

## Introduzione

L'acqua è stata una delle fonti più antiche per la produzione di energia. E' una fonte rinnovabile, abbondante e pulita. L'energia idroelettrica costituisce la principale fonte di produzione di energia di origine non fossile. Per molti Paesi, l'idroelettrico rappresenta una importantissima fonte per la produzione di energia elettrica: in Norvegia copre il 96% della produzione di energia elettrica, in Venezuela il 68,3%, in Brasile il 63,2%, e in Canada il 58,3%. Ogni anno, in varie parti del mondo si assiste a continue e crescenti opere di ammodernamento o costruzione ex novo di dighe e sbarramenti sui principali corsi d'acqua e bacini idrici, al fine di raccogliere, convogliare e sfruttare la disponibilità idrica per gli impianti di produzione di energia. La maggior parte dell'incremento nella produzione di energia idroelettrica si sta verificando nei paesi emergenti, soprattutto in Cina, India e Brasile.

In tutto il mondo vi sono ben 45.000 dighe alte più di 15 m. Queste barriere sono diffuse in circa 150 paesi, ma di esse ben 22.000 sono state realizzate in Cina e circa 4.000 in India. Solo cinque dighe su cento superano gli 80 m, e solo una su cento è più alta di 150 m. Se invece si contano anche le barriere e gli argini più bassi di 15 m, ci si trova con un numero imprecisato di milioni di dighe.

*(Fonte dati: International Energy Agency (IEA) – Key World Energy Statistics 2016)*

## Conoscere l'idroelettrica

### Che cos'è

Il ciclo dell'acqua, determinato dall'evaporazione dell'acqua terrestre, dalla formazione di nubi e dalle conseguenti precipitazioni piovose, mette a disposizione dell'uomo una straordinaria fonte energetica rinnovabile, la seconda dopo le biomasse. Alla sua origine c'è ancora una volta il Sole, le cui radiazioni provocano l'evaporazione. Pur calcolando che solo lo 0,33% dell'energia solare ricevuta dalla Terra si traduce in precipitazioni atmosferiche, si tratta comunque di una cospicua quantità di energia. Nell'acqua sono presenti due tipi di energia: potenziale e cinetica.

#### **Energia potenziale**

L'acqua sia quando è sotto forma di pioggia, sia quando sgorga da una sorgente è costretta ad andare verso il "basso" a causa della presenza della forza di gravità. Tutti possiamo notare l'energia dell'acqua in una cascata; più il salto, ovvero la distanza tra il punto di inizio della caduta e il punto di arrivo, è alto, maggiore è l'energia che l'acqua cadendo sprigiona; quindi più l'acqua si trova in alto rispetto al punto di arrivo e maggiore è l'energia che potenzialmente l'acqua può sviluppare. L'energia potenziale è quindi l'energia della massa d'acqua in quiete, in funzione della posizione iniziale dell'acqua e del suo punto di arrivo. Essa corrisponde quindi all'energia contenuta nei ghiacciai e nei bacini naturali o artificiali situati ad altezze elevate.

#### **Energia cinetica**

L'energia cinetica dell'acqua è l'energia posseduta da una massa di acqua in movimento e corrisponde quindi all'energia contenuta nell'acqua dei fiumi, dei torrenti e del mare; dipende dalla velocità e dalla massa dell'acqua in movimento. Le macchine idrauliche trasformano in energia meccanica il movimento dell'acqua. Da questa energia meccanica è poi semplice ottenere energia elettrica.

## Come ricavare energia

Due sono i meccanismi per ricavare energia dall'acqua dolce: le ruote idrauliche e le centrali idroelettriche. Le prime producono energia meccanica, le seconde elettricità. L'acqua è una fonte energetica con numerosi vantaggi che l'uomo conosce. Per questo la utilizza da oltre 4.000 anni. Essa, infatti, è una fonte relativamente abbondante, più o meno gratuita, rinnovabile e sicuramente pulita. Inoltre, il suo rendimento nella produzione di energia elettrica, può superare l'80%. Anche dall'acqua salata è possibile ricavare energia, sfruttando l'energia di movimento (moto ondoso, maree, correnti) e l'energia termica (riscaldamento delle acque) attraverso la creazione di bacini artificiali e apparecchiature che sfruttano la differenza di temperatura. Queste tecnologie, però, sono ancora poco sviluppate e, in certi casi, soltanto a

livello sperimentale.

## Potenziati sviluppi

L'idroelettrico è, rispetto alle altre fonti rinnovabili, già arrivato ad un valore molto elevato di utilizzo delle risorse. I grandi impianti idroelettrici sono, infatti, oramai quasi tutti realizzati. Le strade da percorrere nel futuro sono quelle dell'idroelettrico minore (mini e micro idroelettrico) con piccoli impianti a servizio di utenze isolate, che hanno la possibilità di sfruttare la risorsa idrica presente nelle loro vicinanze. In particolare il termine **mini idroelettrico** indica impianti con una potenza installata inferiore ai 10 MW, mentre con il termine **micro idroelettrico** si indicano gli impianti con potenza inferiore ai 100 kW. Gli impianti di piccola taglia hanno notevoli vantaggi: permettono di sfruttare piccole differenze di quota e portate minime dei fiumi per ottenere energia elettrica; hanno un basso impatto sul territorio; costi contenuti e consentono di soddisfare il fabbisogno energetico di piccole comunità, fattorie, singole famiglie o piccole imprese. Inoltre, questi impianti sono ideali per fornire energia ad aree isolate o non collegate alla rete di distribuzione elettrica nazionale.

In generale nei Paesi industrializzati, dove sono presenti i grandi impianti, l'ambito di sviluppo è quello del mini idroelettrico. Invece in molti Paesi in via di sviluppo la fonte idroelettrica può rappresentare un'interessante fonte di approvvigionamento energetico, sia attraverso impianti idroelettrici di grossa taglia sia attraverso impianti mini-idroelettrici.

## Dove si trova

Divenuta energia idroelettrica da poco più di un secolo, l'energia idraulica ha conosciuto uno sviluppo molto rapido che prosegue oggi nei Paesi industrializzati e in quelli in via di sviluppo di Asia e America Latina che potenzialmente dispongono di risorse considerevoli. In termini di sfruttamento delle risorse idroelettriche disponibili, Europa Occidentale e Stati Uniti sono leader mondiali con un utilizzo vicino al massimo della possibilità di sfruttamento di questa fonte. Molto minore l'impiego di energia idroelettrica nei Paesi dell'Est e nel terzo mondo, ove esistono notevoli possibilità di incrementare l'energia prodotta da queste centrali. Particolarmente scarsa la capacità installata in Africa in rapporto alle enormi potenzialità di questo continente. A questo proposito, basti pensare che solo la costruzione di una diga sul fiume Congo, consentirebbe di produrre tanta energia elettrica quanta se ne consuma in Italia in un anno.

In termini di capacità installata e resa energetica, l'idroelettrica è comunque una delle tecnologie più sfruttate per produrre energia elettrica. Nel 2014, l'energia idroelettrica ha coperto, infatti, il 16,7% della produzione di energia elettrica mondiale e questo, nonostante venga sfruttato solo una piccola parte delle risorse idriche tecnicamente utilizzabili.

(Fonte dati: International Energy Agency (IEA) – Key World Energy Statistics 2016)

## Idroelettrico in Italia

Il 42% dell'energia prodotta da fonti rinnovabili in Italia nel 2015 è stata ottenuta dall'idroelettrico. Secondo i dati del Gestore dei Servizi Elettrici (GSE), a fine 2015 l'energia idroelettrica prodotta in Italia ammontava a 45.537 GWh. In Italia nel 1938 ben 14,6 GWh sui 15,5 GWh di energia totale prodotta derivavano dall'idroelettrico. Questa fonte ha contribuito all'avvio dell'industrializzazione italiana tra l'Ottocento e il Novecento. Dopo essere stata la principale fonte di energia elettrica fino agli anni Sessanta (82% del totale), la quota di questa fonte rinnovabile è progressivamente diminuita, mentre la quantità prodotta è rimasta costante. Negli anni Ottanta, la quota dell'idroelettrico era già ridotta al 25%, mentre la produzione termoelettrica, nello stesso periodo, era passata dal 14 al 70%.

Si è calcolato che la potenzialità idroelettrica del territorio italiano potrebbe essere di circa 65 TW. Il confronto con l'energia prodotta indica che il potenziale della risorsa idroelettrica nel nostro Paese è sfruttato praticamente al 90% e si è quasi giunti al limite del massimo sfruttamento possibile. Non sembra quindi essere un settore capace di espandersi ulteriormente. Alla "chiusura" del settore contribuiscono il fatto che i siti più favorevoli e convenienti dal punto di vista tecnico ed economico sono già stati utilizzati e insorgono di numerosi ostacoli tecnici, ambientali ed economici alla

realizzazione di nuovi grandi invasi e centrali di potenza elevata. Di conseguenza il futuro dell'idroelettrico in Italia sembra consistere nella sola realizzazione dei cosiddetti impianti micro-hydro, di bassa potenza (<100 kW), di scarso impegno economico e tecnico e bassissimo impatto ambientale.

## Un po' di storia

Migliaia di anni fa l'uomo ha imparato a sfruttare l'energia meccanica prodotta dalla caduta dell'acqua. Già Greci e Romani usavano dei mulini ad acqua per macinare il grano. A Barbegal, in Francia, nei pressi di Arles, importante porto che riforniva Roma di grano, sono stati trovati dei **mulini idraulici** a otto ruote che sfruttavano contemporaneamente lo stesso corso d'acqua (310 d.C.).

In Europa, però, lo sfruttamento dell'energia idraulica per ricavare lavoro meccanico si sarebbe massicciamente diffuso solo nei secoli XII e XIII. Il principale utilizzo riguardava il settore agricolo e quindi la macinazione, mediante mulini ad acqua, di granaglie, ma anche olive, sale e altri minerali. Seppure molto meno diffusi dei mulini, tra il Cinquecento e il Seicento, sono stati realizzati altri macchinari alimentati dalla corrente dei ruscelli. Uno dei più prolifici inventori di queste macchine fu proprio **Leonardo da Vinci**.

Sempre nel Medioevo, trovò grande diffusione anche la ruota ad acqua inventata dai greci: una specie di mulino che serviva per sollevare l'acqua e fu utilizzato per la bonifica dei terreni paludosi, l'irrigazione e nell'attività mineraria. La ruota idraulica, corredata di albero a camme, permise, inoltre, di riprodurre un movimento verticale discontinuo, come quello del martello. Essa fu così utilizzata per stampare tessuti e azionare mantici che servirono a sviluppare maggiormente l'attività metallurgica.

Un progresso tecnico di enorme portata si è avuto in seguito all'evoluzione della **ruota idraulica** nella turbina, cioè in un apparecchio capace di **trasformare l'energia meccanica in energia elettrica**. La nascita della turbina idraulica risale alla fine dell'Ottocento. Da allora questa tecnologia è stata ulteriormente perfezionata e oggi il rendimento complessivo degli impianti più moderni supera l'80%. Ciò vuol dire che, se l'energia dell'acqua è pari a 100, l'energia utile fornita da un impianto idroelettrico è pari a 80.

## Gli impianti idroelettrici

### Tipologie di impianti idroelettrici

Il principio su cui si basano le centrali idroelettriche è quello di trasformare l'energia potenziale di una massa di acqua in quiete e/o l'energia cinetica di una corrente di acqua in energia meccanica e successivamente trasformare questa energia meccanica in energia elettrica. Gli impianti idroelettrici si suddividono in grandi impianti idroelettrici (o più semplicemente idroelettrici) ed in impianti idroelettrici minori (o mini-idroelettrici); la suddivisione avviene in base alla potenza installata nell'impianto e si può assumere come valore di soglia la potenza di 10 megawatt (in realtà in Italia si parla di idroelettrico minore fino al limite di 3 megawatt). Questa suddivisione solitamente si riscontra anche nella diversa tipologia degli impianti: mentre i grandi impianti idroelettrici richiedono solitamente la sommersione di estese superfici, con notevole impatto ambientale e sociale, un piccolo impianto idroelettrico si integra quasi perfettamente nell'ecosistema locale (si sfrutta direttamente la corrente del fiume). Le centrali idroelettriche sono caratterizzate anche da una grande flessibilità di utilizzo. Grazie agli odierni sistemi di automazione, infatti, è possibile passare dallo stato di centrale ferma a quello di massima potenza in poche decine di minuti. Per questa loro peculiarità, le centrali idroelettriche sono più rapide di quelle termoelettriche nell'incrementare la loro produzione di energia elettrica nelle ore di maggior richiesta. Il processo produttivo idroelettrico è, dunque, conveniente non soltanto sotto il profilo economico ed ambientale, ma anche sotto quello dell'efficienza operativa. Gli impianti idroelettrici possono anche essere definiti in base alla tipologia impiantistica come impianti a deflusso regolato o ad acqua fluente.

### Impianti a deflusso regolato

Questi sono impianti a bacino idrico naturale (laghi) o artificiale (come nel caso di molti serbatoi) e a volte sono bacini

naturali nei quali si aumenta la capienza con sbarramenti (in molti casi gli sbarramenti consistono in dighe alte molte decine di metri). In tali impianti si può anche modificare il regime delle portate utilizzate dalla centrale. Sono ad oggi gli impianti idroelettrici più potenti e più sfruttati, hanno però un notevole impatto ambientale. Possono essere usati come "accumulatori" di energia da utilizzare nelle ore di punta pompando acqua da valle a monte nelle ore notturne. In genere queste centrali sono superiori ai 10 megawatt di potenza e arrivano a potenze enormi come ad esempio nell'impianto di Itaipu in Brasile, ha un bacino con un'estensione di 1460 chilometri quadrati (4 volte il lago di Garda).

## Impianti ad acqua fluente

Gli impianti ad acqua fluente erano molto più usati all'inizio del secolo scorso, soprattutto per azionare macchine utensili in piccoli laboratori. Oggi il potenziale di questi impianti è meno utilizzato di quanto si potrebbe, l'impatto ambientale può essere contenuto e limitato. Tali impianti non dispongono di alcuna capacità di regolazione degli afflussi, per cui la portata sfruttata coincide con quella disponibile nel corso d'acqua (a meno di una quota detta deflusso minimo vitale, necessaria per salvaguardare l'ecosistema); quindi la turbina produce energia con modi e tempi totalmente dipendenti dalla disponibilità del corso d'acqua: se il corso d'acqua è in magra e si scende sotto un livello minimo di portata, cessa la produzione di energia elettrica. In Svizzera le centrali ad acqua fluente coprono il fabbisogno elettrico di base.

## Come è fatto un impianto

Un impianto idroelettrico **a deflusso regolato** è composto, in genere, da cinque elementi: un sistema di raccolta dell'acqua, una condotta forzata, una turbina che trasforma l'energia potenziale in energia meccanica, un generatore che converte l'energia meccanica in elettrica e un sistema di controllo e regolazione della portata dell'acqua. Una volta utilizzata, l'acqua viene restituita al suo corso naturale senza aver subito alcuna trasformazione nelle sue caratteristiche chimico-fisiche. Il sistema di raccolta è costituito principalmente da un'opera di sbarramento o diga. Questa deve rispettare regole costruttive e di gestione molto rigorose, disciplinate da leggi e sorvegliate, nel caso di opere di grandi dimensioni, dal Servizio Nazionale Dighe. Gli sfioratori di superficie e lo scarico di fondo garantiscono comunque una gestione controllata dell'acqua invasata. In base alle caratteristiche del luogo dove viene realizzato lo sbarramento, vi sono diverse tipologie di traverse (sbarramenti di piccola entità) o dighe. Una volta raccolta, l'acqua viene convogliata in una turbina attraverso condutture forzate. Queste ultime sono le tubazioni che partono dal luogo in cui è stata raccolta l'acqua e che portano l'acqua alla centrale dove si produce l'energia elettrica; sono fortemente inclinate e sono costituite da tubazioni in lamiera di acciaio a sezione circolare (hanno anche delle valvole in testa ed al piede che permettono di chiudere il passaggio all'acqua). Le variabili che determinano la capacità della turbina sono il **salto utile** e la **portata**. Il primo è il dislivello tra la quota a cui si trova l'acqua prima di entrare nel sistema di raccolta e quella dello scarico. La portata, invece, è il volume, misurato in metri cubi, dell'acqua che transita attraverso una sezione nel tempo di un secondo. In effetti per stimare il potenziale idroelettrico di un sito si deve poter conoscere la variazione delle portate durante l'anno e quale sia il salto lordo disponibile. Nel migliore dei casi i servizi idrografici avranno installato una stazione di misura e saranno state raccolte le serie storiche delle portate defluenti. Nel caso in cui non si conoscano i dati idrologici, si dovrà misurare la portata per almeno un anno. In ogni turbina c'è un organo di immissione e distribuzione dell'acqua che la porta in una girante dove l'energia potenziale si trasforma in energia meccanica. Poi, le turbine si distinguono in **turbine ad azione** e **a reazione**. Nelle prime, la trasformazione avviene tutta nell'organo di distribuzione dell'acqua e per questo motivo, esse vengono preferite quando il salto è maggiore (fino a 1.000 metri) e la portata modesta. Quando, invece, il salto è minore (fino a 200 metri), a vantaggio di una maggiore portata, è preferibile utilizzare una turbina a reazione che sfrutta anche l'azione della girante. Fissato solidamente all'albero della turbina, un generatore trasforma l'energia meccanica in elettrica. Ogni generatore è composto da un rotore mobile, su cui è installato un magnete e da una parte fissa, lo statore. Il campo magnetico generato dal rotore, trasmette una forza elettromagnetica, l'elettricità, agli avvolgenti di filo di rame presenti nello statore. Dal generatore, sempre attraverso cavi di rame opportunamente dimensionati, l'energia elettrica, caratterizzata all'origine da una tensione di 5.000 volt, raggiunge un trasformatore. Qui il valore della tensione viene innalzato fino a 150.000 volt prima che l'elettricità venga

immessa nella rete distributiva. L'intero sistema idroelettrico è guidato, controllato e protetto da apparecchiature elettroniche che sorvegliano il processo produttivo e intervengono in caso di guasto e/o di anomalie di funzionamento, provvedendo a far fermare prontamente l'impianto. Negli ultimi anni, grazie al progresso della tecnologia informatica e delle telecomunicazioni quasi tutti gli impianti sono comandati a distanza da un limitato numero di centri di telecontrollo che sovrintendono a tutte le operazioni necessarie per il corretto funzionamento delle centrali.

## Le opere di sbarramento

Le opere di sbarramento sono dei manufatti destinati ad intercettare il corso d'acqua nella località prescelta per la presa; si hanno due tipologie di opere che differiscono principalmente per le loro dimensioni: le dighe e le traverse.

### Le dighe

Le dighe sono quelle opere di maggior altezza che, oltre ad intercettare il corso d'acqua, creano un serbatoio utile ai fini della regolazione delle portate. Possono raggiungere anche altezze di alcune centinaia di metri. Le dighe possono essere realizzate in calcestruzzo oppure in materiali sciolti.

### Le traverse

Le traverse sono quelle opere di modesta altezza che, in genere, contengono il sopraelevamento del livello d'acqua a monte di esse entro i limiti dell'alveo del fiume. Hanno altezze che possono raggiungere al massimo la decina di metri. Possono essere del tipo **fisso** o **mobile**, a seconda della configurazione dell'alveo, delle portate massime del corso d'acqua e di quelle derivabili e della necessità di evitare, durante le piene, rigurgiti eccessivi e pericolosi a monte dell'opera. Le traverse fisse sono realizzate in muratura od in cemento armato e sono destinate ad essere tracimate dall'acqua nel caso di piena o portate superiori a quelle derivabili dall'impianto, per questo sono solitamente sagomate opportunamente per evitare fenomeni erosivi. Le traverse mobili hanno una parte fissa, realizzata in muratura o cemento armato, ed una parte mobile (detta **paratoia**), solitamente in acciaio.

## Piccoli impianti, piccoli impatti

Per ovviare ai problemi di tutela ambientale posti dalla realizzazione di impianti idroelettrici in aree particolarmente vulnerabili e sensibili, la tendenza degli ultimi anni è quella di abbandonare progressivamente la costruzione di grandi impianti che possono avere un pesante impatto ambientale a favore di impianti idroelettrici di piccole dimensioni: i **microhydro**, piccole centrali idroelettriche di **potenza inferiore ai 100kW**. Questi, realizzati senza la necessità di costruire invasi o bacini di raccolta, possono sfruttare dislivelli di pochi metri e permettono di produrre energia anche in zone isolate e normalmente non servite dalla rete energetica nazionale come ad esempio nuclei abitativi isolati, fattorie e rifugi. In questo modo l'utilizzo della risorsa idrica offre, alle comunità montane interessate, la possibilità di un controllo diretto sulla sua gestione e sul suo utilizzo. L'energia prodotta viene sfruttata sul luogo con immediati vantaggi per le popolazioni locali e senza necessariamente realizzare imponenti elettrodotti. Per gli impianti di potenza limitata il prelievo idrico è molto limitato, le modificazioni del corso e della portata sono trascurabili e le acque utilizzate vengono restituite subito a valle dell'impianto stesso. Le caratteristiche di questi impianti sembrano essere le più adatte per sfruttare in modo capillare le potenzialità offerte da corsi d'acqua alimentati da acque di fusione glaciale, in zone di montagna isolate e poco servite dalla rete nazionale. Attualmente è allo studio una proposta di legge che permetta di inserire anche gli impianti *micro-hydro* nella rete del *net metering*, il sistema di scambio con la rete elettrica nazionale, che permette di cedere energia quando la propria produzione è in eccesso e di richiederla quando questa non è sufficiente. Attualmente questa modalità viene applicata soltanto all'energia prodotta da impianti fotovoltaici privati.

## Energia dai ghiacciai

### I ghiacciai, una risorsa

L'acqua dei torrenti in montagna percorre dislivelli elevati che determinano un potenziale energetico ottimale, ma generalmente le portate sono troppo variabili per essere sfruttate con continuità. Le acque di fusione glaciali

garantiscono un apporto di grandi quantità di acqua durante la stagione estiva, quando gli altri corsi sono in secca: basta confrontare, a parità di piovosità, le portate estive dei corsi d'acqua alpini e del Centro e Sud Italia per rendersi conto dell'importanza dell'esistenza di apparati glaciali sul regime delle acque superficiali.

Per questo motivo, moltissimi impianti idroelettrici in zone montuose sono alimentati da **acque di fusione glaciale** e in moltissimi casi la captazione avviene direttamente sui torrenti che escono dai ghiacciai. Paesi come la Svizzera, l'Austria, l'Italia o la Nuova Zelanda, furono tra i primi a sfruttare la potenzialità produttiva delle acque glaciali: all'inizio degli anni '70, il 64% del fabbisogno energetico della Svizzera era coperto dalla produzione delle centrali idroelettriche, per la maggior parte alimentate direttamente o indirettamente da acqua di fusione glaciale. Sulle Alpi italiane, moltissimi esempi si osservano nelle regioni montuose del Nord, come Piemonte, Valle d'Aosta, Trentino-Alto Adige, Lombardia, dove la presenza dei ghiacciai permette un utilizzo intensivo della risorsa idrica come fonte di energia.

Uno degli esempi più grandiosi di sfruttamento delle risorse idriche dei ghiacciai alpini è la diga a gravità di Dixence, in Val des Six, in Svizzera: con un muro di 285 m è la più alta dell'arco alpino, una delle più alte nel mondo e sostiene un invaso con una capacità di 400 milioni di m<sup>3</sup>. Una rete di più di 100 km di gallerie e canali derivatori sotterranei raccoglie le acque del Ghiacciaio di Cheilon e dei ghiacciai che scendono dal Monte Rosa e dal Cervino, con impianti che complessivamente occupano una superficie di 357 km<sup>2</sup>, metà dei quali sono coperti da ghiacciai (*dati Smiraglia, 1992*).

## Lo stato dei ghiacciai

Con soltanto pochissime eccezioni, i ghiacciai di tutto il mondo stanno subendo una fase di ritiro, cominciata all'inizio del secolo scorso e interrotta brevemente da una piccola avanzata per l'area alpina intorno agli anni '80. Questo pone in pericolo non solo l'esistenza dei ghiacciai, ma anche un'importante risorsa energetica rinnovabile. Anche il ghiaccio e l'acqua che ne deriva sembrano quindi destinati a trasformarsi in una fonte che va esaurendosi e che non si rinnova più, come accade per i combustibili fossili. Infatti di massa della maggior parte dei ghiacciai italiani è negativo: estate fonde più ghiaccio di quanto non se ne formi durante la stagione fredda e la massa dei ghiacciai diminuisce.

A differenza dei combustibili fossili, il cui sfruttamento dipende dall'uomo e può essere in una certa misura pianificato e programmato, accantonando eventualmente riserve "strategiche", la quantità di acqua prodotta dalla fusione dei ghiacciai può essere utilizzata solo quando è disponibile. Questa fonte energetica dipende dalle caratteristiche meteorologiche e, nel corso degli anni, dalle fluttuazioni climatiche influenzate anche dall'attività dell'uomo. Ad esempio, la torrida estate del 2003, calda e secca oltre la media, ha favorito il rilascio di grandi quantità di acque di fusione che non sono state sfruttate completamente per la produzione di energia. Infatti un bacino artificiale è costruito per contenere solo un limitato volume di acqua e le caratteristiche tecniche degli impianti sono progettate per produrre quella determinata quantità di energia massima anche se la risorsa a disposizione è presente in eccesso.

Le risorse idriche che provengono dai ghiacciai sono quindi difficili da gestire: l'unica certezza che offrono è la loro disponibilità durante i mesi estivi. Per quanti anni ancora sarà possibile sfruttare questa risorsa?

### Lo stato dei ghiacciai in Italia

L'intensa riduzione areale dei ghiacciai delle montagne italiane, che ha visto un'accelerazione negli ultimi decenni, trova riscontro su tutte gli altri settori delle Alpi e sulle altre catene montuose della Terra ed è sicuramente uno dei segnali più chiari ed evidenti esistenti in natura delle variazioni climatiche in atto e in particolare dell'aumento di temperatura media dell'aria. Oltre ad essere i più attendibili indicatori climatici, i ghiacciai rappresentano un'importante risorsa idrica, energetica, paesaggistica e turistica.

Secondo il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani in Italia (pubblicato nel 2015), in Italia sono presenti 903 corpi glaciali, che occupano una superficie complessiva di 370 km<sup>2</sup> pari a quella del Lago di Garda, presenti in 6 regioni italiane interessate tra le quali solo una, l'Abruzzo, non alpina. Facendo un confronto con il precedente catasto nazionale dei ghiacciai, ultimato alla fine degli anni '50 dal Comitato Glaciologico Italiano in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche, si nota come il numero dei ghiacciai sia oggi aumentato, passando da 835 a 903. Quella che può apparentemente sembrare una contraddizione, in realtà non lo è perché l'incremento numerico è da riportare ad una intensa frammentazione delle unità glaciali preesistenti. La superficie glaciale ha infatti registrato una perdita del 30%



(157 km<sup>2</sup>), confrontabile all'area del Lago di Como, passando da 527 km<sup>2</sup> agli attuali 370 km<sup>2</sup> (circa 3 km<sup>2</sup> persi all'anno). I ghiacciai italiani sono dunque numerosi, frammentati e di piccole dimensioni (si stima un valore areale medio di 0,4 km<sup>2</sup>), ad eccezione di tre ghiacciai che presentano un'area superiore ai 10 km<sup>2</sup>: i Forni, in Lombardia (Parco Nazionale dello Stelvio), il Miage, in Valle d'Aosta (Gruppo del Monte Bianco), e il complesso Adamello-Mandrone, in Lombardia e Trentino (Parco dell'Adamello); quest'ultimo può essere definito il ghiacciaio più grande d'Italia essendo stato classificato come un grande corpo glaciale unitario a causa della sua forma insolita, simile a quella dei grandi ghiacciai scandinavi, caratterizzata da un altopiano da cui si diramano molte lingue.

## Vantaggi dell'energia dai ghiacciai

Molti sono i vantaggi dell'uso delle acque di fusione dei ghiacciai per la produzione di energia idroelettrica. I ghiacciai sono una fonte di acqua che nei mesi estivi è costante e sicura, a differenza dell'acqua di fiumi e torrenti, la cui portata è soggetta a variazioni notevoli in funzione delle precipitazioni. Ne deriva che nei mesi estivi, quando la maggior parte dei corsi idrici superficiali soffre di penuria d'acqua, i corsi d'acqua alimentati dai ghiacciai sono al contrario ricchi di questa risorsa preziosa. L'energia ricavata dai ghiacciai può quindi essere utilizzata proprio nei periodi in cui le altre risorse idriche sono al minimo ed è proprio l'acqua di fusione dei ghiacciai a permettere di far fronte a situazioni di emergenza energetica come i recenti black-out estivi.

I costi per la realizzazione di un grande impianto idroelettrico, con tutte le strutture connesse (invasi, dighe, canali, condotte, centrali, elettrodotti) sono molto elevati, ma trattandosi per la maggior parte di impianti di antica data, i costi si sono in parte già ammortizzati e ne deriva un costo dell'energia idroelettrica relativamente basso. Attualmente, sia per ragioni economiche che ambientali, si preferisce realizzare micro-impianti che soddisfano il fabbisogno energetico di piccole comunità locali e che sono meno costosi e più "ecologici".

E' un'energia "pulita", poiché la sua produzione non produce sostanze inquinanti, anche se non è del tutto priva di ripercussioni sull'ambiente.

## Problemi e soluzioni

A parte il già citato problema del raggiungimento del limite massimo di sfruttamento di questa risorsa, l'utilizzo di acque di fusione dei ghiacciai per la produzione di energia idroelettrica presenta alcuni problemi di natura tecnica con importanti risvolti economici.

Uno dei problemi tecnici più importanti riguarda il carico solido normalmente trasportato dalle acque di fusione glaciale, che in genere è molto elevato: le acque che escono da un ghiacciaio, si presentano sempre con un caratteristico aspetto lattiginoso e una colorazione grigiastria, dovuti al trasporto in sospensione di grandi quantità di materiale molto fine.

Questa caratteristica non rende le acque di fusione particolarmente adatte per essere utilizzate a scopo idroelettrico. Questo fa sì che gli invasi e i canali dove passano e si raccolgono queste acque siano soggetti alla deposizione del materiale in sospensione. Per mantenere l'efficienza degli impianti e per non modificare la capacità degli invasi sono necessari interventi di pulizia e di rimozione continua dei depositi. Queste operazioni sono costose e tecnicamente non facili. Il progressivo accumularsi di materiale sul fondo degli invasi (detto processo di interrimento) ne riduce gradualmente la capacità e la potenzialità produttiva perchè accorcia i tempi di utilizzo e la vita operativa dell'impianto. Le acque ricche di materiale in sospensione presentano anche un altro grave problema tecnico: le particelle colpiscono ad alta velocità e con grande energia gli organi meccanici delle turbine, provocando la loro rapida usura. Per questo motivo queste acque devono essere sottoposte a un processo di filtrazione prima di entrare negli impianti. Le operazioni di filtraggio sono difficili e pongono il problema successivo dello smaltimento di grandi quantità di fanghi limosi e argillosi senza provocare eventuali danni ambientali.

Un altro problema che diviene di anno in anno più sensibile è legato al progressivo arretramento delle fronti dei ghiacciai. Molte opere di presa e di captazione, compresi alcuni invasi anche di grandi dimensioni, sono ubicati in prossimità delle fronti, in modo da raccogliere la maggior quantità possibile di acque e di evitarne la dispersione nella copertura detritica. Il progressivo arretramento delle fronti richiede un adeguamento delle opere di captazione, costringendo a rimodernare

continuamente le strutture e ad adeguarle alla sempre nuova posizione della fronte. Questo porta a un aumento dei costi e delle problematiche ambientali poste dalla realizzazione di nuove opere.

A scopo sperimentale sono stati realizzati impianti nei quali le acque vengono captate direttamente all'interno del ghiacciaio. Si tratta di opere finalizzate alla ricerca, in genere associate a laboratori sulla dinamica glaciale. Il più noto è il laboratorio endoglaciale dell'Engabreen, in Norvegia, installato nei tunnel di captazione scavati all'interno del ghiacciaio. Famoso è anche l'esempio del Ghiacciaio dell'Argentière, che scende dal versante francese del gruppo M. Bianco: negli anni Sessanta furono scavati dei tunnel nel ghiaccio sotto la fronte per captare le acque di fusione a scopo idroelettrico. Una caratteristica dei torrenti sottoglaciali è però quella di modificare continuamente il proprio corso, con repentine variazioni di direzione, per cui le gallerie sono divenute ben presto inservibili e sono state trasformate in laboratorio sotterraneo per lo studio dell'erosione basale.

## Energia dal mare

### Energia dalle onde

In linea di principio è possibile convertire almeno cinque tipi di energia presenti nel mare: quella delle correnti, delle onde, delle maree, delle correnti di marea e del gradiente termico tra superficie e fondali. Attualmente esiste solo un impianto per lo sfruttamento delle maree in Francia, mentre sono in corso esperimenti per lo sfruttamento del potenziale energetico delle onde nel Regno Unito, in Norvegia e in Giappone e del gradiente termico negli Stati Uniti. L'Unione Europea identifica circa 100 siti suscettibili di essere utilizzati per la produzione di energia elettrica dalle correnti marine. In Italia è lo stretto di Messina ad essere stato identificato tra i siti più promettenti.

#### *Energia dalle onde*

La strada per sfruttare il moto delle onde del mare per ottenere energia elettrica, nonostante i problemi, non smette di solleticare la fantasia degli ingegneri. Ci sono allo studio ipotesi per concentrare e focalizzare le onde in modo da aumentarne l'altezza e il potenziale di conversione in energia elettrica. Altre ipotesi prevedono invece di utilizzare le variazioni di pressione che si riscontrano al di sotto della superficie del mare, altre utilizzano dei galleggianti che "copiano" il moto ondoso trasferendolo a dei generatori per mezzo di pistoni idraulici.

### Energia dalle maree

E' noto che la Luna esercita una forte forza d'attrazione sull'acqua della Terra. Dall'innalzamento e dall'abbassamento regolare delle masse d'acqua si ricava energia. Per costruire una centrale di marea l'estuario è sbarrato in direzione del mare con una diga artificiale. La tecnica energetica sfrutta il dislivello tra l'alta marea e la bassa marea: la cosiddetta ampiezza di marea. Ovviamente la premessa è che deve esserci un'ampiezza della marea sufficiente, come si verifica ad esempio nella Francia settentrionale, presso Saint Malò, dove la differenza tra il livello minimo e il livello massimo dell'acqua è di 12-13 metri. Proprio tra Saint Malò e Dinard, sulla Manica, alla foce del fiume Rance, dal 1966 è attiva la prima centrale mareomotrice al mondo: è la Rance Tidal Power Station, che ha una potenza di 240 MW.

### Energia dalle correnti

L'energia delle correnti di marea è una delle fonti più interessanti ed inesplorate tra le fonti di energie rinnovabili. Si pensi che nella sola Europa la disponibilità di questo tipo di energia è pari a circa 75 gigawatt (75 milioni di chilowatt). Come si sa, oltre alla potenza, ciò che è importante è la stima dell'energia sfruttabile: questa in Europa è pari a circa 50 terawatt (terawattora equivalenti a 50 miliardi di chilowattora). Nel 2003 per la prima volta è stato realizzato un progetto per lo sfruttamento di questa energia ad Hammerfest, una cittadina costiera all'estremo nord della Norvegia. Afflitti dalla mancanza di sole per gran parte dell'anno e da una posizione geografica non proprio agevole per convogliare risorse energetiche tradizionali, gli abitanti di questo remoto paese sembrano aver risolto il problema. Le pale della turbina, lunghe 10 metri, girano quando la marea sale nel canale di Kvalsund e si fermano quando l'acqua del mare ha raggiunto



il livello massimo. Poi riprendono il loro movimento nell'altro senso quando la marea comincia a scendere. Secondo le previsioni dovrebbero essere generate circa 700.000 chilowattora di energia non inquinante all'anno (anche se con costi maggiori di produzione), abbastanza per garantire luce e riscaldamento a una trentina di abitazioni. Le turbine per lo sfruttamento delle correnti marine possono essere (come per le tecnologie eoliche) ad asse orizzontale o ad asse verticale. Le turbine ad asse orizzontale sono più adatte alle correnti marine costanti, come quelle presenti nel Mediterraneo, mentre le turbine ad asse verticale sono più adatte alle correnti di marea per il fatto che queste cambiano direzione di circa 180 gradi più volte nell'arco della giornata.

## Energia dal gradiente termico

La prima centrale per la conversione dell'energia termica degli oceani è nata nel 1996 al largo delle isole Hawaii e produce energia sfruttando la differenza di temperatura tra i diversi strati dell'oceano. L'energia solare assorbita dalla superficie del mare la riscalda, creando una differenza di temperatura fra le acque superficiali, che possono raggiungere i 25-28 gradi centigradi, e quelle situate per esempio ad una profondità di 600 metri, che non superano i 6-7 gradi centigradi. Le acque superficiali, più calde, consentono di far evaporare sostanze come ammoniaca e fluoro; i vapori ad alta pressione mettono in moto una turbina e un generatore di elettricità, passano in un condensatore e tornano allo stato liquido raffreddati dall'acqua aspirata dal fondo. Una differenza di 20 gradi centigradi basta a garantire la produzione di una quantità di energia economicamente sfruttabile. Attualmente si ha una potenza di 50 chilowatt, ma si pensa di poter arrivare a 2 megawatt anche se i costi sono molto alti. (Numerose piattaforme marine per l'estrazione di idrocarburi in disuso possono essere convertite per l'applicazione di questa tecnologia).

## Ambiente e territorio

### Vantaggi dell'idroelettrico

L'energia idroelettrica, come altri tipi di fonti rinnovabili, presenta alcuni notevoli vantaggi rispetto alla produzione di energia elettrica da combustibili fossili. Innanzitutto è una fonte rinnovabile e non esauribile.

In secondo luogo le emissioni di sostanze inquinanti in acqua e in aria sono praticamente nulle, poiché non si realizza alcun processo di combustione. In particolare si riducono le emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) di 670 grammi per ogni chilowattora di energia prodotta. Altri benefici sono, come per le altre rinnovabili, la minore dipendenza dalle fonti energetiche estere, la diversificazione delle fonti e la riorganizzazione a livello regionale della produzione di energia.

Inoltre gli impianti mini-idroelettrici in molti casi, con la sistemazione idraulica che viene eseguita per la loro realizzazione, portano anche notevoli benefici al corso d'acqua. In particolare permettono la regolazione e la regimentazione delle piene sui corpi idrici a regime torrentizio, specie in aree montane ove esista degrado e dissesto del suolo, e quindi possono contribuire efficacemente alla difesa e salvaguardia del territorio.

In alcuni casi, poi, il lago artificiale che si forma a seguito della realizzazione di uno sbarramento o di una diga, può valorizzare l'area circostante, permettendo lo sviluppo di attività turistiche, sportive e produttive che coesistono con lo sfruttamento idroelettrico. La possibilità di accumulare acqua per poi regolarne il flusso a valle, può inoltre contribuire a ridurre i fenomeni alluvionali e favorire un uso più oculato delle risorse idriche sempre più rare e preziose.

### Energia davvero pulita?

L'energia idroelettrica suggerisce alla nostra mente l'idea di fonte energetica pulita, eco-compatibile e soprattutto rinnovabile. In realtà anche una grande centrale pone problemi di impatto ambientale: estetici, di inquinamento elettromagnetico e di sovraccarico sui terreni.

Il prelievo idrico riduce la quantità di acqua nei torrenti e nei fiumi a valle dell'impianto e provoca sconvolgimenti negli ecosistemi fluviali con gravi danni al patrimonio ittico e naturalistico. Per legge, è previsto che il prelievo non possa superare una percentuale della portata naturale e deve essere garantito quello viene chiamato il "minimo vitale" che garantisca la vita del corso d'acqua e dei suoi ecosistemi. In realtà nei periodi di siccità, lunghi tratti di corsi d'acqua

vengono di fatto lasciati praticamente all'asciutto con i conseguenti danni ambientali. Gli effetti negativi non sono limitati ai tratti di fiume a valle degli impianti, ma si ripercuotono su tutta la rete idrica: la ridotta portata dei corsi d'acqua provoca una maggior concentrazione degli inquinanti, sia nei corsi d'acqua che nelle falde da questi alimentate. Per quanto riguarda gli sviluppi futuri dell'idroelettrico, in Italia come in gran parte d'Europa, si sono ormai sfruttate quasi del tutto questo tipo di risorse, ovvero si sono costruite centrali idroelettriche in quasi tutti i posti dove esistono condizioni ideali per lo sfruttamento dell'energia cinetica dell'acqua che precipita a valle dai monti. È quindi difficile ampliare il numero e la potenza del parco di centrali idroelettriche esistenti. In altre grandi regioni del mondo questa forma di energia è disponibile in grande quantità e non è ancora stata sfruttata. E' il caso dell'Africa, dove il basso consumo di energia per persona e il basso livello di benessere, fanno sì che questo tipo di energia possa divenire preziosa e importante per sostenere lo sviluppo economico di quelle popolazioni. Un secondo limite delle centrali idroelettriche è dato dalle ampie aree di territorio che spesso devono essere occupate e allagate tramite dighe di notevoli dimensioni appositamente costruite, per poter accumulare l'acqua necessaria a muovere le turbine con continuità. E' necessario quindi modificare l'assetto originario del territorio e i regimi naturali dei corsi dei fiumi e torrenti, causando in alcuni casi impatti ambientali sugli ecosistemi e impatti economici su altre attività agricole o industriali.

I grandi impianti idroelettrici a bacino necessitano quindi di opportune valutazioni di impatto ambientale, tese a garantire l'assenza di interferenze con l'ambiente naturale. Le centrali in caverna, scavate nel sottosuolo, eliminano in parte il problema estetico, ma pongono il problema di smaltire il materiale di scavo e la loro realizzazione può influire sulla circolazione idrica sotterranea.

## Impatto visivo sul paesaggio

Per quanto riguarda l'impatto visivo dei grossi impianti idroelettrici sul paesaggio, è evidente e difficilmente mascherabile: in questo caso è necessaria un'attenta valutazione dell'impatto dell'impianto sul territorio verificandone anche una possibile valorizzazione estetica. Ognuno degli elementi di un impianto (opere di presa, sbarramento, centrale, opere di restituzione, sottostazione elettrica) può determinare un cambiamento nell'impatto visuale del sito. Per diminuire questi impatti si può mascherare alcuni di questi elementi mediante la vegetazione, usare colori che meglio si integrino con quelli del paesaggio ed eventualmente costruire nel sottosuolo una parte degli impianti (ad esempio la centrale).

A tutto questo si aggiunge che le aree dove sorgono gli impianti sono situate in zone di montagna, spesso a quote elevate e sovente inserite in Parchi e Riserve naturali: luoghi particolarmente vulnerabili e bisognosi di una particolare tutela ambientale. In Italia, nella zona alpina, circa il 90% dei corsi d'acqua subisce alterazioni dovute al prelievo per scopi idroelettrici e soltanto il 10% dei torrenti alpini è lasciato allo stato "naturale": è facile immaginare come l'utilizzo di una fonte energetica apparentemente "pulita" possa trasformarsi, se non gestito in modo responsabile e attento, in un apporto di gravi danni all'ambiente.

## Rapporto con gli ecosistemi

Il rapporto con gli ecosistemi è un aspetto fondamentale da tenere presente nella progettazione di un impianto idroelettrico; esistono due aspetti che sono strettamente collegati con il prelievo di acque superficiali e che possono generare impatti di due diversi ordini:

- a) impatto relativo alla variazione (diminuzione) della quantità dell'acqua, con possibili conseguenze conflittuali per gli utilizzatori ed effetti sulla fauna acquatica;
- b) impatto relativo alla variazione di qualità dell'acqua in conseguenza di variazioni di quantità ed anche in conseguenza di possibili modificazioni della vegetazione sulle rive del fiume.

Se si realizza una diga per un impianto a bacino si hanno le seguenti conseguenze: a monte dello sbarramento si forma un invaso e si trasforma, quindi, un ambiente di acque correnti (acque lotiche) in un ambiente di acque ferme (acque lentiche), con un tempo di ricambio delle acque più lungo e con possibili ricadute sull'ecosistema. A valle dello sbarramento, fino al punto in cui viene rilasciata l'acqua utilizzata dalla centrale, il corso d'acqua potrebbe andare in secca per alcuni periodi se non viene garantito un rilascio continuo affinché il fiume abbia, anche in quel tratto, una

portata minima adeguata; la portata minima (da garantire per legge) che garantisce all'ecosistema fluviale il naturale svolgimento di tutti i processi biologici e fisici viene denominata "Deflusso minimo vitale". Tutti questi aspetti devono essere presi in considerazione durante lo studio dell'impianto a bacino. Per questi motivi vengono fatte delle opportune scelte in fase progettuale e vengono prese delle opportune precauzioni per evitare qualsiasi danno all'ecosistema.

La diminuzione della portata di acqua non deve quindi essere eccessiva e deve essere rispettato il valore del deflusso minimo vitale, altrimenti si possono recare danni alla deposizione, incubazione, la crescita ed il transito dei pesci; per quanto riguarda questo ultimo aspetto si deve prendere in considerazione il movimento dei pesci che risalgono la corrente e quelli che la discendono, realizzando gli opportuni passaggi e installare le opportune reti che evitino che i pesci entrino nelle opere di presa e che passino nella turbina (alcuni tipi di turbine possono essere causa di mortalità della fauna ittica). Quando si costruisce una diga per alimentare una centrale idroelettrica, quindi, è necessario pensare anche agli altri utilizzi che possono essere fatti dell'acqua: quello potabile, quello agricolo e quello industriale. La dimensione e la gestione della diga deve essere compatibile con tutte queste esigenze, ottimizzando l'utilizzo di una risorsa, l'acqua, che in molte regioni non è sempre disponibile in quantità sufficienti per tutte le necessità.

## Le dighe e il clima locale

La presenza di una diga influenza il microclima dei territori circostanti a causa della grande massa d'acqua che si raccoglie a monte della diga stessa. L'acqua, infatti, ha un'elevata capacità termica, un parametro che indica la quantità di calore necessaria ad innalzare di 1°C la temperatura di un corpo: ciò vuol dire che l'acqua, per riscaldarsi assorbe molto calore, prelevato dall'atmosfera. Durante l'estate, quindi, l'acqua, assorbendo grandi quantità di calore dall'aria, mitiga la temperatura atmosferica. Il contrario avviene durante l'inverno, quando, l'acqua, nel raffreddarsi, cede molto calore all'atmosfera. Nei pressi dei bacini artificiali, durante l'estate la temperatura atmosferica sarà più bassa di quella dei territori circostanti perché l'acqua sottrae calore all'aria; durante l'inverno il microclima nella zona lacustre sarà più caldo rispetto alle zone vicine, perché il lago cede il calore immagazzinato all'atmosfera che si riscalda. L'estensione della zona interessata dipende dal volume d'acqua che la diga riesce a trattenere.