

**PRODUZIONE DI ENERGIA IDROELETTRICA ECOCOMPATIBILE DAGLI
ACQUEDOTTI MONTANI E PEDEMEMONTANI: VALUTAZIONE A SCALA
REGIONALE DELLE POTENZIALITÀ DELLE RETI DI ADDUZIONE**

F. Plebani¹, D. Poggi¹, R. Revelli¹, & P. Claps¹

(1) Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili, C.so Duca degli Abruzzi 24,
10129 Torino
e-mail: fabio.plebani@polito.it, davide.poggi@polito.it, roberto.revelli@polito.it,
claps@polito.it

SOMMARIO

Tra le fonti energetiche rinnovabili, la risorsa idroelettrica risulta essere la più tradizionale e maggiormente diffusa sul territorio. Una risorsa aggiuntiva rispetto all'idroelettrico tradizionale è rappresentata dall'installazione di micro-centraline idroelettriche lungo le condotte di adduzione delle reti montane e pedemontane. In Italia simili installazioni, sebbene presentino numerosi vantaggi, sono ancora poco diffuse, per cui una conoscenza più dettagliata delle potenzialità degli impianti acquedottistici montani e pedemontani costituisce l'indispensabile base conoscitiva per la diffusione e l'incentivazione di queste fonti.

Una valutazione di massima delle potenzialità delle fonti energetiche acquedottistiche può essere effettuata attraverso la definizione dei potenziali intrinseco ed effettivo di un acquedotto montano. Il primo è inteso come il massimo potenziale teorico derivante dall'installazione di una centrale di produzione di energia elettrica in corrispondenza del punto più depresso della rete di adduzione, cui corrisponde il massimo salto sfruttabile dell'impianto (salto intrinseco). Il potenziale effettivo esprime le potenzialità tenendo conto anche delle perdite di carico. Per la definizione dei potenziali risulta necessaria la conoscenza delle portate medie stagionali, delle quote delle sorgenti, della quota del punto più depresso della rete di adduzione e delle caratteristiche della condotta.

Nella presente memoria si illustra una procedura per la valutazione a larga scala delle potenzialità intrinseche ed effettive delle reti di adduzione di acquedotti montani mediante l'uso congiunto di dati territoriali ed idrologici. In particolare vengono presentate le valutazioni dei potenziali delle infrastrutture acquedottistiche della Regione Piemonte, ottenuti tramite l'utilizzo di un modello digitale del terreno e di dati ricavati da un database predisposto dalla Regione per fini di censimento acquedottistico. In questo senso sono stati anche analizzati alcuni casi studio per i quali si propone una soluzione progettuale. Obiettivo finale è quello di individuare le categorie di dati maggiormente sensibili rispetto alla valutazione del potenziale produttivo, per poter affinare le valutazioni a larga scala.

1 INTRODUZIONE

L'installazione di micro-centraline idroelettriche lungo le condotte di adduzione degli acquedotti montani e pedemontani esistenti sul territorio, al fine di recuperare l'energia potenziale dell'acqua trasformandola in energia elettrica, può rappresentare un'interessante soluzione per la generazione di energia pulita, aggiuntiva e talvolta alternativa rispetto agli usi idroelettrici tradizionali. In Italia simili installazioni non risultano ancora molto diffuse sebbene presentino indiscutibili vantaggi, tra cui:

- la produzione di energia esente da emissioni inquinanti nell'ambiente e conseguentemente beneficiaria dei certificati verdi;
- un impatto ambientale praticamente nullo, in quanto vanno ad integrarsi su una infrastruttura già esistente;
- gli introiti derivanti dalla vendita dell'energia elettrica a prezzi garantiti (delibera 34/05 AEEG).

I costi relativamente bassi e la semplicità di realizzazione fanno sì che questi impianti vengano di norma concepiti alla scala comunale. Una volta stabilito l'interesse allo sfruttamento del potenziale acquedottistico, la progettazione delle opere può essere assistita da manuali, come quelli proposti da Pence (1998) e da Kilchmann et al. (2006). In analogia a quanto fatto in passato con riferimento agli studi sul mini-hydro (AA.VV., 1996), risulta utile procedere a valutazioni di carattere estensivo, allo scopo di quantificare la rilevanza economica di questa opportunità a scala regionale. Tale soluzione può infatti rappresentare una base conoscitiva decisiva per la diffusione e l'incentivazione di queste fonti.

Nella presente memoria, dopo avere fornito una definizione di potenziale intrinseco e di potenziale effettivo, viene presentata una procedura per la loro valutazione a scala regionale basata sull'utilizzo di dati territoriali, idrologici e "strutturali" relativi alle infrastrutture di acquedotto. Oltre a contribuire a selezionare "oggettivamente" le configurazioni più promettenti, su cui affinare le indagini, questa analisi pone l'accento sulla necessità di sistematizzare le informazioni relative agli elementi degli acquedotti anche per fini di incremento globale di efficienza della fornitura idrica.

2 POTENZIALE INTRINSECO E POTENZIALE EFFETTIVO

La necessità di definire un potenziale intrinseco (Pni) e un potenziale effettivo (Pne) di una rete acquedottistica di adduzione nasce dall'esigenza di poter valutare la massima producibilità teorica di energia elettrica in seguito all'installazione di una o più centraline idroelettriche lungo le condotte di adduzione, anche senza conoscere a priori i dettagli progettuali dell'impianto. Un'analisi di dettaglio, invece, non può prescindere dalla conoscenza di un certo numero di componenti quali: perdite di carico, materiale delle condotte, configurazione della rete, camere di carico e loro ubicazione, misure stagionali delle portate sorgentizie. Al contrario le informazioni fornite dal potenziale intrinseco e dal potenziale effettivo di un impianto acquedottistico di adduzione non sono esaustive, in quanto forniscono solo indicazioni preliminari circa la possibilità di produzione di energia elettrica da un impianto. Nondimeno, la conoscenza delle suddette potenzialità intrinseca ed effettiva degli impianti acquedottistici permette una valutazione di massima dell'idoneità allo sfruttamento idroelettrico di una regione e, quando opportuno, di approfondire le fasi di indagine e progettuale.

Valutazione a scala regionale delle potenzialità idroelettriche delle reti di adduzione

Il potenziale intrinseco (P_{ni}) di un acquedotto montano si definisce come il massimo potenziale teorico derivante dall'installazione di una centrale di produzione di energia elettrica in corrispondenza del punto più depresso della rete di adduzione, cui corrisponde il massimo salto sfruttabile dell'impianto (salto intrinseco). Per la sua definizione risulta necessaria la conoscenza delle portate sorgentizie medie stagionali, delle quote delle sorgenti e della quota del punto più depresso della rete di adduzione. Diversamente, per potenziale effettivo (P_{ne}) si intende il massimo potenziale teorico derivante dall'installazione di una centrale di produzione di energia elettrica al netto delle perdite di carico stimate.

L'inserimento di una o più turbine all'interno di una rete di adduzione deve essere tale da non compromettere il corretto funzionamento dell'acquedotto. In tal senso un possibile approccio al calcolo del P_{ni} e del P_{ne} è quello di considerare come punto più depresso per la valutazione del salto disponibile, quello corrispondente al serbatoio situato alla quota minore tra tutti i serbatoi di linea che fanno capo ad uno stesso impianto. Tale scelta, sebbene discutibile in un contesto di progettazione di dettaglio, risulta idonea e coerente nell'ottica di stima del limite superiore di producibilità idroelettrica di un impianto. In molti casi, soprattutto per i piccoli acquedotti montani, la presenza di serbatoi solo in corrispondenza delle sorgenti o la mancanza degli stessi, non consente la valutazione del P_{ni} e del P_{ne} ; in queste circostanze il punto di installazione può essere pertanto valutato come punto più basso tra i nodi della rete di adduzione.

Con riferimento alla figura 1, vengono proposte due definizioni di potenziale intrinseco e una per la valutazione del potenziale effettivo.

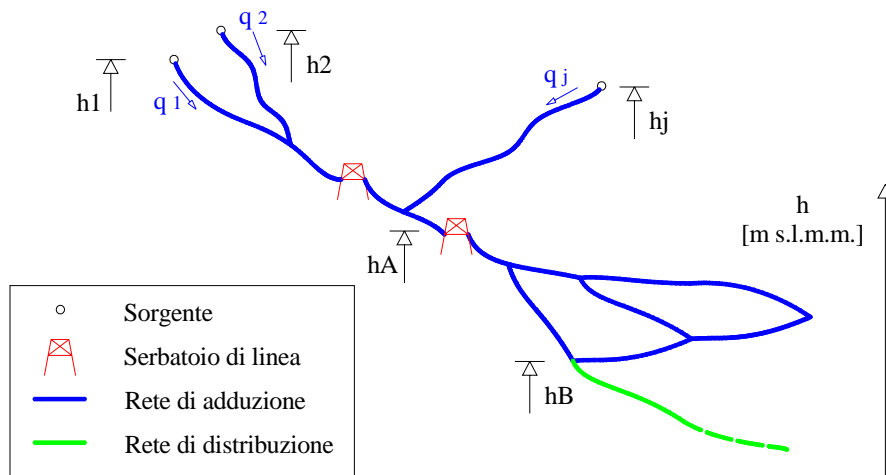


Figura 1. Schema per la definizione delle grandezze che intervengono nella valutazione del potenziale intrinseco.

Potenziale intrinseco (definizione A): questa prima definizione valuta il potenziale intrinseco di un impianto di acquedotto come sommatoria dei singoli potenziali delle

sorgenti che alimentano l'impianto, ottenuti utilizzando la portata derivata dalla sorgente e la differenza tra la quota della sorgente e la quota del serbatoio di linea più depresso tra tutti i serbatoi dell'impianto di adduzione. Il potenziale, espresso in kW, è valutabile con la seguente relazione:

$$Pni_A = \sum_{j=1}^{n_s} \gamma \cdot q_j \cdot (h_j - h_A) = \gamma \cdot Q \cdot H_A \quad (1)$$

dove

- n_s è il numero di sorgenti che alimentano uno stesso impianto;
- γ è il peso specifico dell'acqua pari a 9,81 kN/m³;
- q_j è la portata media derivata dalla sorgente j -esima di uno stesso impianto di acquedotto espressa in m³/s;
- h_j è la quota in m s.l.m.m. della sorgente j -esima di uno stesso impianto di acquedotto;
- h_A è la quota in m s.l.m.m. del serbatoio di linea più depresso;
- Q , pari a $\sum_{j=1}^{n_s} q_j$, rappresenta la portata turbinabile in m³/s;

Ne risulta una definizione di salto intrinseco (H_A):

$$- H_A = \frac{\sum_{j=1}^{n_s} q_j \cdot (h_j - h_A)}{Q}, \text{ in m.} \quad (1bis)$$

Potenziale intrinseco (definizione B): in questa definizione, analoga a quella precedente, il salto è ottenuto dalla differenza tra la quota della sorgente e la quota del nodo della rete di adduzione più basso tra tutti i nodi dell'impianto di acquedotto. La formula per Pni_B , espresso in kW, è:

$$Pni_B = \sum_{j=1}^{n_s} \gamma \cdot q_j \cdot (h_j - h_B) = \gamma \cdot Q \cdot H_B \quad (2)$$

dove

- n_s , γ , q_j , h_j e Q assumono lo stesso significato dei termini presenti nella definizione A;
- h_B è la quota in m s.l.m.m del nodo più depresso della rete di adduzione;

$$- H_B \text{ è il salto intrinseco, pari a } \frac{\sum_{j=1}^{n_s} q_j \cdot (h_j - h_B)}{Q}, \text{ in m.} \quad (2bis)$$

Questa seconda definizione consente la valutazione del Pni anche nei casi, non infrequenti negli acquedotti montani, ove non sia presente un serbatoio di linea e per i quali non risulta possibile valutare Pni a mezzo della definizione A. Nei casi in cui sia applicabile la definizione A è possibile esprimere il potenziale Pni_B in funzione del Pni_A con la seguente relazione:

$$Pni_B = Pni_A + \gamma \cdot Q \cdot (h_A - h_B) \quad (3)$$

Entrambe le definizioni, per ragioni di semplicità, prescindono dalla necessità di realizzazione di una camera di carico per regolarizzare la portata turbinata, valutando quindi il salto disponibile come media dei singoli salti tra sorgente e serbatoio di linea (A) o nodo della rete di adduzione (B) ponderati sulle singole portate sorgentizie. Appare evidente che i valori di Pni_A e Pni_B così individuati possono risultare superiori al potenziale nominale che può essere effettivamente installato. Infatti, ad eccezione dei casi particolari caratterizzati da configurazioni estremamente semplici con una sola sorgente, un'unica condotta di adduzione e un serbatoio di linea a monte della rete di distribuzione, le modalità realizzative possono consigliare di costruire una camera di carico ad una quota inferiore rispetto alle opere di captazione e di non utilizzare tutte le portate sorgentizie per la formazione della portata turbinata; tale eventualità può comportare una possibile riduzione del salto massimo disponibile, della portata massima turbinata e conseguentemente del potenziale nominale installabile.

Potenziale effettivo: permette la valutazione delle potenzialità intrinseche al netto delle perdite di carico stimate. La valutazione delle perdite di carico, necessariamente molto approssimata, si basa sui dislivelli tra sorgenti e serbatoi e sui diametri effettivamente presenti sullo schema. Non potendo tener conto, in questo approccio speditivo, della reale topologia della rete, ci si basa su uno schema "a stella" (figura 2) nel quale più sorgenti consegnano le rispettive portate al serbatoio più basso (o al nodo più depresso) attraverso condotte fittizie.

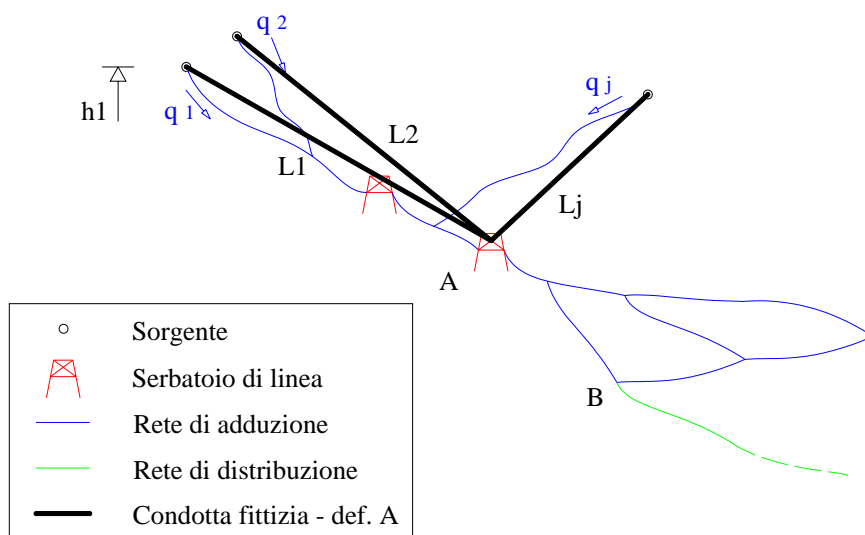


Figura 2. Schema per la definizione delle condotte fittizie usate per la valutazione del potenziale effettivo (definizione A).

Tali condotte fittizie si assumono avere lunghezza L_j pari alla distanza planimetrica tra sorgente j -esima dell'impianto e serbatoio o nodo più depresso ed un diametro costante definito come: a) il diametro massimo (d_{max}) tra i valori presenti nello schema o

b) il valore medio d_{med} pesato sulle lunghezze dato dalla seguente relazione:

$$d_{med} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n_c} d_i^{5.33} \cdot l_i}{\sum_{i=1}^{n_c} l_i} \right)^{\frac{1}{5.33}} \quad (4)$$

dove

- n_c rappresenta il numero di tubazioni dell'impianto di adduzione;
- d_i rappresenta il diametro della tubazione i -esima dell'impianto di adduzione;
- l_i rappresenta la lunghezza della tubazione i -esima dell'impianto di adduzione.

E' utile mantenere le due alternative di diametro per attenuare la sopravvalutazione delle perdite di carico che, con tutta probabilità, risulta dal considerare condotte separate per ogni sorgente.

Il P_{ne}, espresso in kW, può essere valutato con la seguente relazione:

$$P_{ne} = \sum_{j=1}^{n_s} \gamma \cdot q_j \cdot (h_j - h - \Delta y_j) \quad (5)$$

dove

- n_s , γ , q_j , e h_j assumono lo stesso significato dei termini presenti nelle definizioni precedenti;
- h è la quota del serbatoio più basso (h_A) o la quota del nodo più depresso (h_B), in m s.l.m.m.;
- Δy_j è il termine che esprime le perdite di carico in m, per la cui valutazione si propone la seguente formula:

$$\Delta y_j = J_j \cdot L_j \quad (6)$$

dove

- n_s è il numero di sorgenti che alimentano uno stesso impianto;
 - J_j rappresenta la cadente piezometrica della condotta fittizia che collega la j -esima sorgente con il punto di valle (serbatoio o nodo più depresso);
 - L_j è pari alla distanza tra la sorgente j e il serbatoio o nodo più depresso.
- Per la valutazione della cadente piezometrica J_j si adotta la relazione di Strickler:

$$J_j = \frac{10.29}{k_s^2} \cdot \frac{q_j^2}{d^{5.33}} \quad (7)$$

dove

- k_s è il coefficiente di Strickler della condotta fittizia, espresso in $m^{1/3}/s$; (in questo lavoro esso è stato assunto pari alla media dei coefficienti di Strickler relativi alle condotte di una stessa rete di adduzione, valutati in funzione del materiale costituente la tubazione);

- q_j è la portata media derivata della singola sorgente in m^3/s ;
- d è il diametro caratteristico espresso in m.

Sebbene fortemente semplificato, in quanto prescinde dalla reale configurazione della rete di adduzione, il metodo consente di stabilire in prima approssimazione, se le dimensioni (diametro e lunghezza) delle condotte esistenti siano compatibili con la presenza di una centralina idroelettrica. Differenze marcate tra potenziale intrinseco e potenziale effettivo implicano la non idoneità delle tubazioni esistenti all'uso idroelettrico dell'impianto.

La semplicità delle espressioni del potenziale intrinseco e del potenziale effettivo ben si presta all'applicazione di una procedura di calcolo automatico su larga scala. Condizione necessaria per eseguire tale operazione è la disponibilità di una adeguata banca dati ove siano censite tutte le opere acquedottistiche della regione, con un'organizzazione strutturata per classi di opere acquedottistiche e per appartenenza ad un impianto di acquedotto, al fine di poter individuare univocamente l'appartenenza di un'opera ad un determinato impianto acquedottistico.

3 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE INTRINSECO ED EFFETTIVO A LIVELLO REGIONALE

Le definizioni proposte nel precedente paragrafo sono state applicate alle infrastrutture di acquedotto piemontesi, le cui caratteristiche sono riportate nella banca dati associata al rapporto tecnico prodotto dalla Regione Piemonte (2000). Tale censimento riguarda lo stato di consistenza delle opere acquedottistiche sulla base della campagna di indagini eseguita negli anni 1997 e 1998. Il database, redatto dal CSI Piemonte, è organizzato in elementi distinti per classe di appartenenza (es. condotte di adduzione, prese superficiali, sorgente,...). Per ognuna di queste sono disponibili i riferimenti geografici e alcune informazioni alfanumeriche. In particolare sono state eseguite le seguenti valutazioni:

- potenziale intrinseco secondo le espressioni (1) e (2), (P_{niA} e P_{niB});
- potenziale effettivo secondo la (5) considerando il serbatoio più depresso come punto di valle, e i diametri medio e massimo, ($P_{neAdmed}$ e $P_{neAdmax}$);
- potenziale effettivo secondo la (5) considerando il nodo più depresso come punto di valle, e i diametri medio e massimo, ($P_{neBdmed}$ e $P_{neBdmax}$).

Nel seguito vengono dapprima illustrate le procedure adottate, e successivamente si presentano i risultati ottenuti.

Ai fini della valutazione del potenziale energetico, le classi infrastrutturali di interesse nel database utilizzato sono: sorgenti, serbatoi di linea e condotte di adduzione. Le tipologie infrastrutturali sono organizzate in base alla suddivisione del territorio regionale in Ambiti Territoriali Ottimali per i quali si riportano in tabella 1 alcuni dati caratteristici contenuti nella banca dati. Per le sorgenti, sono disponibili nel database i valori della portata minima e massima ed il valore della quota; per i serbatoi di linea sono disponibili le quote e i volumi, mentre per le condotte di adduzione i diametri e la tipologia di materiale. Come valore di portata sorgentizia, in mancanza di osservazioni sulle variazioni stagionali della grandezza in esame, è stato assunto per ogni sorgente il valore medio tra portata massima e minima.

ATO	Province	Numero di abitanti serviti	Numero di impianti di acquedotto	Numero sorgenti censite
1	Novara, Verbania	501 723	176	439
2	Vercelli, Biella	433 852	271	709
3	Torino	2 135 488	288	850
4	Cuneo	546 294	312	878
5	Asti	233 852	175	1
6	Alessandria	319 661	225	228
totale		4 170 870	1 447	3105

Tabella 1. Dati relativi agli Ambiti Territoriali Ottimali della Regione Piemonte.

Le quote dei nodi della rete di adduzione, necessarie per l'applicazione della definizione B, non essendo desumibili dal database, sono state valutate a partire da un modello digitale del terreno della Regione Piemonte con risoluzione pari a 50 m.

3.1 Risultati di potenzialità nella Regione Piemonte

L'applicazione delle procedure ha consentito la costruzione di mappe di potenzialità idroelettrica degli acquedotti, mappe eventualmente interrogabili in ambienti GIS. A titolo di esempio si riporta in figura 3, la mappa di potenzialità degli acquedotti della Regione Piemonte, ottenuta applicando la definizione A, con un esempio di interrogazione in ambiente GIS.

In tabella 2 si riporta il numero e la frequenza relativa percentuale degli impianti individuati per classi di Pni secondo le definizioni A e B. In figura 4 si presentano le distribuzioni degli impianti individuati per classi di potenza intrinseca nel piano Q-H (portata turbinabile e salto intrinseco) in base alla definizione A. Quest'ultima rappresentazione permette di qualificare su un piano bilogaritmico le caratteristiche salienti degli impianti acquedottistici sfruttabili. La figura 5 riporta, in modo analogo, i risultati ottenuti in base alla definizione B.

Dall'osservazione dei dati riportati in tabella 2 e dalle figure 4 e 5, è possibile effettuare alcune osservazioni:

- gli impianti con potenza intrinseca superiore ai 200 kW sono maggiormente concentrati negli ATO 1 (Novara e Verbania) e 3 (Torino) e sono comunque in numero inferiore alle dieci unità; anche dal punto di vista della potenza complessiva ricavabile, le zone del torinese e della provincia di Verbania presentano le maggiori potenzialità, essendo caratterizzate da forti dislivelli e cospicue popolazioni servite;
- più del 50% degli impianti rilevati si colloca, per tutti gli ATO e per tutti i casi considerati, nella classe di potenza inferiore ai 20 kW; in particolare più della metà di questa frazione risulta avere un potenziale intrinseco compreso nell'intervallo 3kW – 10kW;
- nell'ATO 5 (Asti), caratterizzato da morfologia collinare, nessun impianto risulta essere sfruttabile dal punto di vista idroelettrico.

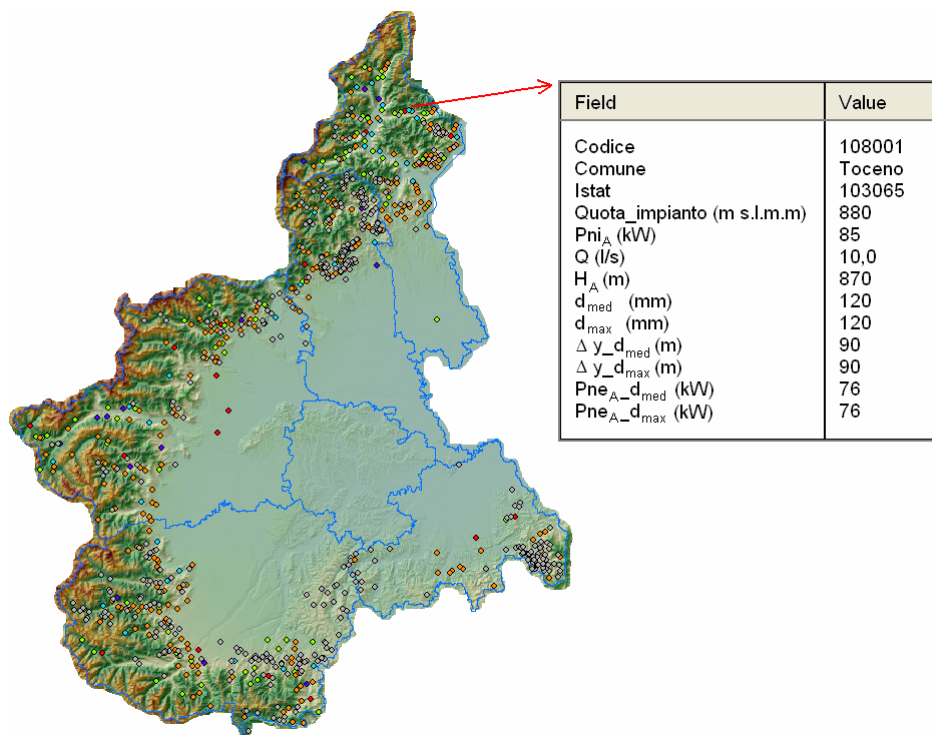


Figura 3. Esempio di mappa di potenzialità intrinseca ed effettiva ottenuta applicando la definizione A.

ATO	Provincia	def.	Numero e percentuale di impianti per classi di Pni, in kW						Totale
			>200	100-200	50-100	20-50	10-20	3-10	
1	NO, VB	A	5 (4%)	4 (3%)	13 (11%)	33 (28%)	24 (21%)	38 (32%)	117
		B	8 (6%)	9 (7%)	13 (10%)	36 (28%)	22 (17%)	42 (32%)	130
2	VC, BI	A	1 (2%)	4 (6%)	6 (9%)	6 (9%)	13 (20%)	34 (53%)	64
		B	1 (1%)	4 (6%)	6 (8%)	8 (11%)	18 (25%)	35 (49%)	72
3	TO	A	5 (4%)	8 (7%)	6 (5%)	25 (21%)	27 (23%)	48 (40%)	119
		B	6 (4%)	11 (8%)	8 (6%)	26 (19%)	35 (26%)	48 (36%)	134
4	CN	A	3 (3%)	4 (4%)	8 (8%)	21 (20%)	25 (24%)	44 (42%)	105
		B	6 (1%)	3 (2%)	17 (11%)	25 (17%)	31 (21%)	69 (46%)	151
5	AT	A	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0
		B	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0 (-)	0
6	AL	A	2 (11%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (6%)	5 (28%)	10 (56%)	18
		B	2 (9%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (4%)	5 (22%)	15 (65%)	23

Tabella 2. Numero e percentuali di impianti individuati per classe di potenza intrinseca secondo le definizioni A e B.

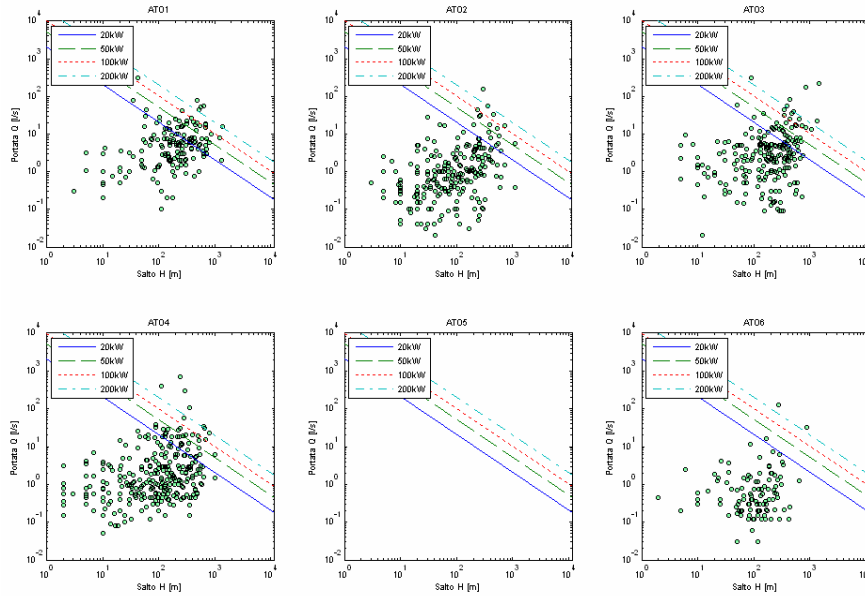


Figura 4. Distribuzione degli impianti acquedottistici della Regione Piemonte nel piano Q-H (definizione A).

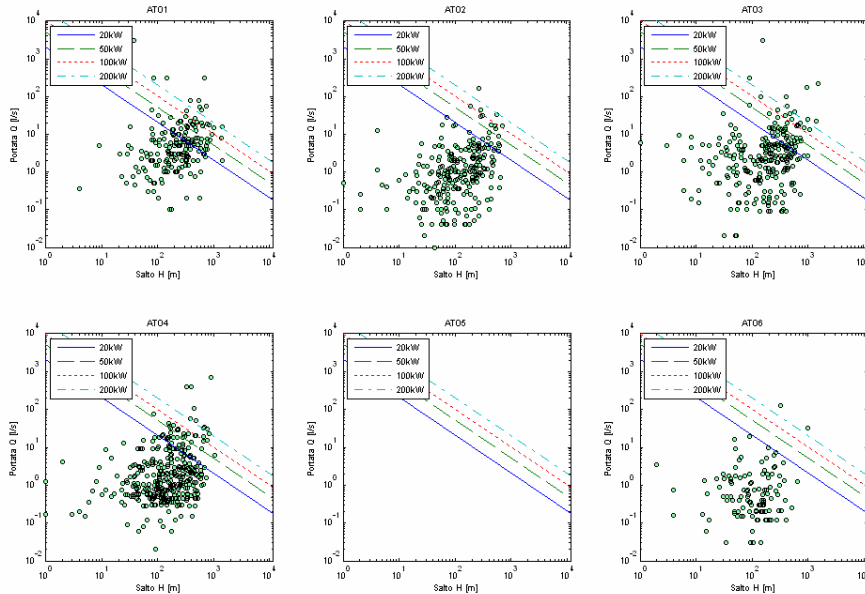


Figura 5. Distribuzione degli impianti acquedottistici della Regione Piemonte nel piano Q-H (definizione B).

In figura 6 si riportano le curve cumulate di potenza intrinseca e di potenza effettiva per la Regione Piemonte. Tali curve sono state ottenute ordinando gli impianti in senso decrescente rispetto alla loro potenza ed effettuando successivamente la somma progressiva delle potenze stesse. Da tale figura emerge che il potenziale intrinseco globale della Regione Piemonte risulta essere compreso nell'intervallo 21-31 MW mentre la potenzialità effettiva ha un range di variabilità relativamente più ampio pari a 14-26 MW. Si nota che il potenziale intrinseco globale secondo la definizione B risulta maggiore rispetto al valore ottenuto secondo la definizione A.

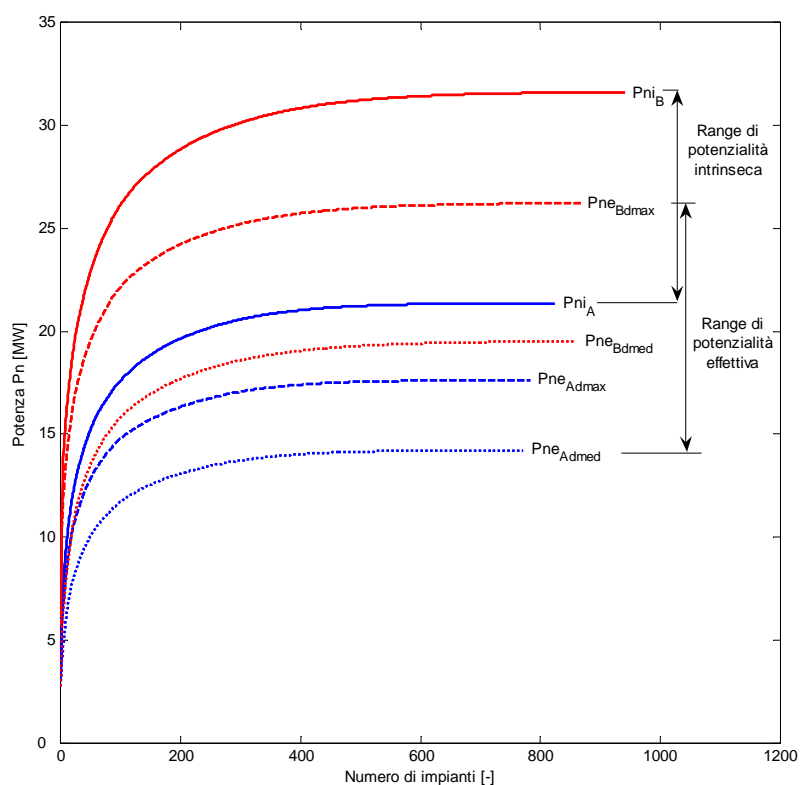


Figura 6. Curva cumulata di potenza intrinseca ed effettiva degli impianti acquedottistici della Regione Piemonte (definizioni A – B – C).

E' immediato riconoscere che il potenziale B è caratterizzato generalmente da un salto intrinseco maggiore, in quanto il punto di valle per la valutazione del salto è più depresso rispetto a quello relativo alla definizione A. Va anche segnalato che il numero di impianti potenzialmente sfruttabili dal punto di vista idroelettrico è maggiore nella definizione B poiché il punto di valle per la valutazione del salto è sempre presente, a differenza del caso A il cui calcolo è legato alla presenza di un serbatoio a valle delle

opere di captazione. È anche palese la presenza di un gran numero di impianti il cui eventuale contributo alla potenza globale prodotta è bassissimo.

I potenziali globali così ottenuti risultano sicuramente bassi se confrontati con quelli relativi all'idroelettrico tradizionale. Sul territorio piemontese esistono centrali con potenza installata paragonabile al massimo potenziale intrinseco globale (31 MW) come ad esempio l'impianto di Ponte Morasco 1 (VB) con 29 MW di potenza installata, o l'impianto di Ponte Toggia 2 (VB) con 30 MW o ancora la centrale di Ponte Vannino 3 (VB) con 32 MW. Sebbene da un punto di vista quantitativo l'apporto energetico atteso che deriverebbe dall'installazione di centraline lungo le condotte di adduzione sia poco significativo, da un punto di vista qualitativo questa energia presenta una serie di indiscutibili vantaggi e possibili ricadute, quali la razionalizzazione e l'incentivazione all'uso plurimo delle risorse idriche (utilizzo potabile ed utilizzo idroelettrico), l'incentivazione alla produzione di energia pulita mediante impianti ad impatto ambientale praticamente nullo, l'incentivazione al riordino e alla razionalizzazione degli acquedotti montani e pedemontani esistenti e la possibile riduzione del costo dell'acqua potabile distribuita in seguito agli introiti derivanti dalla vendita dell'energia.

4 ANALISI DI ALCUNI CASI STUDIO

Al fine di effettuare un confronto in situazioni reali tra i valori di potenziale intrinseco, effettivo e nominale effettivamente installabile, nel seguito vengono illustrati due casi studio nei quali si esamina una possibile soluzione progettuale. Nel primo caso, relativo alla rete di adduzione del Comune di Toceno (VB), si analizza una configurazione acquedottistica di adduzione piuttosto semplice, costituita da una opera di captazione, una condotta di adduzione e una serie di serbatoi di linea; il secondo caso riguarda l'acquedotto del Comune di Rimella (VC), che presenta una configurazione più complessa per la presenza di una diramazione.

4.1 Comune di Toceno (VB)

Il territorio del Comune di Toceno è situato sulla sinistra idrografica del torrente Tessera, in Provincia di Verbania e risulta compreso tra 800 e 2289 metri sul livello del mare. Il sistema acquedottistico di adduzione (figura 7) è alimentato dalla captazione di un'unica sorgente (Sor.1) ubicata a quota 1750 m s.l.m.m, la cui portata media, pari a 10 l/s, viene convogliata in un primo serbatoio di accumulo (Ser.1) posto a quota 1150 m s.l.m.m per poi giungere ad un secondo serbatoio di accumulo (Ser.2) in località Pomez, ubicato ad una quota pari a 1020 m s.l.m.m. A valle di questi due serbatoi seguono due ulteriori serbatoi di linea, collocati a monte e a valle della cittadina di Toceno rispettivamente a quota 995 m s.l.m.m. (Ser.3) e 880 m s.l.m.m. (Ser.4). La condotta di adduzione è in acciaio e presenta un diametro pari a 120 mm. Le mappe di potenzialità intrinseca ed effettiva forniscono per l'impianto oggetto di analisi i valori di Pni e Pne riportati in tabella 3.

Comune	Pni _A	Pni _B	Pne _{Admed}	Pne _{Admax}	Pne _{Bdmed}	Pne _{Bdmax}
Toceno	85	93	76		84	

Tabella 3. Potenziali intrinseco e effettivo per il Comune di Toceno in kW.

Come si nota dai valori di potenziale effettivo, le caratteristiche geometriche

(lunghezza e diametro) della tubazione di adduzione risultano compatibili con lo sfruttamento idroelettrico, nell'ipotesi di idoneità delle caratteristiche di resistenza meccanica. Per l'impianto è stata analizzata una soluzione progettuale che prevede la possibilità di installazione di due centraline idroelettriche per sfruttare i due salti presenti: Sor.1 – Ser.1 (600m) e Ser.1 – Ser.2 (130m), complessivamente pari a 730m.



Figura 7. Sistema di adduzione dell'acquedotto comunale di Toceno: configurazione planimetrica con indicazione dell'opera di captazione e dei serbatoi di impianto.

In particolare la soluzione analizzata prevede la realizzazione di una camera di carico in corrispondenza della sorgente al fine di garantire la regolarizzazione della portata turbinata e minimizzare le probabilità di ingresso di aria condotta. Risulta possibile l'installazione di due centraline idroelettriche di potenza nominale pari a 52 kW e 11 kW per un totale pari a 63 kW. Il valore complessivo di potenza risulta inferiore ai due valori di potenziale intrinseco ed effettivo non potendo sfruttare il salto tra il serbatoio Ser.3 e i punti A e B.

4.2 Comune di Rimella (VC)

Il territorio del Comune di Rimella è situato in Val Mastallone in Provincia di Vercelli e risulta compreso tra 1000 e 1870 metri sul livello del mare. Il sistema di adduzione (figura 8) è alimentato da due sorgenti, a quota 1870 m s.l.m.m. (Sor.1) e 1634 m s.l.m.m. (Sor.2), le cui portate (pari a 8,0 l/s e a 8,3 l/s), vanno ad alimentare con una condotta di adduzione in acciaio avente diametro pari a 75 mm, un primo serbatoio di accumulo (Ser.1) posto a quota 1540 m s.l.m.m. con funzione di partitore a pelo libero. Da questo si dipartono due condotte di adduzione che vanno a servire, da un lato, la borgata di Pianello e, dall'altro, il comune di Rimella e le borgate di Grondo e Sella. I criteri di stima della potenzialità intrinseca ed effettiva forniscono per l'impianto

oggetto di analisi i valori di Pni e Pne riportati in tabella 4.

Comune	Pni _A	Pni _B	Pne _{Admed}	Pne _{Admax}	Pne _{Bdmed}	Pne _{Bdmax}
Rimella	117	112	<0	54	<0	49

Tabella 4. Potenziali intrinseco ed effettivo per il Comune di Rimella in kW.

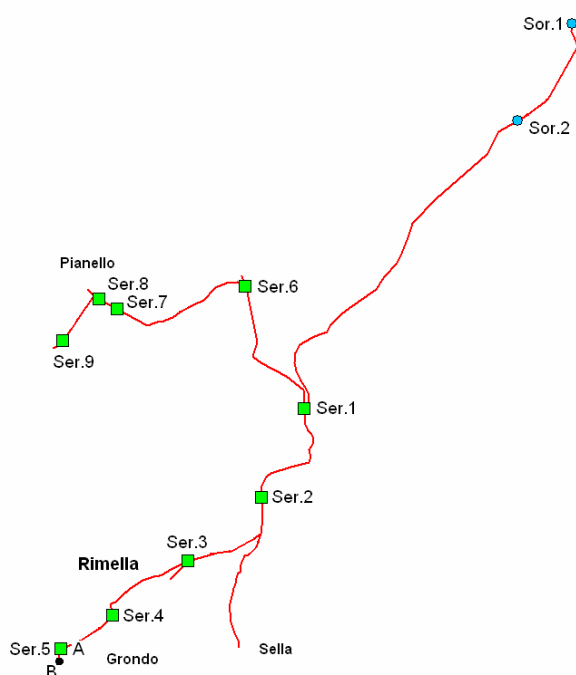


Figura 8. Rete di adduzione dell'acquedotto comunale di Rimella: configurazione planimetrica con indicazione delle opere di captazione e dei serbatoi di impianto.

In questo caso il potenziale Pni_B risulta leggermente inferiore a Pni_A in quanto la quota del nodo della rete di adduzione più depresso (B), pari a 1047 m s.l.m.m., molto prossimo al serbatoio più basso (nodo A – Ser.5 con quota pari a 1015 m s.l.m.m.), risulta essere sovrastimata dal DTM utilizzato. Si nota inoltre che l'impiego dello schema a stella di figura 2 determina una forte penalizzazione dell'ipotesi progettuale, in quanto per d pari a d_{med} , le perdite di carico risultano maggiori dello stesso salto geodetico portando ad avere Pne_{dmed} negativo.

Un'analisi più accurata della configurazione fisica del sistema rivela che la tubazione Sor.1-Sor.2-Ser.1 esistente risulta incompatibile con l'installazione di una idroelettrica a causa delle eccessive perdite di carico esistenti (la condotta è del 1964), condizione che si riflette nei valori negativi assunti dal potenziale effettivo per il diametro medio. Per questo motivo la soluzione progettuale analizzata prevede la sostituzione della condotta Sor.1-Sor.2-Ser.1 con una tubazione in acciaio di diametro superiore (120 mm) e la realizzazione di due camere di carico in corrispondenza delle

due sorgenti. In tal modo, i due salti Sor.1-Sor.2 e Sor.2-Ser.1 risultano entrambi sfruttabili dal punto di vista idroelettrico. In particolare il primo salto (236m) con una portata turbinata pari a 8 l/s consente l'installazione di una centrale con potenza installata pari a 18 kW mentre il secondo salto, pari a 94m, con una portata turbinata massima pari a 16,3 l/s permette di realizzare un impianto da 6 kW. In questo caso la potenza installabile complessiva (24 kW) di progetto risulta significativamente minore rispetto alle potenze intrinseche P_{niA} e P_{niB} .

5 CONCLUSIONI

In questo lavoro viene proposta una metodologia per la valutazione a larga scala delle potenzialità idroelettriche delle infrastrutture acquedottistiche montane, basata sulla conoscenza dell'altimetria del territorio e sulla disponibilità di una banca dati relativa a tali infrastrutture. Sono stati illustrati i risultati ottenuti dall'applicazione della procedura alle infrastrutture acquedottistiche della Regione Piemonte. In particolare il potenziale idroelettrico intrinseco regionale è risultato essere compreso tra 21 e 31 MW, mentre il potenziale effettivo varia tra 14 e 26 MW. Le aree di maggior interesse sono quelle che presentano orografia complessa e nelle quali vi è una cospicua popolazione servita (Province di Torino e Verbania in particolare). Per stabilire il margine di errore delle valutazioni di grande scala sono stati poi analizzati due casi nei quali è stata presentata una soluzione progettuale sulla base di una ricognizione di dettaglio. Da approfondimenti è emerso che il fattore che maggiormente influenza la differenza tra potenziale intrinseco e potenziale effettivo risiede nella possibilità di sfruttare interamente il salto intrinseco e quindi nella reale configurazione e complessità della rete acquedottistica. Inoltre, resta determinante la possibilità di salvaguardare le condotte esistenti.

In definitiva è possibile affermare che la disponibilità di mappe di potenzialità idroelettrica acquedottistica a larga scala rappresenta un valido strumento per selezionare le configurazioni più promettenti, onde avviare ulteriori indagini conoscitive. Lo studio del potenziale a livello regionale può essere anche un'occasione per la sistematizzazione delle informazioni relative alle infrastrutture acquedottistiche e per avviare un processo di ottimizzazione energetica e di miglioramento dell'efficienza del servizio di fornitura idrica.

Ringraziamenti. Lavoro finanziato attraverso il Bando Regionale per la ricerca 2004 (Regione Piemonte – CIPE).

BIBLIOGRAFIA

- A. Kilchmann, U. Kamm, B. Kobel, S. Kempf, R. Marugg, P. Loeffel, U. Riesen, R. Baumann, W. Ott, J. Rueggsegger, E. Muller, F. Schmid, *Energie dans les réseaux d'eau, Guide pour l'optimisation des coûts énergétiques et de l'exploitation*, Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux, Lausanne, 2006
- C. Penche, Guida all'idroelettrico minore – Per un corretto approccio alla realizzazione di un piccolo impianto, Commissione Europea, Direktorat generale per l'energia, settembre 1998
- Regione Piemonte, Infrastrutture del servizio idrico in Piemonte, maggio 2000
- Autori vari, Proceedings of the 2nd International Minihydro Conference, September 5-7, 1996 – Palinuro (SA)