

## FOGLI DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA DI UN IMPIANTO MINI IDROELETTRICO

I fogli di calcolo per la valutazione della fattibilità tecnico-economica di un impianto mini idroelettrico sono strumenti che permettono all'utente di procedere alla valutazione della risorsa idrica, alla valutazione del salto, alla stima del potenziale; inoltre lo accompagnano nella scelta della tipologia di turbina più idonea e gli permettono di effettuare sia una valutazione economica dell'investimento iniziale che l'analisi finanziaria, attraverso la simulazione dei costi e dei ricavi annui stimati. Tutto ciò partendo da dati facilmente ricavabili dall'utente tramite un'analisi basilare del sito in esame, infatti il software fornisce risultati utili per un'analisi tecnico-economica preliminare.

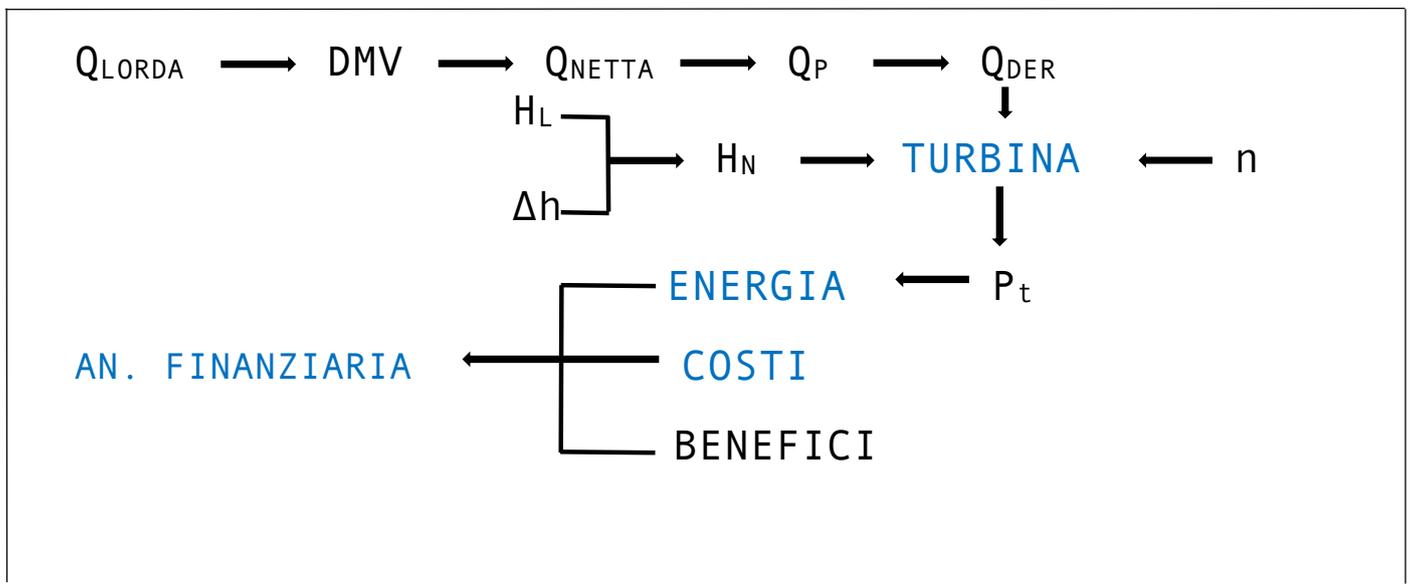
La struttura e la grafica del file xlsx cercano di essere il più intuitive possibili, la logica di funzionamento è la seguente: l'utente inserisce o modifica i dati caratterizzati da celle di sfondo **verde** e testo **rosso**, oppure seleziona una delle opzioni possibili dai menù a scelta rapida (caratterizzati sempre da uno sfondo **verde**).

Le celle selezionabili risultano essere solo quelle modificabili, in quanto i fogli excel sono protetti, la protezione può essere rimossa utilizzando la password "*idro*". Per utilizzare il software è necessario abilitare le *macro*.

Il software è suddiviso in 7 fogli di calcolo:

1. Copertina
2. Valutazione risorsa idrica
3. Valutazione salto
4. Scelta turbina
5. Valutazione potenziale
6. Stima dell'investimento
7. Analisi finanziaria

Struttura:



## VALUTAZIONE RISORSA IDRICA

### 1. Curva delle durate

Il foglio di calcolo "valutazione della risorsa idrica" come prima cosa permette l'inserimento della curva delle durate, l'utente inserisce **21 valori di portate** (nelle celle **verdi**) relative alle 21 durate (da 0% a 100% dei 365 giorni annui, con passo del 5%).

Da questi dati inseriti viene creato il grafico delle *curve di durate* e viene calcolato il valore della  $Q_{media}$ .

### 2. Deflusso Minimo Vitale

L'utente sceglie il metodo preferito per il calcolo del DMV tra: *% di  $Q_{media}$ , inserimento diretto e  $Q_{347}$ .*

Se seleziona *% di  $Q_{media}$  o inserimento diretto* dovrà anche inserire manualmente o la **% della  $Q_{media}$**  voluta (solitamente 10%), o il **valore scelto** per il DMV.

Viene visualizzato il deflusso minimo vitale, calcolato col metodo preferito dall'utente.

### 3. PORTATE NETTE

Vengono calcolate in maniera completamente automatica le  $Q_{nette}$  partendo dai valori delle  $Q_{lorde}$  (inserite precedentemente dall'utente) e del DMV.

Dai valori delle  $Q_{nette}$  viene creato il grafico delle *curve delle durate delle portate nette*.

### 4. PORTATA DI PROGETTO

Per la portata di progetto  $Q_p$ , l'utente può scegliere *l'inserimento diretto* del **valore desiderato** per la  $Q_p$ , oppure un **valore di durata** (multipli di 5%), a cui viene associata la rispettiva  $Q_{netta}$ , che viene selezionata come portata di progetto  $Q_p$ .

Il valore di  $Q_p$  è quindi definito attraverso il metodo scelto.

### 5. PORTATE DERIVATE

Dai valori della  $Q_{netta}$  e della  $Q_p$  vengono calcolate le *portate derivate*  $Q_{der}$ , delle quali si crea anche la *curva delle durate delle portate derivate*.

Vengono anche calcolati automaticamente i valori di: *volume totale derivabile, volume derivato, % volume derivato, portata derivata media  $Q_{med\_der}$*  (gli integrali sono calcolati tramite la formula di approssimazione del trapezio).

### 6. CURVE DI UTILIZZAZIONE

Dai valori del *volume totale derivabile* e del *volume derivato*, si ricava il *coefficiente di utilizzazione del corso d'acqua*. Dai valori del *volume derivato* e della *portata di progetto* si ricava il *coefficiente di utilizzazione dell'impianto*.

Viene riportato anche il grafico che mostra l'andamento dei due coefficienti al variare della portata di progetto  $Q_p$ , le *curve di utilizzazione*.

## VALUTAZIONE DEL SALTO

L'utente inserisce nell'apposita **cella** il valore del salto lordo  $H_L$  del sito in esame.

Inoltre deve inserire anche il *coefficiente di Manning*  $n$ , viene fornita una tabella con i valori tipici di  $n$  in base al materiale della tubazione, la *lunghezza della condotta*  $L$  e la *velocità nella condotta*  $v$  (4-5 m/s). Tramite la  $Q_p$  e la  $v$  viene calcolato il *diametro*  $D$  della condotta, l'utente immette il *diametro commerciale*  $D_{comm}$  disponibile, più vicino a  $D$ .

Da tutti questi dati vengono calcolate le *perdite continue*  $\Delta h_{con}$ .

L'utente immette in seguito il *coefficiente di perdita*  $\alpha$ , tramite il quale vengono calcolate le *perdite localizzate*  $\Delta h_{loc}$ .

Sottraendo al *salto lordo*  $H_L$ , le perdite  $\Delta h_{con}$  e  $\Delta h_{loc}$  è determinato il *salto netto*  $H_n$ .

## SCELTA DELLA TURBINA

Per indirizzare l'utente nella scelta della turbina ideale, sono presentati nel foglio di calcolo due metodi:

- Il *grafico dei campi di funzionamento delle varie tipologie di macchine*, un *indicatore* (pallino rosso) indica il *punto di funzionamento* del sito in esame, si può scegliere tra le turbine il cui *campo di funzionamento* comprende il punto.
- *Numero di giri specifico*  $n_s$ , l'utente deve inserire il valore dei *numeri di giri*  $n$  dell'alternatore associato, da cui viene calcolato il *numero di giri specifico del sito*, tramite il quale il software suggerisce la turbina più congrua alle caratteristiche del sito.

L'utente, quindi, seleziona la tipologia di turbina preferita dal menù a tendina (**cella verde bordata di rosso**), può scegliere tra quattro tipologie di turbina: Pelton, Crossflow, Francis e Kaplan. Per ogni tipologia di macchina viene proposta la *curva di rendimento della turbina*  $\eta$ , desunta da dati presenti nella letteratura specifica.

Vengono, inoltre, riportati i valori più importanti dell'efficienza della turbina: *massima efficienza turbina*  $\eta_{max}$ , *efficienza alla portata*  $Q_p$ , *efficienza alla portata*  $Q_{med\_der}$ .

L'utente, infine, inserisce la *percentuale del rapporto tra*  $Q_p/Q_{min}$ , tramite la quale viene calcolata la *portata minima turbinabile*  $Q_{min}$ .

## VALUTAZIONE DEL POTENZIALE

L'utente inserisce, nelle apposite **celle**, l'efficienza degli altri componenti elettromeccanici: *efficienza del generatore  $\eta_{gen}$* , *efficienza del trasformatore  $\eta_{tra}$*  ed *efficienza del moltiplicatore di giri  $\eta_{mol}$* . Immette anche la *percentuale di fermo dell'impianto  $f$*  rispetto ai 365 giorni annui.

### 1. POTENZA DELL'IMPIANTO

Tramite i dati a disposizione vengono calcolate le potenze che caratterizzano l'impianto: *potenza massima dell'impianto  $P_{max}$* , *potenza nominale dell'impianto  $P_{nom}$*  e *potenza media dell'impianto  $P_{med}$* .

### 2. PRODUCIBILITA' ANNUA DELL'IMPIANTO

Vengono determinati i *giorni di funzionamento dell'impianto*, i *rendimenti della turbina al variare della  $Q_{der}$* ; tramite i  $\eta_{der}$  viene calcolata la *potenza istantanea  $P_t$*  associata ad ogni  $Q_{der}$ .

Tramite  $P_t$ , le varie *efficienze* e la *percentuale di fermo dell'impianto* viene stimata la *produzione di energia annua  $E_{annua}$*  dell'impianto.

Viene creato anche un grafico che mostra *l'andamento delle portate e della potenza  $P_t$* .

## STIMA DELL'INVESTIMENTO

Nel foglio di calcolo "stima dell'investimento" si procede ad una stima dei costi delle varie opere attraverso più metodi, i risultati ottenuti devono essere considerati utili solo per uno studio a livello preliminare.

### 1. STIMA COSTI DI INVESTIMENTO PER EQUIP. ELETTROMECCANICO

Viene stimato il costo delle opere elettromeccaniche, la stima tiene conto della tipologia di turbina che l'utente ha scelto. Il risultato è fornito in €/kW.

### 2. STIMA COSTO DI INVESTIMENTO INIZIALE

L'utente sceglie il metodo che preferisce per la stima del  $C_c$ , selezionandolo dal menù a tendina (**cella**), tra:

- COMPUTO METRICO ESTENSIVO: questo metodo risulta preciso, però necessita di una grande mole di dati, che dovranno essere inseriti nelle **celle** apposite, si basa infatti sul concetto di prezzo unitario-quantità. Per utilizzare questo metodo l'utente deve già avere un progetto di massima dell'impianto.

Inseriti tutti i dati, viene calcolato il **costo totale**.

-FORMULE RSE: questo metodo si basa su delle formule trovate da RSE.

L'utente immette un ulteriore dato, la *lunghezza del canale di adduzione*  $L_{CA}$ .

Tramite i dati a disposizione e dei *parametri modificabili* (quelli riportati di base nel file xlsx sono quelli calcolati da RSE per il territorio Italiano), il software calcola le funzioni di costo per le opere di presa, per il canale, per la condotta forzata e per la centrale.

Sommate tra loro le funzioni di costo si ottiene il **costo totale**.

-VALUTAZIONE SEMPLICE PESSIMISTICA: è un metodo creato dal Politecnico di Milano, non necessita di nessuna ulteriore immissione di dati. Fornisce dei valori più approssimativi del **costo totale** rispetto ai metodi precedenti, ma sfrutta solamente la  $P_{MAX}$  e il  $H_N$ .

-VALUTAZIONE SEMPLICE OTTIMISTICA: metodo simile al precedente, sviluppato tenendo in considerazione i dati raccolti da *Hydro Data Initiative*. Anch'esso fornisce valori approssimativi del **costo totale**, utilizzando però solamente dati facilmente ricavabili come  $P_{MAX}$  e  $H_N$ . (Evitare l'utilizzo della valutazione semplice per impianti con  $P < 1MW$ )

L'utente può anche decidere di non selezionare nessun metodo di stima dell'investimento dal menù a tendina, in questo caso saranno mostrati tutti i metodi con i vari **costi totali** stimati, e come costo totale  $C_c$  sarà utilizzato una media dei vari valori calcolati.

## ANALISI FINANZIARIA

### 1. COSTI ANNUI

L'utente inserisce nelle apposite **celle** la *percentuale dei costi di manutenzione*  $C_{MAN\%}$  (2-5%), il *parametro tasse e canoni fisso*  $C_{FISSO}$ , *parametro tasse e canoni*  $C_{TAX}$  (nel file sono inseriti i valori di  $C_{FISSO}$  e  $C_{TAX}$  stabiliti per l'anno 2018 in Italia).

Attraverso questi dati, il  $C_c$  e la  $P_{NOM}$  sono determinati i *costi di gestione e manutenzione*  $C_1$  e le *tasse e canoni*  $C_2$ . Attraverso  $C_1$  e  $C_2$  sono quantificati i *costi annui totali*.

### 2. BENEFICI ANNUI

L'utente seleziona il metodo preferito per la determinazione del *prezzo di cessione dell'energia*  $p_{CE}$ , scegliendo tra *l'inserimento diretto* del **valore** di  $p_{CE}$ , o il *prezzo minimo garantito PMG* (i valori riportati nel file xlsm per il PMG sono quelli stabiliti dal GSE per il ritiro dedicato dell'energia elettrica).

Tramite il  $p_{CE}$  e la  $E_{ANNUA}$  vengono calcolati i *benefici annui totali*.

### 3. ANALISI FINANZIARIA

Per procedere all'analisi finanziaria dell'investimento, l'utente deve inserire, nelle apposite **celle**, i valori del *tasso di attualizzazione*  $i$  e della *vita di progetto dell'impianto*  $n$ .

Tramite  $n, i$ , i *costi annui totali* ed i *benefici annui totali* vengono determinati i *costi e ricavi anno 0* e i *costi e ricavi anno J*. Essendo un'analisi finanziaria preliminare i costi dell'anno 0 sono approssimati al  $C_c$  ed i costi e ricavi degli anni  $j$  successivi fino ad  $n$  sono considerati costanti. Viene riportato un grafico che mostra *l'andamento dei costi e ricavi annui*, negli anni.

Infine vengono mostrati tutti i valori che consentono all'utente di valutare la fattibilità del progetto da un punto di vista economico: *valore attuale netto VAN*, *indice di rendimento rateizzato IRA*, *periodo di pareggio rateizzato PPA*, *tempo di ritorno investimento  $T_R$* , *rapporto benefici costi RBC*.

Viene riportato anche l'andamento dei *flussi di cassa* negli anni.

Una volta proceduto ad inserire tutti i dati, l'utente può modificare alcuni dei valori scelti, come la  $Q_p$  o la tipologia di turbina scelta, questo in base alle sue necessità ed ai suoi obiettivi. La  $Q_p$  che ottimizza l'investimento da un punto di vista economico (ottimizza il VAN), solitamente non coincide con quella che massimizza la produzione energetica annua  $E_{annua}$ , il VAN non dipende solamente dalla produzione di energia annua per la vendita, ma anche dai costi annui e di investimento. L'utente può quindi confrontare varie soluzioni, variando i dati immessi, fino ad arrivare alla configurazione ottimale per i suoi scopi.

I "fogli di calcolo per la valutazione della fattibilità tecnico-economica di un impianto mini idroelettrico" costituiscono, quindi, uno strumento di facile utilizzo, che permette all'utente di effettuare una valutazione preliminare del progetto di un impianto mini idroelettrico.

FORMULE UTILIZZATE NELL'APPLICATIVO EXCEL

1. PORTATA MEDIA  $Q_m = \frac{1}{T} \int_0^T Q(t) dt \text{ [m}^3/\text{s]}$

2. VOLUME DERIVABILE  $V(t) = \int_0^T Q(t) dt \text{ [m}^3\text{]}$

3. PORTATA DERIVATA MEDIA MEDIA  $Q_{der\_m} = V_{der}/31536000$

4. DIAMETRO CONDOTTA  $D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot v_{cf}}}$

5. PERDITE CONTINUE  $\Delta h_{cont} = \frac{10,29 \cdot n^2 \cdot Q_p^2}{D_{comm}^{5,333}} \cdot L \text{ [m]}$

6. PERDITE LOCALIZZATE  $\Delta h_{loc} = \alpha \cdot \frac{v(Q_p)^2}{2g} \text{ [m]}$

7. NUMERO DI GIRI SPECIFICO  $n_s = n \cdot \frac{P^{1/2}}{H^{5/4}}$

8. POTENZA MASSIMA IMPIANTO  $P_{max} = \frac{1}{1000} \cdot \gamma \cdot Q_p \cdot H_n \cdot \eta_{tur}(Q_p) \text{ [kW]}$

9. POTENZA MEDIA IMPIANTO  $P_{med} = \frac{1}{1000} \cdot \gamma \cdot Q_{m_{der}} \cdot H_n(Q_{m_{der}}) \cdot \eta_{tur}(Q_{m_{der}}) \text{ [kW]}$

10. ENERGIA PRODOTTA ANNUA  $E_{annua} = \frac{1}{1000} \cdot \eta_{glob} \cdot (1 - f) \cdot \int_0^{8760} P(t) dt \text{ [MWh]}$

11.  $VAN = F_0 + F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum_0^n F_j$

12.  $IRA = \frac{VAN}{C_C}$

13.  $\sum_{j=0}^{PPA} F_j = 0$

14.  $T_R = \frac{C_C}{(B-C)} \text{ [anni]}$

15.  $RBC = \frac{\sum_0^n \frac{B_j}{(1+i)^j}}{\sum_0^n \frac{C_j}{(1+i)^j}}$

