

**APPENDICE B: ASPETTI TECNICI RELATIVI  
ALLA PRODUZIONE IDROELETTRICA  
DA RETI ACQUEDOTTISTICHE**

## **B.1. INTRODUZIONE**

Ogni volta che lungo una condotta di adduzione è presente un carico piezometrico residuo, dissipato in normali condizioni di utilizzo tramite una valvola dissipatrice, è possibile in via teorica installare una turbina e quindi sfruttare la perdita di carico come salto utile al fine di produrre energia.

Allo stato attuale l'installazione di una turbina in asse ad una condotta di adduzione non presenta particolari difficoltà. Impianti idroelettrici del tipo di quelli qui considerati sono già stati realizzati e discretamente diffusi in altri Stati. La tecnologia per realizzarli è ormai consolidata ed è tale da garantire innanzitutto il mantenimento delle caratteristiche qualitative dell'acqua trattata necessarie per l'uso idropotabile. L'impianto realizzato non va quindi a pregiudicare né la quantità né la qualità dell'acqua, garantendo, tramite l'installazione di appositi by-pass ed elementi di attenuazione delle variazioni brusche di pressione, il servizio all'utenza anche in caso di guasti od interventi di manutenzione.

In questo capitolo vengono descritti gli elementi tipici da considerare per la predisposizione di un impianto micro-hydro, prestando particolare attenzione all'apparato di produzione vero e proprio.

## **B.2. PRINCIPALI ELEMENTI COSTITUENTI UN SISTEMA ACQUEDOTTISTICO DI ADDUZIONE**

La condotta sul cui asse sarà installata la turbina fa generalmente parte di un sistema di adduzione, detto anche *acquedotto esterno*. La condotta risulta essere quindi quella principale di collegamento tra il punto di captazione (sorgenti, pozzi,...) ed il nodo di distribuzione verso la rete interna, rappresentato da un nodo effettivo o da un possibile serbatoio di sconnessione.

Gli elementi principali da considerare in un sistema acquedottistico di adduzione risultano quindi essere:

- L'opera di captazione;
- La condotta di adduzione;
- I serbatoi di sconnessione.

### **B.2.1. L'OPERA DI CAPTAZIONE**

Le fonti convenzionali di approvvigionamento idrico sono le acque sotterranee e quelle superficiali, con le prime che si distinguono in acque di sorgente e acque di falda superficiale o profonda, mentre le seconde sono quelle derivanti da prelievi da corsi d'acqua e da laghi.

Dato che l'utilizzo della risorsa prelevata è quello potabile, gli aspetti da valutare nel processo di captazione sono le interazioni con la linea piezometrica, la protezione sanitaria ed anche le limitazioni del trasporto solido e di sabbia e ghiaia. Quest'ultimo fatto, in particolare, risulta essere in accordo con quanto previsto anche per l'utilizzo idroelettrico, in quanto, per garantire una maggiore resa ed una minore usura della turbina, è necessario che l'acqua utilizzata nell'impianto idroelettrico sia il più possibile priva di elementi in sospensione.

L'opera di captazione necessita sempre di una camera di manovra o delle valvole, dove sono ubicati tutti gli organi di comando delle varie tubazioni (valvole, saracinesche di regolazione, deviazioni, intercettazioni ecc.), azionando i quali è possibile, ad esempio, regolare la portata da derivare, aprire lo scarico di fondo ed effettuare delle deviazioni del flusso. Nella camera di manovra trovano inoltre posto i quadri di lettura di tutte le grandezze di interesse quali, per esempio, gli indicatori di livello nelle vasche e i registratori di portata.

Anche nel caso in cui la captazione avvenga da sorgenti è necessario realizzare più vasche di raccolta con lo scopo sia di effettuare il dissabbiamento dell'acqua che di garantire la copertura del nodo di presa (corrispondente all'inizio effettivo della condotta di adduzione), in modo da evitare

l'ingresso di aria nella condotta durante il normale esercizio. Queste vasche, dotate di scarichi di regolazione e di troppo pieno, possono essere eventualmente utilizzate anche come vasche di carico per la condotta vista, però, dal punto di vista dell'utilizzo idroelettrico.

### **B.2.2. LE CONDOTTE DI ADDUZIONE**

La selezione idonea e la corretta messa in opera delle tubazioni è importante in un impianto acquedottistico poiché può definire i parametri più importanti di vita e funzionalità dell'impianto. Nel momento in cui la tubazione è utilizzata anche come condotta forzata per un impianto idroelettrico si deve prestare maggiore attenzione alle sue caratteristiche meccaniche, in quanto potrebbe essere sottoposta a sovraccarichi eccessivi dovuti ai transitori dati dal funzionamento della turbina.

Tra le caratteristiche principali si ricorda innanzitutto il materiale della tubazione, le cui caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche determinano le prestazioni secondo vari aspetti: il grado di rugosità, quindi la scabrezza, del materiale e la sua variazione nel tempo hanno un'influenza notevole sulle perdite di carico in condotta, per la determinazione delle quali si assegnano coefficienti tipici per ogni materiale.

Dalle caratteristiche chimiche del materiale dipende la resistenza della tubazione all'azione aggressiva degli agenti esterni e all'azione esercitata dal liquido in moto. Dalle caratteristiche meccaniche del materiale, quali carico di rottura e di snervamento, moduli di elasticità normale e trasversale, dipende la resistenza della tubazione alle sollecitazioni interne ed esterne; infine la natura del materiale ha grande importanza dal lato igienico.

Dal punto di vista geometrico una caratteristica fondamentale è il diametro interno, molto importante ai fini idraulici, poiché da esso dipendono le velocità e le perdite di carico, quindi anche la portata e le pressioni che si ottengono. Da questo punto di vista si ricorda che le condotte sono caratterizzate da un diametro nominale DN, espresso in millimetri [mm], che normalmente non rappresenta il diametro interno, ma un diametro di riferimento maggiore. In base al costruttore, al tipo di materiale con cui è realizzata la condotta ed in base alle caratteristiche meccaniche che deve garantire, è possibile ottenere dal diametro nominale il diametro interno di calcolo.

Lo spessore delle condotte è importante in quanto da esso dipendono la resistenza della tubazione alle varie sollecitazioni quali pressione interna, peso proprio, carichi esterni dovuti al terreno di rinterro e ai sovraccarichi accidentali, variazioni termiche e azioni sismiche, che influenzano quindi la durata della tubazione stessa. Ai fini della conservazione nel tempo delle

tubazioni, sono di enorme importanza anche le modalità di posa in opera all'interno della trincea di scavo, che giocano un ruolo non trascurabile sulla resistenza delle tubazioni stesse alle sollecitazioni esterne.

I materiali impiegati per le tubazioni d'acquedotto si distinguono essenzialmente in metallici, acciaio e ghisa, cementizi, calcestruzzo armato, calcestruzzo armato precompresso, plastici, come cloruro di polivinile (PVC), polietilene a bassa densità (PEBD) o polietilene ad alta densità (PEAD), polipropilene (PP), polipropilene autoestinguente (PPAE), vetroresina (PRFV), che è costituita da una resina termoindurente rinforzata con fibre di vetro. La scelta del materiale più idoneo della tubazione e del tipo di giunto dipende da vari fattori di natura tecnica, igienica ed economica.

La progettazione, la costruzione e il collaudo delle tubazioni sono regolate in Italia dalla "Normativa tecnica sulle tubazioni", contenuta nel Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 12.12.1985, pubblicata sul n. 61 della GU del 14.3.1986, le cui linee di lettura vengono chiarite nella circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 20 marzo 1986 n. 27291.

Nella Tabella B.2 sono fornite alcune indicazioni sul principale utilizzo, i vantaggi e gli inconvenienti legati alla scelta di un particolare materiale per la realizzazione della condotta.

**Tabella B.1.** Caratteristiche delle condotte in funzione della tipologia di materiale con cui sono realizzate.

<b>Tipo di tubo/materiale</b>	<b>Utilizzo</b>	<b>Vantaggi</b>	<b>Inconvenienti</b>
<b>Ghisa, acciaio</b>	- per tutti i diametri e le pressioni	- robustezza alle sollecitazioni meccaniche esterne - resistenza a pressioni elevate	- costo elevato - peso elevato - soggetto a corrosione se non adeguatamente trattato
<b>Polietilene PEAD</b>	- pressioni nominali fino a 25 bar - economico per i diametri più piccoli (fino a 200 mm).	- si può curvare, è infrangibile; - consegnabile su rulli fino a diametri di circa 100 mm - saldabile	- diametri e pressioni elevati comportano investimenti elevati;
<b>PVC</b>	- pressioni nominali limitate - economico per i diametri piccoli e medi	- peso ridotto - economico	- relativamente fragile e dunque sensibile ai colpi di ariete e alla presenza di pietre (posa onerosa)
<b>Polipropilene PP</b>	da classificare tra PEAD e PVC per ciò che concerne le sue proprietà (è pertanto più caro del PVC e meno sensibile alla temperatura).		
<b>Tubi in resina epossidica rinforzate da fibra di vetro (GUP)</b>	- pressioni da deboli a medie - economici per diametri superiori a 300 mm	- resistenza molto alta per un peso modesto	- oneroso per piccoli diametri (forma poco stabile, posa onerosa)
<b>Fibro cemento</b>	- pressioni medie - diametri a partire da 80 mm	- robustezza rispetto alle sollecitazioni meccaniche	- peso e prezzo elevato

### **B.2.3. SERBATOI**

I serbatoi consentono di assolvere a diverse funzioni, quali quelle di:

- Compenso o di regolazione, nel senso che permettono di avere un regime delle portate in uscita, o deflussi, diverso da quello delle portate in arrivo, o afflussi;
- Sconnessione idraulica, in quanto non essendo in pressione e con la condotta in arrivo che sbocca a pressione atmosferica, permette di stabilizzare, a meno di piccole oscillazioni di livello, la linea dei carichi piezometrici;
- Riserva idrica, perché evitano l'interruzione del deflusso a valle quando la tubazione a monte è fuori servizio per interventi di manutenzione o per rotture, guasti delle apparecchiature, interruzione dell'energia elettrica di alimentazione delle macchine operatrici, pompe o turbine.

Le caratteristiche dei serbatoi degli acquedotti devono essere tali da garantire completa impermeabilità e resistenza nel tempo alle sollecitazioni agenti e inalterabilità nel tempo dei materiali in cui sono realizzati. Si devono prevedere, inoltre, opportune protezioni dall'inquinamento, assicurando il deposito del materiale solido in sospensione, devono essere dotati di apparecchiature di comando, misura e controllo, devono essere realizzati in posizioni facilmente raggiungibili per favorire le operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria, devono essere provvisti di una recinzione per evitare l'accesso di persone non autorizzate o animali, e opportune opere che impediscano l'ingresso di acque superficiali esterne all'interno del serbatoio.

La presenza di serbatoi lungo la condotta di adduzione può favorire la realizzazione dell'impianto idroelettrico: infatti, per impianti di produzione di energia elettrica che sfruttano il lavoro di micro-centraline, la portata di ingresso nelle turbine deve essere in condizioni quanto più stazionarie possibili. Questo impone, data la frequenza delle oscillazioni degli afflussi negli impianti acquedottistici, il posizionamento di uno strumento di regolazione, cioè di una vasca di carico.

La vasca di carico, posta all'inizio della condotta forzata, è costituita da un serbatoio solitamente di modesta capacità che serve da polmone di carico in grado di assorbire le eccedenze di portata creando un vaso di espansione tra la presa e la centrale, evitando conseguenze sugli impianti in caso di brusche variazioni della portata, anche per effetto di manovre sulle valvole. Oltre alla funzione di protezione e regolazione, in quanto opere di accumulo hanno anche la possibilità di rendere immediatamente disponibile un buon quantitativo d'acqua, se richiesto, e minimizzare la probabilità di ingresso di aria in condotta.

Ciò detto, è possibile constatare come si possa utilizzare un serbatoio già presente nel sistema acquedottistico per scopi idroelettrici.

#### **B.2.4. DISPOSIZIONE DELLE TURBINE**

Supponendo di avere a disposizione una risorsa idrica tale da poter alimentare in modo corretto l'impianto in progetto, resta da definire la posizione in cui installare la turbina nella rete acquedottistica. Oltre a dover rispettare un criterio base che è quello dell'accessibilità del sito in cui è installata la turbina, la sua posizione dipende dal profilo plano-altimetrico e dal tipo di restituzione, a pelo libero od in pressione.

Nei casi in cui sia presente una vera e propria rete di adduzione, ovvero quando sia presente un bacino di compensazione o siano presenti diversi serbatoi in serie, è possibile l'installazione delle turbine lungo le condotte di raccordo di tali serbatoi. In queste situazioni è invalso l'uso delle cosiddette pompe inverse, PATS (Pumps As TurbineS), la cui installazione è possibile già a partire da un salto pari a 20 m.

Un'altra possibilità consiste nell'utilizzare la differenza di carico tra zone a pressione diversa laddove siano presenti reti distributive distinte. Anche in queste situazioni, nei casi già realizzati, si è preferito l'uso di pompe inverse.

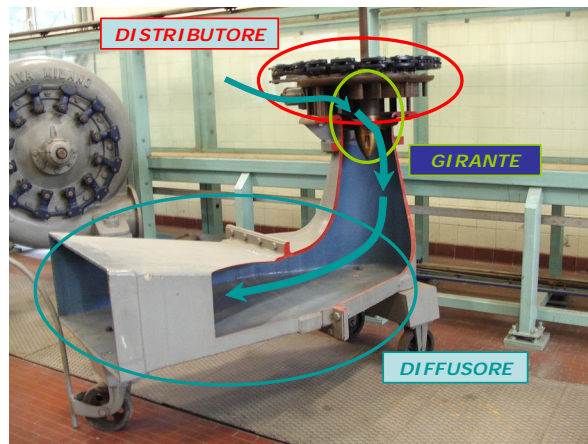
Un ultimo possibile caso riguarda l'installazione di turbine nei punti più depressi della rete di distribuzione e la derivazione dell'acqua sfiorata dai serbatoi. Una simile installazione si trova in Svizzera nel territorio di Engadina: il comune di Sent capta l'acqua potabile dal versante opposto conducendola fino all'Inn al fondo della valle omonima e riportandola verso un altro serbatoio. Nel punto più basso, appena prima della traversata dell'Inn, l'acqua in eccesso viene turbinata. In questo tipo di configurazione è fondamentale effettuare indagini a lungo termine sull'entità della portata di troppo pieno.

### B.3. LE MACCHINE IDRAULICHE

La componente fondamentale di un impianto idroelettrico è il complesso dei gruppi di produzione di energia, le relative apparecchiature di protezione, comando e controllo, nonché i servizi ausiliari. Questi vengono posizionati in piccoli fabbricati che possono essere realizzati all'aperto con struttura sopra terra, seminterrata o anche sotterranea. L'acqua viene convogliata su una o più turbine, ciascuna delle quali è accoppiata ad un alternatore che trasforma il movimento di rotazione da energia meccanica in energia elettrica.

Una turbina idraulica è una macchina motrice che consente di trasformare l'energia potenziale dell'acqua in energia meccanica. Pur esistendo diverse tipologie di turbine, queste, da un punto di vista generale sono sempre composte da (Figura B.1):

- *Organo fisso - distributore* - con la funzione meccanica di indirizzo e regolazione della portata in arrivo alla girante e la funzione idraulica di trasformazione dell'energia potenziale dell'acqua in energia cinetica;
- *Organo mobile - girante* - messo in movimento dall'acqua in uscita dal distributore con la funzione di trasmettere energia meccanica all'albero su cui è montata.



**Figura B.1:** Spaccato di una turbina a reazione di tipo Kaplan. Sono visibili gli elementi principali: distributore, girante e diffusore.

In rapporto alle caratteristiche dinamiche le turbine possono essere classificate in:

- *turbine ad azione:* l'energia dell'acqua in uscita dal distributore è tutta cinetica (la trasformazione da potenziale a cinetica avviene nel passaggio attraverso un ugello



che provoca un restringimento rispetto al diametro della condotta forzata). Lungo tutto il percorso attraverso la girante il fluido si trova a pressione atmosferica.

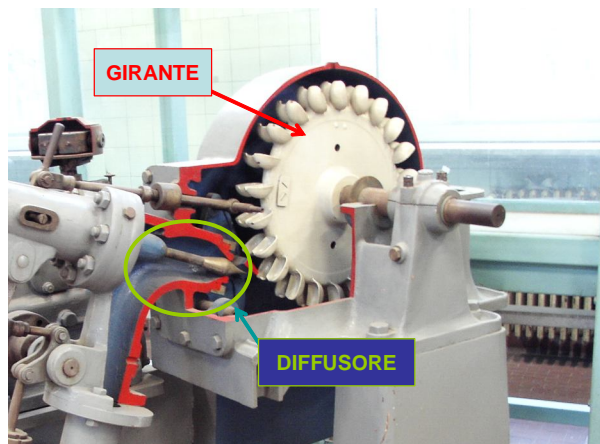
- *turbine a reazione*: l'energia dell'acqua in uscita dal distributore è parzialmente cinetica e parzialmente di pressione (la trasformazione da potenziale a cinetica che avviene nel distributore non è completa: l'acqua ne esce con una velocità minore rispetto alle turbine ad azione, ma dotata di una pressione non nulla). Le turbine a reazione lavorano completamente immerse in acqua e sono dotate nella loro parte terminale di un diffusore.

Per la produzione di elettricità nelle reti idriche si utilizzano principalmente turbine Pelton e pompe inverse: questi due tipi di macchine idrauliche sono particolarmente indicate per le condizioni tipiche che si ritrovano nelle reti idriche (salti importanti, portate relativamente deboli), contrariamente ad altri tipi di macchine, quali le turbine Francis, Kaplan o a elica. Le pompe inverse sono utilizzate soprattutto per modeste potenze, mentre le turbine Pelton vengono impiegate generalmente a partire da 20 kW.

### **B.3.1. TURBINE AD AZIONE**

#### **Turbine PELTON**

Le turbine Pelton, di cui si può vedere uno spaccato in Figura B.2, sono turbomacchine idrauliche ad azione adatte ad impianti caratterizzati da salti elevati. Essendo turbine ad azione, trasformano l'energia potenziale dell'acqua totalmente in energia cinetica attraverso degli ugelli posti nella parte terminale del distributore.



**Figura B.2:** Spaccato di una turbina Pelton. E' visibile la particolare forma della girante con la palettatura ed il diffusore munito di ago Doble per la regolazione della portata.

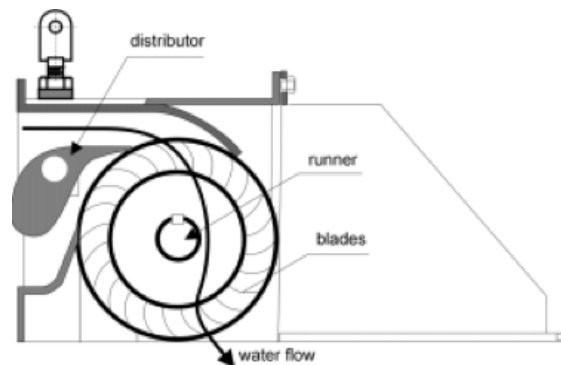
Sono caratterizzate da una costruzione semplice, possono essere ad asse orizzontale o verticale e dotate da 1 a 6 getti, così da essere estremamente adattabili alle variazioni di portata, e generalmente tutte le principali parti meccaniche sono in acciaio inox. Il getto d'acqua in uscita dal distributore raggiunge le pale della girante alla pressione atmosferica (salvo per le turbine Pelton a sovrappressione) e con variazione nulla dell'energia cinetica alla girante e con conseguente trasferimento completo dell'energia dell'acqua all'ugello. Il getto colpisce le pale quasi centralmente ed è ripartito tra i due cucchiai con una deviazione di circa 180 gradi, conservando una componente ortogonale al getto che consente lo smaltimento laterale della portata. Per effetto della variazione della quantità di moto del getto che colpisce la pala, si determina su essa una spinta che mette in rotazione la girante: a causa della rotazione della stessa, la pala, dopo aver percorso un certo angolo, si sottrarrà all'interazione col getto e, prima che ciò avvenga, sarà sostituita dalla pala successiva. Per ragioni pratiche, la ruota deve essere disposta sopra la superficie libera del serbatoio di scarico, e il salto residuo tra turbina e superficie libera del serbatoio di scarico, avvenendo a pressione atmosferica, non può essere utilizzato per produrre energia. La turbina Pelton raggiunge i suoi limiti quando le pressioni sono deboli e le portate importanti.

### **Turbine CROSS-FLOW O BANKI**

Le turbine a flusso incrociato (cross-flow) o Banki (Figura B.3), sono indicate nelle reti idriche per piccole potenze e salti bassi o medi, da pochi metri fino a circa 100. A differenza delle

turbine Pelton, possono essere impiegate in presenza di portate importanti anche quando la pressione è debole.

Si tratta di macchine ad ingresso radiale dell'acqua, caratterizzate da una doppia azione del fluido sulle pale, possibilità di regolazione della portata da 0 a 100% tramite un particolare tegolo e trasmissione del moto al generatore affidata ad una cinghia dentata. Generalmente i componenti metallici sono realizzati in acciaio inox. Rispetto alle turbine Pelton sono più facili da costruire e più facilmente gestibili in fase di manutenzione. Presentano tuttavia l'inconveniente di un rendimento inferiore a quello delle turbine Pelton ed è inoltre necessario un moltiplicatore di velocità tra la turbina ed il generatore.

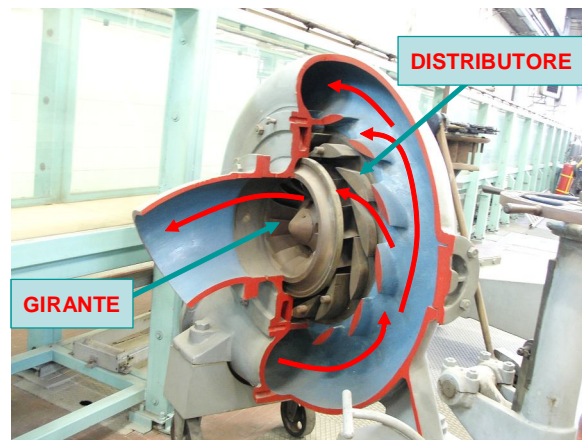


**Figura B.3:** Esempio di turbina Banki o a flusso incrociato.

## B.3.2. TURBINE A REAZIONE

### Turbine FRANCIS

Sono turbine a reazione a vena chiusa, vale a dire senza punti di contatto con l'atmosfera e con pressione variabile da punto a punto tra l'ingresso del distributore e l'uscita della girante.



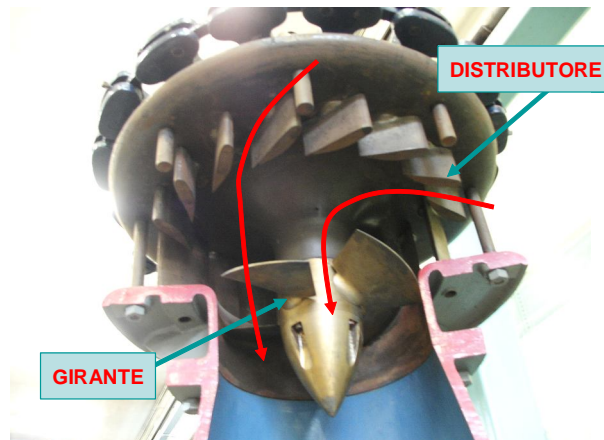
**Figura B.4:** Spaccato di una turbina Francis, caratterizzata dall'ingresso radiale del flusso e l'uscita assiale.

Come si può vedere dalla Figura B.4, le turbine sono dotate di una cassa a spirale che consente l'alimentazione graduale di un distributore palettato e di una girante, nei cui canali la corrente passa da una direzione prevalentemente radiale all'ingresso, ad una praticamente assiale allo scarico. L'acqua in uscita dalla ruota transita, prima di essere scaricata nel canale di restituzione, nel tubo d'aspirazione (detto anche diffusore), la cui funzione è quella di recuperare parte dell'energia cinetica contenuta nell'acqua che abbandona la ruota a velocità elevata. Un distributore ben progettato permette di installare, entro certi limiti, la turbina sopra il livello d'acqua allo scarico, senza sacrificare una parte del salto.

Queste turbine sono molto utilizzate per medi salti (da una decina a qualche centinaio di metri). Gli svantaggi della loro applicazione sono dovuti a problemi di tenuta, di cavitazione, di attrito e di usura.

### **Turbine KAPLAN e AD ELICA**

Si tratta di turbine a reazione a flusso assiale, utilizzate generalmente per bassi salti e valori di portata consistenti, un cui esempio è visibile in Figura B.5.



**Figura B.5:** Turbina di tipo Kaplan, con pale della ruota regolabili.

Le pale della ruota nella Kaplan sono sempre regolabili, mentre quelle del distributore possono essere fisse o regolabili, da cui la distinzione tra Kaplan e semi-Kaplan. Le pale della ruota si muovono girando intorno ad un perno solidale con un sistema di bielle-manovelle collegate ad un tirante verticale – posto all’interno dell’albero cavo della turbina – che è azionato da un servomotore idraulico.

Le turbine ad elica hanno distributore e ruota a pale fisse e sono utilizzate quando il salto e la portata sono praticamente costanti.

### **Pompe INVERSE: pompe utilizzate come turbine**

Sotto questa designazione rientrano le pompe centrifughe di serie a funzionamento inverso. La gamma di potenza varia da 1 a 500 kW. I principali vantaggi sono rappresentati dal costo minore rispetto alle turbine Pelton, dal breve margine di consegna della macchina e dei pezzi di ricambio e dalle poche conoscenze specifiche necessarie per la manutenzione. Per contro, sono caratterizzate da una vita utile nettamente più corta e da rendimenti inferiori rispetto alle Pelton.

Al punto di funzionamento ottimale, il rendimento di tali pompe è solo leggermente inferiore a quello delle turbine Pelton, ma, a carico parziale, il loro rendimento scende bruscamente e, per carichi inferiori al 40%, non producono più elettricità. Le pompe inverse, non essendo munite

di distributori (palette direttrici), necessitano di una portata regolare. L'adattamento a portate variabili può farsi con uno sfruttamento ad intervalli o con l'esecuzione dell'installazione in più stadi.

L'utilizzo di pompe centrifughe inverse come turbine esige la prevenzione di quei fenomeni che possono mettere in pericolo le installazioni di una rete idrica e per tale ragione devono essere previsti dei dispositivi di sicurezza adeguati quali, ad esempio, volano di inerzia, valvole di derivazione, e freni.

### **B.3.3. SCELTA DELLA TURBINA**

Gli elementi più importanti per la scelta del sistema idraulico di generazione sono:

- la sicurezza di gestione (in particolare in relazione con la gestione della rete idrica);
- il salto disponibile e la portata;
- i costi di investimento;
- la curva di rendimento;
- le prescrizioni e le tariffe per la corrente reattiva;
- le prescrizioni provenienti dall'utilizzo dell'energia.

Inizialmente la scelta dipende dalla presenza o meno di un raccordo alla rete elettrica pubblica: in caso favorevole è possibile utilizzare sia delle installazioni sincrone che asincrone, mentre, in caso contrario, possono essere realizzate solo delle installazioni isolate, per le quali è più vantaggioso utilizzare delle turbine Pelton.

Il sistema idraulico ha poi un'influenza decisiva sulla scelta del sistema, dato che la scelta della turbina dipende dalla variazione della portata d'acqua a disposizione: costante, variabile o intermittente. Nel primo caso, piuttosto raro, si può utilizzare una pompa inversa, mentre nel secondo caso, il più frequente, si utilizza generalmente una turbina Pelton, la cui potenza può essere regolata in funzione dell'offerta d'acqua.

In Tabella B.2 è riportato un confronto tra la turbina di tipo Pelton e la pompa inversa, indicando il loro grado di adattabilità alle caratteristiche di utilizzo dell'impianto.

Tabella B.2. Confronto tra le caratteristiche principali delle turbine Pelton e delle pompe inverse.

<b>Tipo di Turbina</b>	<b>Pel ton</b>	<b>Pompa Inversa PAT</b>
<b>Altre designazioni</b>	Turbina a getto libero (turbina ad azione)	Turbomacchina a reazione
<b>Tipi</b>	Turbina ad ugelli	Pompa inversa
<b>Salto per piccole installazioni</b>	Da 100m a 1000m (fino all'asse degli iniettori)	Da 100m a 300m (fino al livello dopo la pompa)
<b>Rendimento a pieno carico</b>	Da 84% a 93%	Da 75% a 90%
<b>Rendimento a carico parziale</b>	Molto buono	Scarso
<b>Portata utile da turbinare minima</b>	10% di Qmax	40% di Qmax, necessaria portata costante
<b>Adattamento al carico parziale<sup>1)</sup></b>	- aggiungere/togliere iniettori - regolare gli iniettori	nessun adattamento possibile
<b>Velocità di fuga rispetto alla velocità di rotazione nominale<sup>2)</sup></b>	1,8 volte	in funzione del tipo di costruzione
<b>Colpi di ariete in caso di guasto elettrico<sup>3)</sup></b>	nessun colpo d'ariete	- motore a debole velocità (alta pressione): sì (prestare attenzione alla scelta delle condotte) - motore a media velocità (media pressione): debole - motore a velocità rapida (bassa pressione): nessun colpo d'ariete
<b>Genere di installazione</b>	- orizzontale - verticale - inclinata	in funzione del tipo di costruzione
<b>Altezza al di sopra del livello saturo<sup>4)</sup></b>	con discesa libera	Altezza di aspirazione massima ammissibile per un uso senza cavitazione: - motori a debole velocità: elevata - motori a velocità rapida: da debole a negativa (al di sotto del livello dell'acqua)
<b>Esecuzione semplificata<sup>5)</sup></b>	senza regolazione degli iniettori	nessuna
<b>Tipo di fabbricazione<sup>6)</sup></b>	- con pezzi staccati standardizzati - gamme di fabbricazione - esecuzioni individuali	- con pezzi staccati standardizzati - gamme di fabbricazione
<b>Disponibilità</b>	Elevata	
<b>Costi di investimento (a potenza comparabile)</b>	Più elevati	Più contenuti
<b>Vita utile</b>	da 40 a 60 anni (e più)	Da 15 a 20 anni

1) Un buon comportamento a carico parziale è importante quando bisogna produrre molta energia malgrado una portata fortemente variabile.

2) In caso di rottura di carico lato consumatore, cioè quando il generatore non frena più, la velocità di rotazione si alza fino ad un valore massimo. Il generatore, legato in maniera fissa alla turbina, dovrebbe resistere alle forze che appaiono a questa velocità di fuga.

3) Prima che la portata o la frequenza si siano stabilizzati in caso di improvvisa rottura di carico, la turbina può, secondo la sua esecuzione e il suo tipo e secondo il dimensionamento della condotta sotto pressione, provocare dei colpi di ariete considerevoli a partire da un certo fuori giro.

4) "Discesa libera" significa perdita di salto, cosa poco significativa per salti importanti, là dove sono utilizzate le turbine Pelton. L'installazione appena al di sopra o anche al di sotto del livello di rigetto dell'acqua turbinata, per i motori a velocità rapida, può generare dei costi di costruzione elevati. Devono essere ottenute delle garanzie per ciò che concerne il fenomeno della cavitazione.

5) Per portate costanti, tipi di costruzioni semplificate offrono una possibilità meno onerosa.

6) Il tipo di fabbricazione influenza da una parte il prezzo di vendita e, d'altra parte, le eventuali spese di fabbricazione. Ciò che è importante in questa ottica, è la disponibilità di pezzi di ricambio.

La pressione dell'acqua all'uscita della turbina gioca un ruolo importante: l'acqua può essere in pressione o a pressione atmosferica. Nel primo caso è necessario l'utilizzo di una turbina ad azione che rilascia l'acqua turbinata a pressione atmosferica. Nel caso in cui in una rete si abbiano zone a valori di pressione differenti, con necessità di avere acqua in pressione, è obbligata

l'adozione di turbine a reazione. Dalle esperienze acquisite, soprattutto in territorio elvetico, per le turbine ad azione la scelta cade sempre sulle Pelton, mentre, per le turbine a reazione, si impiegano pompe a funzionamento inverso (le turbine Francis sono in generale troppo onerose).

Per quanto riguarda i rendimenti, le turbine Pelton presentano dei rendimenti molto elevati che possono raggiungere il 90% a pieno carico e a carico parziale (fino al 30% di  $Q_{max}$ ). Il rendimento crolla solo quando il tasso di utilizzo è inferiore al 10%.

Le pompe inverse presentano ugualmente dei buoni rendimenti a pieno carico, ma nello sfruttamento a carico parziale, al contrario, il loro rendimento è basso.

### B.3.4. POTENZA DELL'IMPIANTO E RENDIMENTO DELLE TURBINE

L'individuazione del potenziale idroelettrico di un impianto inizia valutando la sua capacità di produrre energia, identificando quest'ultima nei chilowattora prodotti in un intervallo di tempo ben definito, normalmente un anno. La valutazione dell'energia prodotta  $E[kWh]$  è, quindi, effettuata in base alla relazione:

$$E[kWh] = P[kW] \cdot 8760[h/anno] \quad (1)$$

in cui la potenza  $P[kW]$  prodotta è ottenuta come

$$P = \eta \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_U \quad (2)$$

dove:

- $\eta$ : rendimento complessivo dell'impianto;
- $\gamma$ : peso specifico dell'acqua pari a 9,81 kN/m<sup>3</sup>;
- $Q$ : portata turbinata espressa in m<sup>3</sup>/s;
- $H_U$ : salto utile espresso in m.

Il salto utile  $H_U$  è ottenuto dalla relazione:

$$H_U = H_g - \sum j L - \sum \Delta Y_c \quad (3)$$

ossia come differenza tra il salto geodetico  $H_g$ , valutato tra il punto di prelievo a monte ed il punto di restituzione a valle, le perdite di carico distribuite  $\sum jL$ , dovute alla scabrezza delle condotte, e le perdite concentrate  $\sum \Delta Y_c$ , dovute ad elementi particolari presenti lungo le condotte.

Il rendimento di una macchina idraulica, sia essa una turbina o una pompa, è dato dal prodotto di più rendimenti di diversi. Escludendo ovviamente le perdite idrauliche distribuite sulla condotta forzata a monte dell'impianto in quanto conteggiate separatamente, dal carico netto  $H_U$  occorre sottrarre le seguenti perdite:



- $H_{mec}$ : perdite dovute allo strisciamento delle parti meccaniche a contatto e in moto relativo tra loro (asse delle macchine e cuscinetti, attriti agli anelli di tenuta e ai premistoppa, etc);
- $H_{idr}$ : perdite dovute al moto del fluido lungo le superfici mobili e fisse;
- $H_{vol}$ : perdite dovute al trafileamento attraverso i giochi tra parti mobili e fisse;

da cui risulta:

$$H_{net} = H_U - H_{mec} - H_{idr} - H_{vol} \quad (4)$$

Riportando tali perdite ai rispettivi rendimenti è possibile definire il rendimento globale  $\eta_g$  come:

$$\eta_g = \eta_{mec} \cdot \eta_{idr} \cdot \eta_{vol} \quad (5)$$

La potenza che effettivamente sarà ricavata ai morsetti dell'alternatore, accoppiato alla turbina, sarà influenzata oltre che da  $\eta_g$  anche da altri rendimenti di natura elettrica.

In linea generale tale rendimento elettrico  $\eta_e$  è dato dal prodotto dei seguenti rendimenti:

- $\eta_{el}$ : rendimento globale del motore elettrico o dell'alternatore, comprensivo a sua volta del rendimento della trasformazione elettrica e del rendimento meccanico dell'alternatore;
- $\eta_t$ : rendimento di un'eventuale trasmissione inserita tra motore e pompa, o tra turbina e alternatore, che permetta una velocità di rotazione diversa tra le due macchine;
- $\eta_o$ : rendimento organico che tiene conto dell'energia spesa per l'azionamento di organi di controllo o di regolazione necessari al funzionamento della macchina;

da cui è possibile ottenere la relazione

$$\eta_e = \eta_{el} \cdot \eta_t \cdot \eta_o \quad (6)$$

La potenza netta sulla base della quale è possibile calcolare i kWh annui è data quindi da:

$$P = \gamma \cdot Q_{max} \cdot \eta_g \cdot \eta_e \quad (7)$$

Il rendimento globale  $\eta_g$  della turbina è funzione del tipo di macchina e del carico a cui sottoposta. A pieno carico ( $Q = Q_{max}$ ) per una Pelton si ha un rendimento variabile tra l'84% ed il 93%. Il rendimento del motore elettrico  $\eta_e$  è in generale molto prossimo all'unità.

#### **B.4. PROBLEMATICHE DI INTERAZIONE CON LA RETE ELETTRICA**

La maggioranza delle installazioni di turbine sono concepite per funzionare in parallelo con la rete elettrica pubblica (in questo caso vengono dette on-grid o grid-connected). L'elettricità prodotta grazie alla turbina viene immessa nella rete elettrica e, in genere, per una parte è destinata al consumo della comunità locale, mentre per la rimanente viene ceduta al distributore della zona.

Esistono principalmente quattro modalità di funzionamento dei gruppi elettrogeni connessi alle reti di I e II categoria, chiamate rispettivamente reti in bassa tensione (BT) e reti in media tensione (MT):

- Funzionamento in isola, caratterizzato da nessuna connessione con la rete pubblica;
- Funzionamento in parallelo alla rete pubblica di I e II categoria, definita come connessione concorrente e contemporanea alla rete pubblica;
- Funzionamento misto, con possibilità di funzionamento sia in parallelo che in isola;
- Funzionamento transitorio in parallelo alla rete pubblica di I e II categoria, in cui, per garantire la continuità della tensione di alimentazione, è previsto il funzionamento in isola con parallelo per brevi durate.

Il funzionamento in parallelo alla rete è quello che in generale determina i maggiori problemi in quanto deve interfacciarsi con la rete elettrica pubblica.

La normativa in vigore (CEI 11-20) fornisce solamente dei valori puramente indicativi per la potenza massima del sistema di produzione, stabilendo che, se questo ha una potenza fino a 50 kVA, deve essere allacciato alla rete pubblica a Bassa Tensione, mentre se è inferiore a 8 MVA deve essere allacciato in Media Tensione.

Per il funzionamento in parallelo devono essere inoltre garantite particolari condizioni tecniche, quali:

- Il cliente produttore non deve causare disturbi alla tensione di alimentazione e alla continuità del servizio sulla rete, permettendo, in caso contrario, l'interruzione immediata ed automatica del collegamento in parallelo;
- In caso di mancata tensione sulla rete pubblica l'impianto di produzione collegato non deve alimentare la rete.

I dispositivi che permettono di soddisfare i due punti precedenti sono previsti e devono essere conformi alla Norma CEI 11-20, relativa anche ai sistemi di protezione dell'interfaccia ed ai dispositivi di generatore.

Devono perciò essere presenti i seguenti elementi:

- Dispositivo generale, atto a separare l'intero impianto del produttore dalla rete pubblica;
- Dispositivo di interfaccia, asservito alle protezioni di interfaccia, con lo scopo di separare i gruppi di generazione dalla rete pubblica;
- Dispositivo di generatore, che separa il singolo generatore dal resto dell'impianto del cliente.

I gruppi di generazione possono essere di tipo monofase o trifase, con allacciamenti monofase possibili solo se la massima taglia è pari a 6 kW. Per allacciamenti di tipo trifase è ammesso collegare, fra le fasi ed il neutro, generatori monofase di potenza non uguale purché lo squilibrio complessivo (differenza fra la potenza installata sulla fase con più generazione e quella con meno generazione) non superi 6 kW.

La scelta del livello di tensione cui allacciare un produttore dipende dalla potenza dell'impianto di produzione e da quella dei carichi passivi e di altri impianti di produzioni presenti sulla stessa rete. Generalmente gli impianti di produzione di potenza nominale complessiva  $\leq 50$  kW vengono allacciati alla rete di BT ed allacciati alla rete di MT se di potenza nominale complessiva superiore a 75 kW.

L'allacciamento alla rete BT può avvenire su linea esistente, su linea dedicata o tramite cabina di trasformazione MT/BT dedicata.

Le prescrizioni generali sopra riportate, riguardanti principalmente il sistema di protezione e scambio dell'energia prodotta e/o consumata, sono valide anche nel caso di allacciamenti in MT ed AT. Si ricorda comunque che in caso di allacciamento con la modalità di funzionamento in parallelo ogni impresa distributrice dell'elettricità ha proprie norme e prescrizioni alle quali fare riferimento, come ad esempio la società ENEL che, tramite le disposizioni DK 5740 e DK 5940 stabilisce i "Criteri di allacciamento di impianti di produzione alla rete BT e MT".

## **B.4.1. COMPONENTI ELETTROMECCANICHE**

### **Generatori sincroni ed asincroni**

Il generatore ha il ruolo di trasformare in energia elettrica l'energia meccanica trasmessa dalla turbina. In origine si utilizzavano generatori a corrente continua (dinamo), mentre attualmente, salvo rarissime eccezioni, si installano generatori a corrente alternata trifase. In funzione della rete che deve alimentare, il progettista può scegliere tra:

- **alternatori sincroni**, equipaggiati con un apparato di eccitazione associato ad un regolatore di tensione di modo che, prima di essere collegati alla rete, generino energia alla stessa tensione, frequenza ed angolo di fase ed inoltre forniscano, una volta connessi, l'energia reattiva richiesta dal sistema. I generatori sincroni possono funzionare staccati dalla rete (in isola). Normalmente, se la potenza è maggiore di 5000 kVA si impiegano generatori sincroni;
- **alternatori asincroni**, sono semplici motori ad induzione con rotore a gabbia di scoiattolo, senza possibilità di regolazione della tensione. Girano ad una velocità direttamente rapportata alla frequenza della rete cui sono collegati. Dalla rete assorbono la corrente d'eccitazione e l'energia reattiva necessaria alla propria magnetizzazione. Quest'energia reattiva può essere compensata, se lo si ritiene conveniente, mediante banchi di condensatori. Gli alternatori asincroni non possono generare corrente quando sono scollegati dalla rete perché non sono in grado di provvedere alla propria corrente di eccitazione.

### **Moltiplicatore di giri**

A seconda dei regimi di rotazione nominali della turbina e del generatore può essere installato un particolare elemento, il moltiplicatore di giri, che permette la variazione dei giri del generatore rispetto a quelli della ruota della turbina.

Se la turbina ed il generatore girano alla stessa velocità e se possono essere installati assialmente, è consigliato l'accoppiamento diretto, senza moltiplicatore, evitando così perdite meccaniche e minimizzando le manutenzioni. In generale, le ruote delle turbine di modesta potenza girano a meno di 400 rpm obbligando al ricorso ad un moltiplicatore per raggiungere i 700-1500 rpm degli alternatori standard.

### **Trasformatore**

Il trasformatore è quell'elemento che si interpone tra la centrale e la rete elettrica: esso ha la funzione di variare la tensione della corrente in uscita dall'alternatore, in particolare di portare la corrente dalla tensione di uscita del generatore a quella della linea elettrica.

**Quadri di controllo e di potenza**

In tutte le nazioni, le norme per l'erogazione d'elettricità obbligano le società di distribuzione a mantenere, entro limiti molto stretti, la sicurezza e la qualità del servizio. Il produttore indipendente, se la centrale è collegata alla rete, deve gestirla in modo che il distributore possa rispettare tali obblighi. Per questa ragione, tra i morsetti del generatore e la linea si installano dispositivi che, controllando il funzionamento della macchina, la proteggono, la mettono in parallelo con la rete o la staccano dalla stessa in caso di guasto. Il controllo si realizza mediante apparati più o meno complessi che misurano la tensione, l'intensità e la frequenza di potenza ed eventualmente il livello dell'acqua nella camera di carico. La tensione e l'intensità di corrente si misurano mediante trasformatori di misura.

**Quadri di automazione**

La maggior parte delle piccole centrali lavora senza presidio permanente di personale e funziona mediante un sistema automatico di controllo, richiedendo però alcuni requisiti generali che devono essere soddisfatti. In particolare, tutti gli equipaggiamenti devono essere dotati di controlli manuali e misure, indipendenti dal controllo automatico, da usarsi solamente per l'avviamento iniziale dell'impianto e per le operazioni di manutenzione. Il sistema, inoltre, deve includere i dispositivi necessari per individuare il funzionamento difettoso ed i dati di funzionamento devono essere registrati. Il sistema di controllo, infine, deve essere tale da permettere il funzionamento della centrale senza personale e si deve poter accedere ad esso da un punto remoto e poterne prendere il controllo.

### B.5. VALUTAZIONI COMPLESSIVE DI FATTIBILITÀ: ANALISI TECNICA PRELIMINARE

L’analisi tecnica preliminare indica la possibilità di realizzare un’installazione di turbine lungo le condotte di adduzione dell’acqua potabile e in un quadro economicamente compatibile, cioè fornisce ai proprietari e ai gestori della rete idrica la base per giudicare se sia fattibile procedere con il progetto dell’impianto.

Attraverso un’analisi di questo tipo, lo specialista incaricato inquadra la situazione e verifica se le pre-condizioni (resistenza meccanica delle condotte, prossimità di un raccordo elettrico, necessità di una nuova costruzione dei locali per la turbina) non rendano economicamente svantaggiosa la realizzazione di un impianto micro-hydro. Le pre-condizioni possono definirsi *criteri eliminatori*.

In linea generale può essere seguito lo schema rappresentato in Figura B. 6 in cui sono riportati i nodi decisionali in base all’esito dei quali si stabilisce fino a che punto addentrarsi nella valutazione di costi/benefici e, quindi, stabilire se procedere alla progettazione dell’impianto.

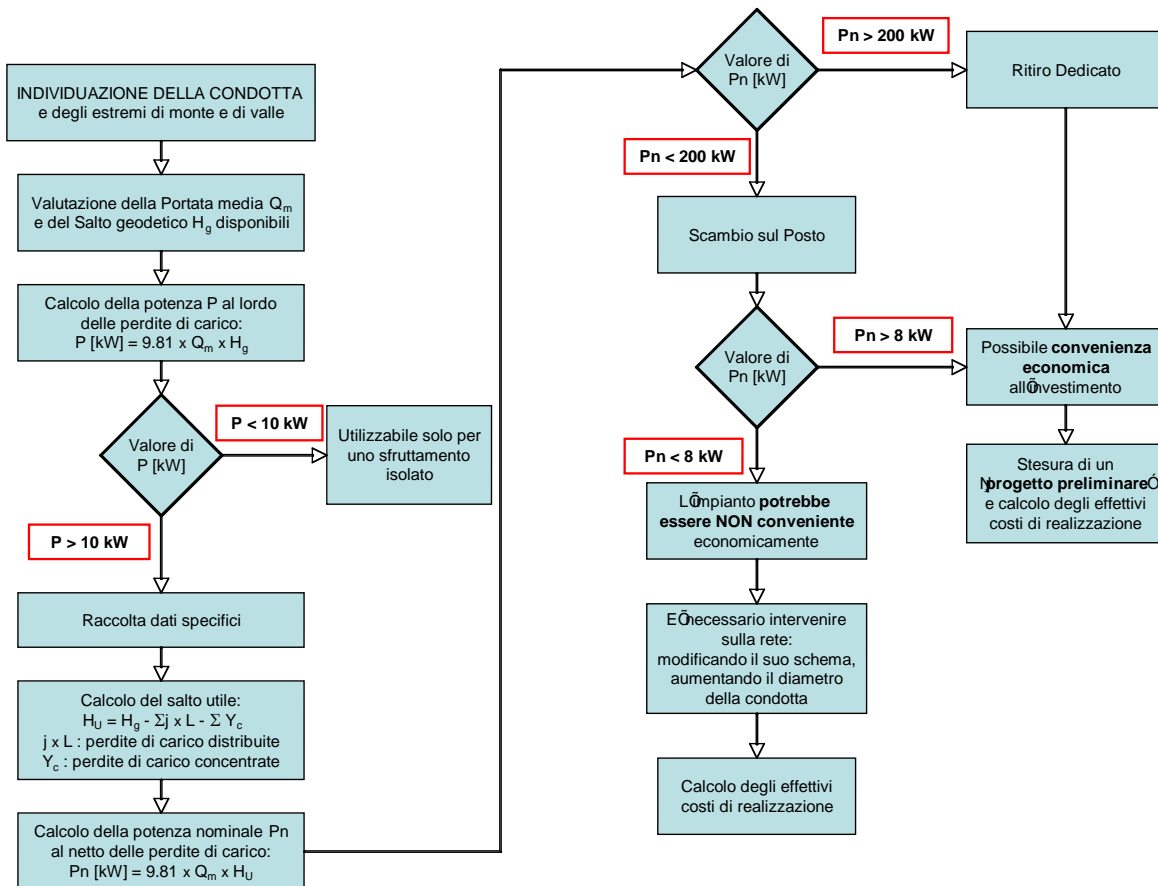


Figura B. 6: Schema semplificato per la valutazione di fattibilità dell’impianto.

L'analisi tecnica preliminare deve contenere:

- La valutazione della situazione di partenza, in particolare relativa alla resistenza delle condotte esistenti, alla prossimità del raccordo elettrico ed alla disponibilità dei locali per la turbina;
- La presentazione di soluzioni tecniche realistiche;
- La valutazione della produzione elettrica ipotizzabile;
- La stima degli investimenti (separando quelli da imputare esclusivamente all'installazione delle turbine da quelli necessari per la manutenzione della rete) e delle possibilità di sovvenzione dagli Enti;
- La valutazione economica (prezzo di produzione al kWh tenendo conto degli investimenti, dell'ammortamento e delle spese di gestione);
- Il rapporto tecnico con raccomandazioni per le tappe successive (Progetto preliminare/definitivo: sì o no?).

## **B.6. VALUTAZIONI COMPLESSIVE DI FATTIBILITÀ: PROGETTO PRELIMINARE E DEFINITIVO**

L'analisi tecnica preliminare contiene una stima dei costi, mentre il progetto preliminare/definitivo comporta dei calcoli precisi e dei dati tecnici dettagliati. La qualità dello studio deve essere tale che il progetto così eseguito possa essere utilizzato per ottenere le autorizzazioni necessarie. Per tale ragione devono essere definite le dimensioni principali degli elementi costruttivi, così come delle grandezze elettriche caratteristiche. E' così possibile rendersi conto più precisamente dei costi, dei processi di costruzione e delle loro ripercussioni, prima di indire la gara d'appalto per i lavori.

Il progetto preliminare/definitivo è composto di vari elementi tra cui:

- Il dimensionamento della turbina sulla base della curva delle portate registrate e del salto disponibile;
- La descrizione tecnica dell'installazione e dei suoi componenti;
- La presentazione di varianti con una produzione elettrica più importante o dei costi di produzione più deboli;
- Il calcolo della produzione elettrica annua e degli introiti;
- La stima degli investimenti, separando quelli da imputare esclusivamente all'installazione di turbine da quelli necessari alla manutenzione della rete;
- L'esame di questioni relative alla protezione del paesaggio, al rumore, ecc;
- Il calcolo della redditività;
- Le raccomandazioni riguardanti le tappe successive.

### **Determinazione delle portate e dei salti**

La prima tappa di un progetto preliminare o definitivo relativo alla produzione elettrica da turbine sfruttanti l'acqua potabile è la determinazione delle portate d'acqua a disposizione e dei salti utili.

Per la scelta della turbina è necessario conoscere le curve di variabilità delle portate, vale a dire i valori mensili e giornalieri di disponibilità d'acqua, se possibile rilevati su almeno 2 o 3 anni.

Purtroppo questi dati sono raramente disponibili e istituire una campagna di indagini può richiedere troppo tempo. Occorre pertanto stimare le portate sulla base dei documenti e misure a disposizione o secondo le indicazioni del personale di gestione. Inoltre bisogna sempre prendere in

---



considerazione i volumi sfiorati per non sottostimare il potenziale. Se le indicazioni riguardanti le portate sono troppo imprecise e incomplete, per garantire una valutazione attendibile della produzione occorre eseguire una serie di misure sufficientemente ampia da consentire la determinazione della curva di durata delle portate.

Riassumendo i punti da seguire sono i seguenti:

- Raccolta e analisi delle misure disponibili;
- Stima sulla base delle indicazioni del personale di gestione;
- Installazione di un misuratore di portata nei casi in cui non siano disponibili le misure.

Le portate subiscono in generale delle variazioni nel tempo anche rilevanti e si pone quindi la necessità di sapere per quale portata la turbina deve essere dimensionata. Nel caso di un utilizzo in rete le installazioni di turbine devono essere concepite per garantire la massima produzione di energia e devono, dunque, essere dimensionate per valori di portata da medi ad elevati. Per contro, nel caso di utilizzo detto isolato, la produzione di elettricità deve ugualmente essere garantita quando le portate sono minime ed il dimensionamento è dunque effettuato allo scopo di turbinare anche le piccole portate.

La determinazione del salto utile è possibile in condotte esistenti attraverso la misura della pressione statica nella posizione in cui si prevede di installare la turbina (misura senza scorrimento dell'acqua). Il salto utile può essere derivato da questo.

Per le nuove installazioni, invece, la differenza tra la quota del livello d'acqua di captazione e quello della posizione della turbina definisce il salto disponibile lordo. Per determinare il salto utile, è necessario sottrarre a questo valore le perdite di carico.

### **Condotte**

La capacità delle condotte esistenti di sopportare, parzialmente o totalmente, le pressioni indotte dalla messa in servizio di un impianto idroelettrico è un fattore preponderante nella stima degli investimenti necessari. Le condotte colleganti zone con pressione differente sono già dimensionate per sopportare la pressione esistente, perciò tali situazioni consentono una installazione senza modifica delle condotte.

Nel momento in cui le condotte debbano essere risanate, sia per motivi di vetustà che per esigenze di manutenzione, può essere interessante realizzare i lavori in previsione dell'installazione di turbine.

In tale caso, solo i costi aggiuntivi legati all'aumento della resistenza delle condotte, della pressione o del diametro sono da conteggiare nel progetto di produzione elettrica. La restante parte dell'investimento è a carico della manutenzione e del risanamento della rete idrica. Al contrario, è talvolta possibile limitare gli investimenti necessari alla realizzazione di opere di sconnessione con la messa in opera di una turbina.

Se la condotta esistente non consente l'installazione di una turbina, possono essere presi in considerazione la sua sostituzione o il suo adattamento. La possibilità di installare una turbina può permettere l'ottimizzazione del sistema di adduzione in vista di un'installazione futura.

Sono talvolta possibili delle soluzioni intermedie, come la sostituzione di certi tratti di condotte.

In tali tipologie di impianto la condotta di adduzione diventa anche una condotta forzata, dovendo così resistere sufficientemente alla pressione statica ed a quella indotta nel caso di colpi d'ariete. Lo stesso discorso dicasi per i raccordi delle condotte così come per gli ancoraggi e i supporti delle condotte.

I diametri delle condotte non dovrebbero, in regola generale, avere dimensioni tali da indurre delle perdite di carico troppo importanti.

Per le nuove condotte, inoltre, la velocità di scorrimento non dovrebbe superare i 1,5-2 m/s. Se questi valori non sono rispettati per le condotte esistenti, vale la pena valutare la necessità di sostituire la condotta, variando opportunamente il diametro o scegliendone una con caratteristiche di scabrezza diverse.

### **Principi della messa in opera delle turbine**

I principi su cui si basa la messa in opera delle turbine, sono quelli legati alla richiesta di soddisfare entrambi gli usi a cui l'acqua in transito è destinata, ossia l'uso idroelettrico e quello idropotabile. Dato che l'uso principale al quale deve essere data la priorità è quello idropotabile, si ha che l'utilizzo energetico dell'acqua potabile non deve pregiudicare la sicurezza di approvvigionamento del consumatore e la qualità dell'acqua potabile. A ciò è strettamente collegato il fatto che la rete idrica deve funzionare senza problemi, anche in caso di guasto delle turbine e che l'approvvigionamento dei serbatoi verso valle dalle acque turbinate deve essere garantito in maniera ineccepibile.

Un altro principio, non meno importante, è quello di garantire che nessuna sostanza estranea, come lubrificanti od olio, giunga nella rete d'acqua potabile. A ciò si aggiunge il fatto che le acque provenienti dalla condensazione non devono giungere nella rete idrica.

Naturalmente, infine, tutti i materiali devono rispondere alle prescrizioni di legge e le condotte devono resistere alla pressione richiesta, sia quella di esercizio, sia quella dovuta a sovraccarichi dati dalle manovre sulle turbine.

### **Dimensionamento**

Prevedendo una possibile installazione della turbina su una condotta preesistente, bisogna tener conto del fatto che le perdite di carico sono inversamente proporzionali al diametro. Il punto di funzionamento ottimale dipende essenzialmente dal diametro della condotta e dalle perdite e deve essere stabilito scrupolosamente. Per portate superiori a tale punto di funzionamento ottimale, la potenza delle installazioni decresce. Si tratta dunque di trovare la portata ottimale che garantisca un reddito annuo minimo, tenendo conto dei parametri tecnici di tutti i tronchi delle condotte sollecitate.

Per determinare, su una condotta esistente, la portata capace di fornire la massima potenza, occorre misurare la pressione alla posizione della turbina per differenti portate. Nella realtà, le misure di portata sono raramente disponibili, e quando le portate e/o le velocità di scorrimento sono importanti la misura diviene impossibile. Quando si desidera utilizzare una condotta sfruttata normalmente in scorrimento libero per alimentare un'installazione di turbina, si raccomanda di verificare che la pressione sia sopportabile, riempiendo progressivamente la condotta.

Poiché si deve garantire all'utenza idropotabile la quantità richiesta, se si ottimizza la produzione energetica agendo sulle portate e sul diametro, si dovrà provvedere anche ad un dimensionamento opportuno dei serbatoi per poter bilanciare le due esigenze.