

territori 7

strumenti interdisciplinari per la valutazione, la programmazione e la gestione delle risorse ambientali

DOSSIER

**Evoluzione del paesaggio
in Val d'Orcia:
un'analisi attraverso
l'uso del suolo**

**Analisi multicriteri nella pianificazione
di un bacino fluviale**

**Microidroelettrico: un giudizio
di efficienza e convenienza**

**Recupero di edifici produttivi agricoli
e valorizzazione del territorio**

**Gli ambienti umidi salmastri in Molise,
biodiversità e vulnerabilità**

ISSN 2039-806-9



20007



9 772039 806007

Microidroelettrico: un giudizio di efficienza e convenienza

di Alessandro Ragazzoni

Tra le energie rinnovabili, aumenta sempre più l'interesse per l'idroelettrico di piccola scala che comporta investimenti ed impatti territoriali ridotti

Premessa

Tra le energie rinnovabili, aumenta sempre più l'interesse per l'idroelettrico di piccola scala, considerando anche la grande disponibilità idrica che il nostro Paese può offrire nelle aree di media e bassa collina. Tra i sistemi di produzione di energia si definiscono micro-impianti idroelettrici quelli che possono fornire un picco di energia al di sotto dei 100 kW di potenza; il pregio di tale tipologia non consiste tanto nel contributo energetico che può fornire al fabbisogno elettrico nazionale, quanto piuttosto nella valorizzazione della risorsa idrica a livello locale.

Gli impianti micro-idro rappresentano una modalità di impiego di una fonte energetica rinnovabile che in certi casi non è opportunamente valorizzata ed, inoltre, presentano un impatto ambientale molto contenuto per le caratteristiche progettuali che non richiedono l'alterazione dei corsi e dei flussi d'acqua degli alvei fluviali.

Un impianto è costituito principalmente da due parti:

- componenti civili e idrauliche (tra cui opere di presa, di convogliamento e di restituzione delle acque, ecc.);
- opere elettromeccaniche (turbina o coclea, alternatore, quadri elettrici, sistemi di comando, ecc.).

La presenza di componenti diverse e la loro complessità costruttiva e di dimensionamento variano essenzialmente in funzione della dimensio-

ne dell'impianto e delle caratteristiche del corso d'acqua interessato. Principalmente del flusso di acqua si valuta la portata utile e il salto idraulico cioè la differenza tra i livelli dell'acqua a monte e a valle di uno sbarramento o di un'altra opera idraulica. Nel presente contributo saranno presentati gli aspetti tecnici dei principali impianti che possono sfruttare l'energia dell'acqua, per dettagliare poi pregi e difetti della scelta delle coclea idraulica, quale componente strutturale d'impianto. Seguirà l'analisi economica e il giudizio di convenienza per l'imprenditore a installare un impianto a coclea per la produzione di energia elettrica.

Energia potenziale dell'acqua in caduta

Gli impianti idroelettrici trasformano l'energia potenziale e cinetica dell'acqua in caduta da una certa altezza, in energia meccanica per mezzo di speciali impianti (turbine e/o coclee) che vengono messe in movimento dalla massa d'acqua. A sua volta, la potenza meccanica può essere impiegata per produrre energia elettrica collegando l'asse della turbina e/o della coclea, tramite opportuni riduttori, a un generatore. La potenza effettivamente ottenibile da un impianto idraulico si esprime secondo la seguente formula:

$$P = \eta g Q H$$

dove:

P = potenza espressa in kW

η = rendimento globale dell'impianto (espresso in percentuale)

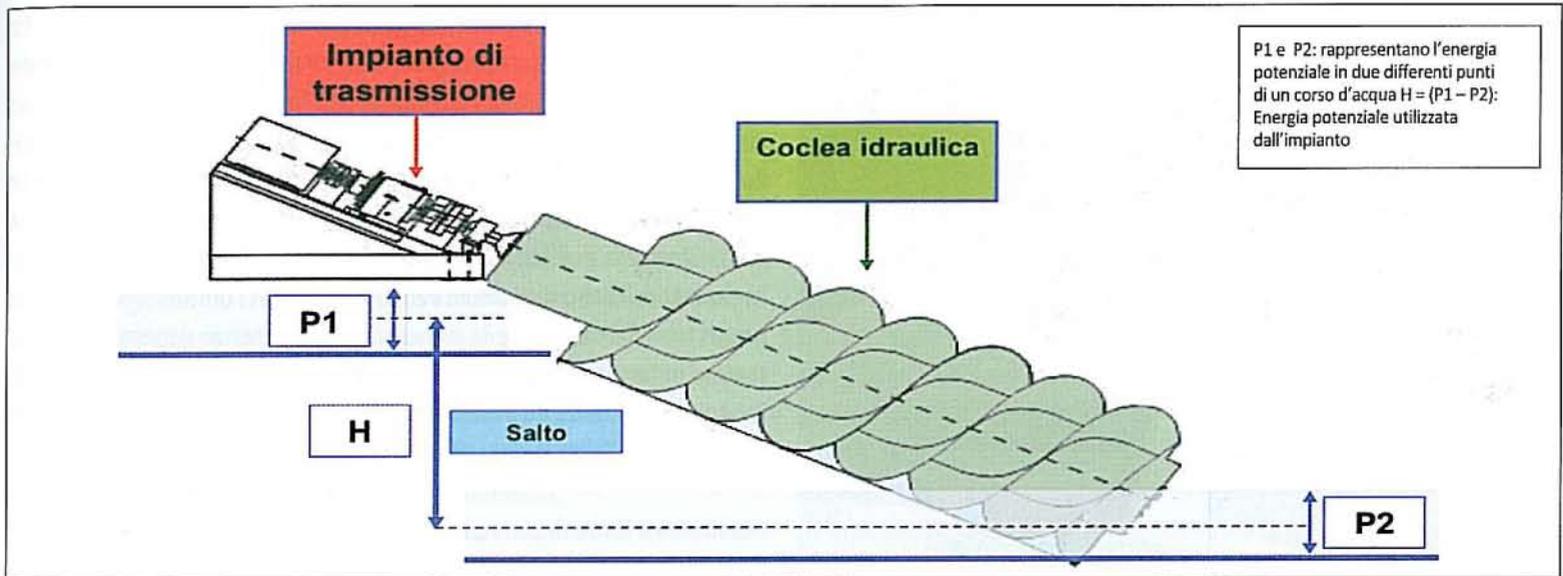
g = accelerazione di gravità espressa in m/s^2 (pari a $9,8 m/s^2$)

Q = portata d'acqua espressa in m^3/s

H = caduta o salto espresso in m

Come premesso quindi la produzione di energia dipende da due fattori principali, la caduta (detta anche salto) e la portata d'acqua (figura 1).

La caduta o *salto* (H) rappresenta il dislivello esistente fra la quota a cui



↑ Figura 1. Schema di funzionamento di un impianto microidroelettrico con coclea idraulica

Fonte: Nostra elaborazione

è disponibile la risorsa idrica da sfruttare e il livello a cui la stessa viene restituita dopo il passaggio attraverso la macchina.

Mentre, viene definita *portata* (Q) il volume di acqua che attraversa una determinata sezione del corso d'acqua nell'unità di tempo, la quale può essere espressa sia in metri cubi/secondo, sia in litri/secondo. È da tener presente che la portata è un elemento estremamente variabile, infatti, può dipendere dalla grandezza del bacino, dalla permeabilità del suolo, dalla vegetazione presente e, soprattutto, dai fattori climatici che generano gli apporti positivi (con le precipitazioni) e negativi (siccità, evapotraspirazione, ecc.). Proprio su questa variabile deve es-

sere concentrata la massima attenzione al fine di verificare la portata costante durante l'anno (che può essere molto difforme in base alla stagionalità delle piogge) e storicamente, rilevando i valori che si sono registrati nel passato.

Un altro parametro importante nel calcolo della potenza ottenibile da un impianto è il *rendimento globale* (η) cioè la percentuale di potenza che può essere effettivamente ottenuta rispetto al potenziale tecnico. Tale coefficiente viene utilizzato per tener conto delle inevitabili perdite di trasformazione: infatti, un valore prudenziale si colloca generalmente intorno al 70% della potenza teorica.



↑ Foto 1. Particolare di coclea idraulica in impianto microidroelettrico

dell'impianto, alimentando la potenza installata.

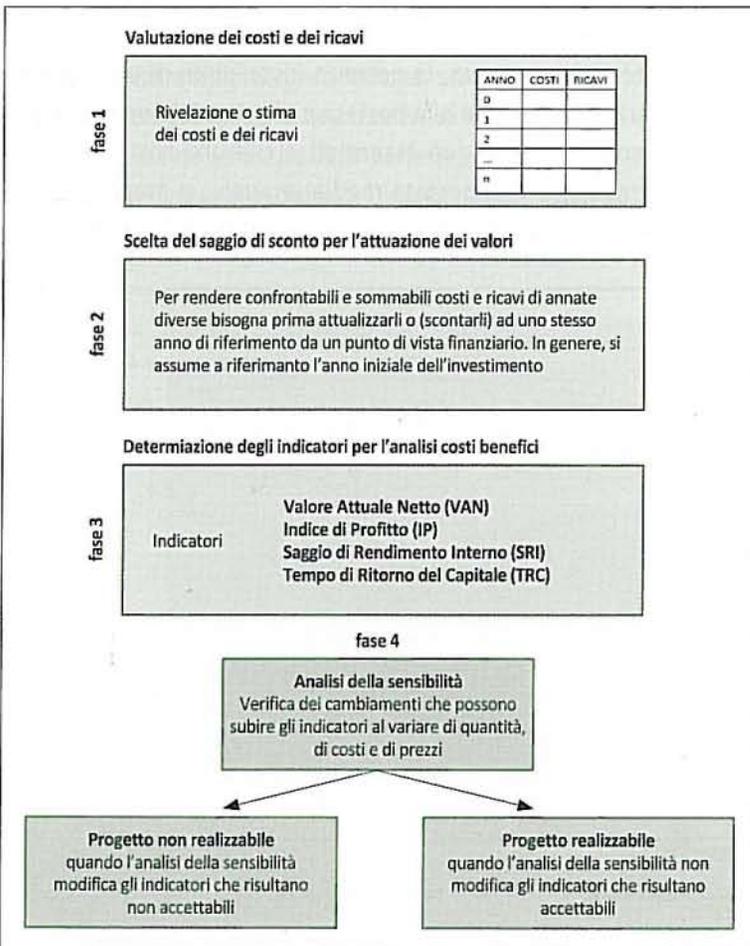
I dati necessari al dimensionamento – basato flusso idraulico idoneo per il corretto funzionamento dell'impianto – sono l'analisi storica di portata, la stagionalità dei flussi, i prelievi per scopi irrigui, la frequenza delle variazioni, la piovosità, ecc.

La fattibilità dell'investimento si basa su serie di indicatori che permettano di individuare in prima battuta il tempo di ritorno del capitale investito, la redditività dello stesso, il profitto in termini di valore assoluto. Si analizzerà poi la redditività dell'intervento basato sul rapporto costi/ricavi e strettamente dal tempo in cui la portata del corso d'acqua permette il pieno funzionamento dell'impianto idraulico e la conseguente erogazione di energia elettrica da immettere in rete.

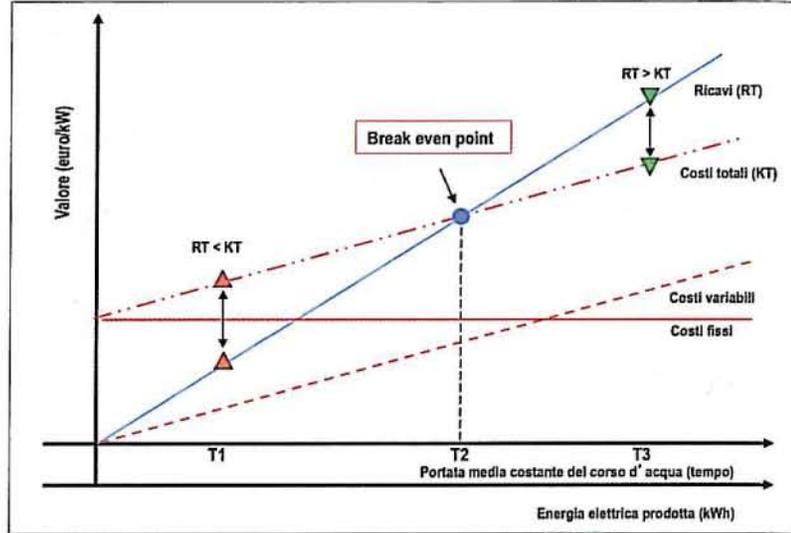
Analisi costi-ricavi

Si possono schematizzare nel seguente modo le fasi dell'analisi costi-benefici applicabile in sede di valutazione di investimenti pubblici o privati (figura 4):

- valutazione dei costi preventivati e dei benefici attesi per l'investimento;
- attualizzazione dei valori precedenti, in base ad un opportuno saggio di sconto;
- verifica degli indici di redditività;
- analisi della sensibilità degli indicatori nel caso di cambiamenti di valore nel flusso di cassa.



↑ Figura 4. Schema applicativo dell'analisi costi benefici



↑ Figura 5. Rappresentazione grafica del break even point

Per l'operatore privato, i prezzi di riferimento sono quelli di mercato, mentre per il decisore pubblico occorre spesso riferirsi a *prezzi ombra* o *costi opportunità* (che dovrebbero rappresentare il giusto apprezzamento monetario della società nei confronti di quel determinato bene o servizio), in mancanza di riferimenti precisi di mercato.

La realizzazione del progetto prevede entrate ed uscite monetarie (flusso di cassa), determinate secondo il principio della cassa e non della competenza (cioè dell'anno di riferimento del costo e/o del ricavo), per cui si considerano:

- investimento iniziale
- gestione operativa
- gestione finanziaria
- eventuale valorizzazione del residuo dell'investimento esistente a fine periodo

Costi e benefici si manifestano in anni successivi dell'orizzonte temporale preso a riferimento per l'investimento, per cui è necessario trasformarli in entità tra loro omogenee, prima di procedere al loro confronto. Occorre quindi attualizzare (cioè convertire ad una stessa data, tramite l'uso di saggi di sconto): per un investimento privato si utilizza il tasso di interesse commerciale, prevalente sul mercato dei capitali, in caso di investimenti analoghi. Nelle analisi preordinate a interventi pubblici si fa riferimento normalmente a un fattore di sconto basato sul *tasso sociale di preferenza temporale*, che esprime la preferenza della collettività nella scelta fra consumo e risparmio: generalmente la collettività attribuisce alla disponibilità immediata di una somma di denaro o di qualunque altro bene una utilità superiore a quella futura.

Tornando all'investitore privato, se operasse in completa assenza di rischio, il tasso da scegliere – ricordando che esso rappresenta il costo opportunità del capitale investito – potrebbe essere quello dei titoli di stato a breve scadenza, cioè privi di rischio. Tale tasso dovrebbe essere depurato dell'inflazione del momento e maggiorato di un "giusto" premio attribuibile al rischio di impresa assunto con l'investimento.

Come precedentemente accennato alcuni indicatori si prestano alla valuta-

zione delle possibili alternative d'investimento: se ne delineano i principali:

▫ *Valore Attuale Netto (VAN)* cioè la differenza tra entrate ed uscite cioè il flusso di cassa scontato all'attualità con il tasso di sconto prescelto; è accettabile nel momento in cui sia superiore a zero;

▫ *indice di profitto* è il rapporto tra il valore attualizzato dei flussi di cassa in entrata e quello dei flussi di cassa in uscita. Il quoziente fornisce un indice che misura il ritorno per unità di spesa dell'investimento; l'accettabilità si raggiunge se superiore a uno;

▫ *saggio di rendimento interno* è il saggio prodotto dall'investimento che si calcola, ponendo il VAN uguale a zero; il tasso di rendimento interno è accettabile se superiore al saggio di sconto scelto per l'analisi;

▫ *tempo di ritorno del capitale attualizzato* cioè il numero di anni necessari per recuperare la spesa iniziale di un progetto di investimento; questo viene confrontato con il massimo tempo di ritorno accettabile dall'azienda.

Break even point

L'investimento per la realizzazione di un impianto micro-idroelettrico presenta, come detto, l'incognita relativa alla costanza nella portata di acqua; fondamentale è conoscere il numero di ore in cui la portata, su cui si è appunto dimensionato l'impianto, è garantita durante l'anno solare ed, in virtù di ciò, il limite minimo di tempo di funzionamento in grado di coprire i costi di esercizio con la vendita dell'energia prodotta.

A tal proposito, è sembrato opportuno elaborare il cosiddetto break even point, ovvero il punto di soglia entro il quale conviene realizzare il progetto: è intuitivo osservare che tanto più breve è il tempo in cui si coprono le spese, tanto più sarà elevato l'utile annuale (figura 5). Si può trasferire l'approccio di valutazione anche al caso della produzione di energia elettrica con un impianto idraulico a coclea: la quantità di prodotto vendibile è sostituita dal tempo in cui la portata è garantita per il corretto funzionamento dell'impianto ed il prezzo, ovviamente, la tariffa omnicomprendente di incentivazione alla produzione di energia elettrica rinnovabile.

Un caso applicativo

L'ipotesi indagata si riferisce a un impianto micro-idroelettrico, con una potenza di circa 40 kW, quindi con possibilità di vendita dell'energia elettrica al GSE. L'analisi è condotta in modo sequenziale, determinando in un primo momento i costi di realizzazione e di gestione, ulteriormente distinti in costi fissi e variabili; quindi, in un secondo momento, in base alla portata stimata del corso d'acqua si proporranno alcuni scenari di convenienza economica relativamente a indici di redditività e BEP (break even point). Il progetto è relativo ad una coclea idraulica da installare su un salto idraulico di circa 1,4 metri e con una portata del corso d'acqua di 4 m³/sec; da tali elementi, la potenza risulta essere:

$$\text{Potenza} = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H = 70\% \cdot 9,81 \cdot 4,0 \cdot 1,4 = 38,45 \text{ kW}$$

Investimento iniziale

Il primo capitolo di spesa è relativo al costo di realizzazione: tale voce è riferita all'anno zero. Indubbiamente le opere accessorie per la realizzazione dell'impianto nel bacino idrico assumono elevata variabilità in relazione al sito dove sarà collocato. Gli interventi civili, le sistemazioni idrauliche del corso d'acqua e gli impianti elettromeccanici sono specifici per ciascun progetto e difficilmente generalizzabili. Tuttavia, in base ad alcune caratteristiche generali dell'impianto, si può stimare quale possa essere il riparto del costo di realizzazione.

Nel caso in esame, la spesa totale per l'impianto è pari a 140 mila euro (circa 3.600 euro/kW); se il costo unitario dell'impianto a coclea è soggetto a variabilità decrescente all'aumentare della potenza, ben diverse sono le considerazioni per quanto riguarda (tabella 1) le opere correlate:

- *Opere civili*: il posizionamento dell'impianto nel corso d'acqua può richiedere interventi molto diversificati per la presenza o meno di manufatti in grado di alloggiarlo. Questo determina sensibili differenze tra le opere civili necessarie;

- *Opere idrauliche*: qualora sia necessario deviare e derivare il corso d'acqua per alimentare la coclea, la spesa può essere notevole e stimabile solo caso per caso;

- *Opere elettriche ed accessorie*: ultima importante variabile è relativa al collegamento dell'impianto con la rete elettrica per l'immissione

TABELLA 1. STIMA DEL COSTO TOTALE DELL'INVESTIMENTO PER UN IMPIANTO DI 40 KW

Potenza teorica installabile:	38,45	kW
VOCI DI COSTO		
a) Costo unitario dell'impianto	1.750,00	euro/kW
b) Costo unitario opere civili	875,00	euro/kW
c) Costo unitario opere idrauliche	350,00	euro/kW
d) Costo unitario opere elettriche	437,50	euro/kW
COSTO UNITARIO TOTALE	3.412,50	euro/kW
COSTO TOTALE	131.210,63	euro
PROGETTAZIONE E AMMINISTRAZIONE (7,5% CT)	9.840,80	euro
COSTO TOTALE finale	141.051,42	euro

Fonti: nostra elaborazione da indagini dirette

TABELLA 2. STIMA DEL COSTO DI GESTIONE ANNUALE DELL'IMPIANTO

A. Assistenza e controllo (personale):	Parametri	Importo (euro)
* ore/giorno:	2,00	
* giorni/anno:	350,00	
* euro/ora:	15,00	10.500,00
B. Manutenzione ordinaria annuale:		
Quota del valore per la manutenzione (%):	2,50%	
Valore dell'impianto a coclea:	67.296,60	1.682,42
Quota del valore per la manutenzione (%):	2,00%	
Valore delle opere idrauliche:	13.459,32	269,19
Quota del valore per la manutenzione (%):	5,00%	
Valore delle opere elettriche:	16.824,15	841,21
COSTO TOTALE ANNUALE GESTIONE		13.292,82

Fonti: nostra elaborazione da indagini dirette



↑ Foto 2. Visione di insieme di un impianto microidroelettrico di pianura

L'utilizzo della coclea idraulica: vantaggi e svantaggi

Il funzionamento

La vite di Archimede, detta anche coclea (foto 1), è un dispositivo elementare usato fin dall'antichità per sollevare liquidi e solidi. La macchina nella sua funzione originale è composta da una grossa vite posta all'interno di un tubo. La parte inferiore del tubo viene immersa nell'acqua (o in ciò che deve sollevare), dopodiché, ponendo in rotazione la vite, ogni passo raccoglie un certo quantitativo di liquido, che viene sollevato lungo la spirale fino ad uscire dalla parte superiore, e successivamente scaricata in un bacino di accumulo; l'energia per la rotazione può essere fornita in vari modi. Grazie all'applicazione del principio inverso, l'ener-

gia potenziale viene utilizzata per la produzione di energia elettrica. La coclea idraulica, infatti, lavora grazie alla forza di gravità: l'acqua scende all'interno delle camere dal livello più alto fino al livello più basso, con un movimento relativamente lento. La forza di gravità, che in questo modo agisce sull'acqua durante la caduta, esercita un movimento torcente sull'albero di trasmissione che produce così energia meccanica che viene poi trasformata in elettrica.

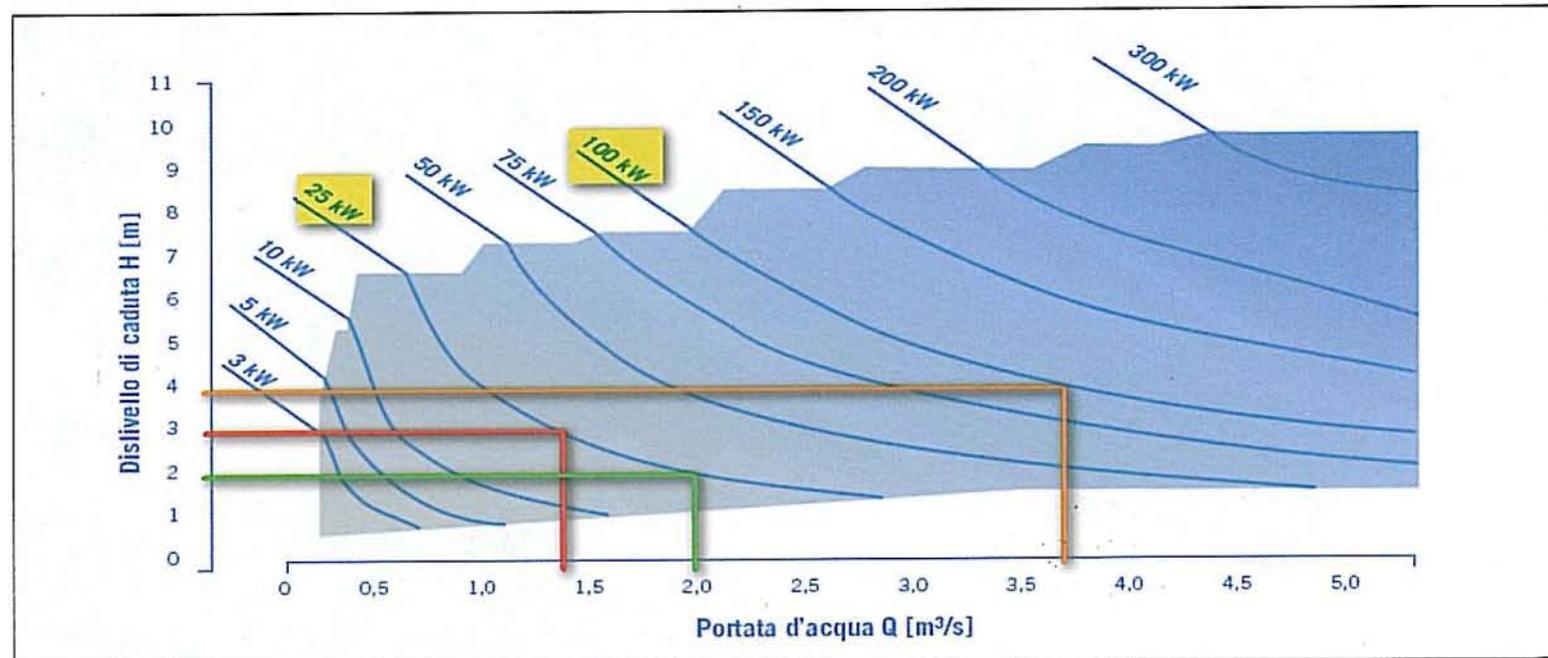
La portata e il salto disponibili vengono tenuti in considerazione in fase progettuale per decidere le dimensioni e la potenza generabile con la coclea: in base alla portata, infatti, vengono calcolati il numero di giri, l'angolo di incidenza ed il diametro della vite; considerando, poi, l'angolo di incidenza e l'altezza del salto viene calcolata la lunghezza della vite.

Possibilità e limiti di convenienza dell'impiego

Gli impianti micro-idroelettrici si classificano in base alla soglia di potenza, se superiore o inferiore a 20 kW.

Al momento della progettazione, tenendo in considerazione l'utilizzo finale dell'energia prodotta (autoconsumo o vendita), occorre fare riferimento ai due regimi fiscali ed incentivanti distinti che variano in base alla potenza nominale di soglia. Infatti, per l'energia prodotta da impianti con potenza inferiore a 20 kW non è prevista l'opportunità di vendita, ma solo la defiscalizzazione ed il relativo autoconsumo (foto 2). Le vite idrauliche sono particolarmente adatte ad essere impiegate in quest'ultimo caso: infatti, rendono possibile l'utilizzazione di energia idraulica laddove le tradizionali turbine vengono escluse in quanto troppo onerose: la potenza elettrica ottenibile con le coclee è compresa tra 3 kW fino a 300 kW, utilizzando volumi d'acqua con valori compresi tra 0,2 e 5,5 m³/s e dislivelli da 1 metri fino a 10 metri.

Si propongono alcuni esempi: con un salto di circa 3 metri e una portata media di circa 1,4 metri cubi/secondo, è possibile ottenere una potenza elettrica di 25 kW (o anche con un salto di circa 2 metri ed una portata



↑ Figura 2. Rappresentazione grafica della potenza elettrica ottenibile con coclea idraulica considerando il salto idraulico (espresso in m) e la portata (espressa in m³/s).

media di circa 2 metri cubi/secondo); aumentando la potenza elettrica a 100 kW, è necessario avere a disposizione un salto di 4 m ed una portata media di circa 3,7 metri cubi/secondo (figura 2). È da sottolineare come variazioni ed instabilità del livello e della quantità d'acqua, sia a monte sia a valle dell'impianto, influiscono solamente in maniera secondaria e non causano nessun problema al funzionamento ed al conseguente esercizio della coclea: per questo motivo, non è richiesta nessuna regolazione, la coclea si adatta automaticamente alla frequenza di rete ed alla portata d'acqua. Ovviamente a modifiche del flusso come di portata si otterranno modifiche delle rese energetiche in kWh prodotti.

La coclea idraulica presenta alcuni vantaggi dal punto di vista della sostenibilità ambientale, economica e di rendimento.

Sostenibilità ambientale in quanto inseribile nel contesto fluviale con un basso impatto per il flusso delle acque e per la fauna ittica: l'installazione non richiede quasi mai la deviazione del corso d'acqua e garantisce il mantenimento del flusso minimo vitale a valle dell'impianto. Inoltre, la vite idraulica consente la discesa dei pesci che subiscono minimi danni, come piccoli ematomi o perdita di scaglie, nell'oltrepassare la coclea. Infine, il passaggio nella vite produce una maggiore ossigenazione dell'acqua e ne migliora la qualità a valle dell'impianto.

Sostenibilità economica: la costruzione di un impianto a coclea richiede un modesto investimento iniziale, anche per le minori opere civili necessarie, rispetto ai bacini di contenimento. Non sono necessarie variazioni al corso d'acqua a differenza delle tradizionali turbine che richiedono, nella maggior parte dei casi, importanti lavori di costruzione nella zona dello scarico a valle. Non è richiesto l'utilizzo di griglie a maglia fine, usate nelle turbine e nelle ruote ad acqua per il filtraggio dell'acqua da detriti alluvionali e l'allontanamento dei pesci: i corpi e il materiale galleggiante possono oltrepassare la coclea senza ostacoli e senza danni per l'impianto. Inoltre, la possibilità di impiegare una griglia a monte dell'im-

La coclea o vite di Archimede è una delle soluzioni idrauliche che meglio si prestano alla realizzazione di microimpianti idroelettrici e non comporta la deviazione del flusso

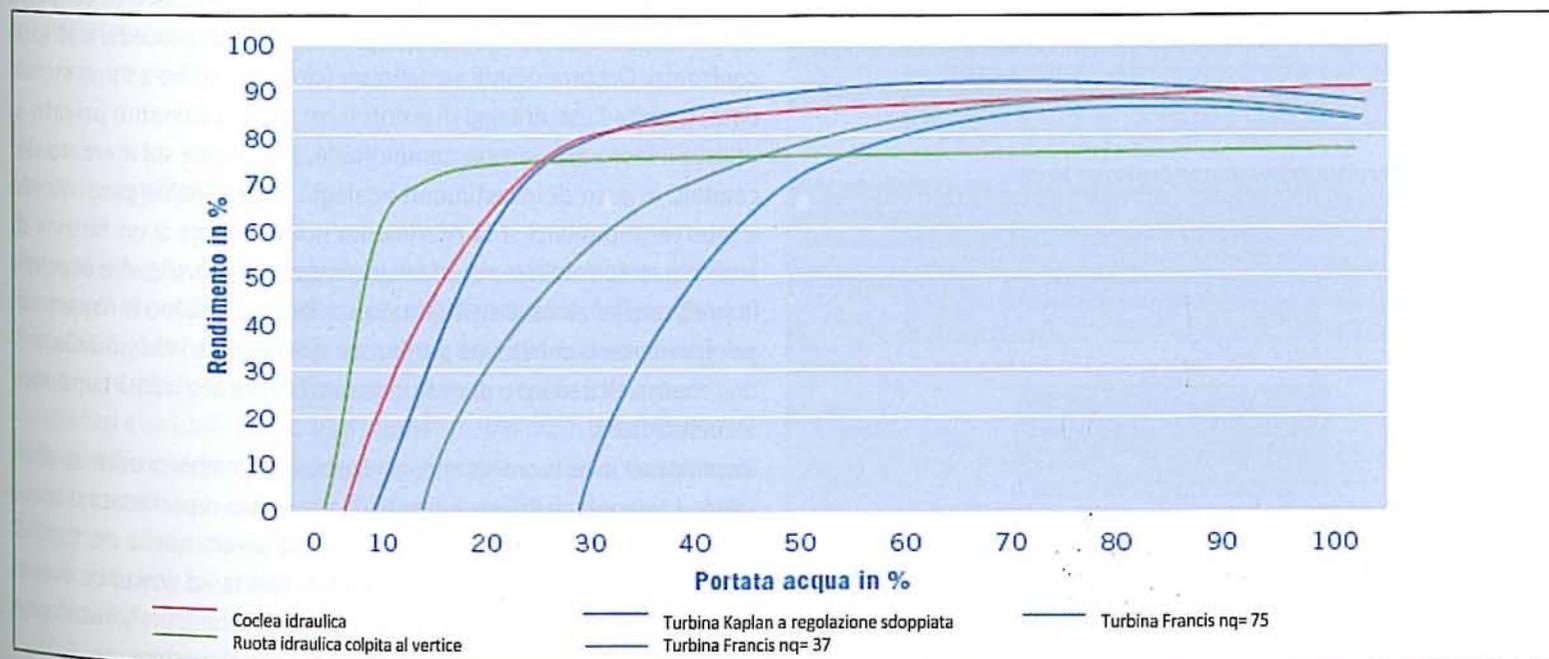
pianto con fessure di ampie dimensioni consente un miglior passaggio della luce che determina il contenimento della formazione di alghe sulla griglia stessa. Queste caratteristiche costruttive permettono di ridurre il costo di manutenzione e di pulizia.

Rendimento energetico: i risultati ottenuti confrontando il rendimento energetico di impianti alternativi di ridotte dimensioni (figura 3), evidenziano come le coclee idrauliche, anche con portate ridotte dell'80-90%, raggiungano un rendimento prossimo al 90%. La stabilità del rendimento avvalorata scelta tecnologica soprattutto per corsi d'acqua sensibili alla stagionalità di portata.

L'applicabilità del micro-idro è spesso collegata a corsi d'acqua con portate variabili sia nell'annata, sia in serie storiche pluriennali; occorre quindi approfondire i livelli di costanza delle portate, per evidenziare caratteristiche di stagionalità e di andamenti periodici altalenanti che possono incidere negativamente sul rendimento energetico dell'impianto.

Analisi di convenienza

Come detto in precedenza, la potenza installabile di un impianto viene determinata in base alla portata e al salto del corso d'acqua; pertanto, se il salto non può essere altro che una costante, la variabile da indagare è la portata media annuale, o meglio, il tempo complessivo in cui il corso d'acqua permette il funzionamento



↑ Figura 3. Confronto del rendimento di una coclea idraulica con altri impianti micro-idro

dell'impianto, alimentando la potenza installata.

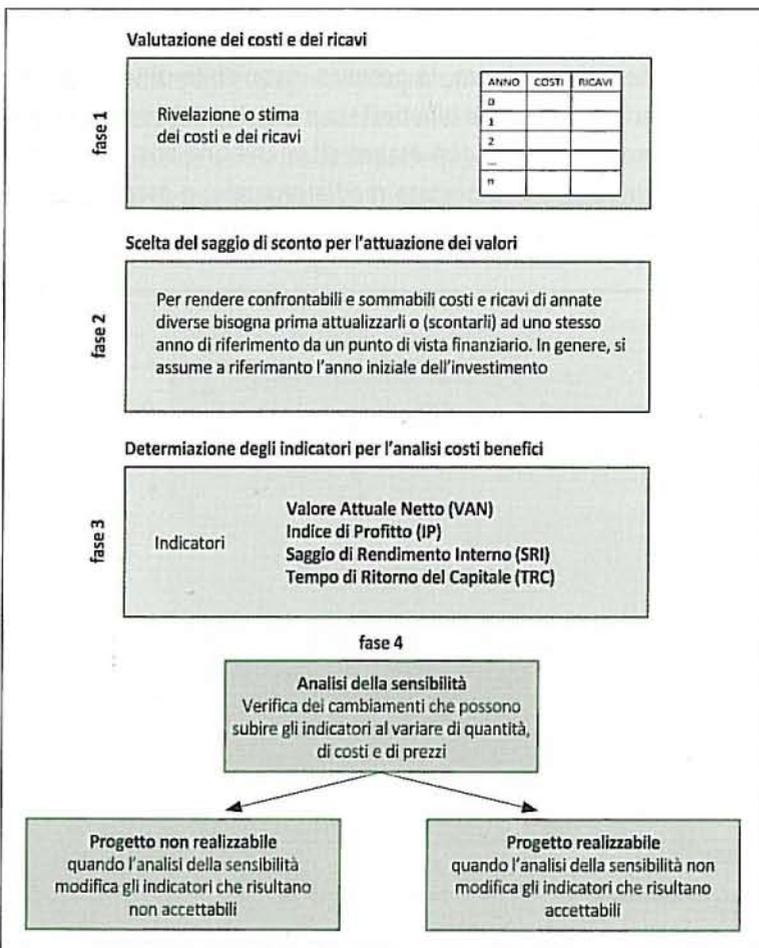
I dati necessari al dimensionamento – basato flusso idraulico idoneo per il corretto funzionamento dell'impianto – sono l'analisi storica di portata, la stagionalità dei flussi, i prelievi per scopi irrigui, la frequenza delle variazioni, la piovosità, ecc.

La fattibilità dell'investimento si basa su serie di indicatori che permettano di individuare in prima battuta il tempo di ritorno del capitale investito, la redditività dello stesso, il profitto in termini di valore assoluto. Si analizzerà poi la redditività dell'intervento basato sul rapporto costi/ricavi e strettamente dal tempo in cui la portata del corso d'acqua permette il pieno funzionamento dell'impianto idraulico e la conseguente erogazione di energia elettrica da immettere in rete.

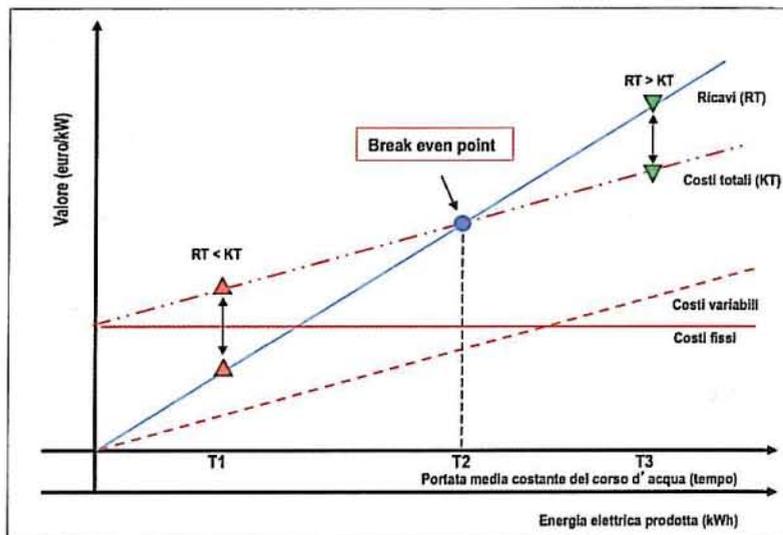
Analisi costi-ricavi

Si possono schematizzare nel seguente modo le fasi dell'analisi costi-benefici applicabile in sede di valutazione di investimenti pubblici o privati (figura 4):

- valutazione dei costi preventivati e dei benefici attesi per l'investimento;
- attualizzazione dei valori precedenti, in base ad un opportuno saggio di sconto;
- verifica degli indici di redditività;
- analisi della sensibilità degli indicatori nel caso di cambiamenti di valore nel flusso di cassa.



↑ Figura 4. Schema applicativo dell'analisi costi benefici



↑ Figura 5. Rappresentazione grafica del break even point

Per l'operatore privato, i prezzi di riferimento sono quelli di mercato, mentre per il decisore pubblico occorre spesso riferirsi a prezzi ombra o costi opportunità (che dovrebbero rappresentare il giusto apprezzamento monetario della società nei confronti di quel determinato bene o servizio), in mancanza di riferimenti precisi di mercato.

La realizzazione del progetto prevede entrate ed uscite monetarie (flusso di cassa), determinate secondo il principio della cassa e non della competenza (cioè dell'anno di riferimento del costo e/o del ricavo), per cui si considerano:

- investimento iniziale
- gestione operativa
- gestione finanziaria
- eventuale valorizzazione del residuo dell'investimento esistente a fine periodo

Costi e benefici si manifestano in anni successivi dell'orizzonte temporale preso a riferimento per l'investimento, per cui è necessario trasformarli in entità tra loro omogenee, prima di procedere al loro confronto. Occorre quindi attualizzare (cioè convertire ad una stessa data, tramite l'uso di saggi di sconto): per un investimento privato si utilizza il tasso di interesse commerciale, prevalente sul mercato dei capitali, in caso di investimenti analoghi. Nelle analisi preordinate a interventi pubblici si fa riferimento normalmente a un fattore di sconto basato sul tasso sociale di preferenza temporale, che esprime la preferenza della collettività nella scelta fra consumo e risparmio: generalmente la collettività attribuisce alla disponibilità immediata di una somma di denaro o di qualunque altro bene una utilità superiore a quella futura.

Tornando all'investitore privato, se operasse in completa assenza di rischio, il tasso da scegliere – ricordando che esso rappresenta il costo opportunità del capitale investito – potrebbe essere quello dei titoli di stato a breve scadenza, cioè privi di rischio. Tale tasso dovrebbe essere depurato dell'inflazione del momento e maggiorato di un "giusto" premio attribuibile al rischio di impresa assunto con l'investimento.

Come precedentemente accennato alcuni indicatori si prestano alla valuta-

zione delle possibili alternative d'investimento: se ne delineano i principali:

▫ **Valore Attuale Netto (VAN)** cioè la differenza tra entrate ed uscite cioè il flusso di cassa scontato all'attualità con il tasso di sconto prescelto; è accettabile nel momento in cui sia superiore a zero;

▫ **indice di profitto** è il rapporto tra il valore attualizzato dei flussi di cassa in entrata e quello dei flussi di cassa in uscita. Il quoziente fornisce un indice che misura il ritorno per unità di spesa dell'investimento; l'accettabilità si raggiunge se superiore a uno;

▫ **saggio di rendimento interno** è il saggio prodotto dall'investimento che si calcola, ponendo il VAN uguale a zero; il tasso di rendimento interno è accettabile se superiore al saggio di sconto scelto per l'analisi;

▫ **tempo di ritorno del capitale attualizzato** cioè il numero di anni necessari per recuperare la spesa iniziale di un progetto di investimento; questo viene confrontato con il massimo tempo di ritorno accettabile dall'azienda.

Break even point

L'investimento per la realizzazione di un impianto micro-idroelettrico presenta, come detto, l'incognita relativa alla costanza nella portata di acqua; fondamentale è conoscere il numero di ore in cui la portata, su cui si è appunto dimensionato l'impianto, è garantita durante l'anno solare ed, in virtù di ciò, il limite minimo di tempo di funzionamento in grado di coprire i costi di esercizio con la vendita dell'energia prodotta.

A tal proposito, è sembrato opportuno elaborare il cosiddetto break even point, ovvero il punto di soglia entro il quale conviene realizzare il progetto: è intuitivo osservare che tanto più breve è il tempo in cui si coprono le spese, tanto più sarà elevato l'utile annuale (figura 5). Si può trasferire l'approccio di valutazione anche al caso della produzione di energia elettrica con un impianto idraulico a coclea: la quantità di prodotto vendibile è sostituita dal tempo in cui la portata è garantita per il corretto funzionamento dell'impianto ed il prezzo, ovviamente, la tariffa omnicomprensiva di incentivazione alla produzione di energia elettrica rinnovabile.

Un caso applicativo

L'ipotesi indagata si riferisce a un impianto micro-idroelettrico, con una potenza di circa 40 kW, quindi con possibilità di vendita dell'energia elettrica al GSE. L'analisi è condotta in modo sequenziale, determinando in un primo momento i costi di realizzazione e di gestione, ulteriormente distinti in costi fissi e variabili; quindi, in un secondo momento, in base alla portata stimata del corso d'acqua si proporranno alcuni scenari di convenienza economica relativamente a indici di redditività e BEP (break even point).

Il progetto è relativo ad una coclea idraulica da installare su un salto idraulico di circa 1,4 metri e con una portata del corso d'acqua di 4 m³/sec; da tali elementi, la potenza risulta essere:

$$\text{Potenza} = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H = 70\% \cdot 9,81 \cdot 4,0 \cdot 1,4 = 38,45 \text{ kW}$$

Investimento iniziale

Il primo capitolo di spesa è relativo al costo di realizzazione: tale voce è riferita all'anno zero. Indubbiamente le opere accessorie per la realizzazione dell'impianto nel bacino idrico assumono elevata variabilità in relazione al sito dove sarà collocato. Gli interventi civili, le sistemazioni idrauliche del corso d'acqua e gli impianti elettromeccanici sono specifici per ciascun progetto e difficilmente generalizzabili. Tuttavia, in base ad alcune caratteristiche generali dell'impianto, si può stimare quale possa essere il riparto del costo di realizzazione.

Nel caso in esame, la spesa totale per l'impianto è pari a 140 mila euro (circa 3.600 euro/kW); se il costo unitario dell'impianto a coclea è soggetto a variabilità decrescente all'aumentare della potenza, ben diverse sono le considerazioni per quanto riguarda (tabella 1) le opere correlate:

- **Opere civili:** il posizionamento dell'impianto nel corso d'acqua può richiedere interventi molto diversificati per la presenza o meno di manufatti in grado di alloggiarlo. Questo determina sensibili differenze tra le opere civili necessarie;

- **Opere idrauliche:** qualora sia necessario deviare e derivare il corso d'acqua per alimentare la coclea, la spesa può essere notevole e stimabile solo caso per caso;

- **Opere elettriche ed accessorie:** ultima importante variabile è relativa al collegamento dell'impianto con la rete elettrica per l'immissione

TABELLA 1. STIMA DEL COSTO TOTALE DELL'INVESTIMENTO PER UN IMPIANTO DI 40 KW

Potenza teorica installabile:	38,45	kW
VOCI DI COSTO		
a) Costo unitario dell'impianto	1.750,00	euro/kW
b) Costo unitario opere civili	875,00	euro/kW
c) Costo unitario opere idrauliche	350,00	euro/kW
d) Costo unitario opere elettriche	437,50	euro/kW
COSTO UNITARIO TOTALE	3.412,50	euro/kW
COSTO TOTALE	131.210,63	euro
PROGETTAZIONE E AMMINISTRAZIONE (7,5% CT)	9.840,80	euro
COSTO TOTALE finale	141.051,42	euro

Fonti: nostra elaborazione da indagini dirette

TABELLA 2. STIMA DEL COSTO DI GESTIONE ANNUALE DELL'IMPIANTO

A. Assistenza e controllo (personale):	Parametri	Importo (euro)
* ore/giorno:	2,00	
* giorni/anno:	350,00	
* euro/ora:	15,00	10.500,00
B. Manutenzione ordinaria annuale:		
Quota del valore per la manutenzione (%):	2,50%	
Valore dell'impianto a coclea:	67.296,60	1.682,42
Quota del valore per la manutenzione (%):	2,00%	
Valore delle opere idrauliche:	13.459,32	269,19
Quota del valore per la manutenzione (%):	5,00%	
Valore delle opere elettriche:	16.824,15	841,21
COSTO TOTALE ANNUALE GESTIONE		13.292,82

Fonti: nostra elaborazione da indagini dirette

dell'energia. La distanza tra l'impianto di produzione dell'energia ed il punto di inserzione con la rete pubblica diventa la variabile che contribuisce maggiormente a differenziare ed elevare i costi.

Nel caso in esame, l'impianto ha richiesto per i tre citati capitoli di spesa interventi di media complessità.

Costi e ricavi di gestione dell'impianto

Due i principali capitoli di spesa imputabili alla tipologia di impianto in esame (tabella 2):

personale per controllo, manutenzione e sorveglianza dell'impianto; come si nota, si è imputata la presenza giornaliera di un addetto per almeno 2 ore giornaliere, durante l'anno (per l'azione di sorveglianza potrebbe essere interessante la realizzazione di un sistema video); gestione impiantistica ordinaria (ad esempio, riparazioni e sostituzione: il costo annuale è stato parametrizzato come quota percentuale sul valore delle principali componenti strutturali dell'impianto, ad esclusione delle opere civili. Le quote percentuali sono variano per le specifiche parti

TABELLA 3. I RICAVI DALLA VENDITA DELL'ENERGIA ELETTRICA DELL'IMPIANTO IN ESAME	
PARAMETRI	VALORI
POTENZA DELL'IMPIANTO (kW)	38,45
TEMPO DI PORTATA COSTANTE (ore/anno)	6.570,00
PRODUZIONE ELETTRICA (kWh)	252.616,5
TARIFFA OMNICOMPRESIVA (euro/kWh)	0,22
RICAVI (euro)	55.575,63

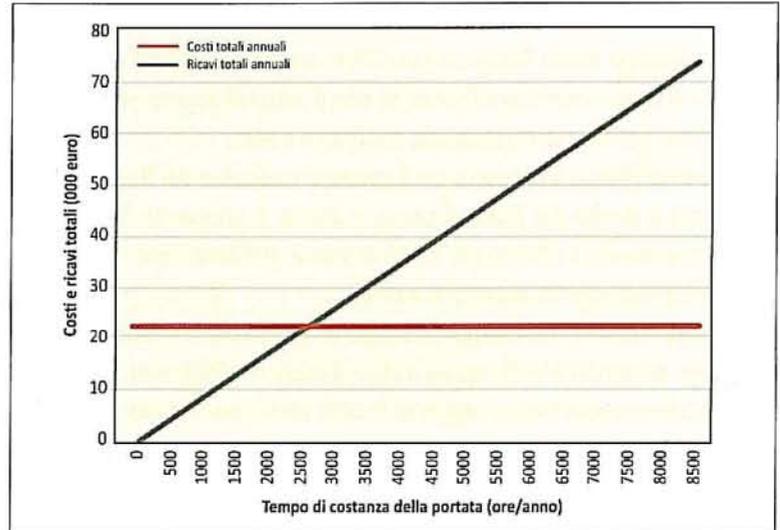
Fonti: nostra elaborazione da indagini dirette

TABELLA 4. DETERMINAZIONE DEL FLUSSO DI COSTI ANNUALI PER L'ANALISI COSTI-BENEFICI DELL'IMPIANTO			
COSTI	Valore totale (euro)	Valore unitario (euro/kW)	Quota (%)
- Assistenza e controllo	10.500,00	273,08	41,11%
- Manutenzione ordinaria annuale	2.792,43	72,63	10,93%
- Quota di finanziamento annuale	12.246,80	318,51	47,95%
- Costo totale	25.539,23	664,22	100,00%
RICAVI			
- Cessione energia elettrica	55.575,63	1.445,40	---
UTILE			
- Al lordo delle imposte	30.036,40	781,18	---
- Al netto delle imposte (50% imponibile)	15.018,20	390,59	---
FLUSSO DI COSTI ANNUALI			
- Costo totale di assistenza e manutenzione	13.292,43	345,71	29,91%
- Quota interessi della rata annuale (*)	2.843,37	73,95	6,40%
- Imposte corrisposte	15.018,20	736,30	63,70%
- Flusso di costo totale	31.154,00	1.155,95	100,00%

(*) La rata annuale è stata calcolata considerando un periodo di 15 anni ed un saggio del 3,5%.

Fonti: nostra elaborazione da indagini dirette

- Capitale:	141.051,42
- Saggio:	3,50%
- Durata:	15
- Coefficiente:	0,0868
- Rata annuale:	12.246,80
- Quota capitale:	9.403,43
- Quota interessi:	2.843,37



↑ Figura 6

dell'impianto: 2% per le opere idrauliche, 2,5% per la coclea idraulica, fino al 5% per le componenti elettriche.

I ricavi derivano produzione ed alla cessione in rete dell'energia elettrica prodotta. Per il caso in esame, si è ipotizzata una riduzione del 25% del tempo totale massimo e si assume che l'impianto funzioni per circa 6.570 ore annue: nello specifico: $(365 \times 24) \times (1 - 25\%) = 6.570$. Pertanto, i ricavi ottenibili dall'impianto sono stimabili in 55 mila euro/anno (tabella 3).

Flussi di cassa annuali

La corretta determinazione di costi e di ricavi annuali per la gestione dell'impianto permette la successiva definizione dei flussi di cassa per il periodo di durata dell'investimento (tabella 4). Nello specifico, si è scelto di imputare solo gli effettivi movimenti di cassa e quindi solo la quota interessi della eventuale rata del mutuo annuale, essendo la quota capitale dell'investimento, già considerata nella spesa iniziale all'anno "zero": ne deriva una spesa annuale complessiva pari a 31.154.000 euro. L'attualizzazione del flusso di cassa con un opportuno saggio di sconto (nel caso specifico $r = 4,5\%$) ha permesso di individuare la redditività assoluta e percentuale del progetto ed il relativo tempo di ritorno del capitale. Nella tabella 5, infatti, si evidenzia quanto segue:

- 1) Il VAN dell'investimento di 15 anni è pari a 121 mila euro, che equivalgono a circa 8 mila euro annui;
- 2) Il tempo di ritorno del capitale è compreso tra il sesto ed il settimo anno dell'investimento, come si vede dall'inversione dei segni nel differenziale tra ricavi e costi cumulati.

Inoltre, approfondendo l'analisi si possono calcolare gli altri indicatori utili per la scelta d'investimento (tabella 6): l'indice di profitto si attesta intorno al 1,25%, pari al rapporto tra la sommatoria dei ricavi attualizzati (596.857,02 euro) ed i costi attualizzati (pari a 475.631,25 euro). Il saggio di rendimento interno è del 15,26%; l'equivalente annuo (cioè il VAN annuale) è superiore a 8 mila euro.

Indubbiamente, i valori ed i risultati sono molto incoraggianti; si può

TABELLA 5. DETERMINAZIONE DEL FLUSSO DI COSTI ANNUALI PER L'ANALISI COSTI-BENEFICI DELL'IMPIANTO

ANNI	COEFF. DI ACCUMULAZIONE	COSTI ATTUALIZZATI	RICAVI ATTUALIZZATI	BENEFICIO ATTUALE NETTO	VALORE ATTUALE CUMULATO
0	---	141.051,42	---	-141.051,42	-141.051,42
1	0,957	29.812,44	53.182,42	23.369,98	-117.681,44
2	0,916	28.528,65	50.892,27	22.363,62	-95.317,83
3	0,876	27.300,15	48.700,74	21.400,59	-73.917,24
4	0,839	26.124,54	46.603,57	20.479,03	-53.438,20
5	0,802	24.999,56	44.596,72	19.597,16	-33.841,04
6	0,768	23.923,03	42.676,29	18.753,26	-15.087,78
7	0,735	22.892,85	40.838,55	17.945,71	2.857,93
8	0,703	21.907,03	39.079,96	17.172,93	20.030,85
9	0,673	20.963,67	37.397,09	16.433,42	36.464,27
10	0,644	20.060,92	35.786,69	15.725,76	52.190,04
11	0,616	19.197,06	34.245,63	15.048,58	67.238,61
12	0,590	18.370,39	32.770,94	14.400,55	81.639,16
13	0,564	17.579,32	31.359,75	13.780,43	95.419,60
14	0,540	16.822,32	30.009,33	13.187,02	108.606,61
15	0,517	16.097,91	28.717,06	12.619,15	121.225,77

Fonti: nostra elaborazione da indagini dirette

asserire che l'investimento raddoppia il valore del capitale investito durante gli anni di esercizio.

Tuttavia, non si deve dimenticare l'incognita collegata alla costanza della portata del corso d'acqua che è il punto su cui si focalizza la seconda parte dell'analisi economica; si cerca, appunto, di verificare quale sia il momento di pareggio tra ricavi e costi in relazione alle ore di portata minima necessaria durante l'anno. Ovviamente, tanto minore è il tempo necessario a pareggiare entrate ed uscite tanto più sicuro sarà l'investimento e l'utile conseguibile.

Nel caso in esame i costi totali annuali sono stati distinti in fissi e variabili; in realtà, si può pensare che la maggior parte degli stessi sia attribuibile al primo capitolo di spesa, proprio perché ricade nelle voci di costo "controllo e assistenza" e "rata per il finanziamento esterno" che sono pianificate durante l'anno, a prescindere del tempo di funzionamento. Tuttavia si è voluto attribuire ai "costi variabili", la manutenzione e le imposte che sono, infatti, proporzionali al funzionamento dell'impianto.

Pertanto, i dati per il calcolo del *break even point* si ottengono come segue (figura 6):

$$\text{Tempo minimo di portata del corso d'acqua} = 2.712 = \frac{CF}{P-CV_u} = \frac{22.747}{8,46 - 0,07}$$

dove:

CF = costi fissi aziendali

P = tariffa incentivante energia rinnovabile x potenza impianto

Cvu = costo variabile unitario: (costo di manutenzione e imposte)/potenza/tempo massimo di erogazione

P - Cvu = margine di contribuzione

Quindi il tempo minimo di produzione annuale di energia elettrica (che equivale al tempo di costanza di portata del corso d'acqua) per raggiungere il pareggio tra ricavi e costi nel conto economico è pari ad almeno 2.712 ore di pieno funzionamento (cioè il 31% di un anno solare). Al di sotto di tale durata, l'investimento non è remunerativo; viceversa, quanto più la portata costante supera tale limite, tanto più si genera profitto per l'impresa.

TABELLA 6. INDICATORI DI CONVENIENZA ECONOMICA

VALORE ATTUALE NETTO	NET PRESENT VALUE	121.225,77
INDICE DI PROFITTO	PROFITABILITY INDEX	1,25
SAGGIO DI RENDIMENTO INTERNO	INTERNAL RATE OF RETURN	15,26%
TEMPO DI RITORNO DEL CAPITALE	PAY BACK PERIOD	6 anni
EQUIVALENTE ANNUO	EQUIVALENT ANNUAL CF	8.081,72

Fonti: nostra elaborazione da indagini dirette

ABSTRACT

Among renewable energy sources, there is increasing interest in small-scale hydropower that entails limited investments and impact on the land.

The cochlea or Archimedes' screw is one of the hydraulic solutions best fit to creating micro-plants and does not entail flow diversion. The specific conditions of the waterway and the potential location of the plant determine the main structural variables, and therefore the investment costs. The factor of the most significance for economic sustainability is calculating the minimum annual capacity needed to estimate the hours of the system's potential operation.

Autore

Alessandro Ragazzoni è ricercatore presso il Dipartimento di Economia e Ingegneria agrarie dell'Università di Bologna.