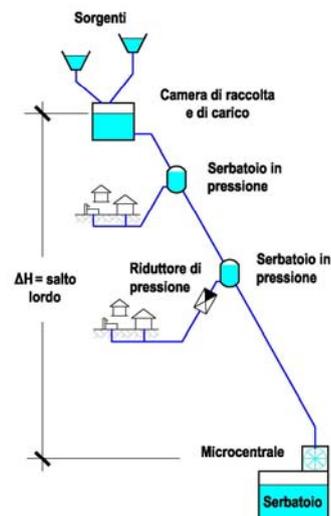


Concetti di adduzione dell'acqua dalle captazioni ai serbatoi

- Adduzione con condotta in pressione, microcentrale e condotta a pelo libero con camere di rottura
- Adduzione con condotta in pressione, microcentrale e serbatoi intermedi in pressione



05/05/2011



Condotte in pressione

Materiali:

- per pressioni sino a 10 bar:
PE PN 10 (ev. Ghisa PUR o con altri rivestimenti interni)
- per pressioni sino a 16 bar:
PE PN 16 (ev. Ghisa PUR o con altri rivestimenti interni)
- per pressioni > 16 bar:
Ghisa PUR (o con altri rivestimenti interni) PN 25, PN 40, PN 64

05/05/2011

Condotte in pressione

Esempio tubo Ghisa con rivestimento PUR



05/05/2011

Condotte in pressione

Esempio tubo Ghisa ECOPUR con guaina esterna di protezione



05/05/2011

Condotte in pressione

Giunti:

- Tubi in polietilene (PE)

Giunto elettrosaldato



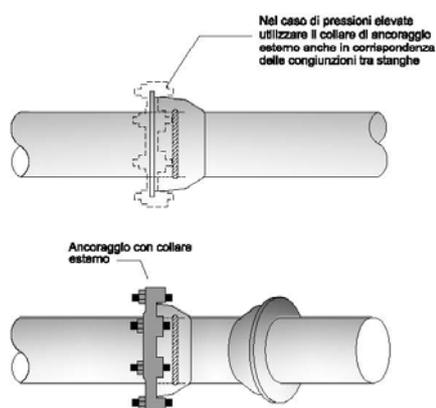
05/05/2011

Condotte in pressione

Giunti:

- Tubi in Ghisa

Innesto autostagno

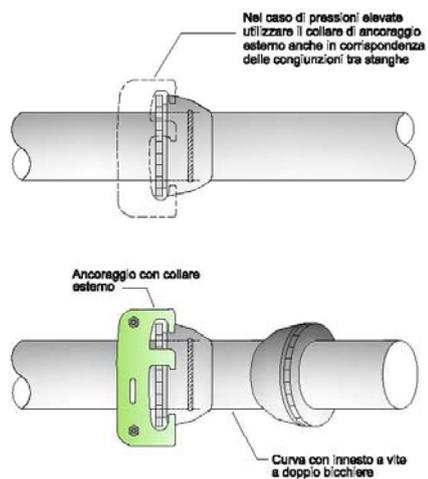


05/05/2011

Condotte in pressione

Giunti:

- Tubi in Ghisa



Innesto a vite



05/05/2011

Condotte in pressione

Bloccaggi supplementari:

esempio



05/05/2011

Recupero energetico: potenza e energia prodotta

- **Potenza idraulica**

$$P_{hydr} (W) = \rho * H * Q * g$$

dove:

ρ densità dell'acqua (1'000 kg/m³)

H salto (m)

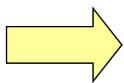
Q portata (m³/s)

g accelerazione di gravità (9.81 m/s²)

r rendimento impianto (-)

- **Potenza elettrica**

$$P (W) = \rho * H * Q * g * r$$



Formula pratica di calcolo:

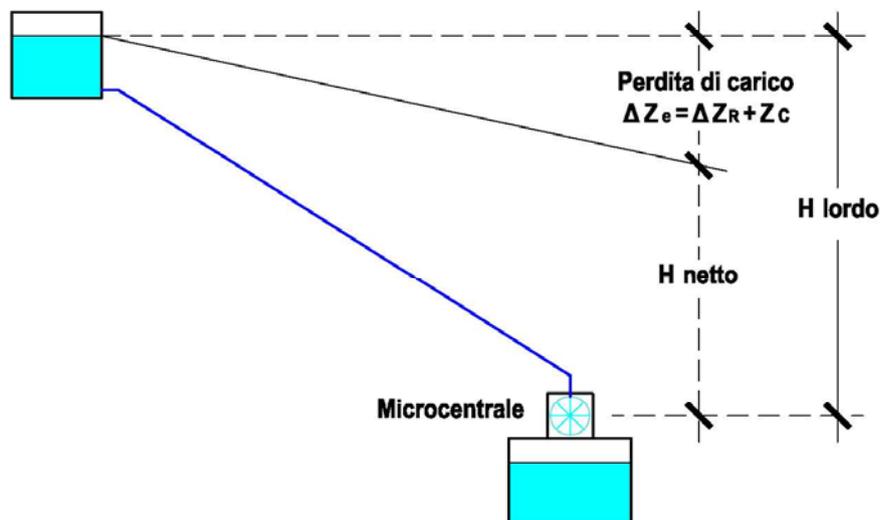
$$P (kW) = H_{netto} (m) * Q (l/s) * 9.81 * r / 1000$$

con $r \cong 0.70 \div 0.80$ (rendimento turbina + generatore)

05/05/2011

Recupero energetico: potenza e energia prodotta

- **Salto netto**



05/05/2011

Recupero energetico: potenza e energia prodotta

• Salto netto

ΔZ_e = perdite di carico (m) = perdite di attrito ΔZ_R + perdite concentrate ΔZ_C

$$\Delta Z_R = (2 * g * L) / (k^2 * R^{4/3}) * v^2 / (2 * g) = (L * v^2) / (k^2 * R^{4/3})$$

L	lunghezza condotta	(m)	
k	scabrezza Strickler	(m ^{1/3} /s)	
v	velocità	(m/s)	v = Q/A
A	sezione	(m ²)	
R	raggio idraulico	(m)	R = D/4 per sezioni circolari con D = diametro (m)
Q	portata	(m ³ /s)	

$\Delta Z_C = \zeta * v^2 / (2 * g)$ con ζ in funzione del tipo di perdita (curva, ecc.)

Stima di massima: $\Delta Z_C \cong 10\%$ di ΔZ_R

05/05/2011

Recupero energetico: potenza e energia prodotta

• Portata turbinata

Portate caratteristiche della fonte:

dalle misurazioni del gettito delle sorgenti sull'arco di diversi anni (svolte di regola dalle AAP ai fini dell'approvvigionamento idrico), si definiscono i seguenti valori caratteristici:

Q_{min}	portata minima	(l/s)
Q_{med}	portata media	(l/s)
Q_{max}	portata massima	(l/s)

Frequenza delle misurazioni: più lungo è il periodo in cui si svolgono le misurazioni di portata e maggiore è la frequenza delle misure in tale periodo, migliore sarà l'attendibilità e la precisione delle portate caratteristiche risultanti.

Di regola si ritiene rappresentativa una campagna di misura sull'arco di almeno 1 anno, con una frequenza minima di misurazioni ogni mese (anno idrologico).

La portata misurata è da correlare con la situazione pluviometrica che si verifica nei mesi prima e durante il periodo di misura. È importante che nel periodo di misura si presentino situazioni sia di scarsità d'acqua (mesi secchi), sia di abbondanza (mesi piovosi).

05/05/2011

Recupero energetico: potenza e energia prodotta

- **Portata turbinata**

Portate turbinate:

Q_{\min}	portata minima	(l/s)
Q_{med}	portata media	(l/s)
Q_{nom}	portata nominale	(l/s)

dove:

Q_{nom} é la portata nominale (di dimensionamento) dell'impianto turbina/generatore.

Di regola $Q_{\text{nom}} < Q_{\text{max}}$ (es. $Q_{\text{nom}} = 90\%$ di Q_{max})

Il dimensionamento della microcentrale (portata di dimensionamento) deve tenere conto innanzi tutto delle esigenze legate all'approvvigionamento idrico. Pertanto é sempre da garantire l'afflusso al serbatoio della portata minima e media delle sorgenti, ma non necessariamente della portata massima. La scelta della portata massima turbinata (portata nominale) dipende anche dal rapporto tra i costi d'investimento e l'energia prodotta sull'arco dell'anno, tenuto conto dei costi d'installazione della macchina, di posa della condotta di adduzione (scelta del diametro), ecc.

05/05/2011

Recupero energetico: potenza e energia prodotta

- **Potenza nominale**

$$P_{\text{nom}} \text{ (kW)} = H_{\text{netto}} \text{ (m)} * Q_{\text{nom}} \text{ (l/s)} * 9.81 * r / 1000$$

- **Potenza media e energia prodotta**

$$P_{\text{med}} \text{ (kW)} = H_{\text{netto}} \text{ (m)} * Q_{\text{med}} \text{ (l/s)} * 9.81 * r / 1000$$

$$\begin{aligned} E \text{ (kWh/anno)} &= P_{\text{med}} \text{ (kW)} * 24 \text{ h/g} * 365 \text{ g/anno} \\ &= P_{\text{med}} \text{ (kW)} * 8760 \text{ h/anno} \end{aligned}$$

05/05/2011

Investimento e costo annuo

- **Investimento (fr.) per:**
 - **opere di genio civile** (sostituzione condotte, costruzione edificio per alloggio della microcentrale, armature idrauliche, ecc.)
 - **opere elettromeccaniche** (turbina e generatore, valvole di regolazione, quadro comando, allacciamento elettrico, ecc.)

 **investimento totale**

05/05/2011

Investimento e costo annuo

- **Investimento (fr.): ordine di grandezza dei costi**

Opere di genio civile			
Sostituzione condotte (DN 100 ÷ 300 mm)	500 ÷ 1'000	fr./ml	in dipendenza del diametro, del materiale, del sedime di posa (versante montano, terreno accessibile, su strada, ecc.)
Posa portacavi allacciamento elettrico, telegestione (DN 60 ÷ 120 mm)	100 ÷ 300	fr./ml	in dipendenza se parallelamente a posa di condotte, ecc.
Manufatto di alloggio microcentrale	300'000 ÷ 500'000	fr.	nuovo manufatto (es. annesso a serbatoio)
	80'000 ÷ 200'000	fr.	ristrutturazione serbatoio esistente
Armature idrauliche (raccordi, by-pass, ecc.)	50'000 ÷ 100'000	fr.	
Opere elettromeccaniche			
Turbina-generatore, quadro comando (10 ÷ 200 kW)	80'000 ÷ 250'000	fr.	in dipendenza della potenza, del rapporto salto/portata, del no. ugelli, ecc.
Impianto di trasmissione camera carico - micro	10'000 ÷ 20'000	fr.	in dipendenza se fibra ottica, radio-modem, ecc.

05/05/2011

Investimento e costo annuo

- **Costo annuo (fr./anno):**

1) Costo annuo dell'investimento, secondo l'annualità

$$\text{Costo annuo} = C / (1 - (1 + i/100)^{-a}) * (i/100)$$

dove:

C investimento (fr.)
i tasso d'interesse (%)
a anni di ammortamento (anni)

con:

i = 5%
a = 50 anni per opere di genio civile e
25 anni per opere elettromeccaniche

2) Costo annuo per esercizio e manutenzione

ca. 2'000 fr./anno per piccoli impianti sino a ca. 200 kW

05/05/2011

Prezzo di ripresa dell'energia e ricavo medio annuo

- **Ordinanza sull'Approvvigionamento Elettrico del 14 marzo 2008**

- le società locali di distribuzione dell'energia elettrica sono tenute a riprendere e immettere in rete l'energia prodotta dalle microcentrali;
- il prezzo di vendita dell'energia é definito da Swissgrid sulla base di una remunerazione di base dipendente dalla classe di prestazione dell'impianto (potenza equivalente erogata) e da altri bonus (bonus di pressione e bonus per le opere idrauliche);
- la remunerazione é in ogni caso inferiore a 0.35 fr./kWh ed é garantita per un periodo di 25 anni;
- al termine di tale periodo l'energia prodotta dell'impianto potrà essere venduta al prezzo di mercato.

05/05/2011

Prezzo di ripresa dell'energia e ricavo medio annuo

Bonus in base alla classe di potenza

P [kW]	≤ 10	≤ 50	≤ 300	≤ 1000	≤ 10000
R $\left[\frac{fr}{kWh} \right]$	0.260	0.200	0.145	0.110	0.075

Esempio

$$E = 500000 \frac{kWh}{anno} \quad T = 24 \frac{h}{g} \times 365 \frac{g}{anno} = 8760 \frac{h}{anno}$$

$$P = \frac{500000 \frac{kWh}{anno}}{8760 \frac{h}{anno}} = 57 \text{ kW} \quad R = \frac{10 \text{ kW} \times 0.260 \frac{fr}{kWh} + 40 \text{ kW} \times 0.200 \frac{fr}{kWh} + 7 \text{ kW} \times 0.145 \frac{fr}{kWh}}{57 \text{ kW}} = 0.204 \frac{fr}{kWh}$$

05/05/2011

Prezzo di ripresa dell'energia e ricavo medio annuo

Bonus in base alla classe di pressione

H [m]	≤ 5	≤ 10	≤ 20	≤ 50	> 50
R $\left[\frac{fr}{kWh} \right]$	0.045	0.027	0.020	0.015	0.010

Esempio

$$H = 25 \text{ m} \quad R = \frac{5 \text{ m} \times 0.045 \frac{fr}{kWh} + 5 \text{ m} \times 0.027 \frac{fr}{kWh} + 10 \text{ m} \times 0.020 \frac{fr}{kWh} + 5 \text{ m} \times 0.015 \frac{fr}{kWh}}{25 \text{ m}} = 0.025 \frac{fr}{kWh}$$

05/05/2011

Prezzo di ripresa dell'energia e ricavo medio annuo

Se il costo per le opere idrauliche (es. sostituzione condotta) corrisponde almeno al 20% dell'investimento totale, viene attribuito un ulteriore bonus:

Bonus per le opere idrauliche in base alla classe di potenza

P [kW]	≤ 10	≤ 50	≤ 300	> 300
R $\left[\frac{fr}{kWh} \right]$	0.055	0.040	0.030	0.025

Esempio

$$E = 500000 \frac{kWh}{anno} \quad T = 24 \frac{h}{g} \times 365 \frac{g}{anno} = 8760 \frac{h}{anno}$$

$$P = \frac{500000 \frac{kWh}{anno}}{8760 \frac{h}{anno}} = 57 kW \quad R = \frac{10 kW \times 0.055 \frac{fr}{kWh} + 40 kW \times 0.040 \frac{fr}{kWh} + 7 kW \times 0.030 \frac{fr}{kWh}}{57 kW} = 0.041 \frac{fr}{kWh}$$

05/05/2011

Prezzo di ripresa dell'energia e ricavo medio annuo

Remunerazione totale = bonus in base alla classe di potenza
 +
 bonus in base alla classe di pressione
 +
 bonus per opere idrauliche

Esempio

$$R = 0.204 \frac{fr}{kWh} + 0.025 \frac{fr}{kWh} + 0.041 \frac{fr}{kWh} = 0.27 \frac{fr}{kWh}$$

05/05/2011

Prezzo di ripresa dell'energia e ricavo medio annuo

- **Ricavo medio annuo**

Risulta dalla produzione media annua di energia moltiplicata per il prezzo di ripresa dell'energia:

$$\text{Ricavo (fr./anno)} = E \text{ (kWh/anno)} * R \text{ (fr./kWh)}$$

05/05/2011

Redditività dell'impianto

Confronto tra il costo annuo per l'investimento e la manutenzione ed il ricavo medio annuo

Costo < Ricavo	impianto redditizio (utile annuo)
Costo ≥ Ricavo	impianto non redditizio (perdita annua)

Osservazione: nel caso in cui la condotta di adduzione esistente sia da sostituire per vetustà e usura (cattivo stato, perdite, ecc.) indipendentemente dal recupero energetico, considerare nella valutazione della redditività solo il maggior costo per il recupero energetico.

05/05/2011

Aspetti costruttivi



Turbina Pelton ad asse verticale

Generalmente turbina tipo Pelton (accoppiata al generatore, ad asse verticale o orizzontale)



05/05/2011

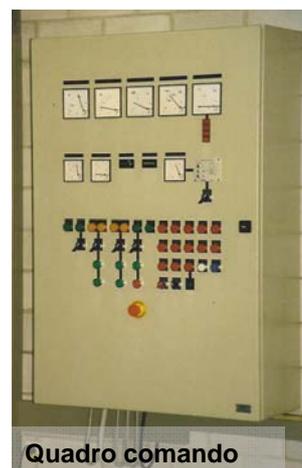
Aspetti costruttivi

La regolazione della portata d'acqua turbinata avviene tramite il grado di apertura dello spillo all'entrata nella girante, in funzione del livello dell'acqua nella camera di carico a monte.

In pratica il grado di apertura dello spillo é regolato automaticamente, per il mantenimento nella camera di carico di un livello +/- costante.



Turbina Pelton ad asse orizzontale



Quadro comando

05/05/2011

Aspetti costruttivi

In caso di arresto della turbina un sistema by-pass garantisce l'afflusso d'acqua nel serbatoio.

- By-pass: tipologie



riduttore di pressione con tenuta di pressione

valvola motorizzata apri / chiudi (es. a farfalla)

05/05/2011

Aspetti costruttivi

- By-pass: tipologie



valvola motorizzata (a pistone o a stantuffo) di riduzione della pressione e di regolazione della portata (regolazione del grado di apertura in funzione del livello a monte)

05/05/2011

Aspetti costruttivi

Da poco tempo il mercato offre impianti che permettono di mantenere in uscita dalla turbina ancora un minimo di pressione (necessaria, ad esempio, per il funzionamento di impianti di trattamento dell'acqua, esempio impianti di filtrazione).

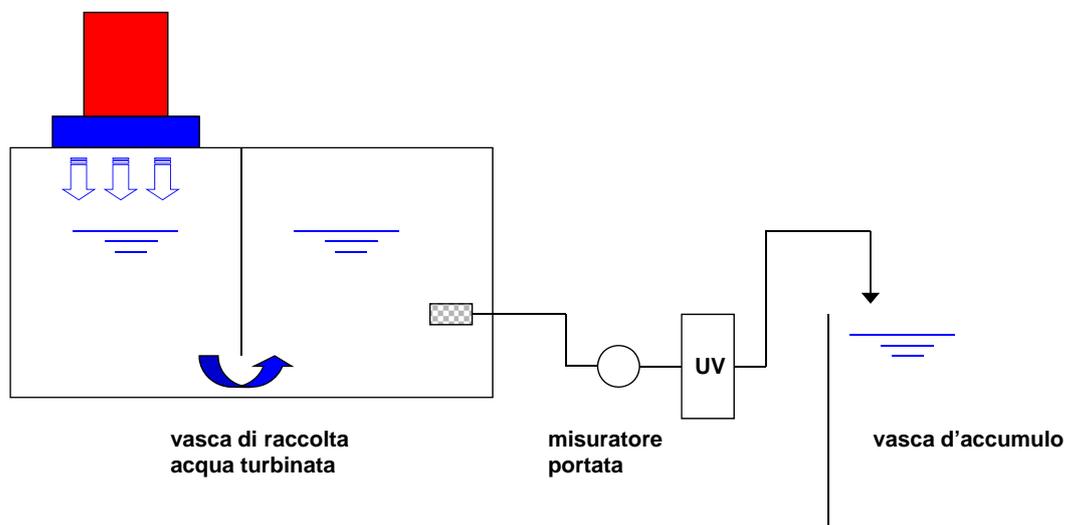
Questo sistema può essere realizzato sia con turbine tipo Pelton, sia con l'utilizzo di pompe inverse, alle quali è accoppiato il generatore.



05/05/2011

Aspetti costruttivi

- Calmare l'acqua e eliminare l'aria dopo la turbina: ad esempio nel caso di dover far defluire l'acqua in impianti di potabilizzazione a raggi UV prima dell'immissione nella vasca d'accumulo del serbatoio



05/05/2011

Aspetti costruttivi

- Possibili temperature elevate nei locali di manovra a seguito della presenza della turbina (con conseguenti problemi di formazione di acqua di condensa sulle armature idrauliche e sugli apparecchi elettronici, problemi di protezione dei quadri elettrici, ecc.)

⇒ ev. deumidificatore
o ventilatore / climatizzatore



05/05/2011

Aspetti costruttivi

- Rumore generato dalla turbina, con possibile disturbo nella zona circostante il serbatoio (soprattutto in presenza di case).

Esempio:

per una microcentrale di potenza ca. 40 kW sono stati misurati all'interno del locale 80÷90 dB, mentre all'esterno del locale (non isolato fonicamente) sono stati misurati 45÷50 dB, quindi ancora percepibili e possibile fonte di disturbo.

⇒ isolamento fonico della porta di accesso al locale, in modo tale da assorbire almeno ca. 60 dB.

05/05/2011

Contributi e documentazione

- SvizzeraEnergia – Programma piccole centrali idroelettriche:
 - contributi per studi di fattibilità
richiesta a: Programm Kleinwasserkraftwerke, c/o entec ag,
St. Leonhardstrasse 59, 9000 St. Gallen, pl@smallhydro.ch
www.bfe.admin.ch/kleinwasserkraft
 - documentazione e pubblicazioni, in particolare:
 - Handbuch Kleinwasserkraftwerke (versione tedesca 2011)
 - Newsletter
 - pubblicazioni PACER (es. “Piccole centrali idrauliche”)
 - pubblicazioni DIANE (es. “Pico - Kraftwerke”)

05/05/2011

Procedure autorizzative

- Concessione cantonale (LUA: legge sull'utilizzazione delle acque):
 - la realizzazione di impianti integrati nelle reti esistenti di adduzione dell'acqua potabile NON necessita alcuna concessione cantonale;
 - in caso di captazione di nuove sorgenti ai fini dell'approvvigionamento in acqua potabile e con integrazione del recupero energetico è richiesta la concessione cantonale (se la portata media della sorgente è almeno di 200-300 l/min):
 - rilasciata dal Consiglio di Stato per impianti di potenza lorda inferiore a 220 kW
 - rilasciata dal Gran Consiglio per impianti sopra i 220 kW.
- Approvazione ESTI (Ispettorato federale degli impianti a corrente forte):
 - il progetto di realizzazione di una microcentrale deve essere notificato all'ESTI (cfr. sito e formulari in www.esti.admin.ch);
 - di regola la notifica è svolta dal fornitore della turbina e del quadro di comando.

05/05/2011

Certificazione dell'energia

- Certificazione per energia prodotta da fonti rinnovabili

Esempio: certificato TÜV Management Service GmbH (Monaco)

- certifica, mediante verifica dell'impianto e audit, che l'impianto soddisfa i requisiti per produrre energia elettrica da fonti rinnovabili secondo le direttive europee;
- la validità del certificato viene verificata annualmente.

05/05/2011

Esempio di calcolo

Basi di progetto:

- captazioni e camera di raccolta in alto ancora in buono stato
- necessità di sostituzione della condotta di adduzione esistente
- lunghezza condotta 600 ml
- portata sorgenti captate

Q_{\min}	6	l/s
Q_{med}	12	l/s
Q_{\max}	22	l/s
- salto lordo H_{lordo} 300 m

05/05/2011

Esempio di calcolo

Dimensionamento preliminare:

- portata nominale Q_{nom} **20** l/s (portata massima turbinata)
- diametro condotta DN 125 mm
A 0.0123 m² (sezione del tubo)
- materiale condotta PE PN10 Ø140 / PE PN16 Ø160 / Ghisa PN25 e PN40 Ø125
- scabrezza k_{Str} 100 m^{1/3}/s
- velocità con

Q_{min}	$v \cong$	0.5	m/s
Q_{med}	$v \cong$	1.0	m/s
Q_{nom}	$v \cong$	1.6	m/s

05/05/2011

Esempio di calcolo

Salto netto:

- | | |
|---|--|
| ▪ ΔZ_R con Q_{med} = 6.1 m | ▪ ΔZ_R con Q_{nom} = 15.6 m |
| ▪ ΔZ_C con Q_{med} = 0.6 m (stima) | ▪ ΔZ_C con Q_{nom} = 1.6 m |
| ➤ H_{netto} con Q_{med} = 293 m | ➤ H_{netto} con Q_{nom} = 283 m |

05/05/2011

Esempio di calcolo

Assunto $r = 0.7$

Potenza media:

$$P_{\text{med}} = 24 \text{ kW}$$

Potenza nominale:

$$P_{\text{nom}} = 39 \text{ kW}$$

Energia prodotta:

$$E = 210'000 \text{ kWh/anno}$$

05/05/2011

Esempio di calcolo

Investimento complessivo:

opere genio civile:

- condotta in pressione e camera di carico fr. 500'000.-
- alloggio microcentrale e armature idrauliche fr. 300'000.-

totale opere genio civile: fr. 800'000.-

totale opere elettromeccaniche: fr. 250'000.-

05/05/2011

Esempio di calcolo

Costo annuo:

• opere genio civile:	fr./anno	43'800.-
• opere elettromeccaniche:	fr./anno	17'700.-
totale costo annuo per investimento:	fr./anno	61'500.-
• costo annuo per manutenzione:	fr./anno	2'000.-
totale costo annuo:	fr./anno	63'500.-

05/05/2011

Esempio di calcolo

Investimento per condotta a pelo libero e camere rottura:

opere genio civile:

• condotta a pelo libero	fr.	370'000.-
• due camere di rottura	fr.	50'000.-
totale opere genio civile:	fr.	420'000.-

05/05/2011

Esempio di calcolo

Costo annuo per condotta a pelo libero:

• costo annuo per investimento:	fr./anno	23'000.-
• costo annuo per manutenzione:	fr./anno	4'000.-
totale costo annuo:	fr./anno	27'000.-

Maggior costo per recupero energetico fr./anno **36'500.-**

05/05/2011

Esempio di calcolo

Prezzo di ripresa dell'energia secondo l'Ordinanza sull'approvvigionamento elettrico del 14 marzo 2008:

• remunerazione di base (potenza):	22.50	cts./kWh
• bonus di dislivello (pressione):	1.17	cts./kWh
• bonus per le opere idrauliche:	4.63	cts./kWh
totale	28.30	cts./kWh

05/05/2011

Esempio di calcolo

Ricavo medio annuo: fr./anno **59'400.-**

Redditività: utile annuo fr./anno **22'900.-**

In questo caso l'utile risultante dal recupero energetico copre in gran parte il costo che sarebbe comunque necessario per la sostituzione della condotta.

In altre parole il costo rimanente a carico del proprietario dell'opera sarebbe pari a 4'100 fr./anno, al posto di 27'000.- fr./anno che risulterebbero nel caso di sostituzione della condotta senza recupero energetico.