

Valutazione preliminare su grande scala del potenziale di produzione di energia idroelettrica eco-compatibile da sistemi acquedottistici

C. Soffia, P. Claps e D. Poggi

Dipartimento di Idraulica, Trasporti ed Infrastrutture Civili, Politecnico di Torino
e-mail: claudia.soffia@polito.it

SOMMARIO. Una risorsa rinnovabile a cui negli ultimi anni è stata rivolta sempre maggiore attenzione è rappresentata dal recupero del carico idraulico in eccesso lungo le adduttrici dei sistemi acquedottistici attraverso l'installazione di mini centrali idroelettriche, per le quali non è possibile prescindere da valutazioni di fattibilità tecnica ed economica che nella pratica sono sviluppate per successivi livelli di dettaglio. Nel presente lavoro verranno presentati i vantaggi relativi all'uso di GIS in una fase di valutazione preliminare su grande scala del potenziale di produzione di energia idroelettrica e di pianificazione energetica.

1 INTRODUZIONE

Storicamente, la prima fonte rinnovabile per la produzione di energia elettrica ad essere sfruttata su larga scala è stata l'energia idroelettrica, soprattutto per quanto riguarda i grandi invasi. Negli ultimi anni, a causa dell'incremento dei costi delle fonti non rinnovabili di energia e grazie ad una maggiore sensibilità ambientale, vi è un nuovo interesse nella produzione di energia da fonti "pulite". In particolare, una risorsa rinnovabile a cui viene dedicata sempre maggiore attenzione è rappresentata dal recupero ad uso produttivo del carico idraulico in eccesso nelle reti ad uso irriguo o potabile. Esso avviene tramite l'installazione di mini-centrali idroelettriche lungo le adduttrici.

La valutazione della fattibilità tecnica e della convenienza economica di una mini-centrale idroelettrica lungo una rete acquedottistica è il risultato di un'analisi condotta per fasi successive, in cui il livello di dettaglio dell'indagine va progressivamente aumentando. Attraverso una prima valutazione, compiuta a scala regionale, delle potenzialità intrinseca ed effettiva delle reti di adduzione di acquedotti ed effettuata sulla base di dati territoriali ed idrologici, possono essere velocemente individuati i siti potenzialmente idonei allo sfruttamento dei salti di quota. Questi casi saranno poi oggetto di approfondimento, sia per quanto riguarda le caratteristiche fisiche del sistema sia, soprattutto, per quanto riguarda le effettive portate convogliate. A seguito dei risultati preliminari ottenuti si andranno a considerare i principali parametri di redditività dell'investimento, in funzione dei diversi scenari economici proposti dalla normativa vigente e delle incentivazioni regionali, statali o comunitarie, per ottenere una prima speditiva valutazione della fatti-

bilità economica. In quest'ottica, i GIS (*Geographic Information Systems*) rappresentano uno strumento di supporto nella determinazione dei parametri di maggiore interesse, attraverso la creazione di mappe e tabelle di informazioni alfanumeriche che possono essere gestite in modo flessibile, permettendo eventuali modifiche ed integrazioni.

Nel presente lavoro, dopo aver richiamato le definizioni di potenziale intrinseco e potenziale effettivo (Plebani et al., 2007), ed i parametri di valutazione della convenienza di un investimento (Miotto et al., 2008), vengono presentati i vantaggi relativi all'uso dei GIS sia in una fase di valutazione preliminare su grande scala del potenziale di produzione di energia idroelettrica sia in una fase di pianificazione energetica.

2 I GIS PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA IDROELETTRICA ECO-COMPATIBILE DA ACQUEDOTTI

Il punto di partenza per l'implementazione di un GIS consiste nella raccolta dei dati e nella definizione dei loro legami, in funzione dell'obiettivo finale che si intende conseguire.

Una problematica comune riscontrabile nella realizzazione di un GIS, soprattutto nel caso in cui i dati provengano da fonti diverse, è legata alle differenze esistenti in termini di formato, di unità di misura e di sistema di riferimento geografico. Quest'ultima congruenza, in particolare, risulta fondamentale in fase di georeferenziazione e di *editing* e per poter sovrapporre e confrontare differenti livelli informativi (*layers*). Inoltre, per rendere possibili operazioni di unione e di collegamento tra diversi *datasets* è necessario individuare un campo chiave sulla base del quale eseguire le operazioni. In

tale prospettiva, è opportuno adottare convenzioni di denominazione e di strutturazione dei dati univoche per l'intera base di dati. Progettato il modello logico-concettuale e portata a termine la fase di omogeneizzazione dei dati, la realizzazione del GIS richiede l'inserimento nel *database* dei dati necessari alle valutazioni relative al massimo potenziale teorico e relative alla convenienza dell'investimento, rispettivamente stimate tramite il potenziale intrinseco (Pni), il potenziale effettivo (Pne) ed il valore attuale netto (VAN).

2.1 Il caso studio della Regione Piemonte

Le procedure per l'implementazione di un sistema GIS precedentemente descritte sono state applicate ad un esteso campione di sistemi di adduzione, ovvero, ai sistemi di adduzione facenti capo agli Ambiti Territoriali Ottimali (ATO) presenti sul territorio piemontese, per i quali la stima della potenzialità idroelettrica e la valutazione della convenienza economica sono state precedentemente condotte (Plebani et al., 2007; Miotto et al., 2008).

Il territorio della regione Piemonte ha un'estensione di 25.399 km² e si presenta come prevalentemente montuoso, con oltre il 40% del territorio regionale occupato dalle Alpi, che circondano la regione ad ovest e nord, dagli Appennini, situati a confine con Liguria ed Emilia-Romagna.

Il sistema di riferimento del GIS è caratterizzato dai seguenti parametri: (i) il sistema di coordinate è UTM ED50 32N; (ii) sistema geodetico di riferimento rappresentato dall'ellissoide internazionale di Hayford, orientato a Roma (Osservatorio Astronomico di Monte Mario, definizione 1940).

La mappatura geografica è stata realizzata con il software ArcGIS 9.2 della ESRI (Environmental Systems Research Institute), attraverso il quale è inoltre possibile fruire delle informazioni archiviate attraverso interrogazioni del GIS. In Figura 1 è illustrato il diagramma logico-concettuale per la creazione del *database* utilizzato per lo sviluppo del progetto.

La principale fonte di dati per lo studio del potenziale idroelettrico è rappresentata dal censimento realizzato dalla Regione Piemonte e documentato nel rapporto "Infrastrutture del servizio idrico in Piemonte" (maggio 2000), riguardante 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 (Consorzio per il Sistema Informativo piemontese), è organizzato in elementi distinti per classe di appartenenza (es. condotte di adduzione, prese superficiali, sorgenti), per ognuna delle quali sono disponibili due categorie di informazioni, contenute in due tipi di file: (i) *shapefiles*, in cui sono contenute le infor-

mazioni relative alla georeferenziazione e gli attributi dei diversi *layers*; (ii) file in formato Microsoft Excel[®], contenenti dati alfanumerici relativi agli elementi censiti e georiferiti negli *shapefiles*. Ai fini della valutazione del potenziale energetico, le classi infrastrutturali di interesse nell'ambito del presente progetto sono "sorgenti"; "serbatoi di impianto" (nel seguito indicati come serbatoi di linea); "condotte di impianti di acquedotto" (nel seguito indicate come condotte di adduzione). In particolare, una condizione necessaria per la valutazione della fattibilità di realizzazione di un impianto di produzione di energia idroelettrica riguarda la conoscenza della topologia della rete di adduzione e delle caratteristiche geometriche e meccaniche delle tubazioni. Infatti, in base alla configurazione della rete, alle caratteristiche delle condotte e al loro stato di usura è possibile valutare l'idoneità o meno delle stesse a sopportare le pressioni (sia pressioni statiche che sovrappressioni legate a fenomeni di colpo d'ariete) indotte dalla messa in servizio di un impianto di produzione di energia idroelettrica.

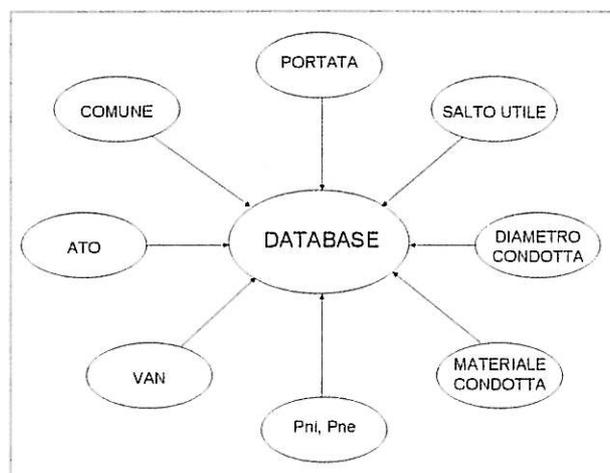


Figura 1. Diagramma logico-concettuale dei dati utilizzati per la creazione del GIS.

2.2 Il potenziale intrinseco ed effettivo

In una fase di studio a grande scala del potenziale idroelettrico, i dettagli progettuali degli impianti non sono sempre noti. Tuttavia, è necessario conoscere quale sia il valore massimo della producibilità teorica di energia elettrica in seguito all'installazione di una o più centraline idroelettriche lungo le condotte di adduzione presenti all'interno dell'area di interesse. In Plebani et al. (2007) il massimo potenziale teorico derivante dall'installazione di una centrale di produzione di energia elettrica è definito in corrispondenza del punto più depresso della rete di adduzione, cui corrisponde il massimo salto sfruttabile dell'impianto (salto intrinseco), noto come potenziale intrinseco (Pni). Nel caso in cui al potenziale intrinseco siano sottratte anche le perdite di carico il massimo poten-

ziale teorico prende il nome di potenziale effettivo (Pne).

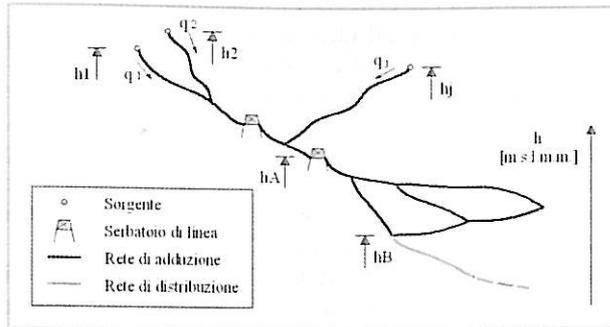


Figura 2. Schema di calcolo del potenziale intrinseco e del potenziale effettivo a scala regionale.

Il Pni viene calcolato considerando il serbatoio di linea situato alla quota minore tra tutti i serbatoi di linea che fanno capo ad uno stesso impianto (definizione A) come punto più depresso della rete di adduzione (Figura 1). Tuttavia, soprattutto per i piccoli acquedotti montani, la presenza di serbatoi solo in corrispondenza delle sorgenti non consente la valutazione del Pni secondo la precedente definizione. In questi casi, il Pni è valutato considerando come punto più depresso il nodo più basso tra i nodi della rete di adduzione (definizione B).

Il Pni ed il Pne forniscono solo indicazioni preliminari sulla possibilità di produzione di energia. Tuttavia, implementati nel GIS e sovrapposti ad un modello digitale del terreno (DTM), permettono di individuare speditamente quali possano essere i siti più interessanti dal punto di vista dello sfruttamento dei salti di quota. Per agevolare l'analisi territoriale è possibile, infatti, selezionare nel GIS un impianto acquedottistico interessante dal punto di vista della producibilità idroelettrica e, attraverso l'interrogazione prevista nel GIS, vengono fornite all'utente tutte le informazioni relative alle caratteristiche tecniche dell'impianto selezionato, alla presenza o meno di serbatoi di linea, al dato di portata ed alle informazioni relative alla redditività dell'investimento, anche in funzione dei diversi criteri di incentivazione previsti dalle norme regionali, statali o comunitarie.

2.3 Valutazione della convenienza dello investimento

Oltre al requisito fondamentale di fattibilità tecnica, la possibilità di installazione di una turbina lungo una condotta di adduzione di una rete acquedottistica richiede anche il soddisfacimento della fattibilità economica dell'intervento.

I principali parametri di redditività di un investimento devono essere valutati in funzione sia della potenza nominale installabile sia dei diversi scenari economici analizzati. In particolare, la convenienza economica può essere espressa mediante il valore

attuale netto (VAN) definito come

$$VAN = \sum_k^n \frac{C_k}{(1+i)^k} \quad (1)$$

dove C_k è il flusso finanziario (positivo o negativo) al tempo k , i è il tasso di interesse e $1/(1+i)^k$ rappresenta il tasso di attualizzazione. La positività del VAN rappresenta la convenienza economica dell'investimento (Miotto et al., 2008).

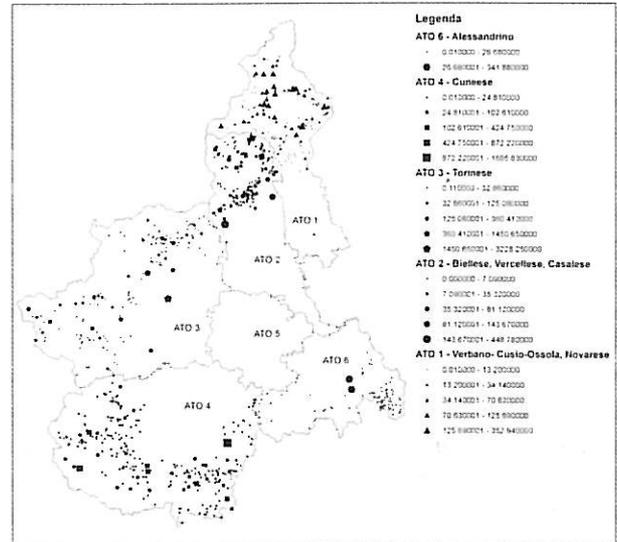


Figura 3. Potenziale intrinseco delle reti di adduzione degli acquedotti piemontesi [kW] calcolato secondo la definizione A.

3 LA VALUTAZIONE DEL POTENZIALE ENERGETICO IN PIEMONTE

Applicando le definizioni di potenziale intrinseco e potenziale effettivo alle condotte di adduzione degli schemi acquedottistici della regione Piemonte calcolando i valori ottenuti adottando la definizione di Pni-A (Figura 2) si ottengono i seguenti risultati: (i) gli impianti con potenziale intrinseco superiore a 200 kW risultano essere maggiormente concentrati nell'Ambito Territoriale Ottimale Torinese e Cuneese, e comunque in numero inferiore alle dieci unità; (ii) la maggior parte degli impianti rilevati si colloca, per tutti gli ATO e per tutti i casi considerati, nella classe di potenza inferiore ai 20 kW (con percentuali superiori al 50%); in particolare, più del 50% degli impianti risulta avere un potenziale intrinseco compreso tra 3kW - 10kW; (iii) per l'ATO 5 (Astigiano e Monferrato) nessun impianto acquedottistico risulta sfruttabile per la produzione di energia idroelettrica.

3.1 La valutazione del potenziale economico

A partire dalle valutazioni condotte sulla potenza erogabile dagli impianti acquedottistici della regione, è stato condotto il calcolo del potenziale economico a livello regionale. In particolare il potenziale

economico della regione è stato valutato sulla base dei risultati di potenziale idroelettrico calcolati attraverso la definizione di Pni-A. Per l'analisi economica a scala regionale sono stati presi in considerazione diversi scenari: con VAN a 40 anni, con rendimento pari al 50% ed al 30%, e con WACC dell'8% e del 14%, combinati tra loro per poter visualizzare sia le condizioni maggiormente favorevoli che quelle meno vantaggiose in termini di redditività dell'investimento. L'analisi economica è stata svolta sia in funzione di quanto previsto dal sistema incentivante precedente alle disposizioni contenute nella Delibera 280/07 e nella Legge 24 dicembre 2007 n. 244, quindi valida per impianti entrati in funzione prima del 31 dicembre 2007 (ante finanziaria 2008), sia alla luce di quanto previsto da queste ultime (post finanziaria 2008), e quindi valida per impianti entrati in funzione dopo il 1 gennaio 2008.

4 CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono stati sinteticamente descritti i vantaggi relativi all'elaborazione di dati georeferenziati sovrapposti ad un DTM attraverso i GIS con applicazione ai sistemi acquedottistici presenti nella Regione Piemonte. L'applicazione mostra come la costruzione di un database collegato ad un GIS consente, da un lato, di creare mappe per la visualizzazione delle zone a maggior vocazione idroelettrica; dall'altro, permette una facile selezione dei futuri impianti per tipologia, in modo da adattare facilmente i risultati alle mutevoli condizioni di agevolazione economica previste dalla normativa. A livello regionale, tale risultato costituisce un valido strumento di supporto decisionale nelle fasi di pianificazione energetica. Maggiori dettagli sono reperibili nella relazione conclusiva delle attività relative al Progetto CIPE C55 "Produzione di energia idroelettrica ecocompatibile dagli acquedotti: studio di sostenibilità sul territorio piemontese", consultabile on-line alla pagina web: www.idrologia.polito.it/microhydro.

Ringraziamenti. Il presente lavoro è stato finanziato con fondi del Progetto CIPE C55 "Produzione di energia idroelettrica ecocompatibile dagli acquedotti: studio di sostenibilità sul territorio piemontese". Si ringrazia il Dott. Ing. Filippo Miotto e l'Ing. Fabio Plebani per l'importante contributo nella realizzazione del lavoro.

BIBLIOGRAFIA

Autori vari, Proceedings of the 2nd International Minihydro Conference, September 5-7, 1996 – Palinuro (SA).

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

resaux d'eau, Guide pour l'optimisation des couts 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.
- ENEA "Le Fonti Rinnovabili 2005 - Lo sviluppo delle rinnovabili in Italia tra necessità e opportunità". http://www.enea.it/com/web/stampa/arcci/2005/rinnovabili/rinnovabili_f.html
- F. Miotto, P. Claps, R. Revelli e D. Poggi, Produzione di energia idroelettrica eco-compatibile da acquedotti: analisi di fattibilità economica, 31° Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Perugia, 9 – 12 settembre 2008
- F. Plebani, D. Poggi, R. Revelli e P. Claps, Produzione di energia idroelettrica ecocompatibile dagli acquedotti montani e pedemontani: valutazione a scala regionale delle potenzialità delle reti di adduzione, *Approvvigionamento e distribuzione idrica: esperienza, ricerca ed innovazione*, Ferrara, 28 – 29 giugno 2007.
- R. Brealey, S. Myers, S. Sandri, Principi di Finanza Aziendale, McGraw Hill Libri Italia, 2003
- Regione Piemonte, Infrastrutture del servizio idrico in Piemonte, maggio 2000