

DESCRIZIONE TECNICA

Le tecnologie idroelettriche si utilizzano sia per la produzione di energia elettrica che per il suo accumulo. Nelle centrali idroelettriche viene sfruttata l'energia potenziale dell'acqua ricavata dalla differenza di altitudine tra il corso d'acqua e le turbine, che viene trasformata per mezzo della turbina in energia meccanica e quindi in energia elettrica, mediante un generatore.

Gli impianti di pompaggio idroelettrico sono utilizzati per l'accumulo di energia e sono caratterizzati da due possibili fasi giornaliere: una di produzione, l'altra di pompaggio. Durante i periodi "off-peak" si utilizza l'energia a basso costo fornita dalla rete per pompare, con gruppi di pompaggio separati o con le medesime turbine idroelettriche, in questo caso reversibili, l'acqua dal serbatoio inferiore a quello superiore. In presenza di picchi di domanda, l'acqua viene rilasciata attraverso le turbine per produrre energia collocabile sul mercato a prezzi elevati, mentre il pompaggio avviene quando i prezzi sono minori.

La potenza elettrica prodotta è proporzionale al "salto geodetico", cioè al dislivello tra i due punti a monte e a valle della turbina, e alla portata del corso d'acqua. Gli impianti sono costruiti al fine di modulare la portata, massimizzando il dislivello [1]. La possibilità di produrre energia idroelettrica varia nel tempo in funzione della piovosità e delle portate.

Gli impianti idroelettrici si suddividono in grandi impianti (o più semplicemente idroelettrici) e in impianti idroelettrici minori (mini-idroelettrico o SHP); la suddivisione avviene in base alla potenza installata nell'impianto:

con SHP, o Small Hydro Power, si indicano le centrali idroelettriche con potenza P (generata dalla centrale in condizioni normali) inferiore a 10 MW e classificate come [2]:

- Micro centrali idroelettriche $P < 100$ kW
- Mini centrali idroelettriche $P < 1$ MW
- Piccole centrali idroelettriche $P < 10$ MW

Gli impianti idroelettrici possono anche essere definiti per tipologia, come:

- impianti ad acqua fluente; hanno una capacità di regolazione degli afflussi piuttosto limitata, per cui la portata sfruttata coincide con quella disponibile nel corso d'acqua.
- impianti a deflusso regolato (a bacino/serbatoio); sono provvisti di una capacità d'invaso alla presa del corso d'acqua atta a modificare il regime delle portate utilizzate dalla centrale posta al piede di una diga.
- impianti a bacino, raccolgono le acque del bacino imbrifero attraverso un sistema di adduzione composto da canali e/o tubazioni in pressione che vengono convogliate alla vasca di carico e da qui alla centrale.
- impianti inseriti in un canale o in una condotta per approvvigionamento idrico; l'acqua potabile di una rete acquedottistica urbana è addotta da un serbatoio di testa mediante condotte in pressione.
- impianti di accumulo mediante pompaggio; sono impianti con tutte le caratteristiche degli impianti tradizionali che ricavano la disponibilità d'acqua nel serbatoio superiore anche mediante sollevamento elettromeccanico realizzato con pompe.

È stato conservativamente stimato che solo un terzo della capacità totale idroelettrica nel mondo è attualmente sfruttata [3]. Alla fine del 2011, oltre 160 paesi avevano capacità di produzione mediante risorse idroelettriche, con una potenza installata di 936 GW e 11.000 impianti.

Il nostro paese, insieme a Svizzera e Austria, vanta una grande tradizione nel pompaggio idroelettrico, avendo realizzato il primo impianto di questo tipo già nel 1890 [4-5].

Negli ultimi anni, dopo la liberalizzazione del mercato, il crescente interesse per le fonti di energia rinnovabili ha risvegliato l'attenzione verso questi sistemi, quale tecnologia matura per l'accumulo di grande taglia, ideale per sostenere la produzione di energia da fonti rinnovabili aleatorie e di fornire stabilità e sicurezza alla rete elettrica [6].

La sensibilità verso l'impatto ambientale e paesaggistico di tali opere sta portando le ricerche a ipotizzare nuove configurazioni, ad esempio il pompaggio marino, dove l'invaso inferiore è costituito dal mare, o il pompaggio sotterraneo con uno o tutti e due invasi completamente in caverna, a centinaia di metri sotto terra [7-11].

STATO DI AVANZAMENTO

Internazionale

Nel mondo, i paesi con la maggiore potenza idroelettrica installata risultano in valori assoluti Cina, Brasile, Canada e Stati Uniti [3]. Il seguente grafico illustra la potenza idroelettrica installata nelle diverse aree continentali alla fine del 2015:



In Europa, alla fine del 2015, il paese con maggiore capacità installata risultava la Francia con 25.4 GW, seguita da Spagna con 18.6 GW [3] e Italia con 18.5 GW [16].

La Norvegia ha una produzione di energia idroelettrica preponderante, se confrontata con la domanda nazionale di energia elettrica (98% di copertura idroelettrica).

La maggiore penetrazione delle energie rinnovabili nel mix energetico europeo porterà ad un aumento della domanda in Europa per le soluzioni accumulo energetico tra cui anche il pompaggio idroelettrico [12]. L'attuale potenza installata di pompaggio in Europa è di circa 42.6 GW [13]. Alcune stime indicano che più di 60 nuovi impianti di pompaggio per una potenza complessiva di circa 27 GW verranno costruiti in Europa entro il 2020 [12].

Nazionale

Prima del boom delle rinnovabili non convenzionali, quali il solare, l'eolico e le bioenergie, la produzione di energia idroelettrica rappresentava la più importante forma di energia rinnovabile in Italia con circa il 70% di contributo. Secondo le ultime stime GSE [15], l'idroelettrico costituisce il 42% della produzione di energie rinnovabili e il 36% della potenza installata.

La seguente tabella illustra lo stato di avanzamento relativo all'idroelettrico fino all'anno 2015 [16].



Escludendo gli impianti di pompaggio puro, alla fine del 2015 risultano in esercizio in Italia 3.693 impianti idroelettrici. La maggior parte di questi è di piccole dimensioni, con potenza complessiva inferiore a 1 MW. Dei 18.543 MW installati in Italia alla fine del 2015, la grande maggioranza si riferisce a impianti con potenza maggiore di 10 MW.

Il 76% dell'elettricità generata dagli impianti idroelettrici (34.673 GWh) è stata prodotta da impianti di potenza superiore a 10 MW, il 18% (8.308 GWh) da quelli di potenza compresa tra 1 e 10 MW e il restante 6% (2.556 GWh) da impianti di piccola dimensione, inferiore a 1 MW. Gli impianti di pompaggio idroelettrico in Italia hanno una lunga tradizione, essendo il paese di Europa con la maggiore capacità installata. Secondo gli ultimi rapporti di TERNA [17], la capacità attuale di pompaggio idroelettrico è di 7.7 GW, dei quali circa 4 GW di pompaggio puro. Vi sono 15 impianti di pompaggio principali in Italia, tra i più importanti Ronco Valgrande, Edolo, Presenzano e Entracque con circa 1000 MW di potenza installata ciascuno.

TRL (TECHNOLOGY READINESS LEVEL)

Le tecnologie idroelettriche (compreso il pompaggio per l'accumulo meccanico di grosse quantità di energia) si trovano nella fase di commercializzazione.

L'energia idroelettrica è una fonte di energia rinnovabile matura a costi competitivi che svolge un ruolo chiave nel mix energetico attuale.

Negli ultimi anni vengono operate azioni di "retrofitting" nei sistemi di pompaggio per consentire un incremento di qualche punto percentuale nell'efficienza globale, mediante la sostituzione dei macchinari (a giri variabili) o altre parti strutturali [14].

RELAZIONE CON LE FONTI ENERGETICHE

Le tecnologie di produzione energetica tramite idroelettrico possono sfruttare qualsiasi dislivello tra invasi:

- Torrenti e fiumi naturali (in alcuni casi in conflitto con gli altri usi dell'acqua, quali potabile o irriguo)
- Canali irrigui e di bonifica (bassi salti con basso impatto paesaggistico sulla risorsa)
- Acquedotti ad uso potabile (minimo o nullo impatto ambientale)
- Acque reflue e scarichi industriali
- DMV (Deflusso Minimo Vitale)

Per l'accumulo energetico è possibile utilizzare le tecnologie di pompaggio in sinergia con energie rinnovabili non programmabili, quali l'eolico, fotovoltaico, marino e idroelettrico ad acqua fluente [23-25].

■ VERSATILITÀ (CAPACITÀ DI IMPATTARE SU PIÙ SETTORI)

I settori più interessati allo sviluppo delle tecnologie idroelettriche sono:

- Costruzioni
- Servizi di approvvigionamento idrico (irriguo, potabile, industriale)
- Turistico-ricreativo

■ POTENZIALE DI DIFFUSIONE IN AMBITO NAZIONALE

Accanto alla produzione dei grandi impianti ha preso piede da 30 anni, grazie a specifiche leggi e misure incentivanti, l'utilizzo del mini-idroelettrico, ossia gli impianti di potenza inferiore ai 10 MW. La possibilità di un recupero delle potenzialità dell'idroelettrico minore non ancora esplorate si fonda essenzialmente sulle effettive situazioni idrologiche, sulle sinergie con altri settori affini come i sistemi acquedottistici, le reti di irrigazione e bonifica, i processi industriali, la gestione e sviluppo delle opere di salvaguardia dei flussi idrici (briglie, traverse, ecc.).

Gli aspetti legati all'impatto ambientale e lo sfruttamento già in atto dei principali corsi d'acqua rendono molto limitata la possibilità di realizzare nuovi impianti di grande taglia. Quindi, le attuali condizioni di mercato trovano oggi diversi motivi per una rivitalizzazione dei settori del micro, mini e piccolo idroelettrico.

■ IMPATTO E SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Interventi antropici, quali la costruzione di sbarramenti, traverse, sponde artificiali, ma anche la regolazione e la riduzione delle portate, possono comportare l'alterazione dell'ecologia del fiume, anche in tratti non direttamente soggetti a tali azioni, sia a valle che a monte dello sbarramento. A valle dello sbarramento l'esercizio dell'impianto può comportare variazioni repentine di portata (denominate hydropeaking) sia nell'alveo sotteso che a valle della restituzione. La messa in asciutta improvvisa di aree bagnate, così come l'improvviso innalzamento della portata, può ridurre la capacità di sopravvivenza dei pesci, in particolare degli stadi vitali con minori capacità di reazione.

Una prescrizione nazionale per il mantenimento di situazioni ambientali accettabili lungo il corso d'acqua è quella del Deflusso Minimo Vitale (DMV). A livello italiano non esiste ancora un riferimento normativo unico che lo quantifichi, ma molte Regioni italiane e Autorità di Bacino hanno legiferato in tal senso[27].

Gli effetti nel tratto fluviale a monte dello sbarramento sono legati alla creazione di habitat poco diversificato, reso uniforme dal rallentamento della corrente, e conseguente riduzione della biodiversità.

Per quanto riguarda l'interruzione fisica della continuità fluviale, la presenza di sbarramenti e traverse costituisce un elemento di impedimento dei movimenti della fauna ittica, che vengono compiuti per la ricerca di: rifugi e nuovi territori, nutrimento, aree idonee alla riproduzione, migliori condizioni chimico-fisiche (in relazione alla variazione, anche stagionale, della qualità dell'acqua).

In sintesi i diversi effetti che possono essere determinati sul corpo idrico fluviale dalla realizzazione di una derivazione d'acqua sono [28]:

- Effetti a valle legati alla regolazione della portata
 - riduzione dell'habitat disponibile complessivo
 - riduzione della varietà di habitat e della biodiversità
 - evoluzione indesiderata della vegetazione (nell'alveo messo in asciutta)
 - interruzione della continuità idraulica
 - variazioni repentine di portata (hydropeaking)
- Effetti a monte legati alla regolazione delle portate (effetto diga)
 - riduzione della varietà di habitat e della biodiversità
- Interruzione fisica della continuità fluviale
 - alterazione del trasporto monte-valle di nutrienti e organismi
 - alterazione del trasporto torbido
 - impedimento delle migrazioni della fauna ittica

Emissioni CO₂/MWh

Le emissioni prodotte sono direttamente riconducibili a quelle connesse alla costruzione degli invasi.

EFFICIENZA, TEMPO DI VITA E RENDIMENTO PREVISTI

Il rendimento di una turbina idraulica-generatore si attesta attorno a 0,8-0,85 con una vita utile tra 40 e 80 anni. La tecnologia di pompaggio è avanzata in modo significativo dalla sua introduzione originale e ora raggiunge una maggiore efficienza con le moderne pompa-turbine reversibili a velocità variabili, così come sono migliorati i metodi di costruzione in galleria e la capacità di progettazione. Nel complesso, l'efficienza del ciclo di pompaggio/generazione è aumentata di ben il 5% negli ultimi 25 anni, raggiungendo valori superiori all'80% (MWH, 2009) [29]. I tempi di vita tecnica degli impianti di pompaggio sono quelli tipici degli impianti idroelettrici tradizionali (40-80 anni).

PAYBACK TECNOLOGICO, DI INVESTIMENTO E DI OPERATION AND MAINTENANCE PREVISTO

Il capital cost e l'LCOE sono fortemente dipendenti dalla dimensione dell'impianto, in particolare [31]:

- per impianti ≥ 20 MW, il CC è compreso tra 650 e 2300€/kW con un LCOE tra 2 e 7 c€/kWh
- per impianti ≤ 20 MW, il CC tra 650 e 3600€/kW con un LCOE compreso tra 3 e 21 c€/kWh.

PRINCIPALI OSTACOLI ALLO SVILUPPO

I principali ostacoli per lo sviluppo dell'idroelettrico riguardano barriere non tecnologiche, quali le procedure autorizzative e burocratiche. I regolamenti regionali e provinciali diventano progressivamente più restrittivi per consentire nuovi impianti idroelettrici, anche di piccola taglia, al di fuori di briglie esistenti.

Uno studio RSE ha evidenziato che con i prezzi del Mercato del Giorno Prima attesi per il 2020 l'impianto di pompaggio marino analizzato non sarebbe sostenibile dal punto di vista economico, nonostante i costi di costruzione per unità di potenza (< 1 M€/MW) siano notevolmente più contenuti rispetto alle tecnologie concorrenti [30]. Per contro i benefici apportati al sistema elettrico derivanti dall'eventuale realizzazione di questo tipo di impianti, sia in termini di capacità di accumulo che di quantità di energia FER integrabili in rete, sarebbero decisamente rilevanti [7]. Il contributo necessario per avere un rischio finanziario nullo, stimato minore di 2.6 €cent per ogni kWh scambiato con la rete, rappresenta un valore alquanto accettabile e inferiore al beneficio indiretto prodotto sull'intero sistema elettrico italiano [9].

POTENZIALITÀ DI SVILUPPO TECNOLOGICO IN AMBITO NAZIONALE E IMPATTO SUL PIL

A beneficio della riduzione del costo di fabbricazione e installazione, le prospettive tecnologiche di R&S mirano a semplificare la struttura meccanica della macchina, realizzare in lamiera saldata le casse tradizionalmente fuse, produrre le pale in lamiera calandrata eliminando ove possibile la doppia curvatura caratteristica tipica di tutte le turbine classiche e semplificare la configurazione dei distributori. Accorgimenti di questo tipo stanno dando origine a macchinari piccoli ed economici, accreditati di rendimento accettabile [27]. Ai fini dell'impatto ambientale, la tecnologia dovrebbe spostarsi verso strutture meglio inserite nel paesaggio e con il minore impatto per la fauna ittica, rispettando gli usi alternativi dell'acqua nei tratti fluviali di interesse.

Altri recenti obiettivi sono l'aumento di qualche punto percentuale di efficienza e il miglioramento della flessibilità operativa mediante l'utilizzo di turbine a giri variabili e tecnologia dei materiali. Tale flessibilità viene indirizzata alla fornitura di servizi ancillari di rete con una risposta rapida ed efficiente di fronte alle richieste di rete, in particolare mediante la combinazione con il pompaggio idroelettrico.

Altro aspetto di sviluppo futuro è quello relativo all'uso ottimizzato dell'acqua: la gestione ottimale dei grandi invasi è cruciale per l'incremento della remunerazione dei produttori. La ricerca è in questo caso indirizzata verso la produzione di modelli matematici sofisticati per la gestione degli impianti e di supporto alle decisioni [32].

POTENZIALITÀ DI ESPORTAZIONE DELLA TECNOLOGIA

L'industria italiana per la costruzione di impianti idroelettrici è stata da molti anni riconosciuta nel mondo, con realtà aziendali quali ad esempio Ansaldo Energia, ATB Riva-Calzoni e Impregilo.

MAGGIORI ATTORI ITALIANI COINVOLTI

Utilizzo della tecnologia

Considerando la potenza installata nel territorio italiano, i maggiori attori produttori di idroelettrica sono i seguenti:

- Enel S.p.A.
- Edison S.p.A.
- Sorgenia S.p.A.
- EniPower S.p.A.
- A2A S.p.A.[1]
- Edipower S.p.A.
- EGL Italia S.p.A.
- Tirreno Power S.p.A.
- ErgoSud
- EP Produzione C.le Livorno Ferraris S.p.A.

Gli impianti di pompaggio italiani appartengono per il 90% ad Enel [26].

Sviluppo della tecnologia

- Imprese di costruzioni: Impregilo, Salini, Trevi, Astaldi, D'Apollonia, Piacentini, Edileurope S.r.l., (e molte altre)
- Società d'ingegneria: Electroconsult, Studio Marcello, Studio Pietrangeli, Studio Tre, Sembenelli, Frosio S.r.l., Studio Beta, Techydro S.r.l., Frendy Energy S.p.A., Hydropol Italia, ecc.
- Industria elettromeccanica: Ansaldo Energia, ATB Riva-Calzoni, AC – Elektronik, IREM S.p.A., SP Electric S.r.l, Turbinenbau Troyer S.r.l., Beltrame CSE, E++ S.r.l., ESPE S.r.l., Tamanini Hydro S.r.l., Tschurtschenthaler Turbinenbau, Zeco di Zerbaro & Costa. S.r.l, Energ Tech S.r.l.

ECCELLENZE IN TERRITORIO NAZIONALE

Ansaldo Energia, ATB Riva-Calzoni, Impregilo, Università di Padova, Dipartimento di ingegneria meccanica, e RSE che effettua studi di impianti di pompaggio innovativi.

BEST PRACTICES

I grandi impianti idroelettrici ad invaso esistono in Italia da decenni. Il nuovo sviluppo di tali impianti è attualmente riscontrabile solo all'estero, in particolare in Oriente e in Sudamerica.

I 10 impianti idroelettrici più potenti al mondo sono i seguenti:

n	Nome	Paese	Potenza (MW)	Anni di completamento
1	Three Gorges Dam	China	22,500	2008
2	Itaipu Dam	Brazil	14,000	1984/1991, 2003
		Paraguay		
3	Xiluodu	China	13,860[8]	2014
4	Guri	Venezuela	10,235	1978, 1986
5	Tucuruí	Brazil	8,370	1984
6	Grand Coulee	United States	6,809	1942/1950, 1973, 1975/1980, 1984/1985
7	Xiangjiaba	China	6,448	2014
8	Longtan Dam	China	6,426	2007/2009
9	Sayano–Shushenskaya	Russia	6,400	1985/1989, 2010/2014
10	Krasnoyarsk	Russia	6,000	1972

I 10 impianti idroelettrici di maggiore potenza attualmente in costruzione sono invece:

n	Nome	Paese	Potenza (MW)	Anno di completamento
1	Belo Monte	Brazil	11,233	2019
2	Baihetan	China	16,000	2021
3	Shuangjiangkou	China	2,000	2018
4	Subansiri	India	2,000	2018
5	Tocoma	Venezuela	2,160	2016
6	Maerdang	China	2,200	2016
7	Ituango	Colombia	2,400	2018
8	Changheba	China	2,600	2016
9	Dagangshan	China	2,600	2016
10	Guanyinyan	China	3,000	2016

Nel caso di potenze di macchinario contenute, l'esperienza e l'affinità con la fonte energetica, maturate con i medi e grandi impianti, consentono di semplificare i disegni delle micro e miniturbine a vantaggio della riduzione dei costi. Le prospettive tecnologiche di R&D mirano a semplificare la struttura meccanica della macchina.

Un grande interesse stanno riscuotendo i nuovi impianti con turbine a bulbo sommerso per applicazioni di mini idro a bassissimo impatto visivo (Centrale idroelettrica di Paulo sul canale Muzza, MI). La turbina a bulbo è una turbina a reazione di derivazione Kaplan, con il generatore e il moltiplicatore contenuti in una cassa impermeabile, a forma di bulbo, immersa in acqua. Nel bulbo sono installati sia la turbina che il generatore

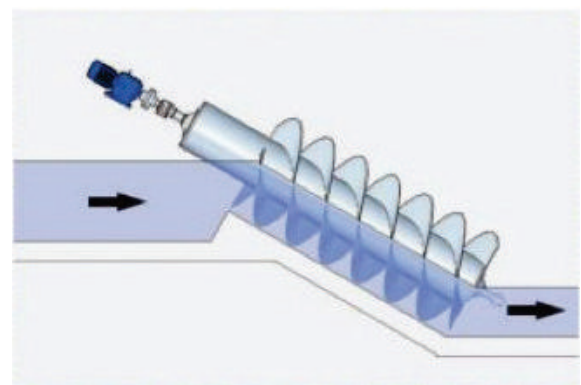
(tipicamente a magneti permanenti). Questa soluzione garantisce l'assenza di rumore esterno poiché il bulbo è interamente sommerso e non necessita di un edificio di grandi dimensioni, riducendo al minimo l'impatto visivo dell'opera.

Di particolare rilievo è il cosiddetto Very Low Head (VLH), impianto adatto allo sfruttamento di salti bassissimi a costi vantaggiosi, con un impatto paesaggistico molto ridotto. Presenta un sistema di ancoraggio ("effetto diga") che riduce al minimo le opere civili. Può produrre da un minimo di 100 kW fino ad un massimo di circa 500 kW con salti da 1.4 a 3.2 m e portate da 3 a 26 m³/s.

Altra tipologia molto applicata di convertitore idroelettrico è la "Vite idraulica o Coclea", con il principio della vite di Archimede in senso inverso: l'acqua viene fatta scendere all'interno delle camere dal livello



Impianto VLH Very Low Head



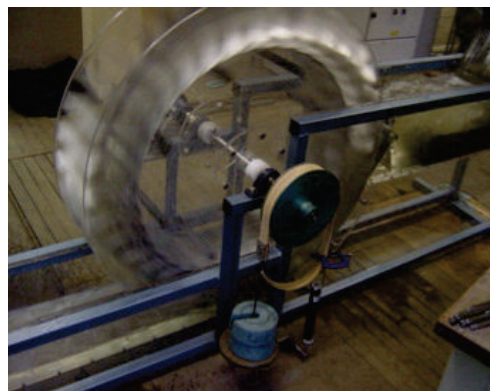
Schema di funzionamento della coclea idraulica + generatore accoppiato

più alto al livello più basso di solito con un movimento relativamente lento. La forza di gravità che in questo modo agisce sull'acqua esercita un momento torcente sull'albero di trasmissione.

L'energia prodotta dalla rotazione dell'albero della coclea viene trasmessa attraverso un moltiplicatore a cinghia ad un generatore, o direttamente al generatore utilizzando un inverter. Le potenze prodotte possono arrivare a valori considerevoli, ossia 500 kW, in funzione delle portate e del salto.

Altra tecnologia si basa sulle ruote d'acqua (mulini verticali): una delle più antiche macchine idrauliche che l'uomo conosca, già utilizzate fin dall'antichità.

L'efficienza e la potenza delle ruote idrauliche sono migliorate con lo sviluppo dell'ingegneria idraulica, con l'arrivo dei nuovi materiali, con i test di nuove forme in laboratorio.



Modello in laboratorio di una ruota di fianco, alla Queen's University di Belfast



Ruote idrauliche di recente fabbricazione per la produzione idroelettrica

Particolarmente interessanti sono i dispositivi per lo sfruttamento dei salti negli acquedotti a pressione. In questo caso gli impianti idroelettrici sostituiscono le strutture di laminazione utilizzate per ridurre l'eccessiva pressione dell'acqua, senza impatti ambientali e recuperando energia che altrimenti andrebbe persa.

I paesi scandinavi sono attivi nello sviluppo di soluzioni di accumulo energetico tramite pompaggio idroelettrico, con 12 progetti attualmente in fase di valutazione che potrebbero incrementare la potenza installata tra 1000 e 2500 MW [19].

Uno dei più grandi nuovi impianti "Pumped Hydro Energy Storage" (PHES) europeo è il complesso "Alto Tâmega" (1200MW dei quali 900 MW in pompaggio) in fase di costruzione in Portogallo. EDP (Energias de Portugal) sta costruendo tre nuovi impianti in Portogallo Baixo Sabor, Foz Tua e Fridao / Alvito oltre all'ampiamiento di Alqueva [20]. Altro progetto riguarda lo sfruttamento ottimale delle energie rinnovabili nell'arcipelago di Capo Verde mediante un impianto di pompaggio marino [21].

In Svizzera, per lo stabilimento PHES di 600 MW "Nant de Drance" la costruzione è iniziata nel 2008. Il progetto è stato sviluppato da "Nant de Drance SA", un consorzio di tre società: Alpiq, CFF e FMV. L'impianto utilizzerà serbatoi esistenti presso il sito Vieux Emosson [22].

In Giappone, la TEPCO sta costruendo l'impianto Kannagawa che una volta completato sarà il più grande impianto PHES del Giappone con una potenza installata di 2820 MW. La stessa azienda installerà altri 800 MW nel suo impianto "Kazunogawa II" per raggiungere una capacità complessiva di 1600 MW. L'impianto PHES "Kazunogawa" è unico con una delle più grandi turbine del mondo (macchina da 400 MW con un salto di oltre 700 m) [20]. L'impianto di Okinawa è il primo caso studio e realizzazione di un impianto di pompaggio ad acqua marina ed è di riferimento per le soluzioni a problemi specifici di un impianto ad acqua di mare e per la verifica successiva della loro efficacia.

Nell'isola di "El Hierro" in Spagna, le autorità governative dell'isola con Endesa S.A. e l'Istituto Tecnologico delle Canarie (ITC), hanno sviluppato il progetto El Hierro Hydro-Wind plant finalizzato a soddisfare il 100% della domanda di energia elettrica dell'isola con produzione da fonti rinnovabili. Il progetto prevede la costruzione di un impianto eolico da 11,5 MW associato a un impianto idroelettrico di pompaggio con potenza di 11,3 MW in fase di turbinaggio e di 6 MW in fase di pompaggio. Si ipotizza una copertura di circa 80% della domanda dell'isola. Il rimanente 20% verrebbe fornito da impianti fotovoltaici [23-24]. Altro progetto in fase di valutazione e implementazione è MAREX in Irlanda (Mayo Atlantic Renewable Energy eXport, di particolare interesse per l'articolata e complessa impostazione generale del progetto che integra diverse fonti rinnovabili. Per l'impianto sono pianificati una potenza eolica di 1900 MW nella zona Nord Ovest della contea di Mayo (Irlanda) e un impianto di accumulo elettromeccanico ad acqua marina da 1200 MW a Glinsk [25].



Centralina idroelettrica nell'acquedotto di Roncobello (BG) [18]

BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- [1] Matteo Elli, Giancarlo Giudici, Luca Martin, Luciano Rodighiero - "Tecnologie e mercati per lo sviluppo di centrali energetiche Mini Hydro", Politecnico di Milano, luglio 2010
- [2] UNIDO, Organizzazione delle Nazioni Unite per lo Sviluppo Industriale
- [3] World Energy Council database www.worldenergy.org
- [4] Documento RdS RSE prot 11000299
- [5] Documento RdS RSE prot 12000959
- [6] Cavazzini – Pérez-Díaz, Technological Developments for Pumped-Hydro Energy Storage
- [7] Documento RdS RSE prot 13000592
- [8] Documento RdS RSE prot 14000684
- [9] Documento RdS RSE prot 15000350
- [10] Pickard W.F.-The History, Present State and Future Prospects of Underground Pumped
- [11] Podvysotski, Borodulin, Pumped-storage power plant with underground reservoir Q.96-R.5
- [12] EU SETIS Strategic Energy Technologies Information System, Europe to experience pumped storage boom
- [13] Gimeno-Gutiérrez, Lacal-Aránegui - Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage
- [14] Pumped Storage Retrofit and Upgrade .- Rivista HRW
- [15] GSE - Energia da fonti rinnovabili in Italia, Dati preliminari anno 2015
- [16] GSE – Rapporto statistico Energia da Fonti Rinnovabili anno 2015
- [17] TERNA-IMPIANTI_DI_GENERAZIONE
- [18] Giancarlo Giudici – Politecnico di Milano "L'idroelettrico verso il 2015: una scommessa per il future del territorio", 4/12/2012
- [19] Harby Atle, Balancing power from Norwegian hydro
- [20] Deane J.P. et al., Techno-economic review of existing and new pumped hydro energy storage plant, 2009
- [21] Ramos H.M., Pumped-Storage Solution towards Energy Efficiency and Sustainability Portugal Contribution and Real Case Studies, 2014.
- [22] www.power-technology.com, Nant de Drance Pumped Storage Power Station, Switzerland
- [23] Bueno Carta, Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands 17.09.2004
- [24] HRW, Creating a Hybrid Hydro-Wind System on a Spanish Island, El Hierro
- [25] Organic Power Ltd. "MAREX 2016
- [26] Rinnovabili.it - Accumulo energetico il futuro del pompaggio idroelettrico 31-03-2015
- [27] ENEA Schede tecnologica: idroelettrico
- [28] RSE (ex-CESI RICERCA) Rapporto RdS PROT 07000595
- [29] NHA_PumpedStorage_071212b12Eurelectric "Hydro in Europe: powering renewables"
- [30] QUALENERGIA Riportare-auge-il-pompaggio-idroelettrico-un-emendamento-al-ddl Clara Risso
REPOWER - Gli impianti idroelettrici di pompaggio
- [31] "Renewables 2015, Global status report" (ISBN 978-3-9815934-6-4)
- [32] World Energy Council "Charting the Upsurge in Hydropower Development" 2015