



PROGER

WATER INTELLIGENCE



DALLA CIVILTÀ PALEOLITICA ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

PRIMO REPORT NAZIONALE SULL'INNOVAZIONE TECNOLOGICA
E LA DIGITALIZZAZIONE NELLA GESTIONE DELL'ACQUA

A CURA DI
ERASMO D'ANGELIS e MAURO GRASSI





WATER INTELLIGENCE

**DALLA CIVILTÀ PALEOLITICA
ALL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE**

**PRIMO REPORT NAZIONALE SULL'INNOVAZIONE TECNOLOGICA
E LA DIGITALIZZAZIONE NELLA GESTIONE DELL'ACQUA**

Proger S.p.A.
Via Valadier, 42 - 00193 Roma
www.proger.it

Tutto ciò che è riportato su questa pubblicazione, contenuti, testi, immagini, il logo, il lavoro artistico e la grafica sono di proprietà della società, sono protetti dal diritto d'autore nonché dal diritto di proprietà intellettuale. Sarà quindi assolutamente vietato copiare, appropriarsi, ridistribuire, riprodurre qualsiasi frase, contenuto o immagine presente su questo pubblicazione perché frutto del lavoro e dell'intelletto dell'autore stesso.

È vietata la copia e la riproduzione dei contenuti e immagini in qualsiasi forma.
È vietata la redistribuzione e la pubblicazione dei contenuti e immagini non autorizzata espressamente dall'autore.

Copyright © 2024 · Proger S.p.A. · all rights reserved.

A CURA DI
ERASMO D'ANGELIS E MAURO GRASSI



Indice

Introduzione	
L'era della water technology	10
1. Come eravamo? Breve storia della via italiana alle tecnologie per l'acqua	14
2. Tutte le tech-applicazioni nei processi operativi per la gestione idrica	74
3. Quanta acqua c'è in Italia?	92
4. I cantieri tecnologici dell'acqua	98
5. Un piano nazionale integrato per la sicurezza idrica e idrogeologica	180
Appendice	183
Bibliografia generale	186





Introduzione

L'era della water technology

Benvenuti nel mondo delle tecnologie per l'acqua, bellezza!, direbbe Humphrey Bogart. Un mondo in piena evoluzione e in continuo tumultuoso e sorprendente cambiamento. L'incontro e la fusione tra mondo fisico e mondo virtuale era il sogno del secolo scorso, quando ancora il progresso delle tecnologie digitali con i primi personal computer laptop o notebook, l'arrivo di Internet, le console portatili, la tecnologia bluetooth primo ponte invisibile tra dispositivi e accessori senza fili, gli smartphone con l'iPhone, il touchscreen, gli Assistenti digitali, le connessioni 3G, 4G e 5G e ora 6G sempre più rapide ed efficienti, il Cloud pilastro di processi di digitalizzazione, la realtà virtuale e la realtà aumentata

con il Metaverso, i sistemi biometrici di riconoscimento, la scansione e il riconoscimento facciale, la gestione finanziaria dematerializzata, il Quantum Computing, l'Intelligenza Artificiale con tecniche di Machine Learning in grado di perfezionarsi e di apprendere dalla propria esperienza, il programma di scrittura OpenAI basato su IA con il deep learning per produrre testi in un linguaggio parecchio simile a quello umano...e potremmo continuare.

La scienza oggi consente passi da gigante. E le tecnologie si moltiplicano innovando, in maniera impensabile fino a poco tempo fa, ogni singolo settore, allargando in maniera verticale, orizzontale e trasversale gli utilizzi.





Innovazioni utilizzate in un solo settore e per una sola funzione sono trasferite velocemente in altri settori e per altre funzioni. E il settore idrico stupisce ed emerge come uno dei più permeabili e promettenti per lo sviluppo di tecnologie applicate. La cosiddetta “origine prima” dell’innovazione tecnologica per il settore idrico è da tempo rintracciabile nei laboratori più avanzati per il controllo della massima qualità dell’acqua distribuita, nelle applicazioni delle aziende più performanti, nelle sperimentazioni di università e centri di ricerca sia pubblici che privati. Oggi c’è un mondo dell’acqua già performante, soprattutto se pensiamo ai centri di ricerca e alle aziende idriche e agricole più tecno, con il susseguirsi di adattamenti funzionali, modifiche incrementali, applicazioni anche in aree inizialmente non previste, spesso di eccellenza mondiale, in ogni segmento del ciclo idrico: dalla modellazione predittiva all’apprendimento automatico e al data mining delle precipitazioni, dal monitoring dello scorrimento superficiale e sotterraneo alla gestione degli stoccaggi e alla distribuzione per ogni utilizzo, dalla depurazione al riuso, dalla gestione di eventi catastrofali legati alla “troppa” o alla “troppo poca” acqua alla produzione idroelettrica. In ogni campo l’Intelligenza Artificiale consente ai sistemi tecnologici di simulare processi dell’intelligenza umana per svolgere, appunto,

compiti intelligenti. Utilizzando la sensoristica e la robotica, i supercalcolatori con apprendimento automatico e la visione artificiale dello stato degli impianti e delle interminabili condotte, gli algoritmi di ottimizzazione e i sistemi percettivi intelligenti, dispositivi di input come Big Data e simulazioni del comportamento di un corpo idrico in situazioni di emergenza, permettono modelli predittivi di identificazione di anomalie e potenziali problemi prima che si verifichino e risposte con soluzioni con tempistiche impensabili fino a poco tempo fa. Sono attivi nelle realtà più dinamiche team dedicati alla raccolta e all’analisi e processi di miliardi di dati, impossibili da far aggregare e gestire da una mente umana. In tempo reale sono intercettati flussi di dati di pressione, portata, tenuta delle reti, qualità dell’acqua distribuita, rilevamento perdite o guasti, funzionamento di impianti.

Le tecnologie che non ti aspetti, insomma, stanno rivoluzionando anche un campo di applicazioni indicato, molto a torto, non solo dal senso comune, ancora come “primitivo”. L’accelerazione è evidente. E stupiscono la potenzialità e la tempistica dell’evoluzione tecno. Se i classici *mass media*, come la televisione e la radio, sono entrati nelle nostre vite modificando le nostre abitudini più o meno in circa mezzo secolo dalla loro

invenzione, se il computer con i nostri PC lo ha fatto all’incirca in una ventina di anni, se per la rete internet c’è voluto quasi un quinquennio, oggi la più performante tecnologia dell’Intelligenza Artificiale con le sue connessioni e integrazioni sta rivoluzionando i panorami del monitoring e ogni campo produttivo e la vita di ciascuno di noi in tempi brevissimi. In questa velocissima transizione, il mondo dell’acqua è strategico per il futuro del nostro Paese. Sostenibilità ed efficienza dipenderanno sempre più dalle applicazioni dell’Intelligenza Artificiale, con super-calcoli, cloud, sensoristica, robotica, dati satellitari, cyber-security, simulazioni, controlli in real time, manutenzioni predittive per la global monitoring surveillance di strutture e infrastrutture in tutti i comparti idrici. E per questo, la fondamentale gestione dell’acqua, anche se poi alla fine la differenza la farà sempre l’insostituibile intelligenza umana, sarà sempre più un cantiere tecnologico aperto di applicazioni per la sicurezza idrica e idrogeologica. In questo report, presentiamo tre aree di ricerca. La prima, sulla grande storia delle tecnologie dell’acqua applicate fin dalle comunità primitive che fa emergere l’Italia come una delle “culle” delle iniziali civiltà dell’acqua. La seconda, con l’analisi dello sviluppo delle applicazioni tecnologiche in ogni settore di utilizzo fino ad oggi. La terza, con tutte le tecnologie applicate e in preparazione, favorite dall’Intelligenza Artificiale, con le sue tecnologie connesse o integrabili. Evidenziamo le enormi opportunità dell’innovazione per superare ogni limite e modernizzare la gestione dell’acqua in tutti gli utilizzi e nella sua protezione.

I nostri governi non sono stati finora lungimiranti. L’ARERA, l’autorità di regolazione del servizio idrico, sta spingendo le aziende in questa direzione con premi e penalità, così come i Consorzi di bonifica e il settore agricolo iniziano ad applicare sistemi tecnologici. Ma sono processi che lo Stato deve sostenere per recuperare i ritardi digitali – la scarsa copertura della rete su parte del territorio nazionale, soprattutto nelle aree interne montuose e collinari, è un limite anche all’efficienza operativa di chi deve installare smart meters, sensori di telelettura e telecontrollo, utilizzare smartphone e tablet – per permettere alla gestione dell’acqua di allinearsi alle performance di altri sistemi a rete come autostrade e ferrovie, distribuzione elettrica e del gas. Il nostro Paese investe per l’acqua e la sua gestione tra l’1% e il 2% del bilancio annuale, quasi zero rispetto ad altri settori a rete. La stessa ripartizione in percentuale è stata adottata nel PNRR che complessivamente impegna appena 4,3 miliardi di euro su un plafond complessivo di 225 miliardi di euro. La sua rimodulazione ha oggi aggiunto un altro miliardo di euro per la “riduzione delle perdite nelle reti di distribuzione dell’acqua, la digitalizzazione e il monitoraggio delle reti”, e per “sistemi di controllo avanzati per monitorare nodi principali e punti più vulnerabili”. È evidente che ne occorrono e ne occorreranno molti di più. Così come anche nei settori dell’agricoltura, dell’utilizzo industriale e nella gestione delle dighe e invasi. Speriamo che questo report possa aiutare scelte di innovazione non rinviabili.





1.

Come eravamo? Breve storia della via italiana alle tecnologie per l'acqua

L'evoluzione delle tecnologie per gestire l'acqua

LA PENISOLA CULLA DI CIVILTÀ DELL'ACQUA

La tecnologia? È sempre stata l'applicazione di intuizioni, soluzioni creative, conoscenze che oggi definiamo ingegneristiche e scientifiche, che hanno consentito di progettare e creare manufatti, marchingegni, ingranaggi, congegni, macchinari, dispositivi, automatismi, sistemi e processi sempre più complessi per risolvere problemi pratici in ogni settore, migliorando la qualità della vita umana.

Il rapporto tra l'acqua e le tecnologie per i suoi utilizzi è una grande storia italiana rimasta ancora inspiegabilmente ai margini delle ricostruzioni dell'evoluzione dell'ingegno umano nel nostro Paese. Vale la pena farla riemergere oggi, soprattutto perché contiene tante lezioni non solo di pura sopravvivenza ma di adattamento a condizioni climatiche e ambientali le più diverse, in una Penisola con la testa negli habitat nordici delle Alpi e i piedi nel caldo ambiente del Sud, quasi circondata dal mare e con una diffusa presenza di acque in tutte le sue forme. Intuizioni tecniche e capacità realizzative hanno permesso fin dall'inizio il popolamento dei nostri territori, e di anticipare il futuro con realizzazioni sempre più efficaci nel saper difendere l'acqua conquistata e difendendosi dalla poca acqua o dalla troppa acqua e poi di stupire in varie epoche storiche il mondo

conosciuto con tecnologie applicate mai viste prima, come per gli acquedotti romani. Se c'è un filo che unisce ogni generazione, questo è il filo dell'acqua, delle acquisizioni di soluzioni intuitive e strategie operative per risolvere problemi pratici come la raccolta dell'acqua piovana, la canalizzazione dell'acqua fluviale dai pendii verso i villaggi e le aree agricole, la conservazione nei bacini di raccolta, l'emungimento dai pozzi, il sollevamento dai fiumi utilizzando ruote idrauliche con contenitori collegati e migliorando le iniziali tecnologie dello Shaduf e della Noria mediorientale, lo scavo di gallerie sotterranee per farla scorrere per gravità. Una storia affascinante di scoperte di tecnologie e sistemi di tecnologie sempre più complessi e sempre più adeguati, che fa emergere l'intelligenza intorno all'acqua come elemento costitutivo della *fitness* degli italici fin dal primo popolamento.

Paleontologi e archeologi fissano come data di inizio delle trasformazioni dell'antica selva italica e delle prime realizzazioni di elementari manufatti per raccogliere o incanalare l'acqua all'incirca 13.000 anni fa, sull'altopiano oggi di Matera, con l'applicazione e la socializzazione delle prime rudimentali tecniche di gestione quotidiana dell'acqua, affinate man mano con le conoscenze acquisite con arrivi di migranti, soprattutto dal Medioriente e dalle isole greche. Che noi italiani siamo stati irriducibili "addomesticatori" di acque lo dimostrano soprattutto gli acquedotti e le cloache dei Romani, primi globalizzatori di infrastrutture idriche, e le bonifiche con asciugamenti di paludi

malariche e abbattimenti di foreste pluviali per accogliere aree urbane e l'agricoltura, con trasformazioni anche radicali degli assetti originari che rendono l'Italia il Paese tra i più "artificiali" e "costruiti".

Il set di sorprendenti soluzioni tecnologiche oggi applicate per l'acqua in Italia che, per la prima volta, PROGER presenta in questo report, dimostra le enormi competenze e capacità tecniche nel nostro Paese nella vasta gamma di strumenti, dispositivi, processi e sistemi tecnologici applicati per gestire e utilizzare l'acqua in modo efficiente e sostenibile, la creatività nell'ideazione e nelle realizzazioni che ci ricordano ciò che siamo stati.

L'ALBA DELLA TECNOLOGIA. SOLUZIONI DI CAVERNICOLI E PALAFITTICOLI

Paleontologi e archeologi fissano, come data di inizio delle prime e molto limitate trasformazioni umane dell'ambiente naturale sulla nostra Penisola, attraverso iniziali manufatti per gestire l'acqua, nel Paleolitico, all'incirca 300.000 anni fa quando, con i Neanderthal, e successivamente con gli Homo Sapiens che utilizzavano il fuoco per riscaldarsi e per la cottura dei cibi, e sapevano cacciare e raccogliere frutti, semi, radici, tuberi, funghi. Per circa 12.000 generazioni, i primi italici sono stati cacciatori-raccoglitori erranti nell'Italia primigenia, e per circa

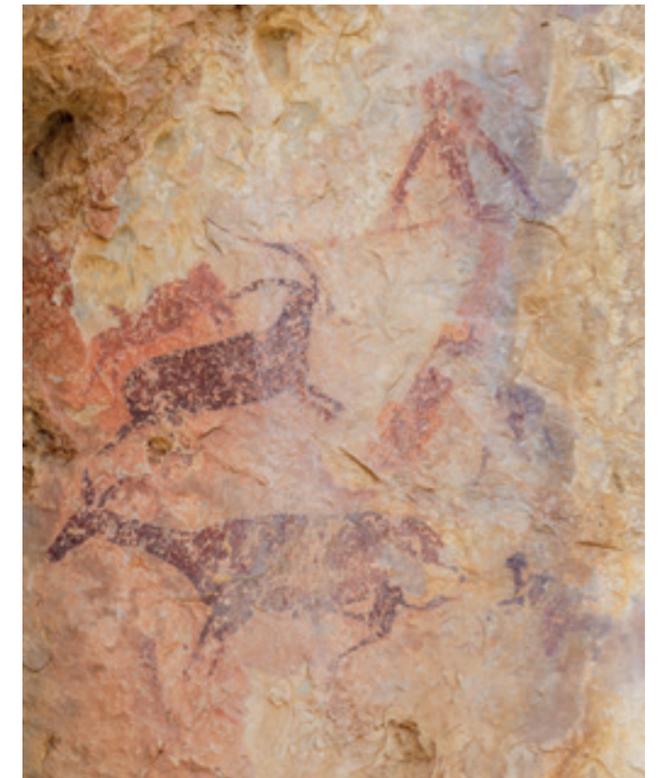
400 generazioni anche agricoltori, ma prima di tutto sono sempre stati irriducibili inventori di tecnologie per gestire la risorsa principale per la vita: l'acqua.

Come in nessun altro Paese del mondo, il lunghissimo processo di adattamento dimostra che l'intuizione e la creatività innata è incorporata nella nostra vicenda umana fin dall'alba delle prime civiltà palafitticole, e che millenni di trasformazioni hanno reso l'Italia il territorio più "artificiale" e più "costruito" del continente dove, con un lavoro immane e permanente, sono stati strappati spazi di vita alla Natura e alle acque in un corpo a corpo imparagonabile con altre realtà, imparando man mano a gestirla con quel poco a disposizione. Ma, da almeno un milione e settecentomila anni, questo il distant time paleolitico dell'Età della pietra arcaica e delle prime tracce lasciate sulla penisola dal più antico Homo europeo, i nostri cavernicoli nei loro anfratti protetti all'entrata da pelli tese sorrette da armature di rami o canne palustri, poi cacciatori e raccoglitori erranti e quindi comunità più organizzate e stabili, hanno dovuto imparare a individuare fonti di acqua dolce, a conservare l'acqua di pioggia in incavi di rocce e piccoli infossamenti nei terreni più impermeabili, perché senz'acqua nessun vivente sarebbe sopravvissuto. Pur mancando cognizioni tecniche e strumenti culturali per comprendere i meccanismi che regolano il ciclo



idrico, ogni tappa evolutiva ha avuto i suoi meriti nella ricerca delle soluzioni, trasferendo il bagaglio di realizzazioni alla tappa successiva. In quel tempo lontanissimo vivevano su un fianco di Monte Pellegrino a Palermo, nelle caverne liguri dei Balzi Rossi di Ventimiglia e di Finale Ligure, sulle pendici del Monte Fenera nel vercellese nella Grotta della Ciota Ciara sulle pendici del Monte Fenera nel vercellese, nei rifugi di San Bernardino nel vicentino, nella profonda caverna carsica del Ponte di Veja nel veronese, negli anfratti di Monte Poggiolo nel forlivese, nelle frotte lungo le valli dell'Arno, del Tevere e dell'Aniene, nel sito "La Pineta presso Isernia, nelle grotte di Breuil e Guattari di San Felice Circeo, nel sistema di grotte di Matera, nella Grotta del Cavallo nella Baia di Uluzzo nel Salento e nelle grotte Paglicci del Gargano, nella Grotta dei Cervi di Porto Badisco e nelle cavità carsiche dell'"Uomo di Altamura" e di "Delia" i Sapiens che più ci somigliano, negli antri di Gravina, nella caverna del Romito nel cosentino e nella grotta del Riparo a Papisidero, nelle Grotte Corbeddu di Oliena e di Su Coloru di Laerru in Sardegna. L'Italia presenta una delle più straordinarie mappe di siti paleolitici, e in Puglia, ad Apricena, località "Pirro Nord", c'è il più antico sito preistorico d'Europa scoperto dal team di ricerca delle università di Roma, Torino, Firenze e Ferrara, dove viveva il più vecchio ominide Antecessor, tra 1,7 e 1,3 milioni di anni fa con piccoli gruppi familiari di Erectus, i cui eredi furono gli Homo Sapiens comparsi tra 400 e 300 mila anni fa, e i Sapiens Sapiens che li sostituirono tra i 40.000 e i 35.000 anni fa.

È da almeno 13.000 anni che l'Italia regala sorprese, anticipando tecnologie per l'acqua. Allora doveva essere una immensa penisola-foresta verdeggianti galleggianti sul mare. Il ritorno del caldo, dopo l'ultima glaciazione wurmiana, aveva fatto esplodere una vegetazione lussureggiante dove gli italici vivevano in piccoli gruppi aiutati da tecnologie basilari con nuovi strumenti di lavoro e di difesa in pietra e legno, grazie ai quali avevano avviato il passaggio dal nomadismo ai primi aggregati di capanne accanto a fiumi o ai bordi di laghi, a ridosso di paludi e delle rive del mare. Iniziavano a proteggersi meglio, ad esplorare di più, avrebbero imparato a navigare sui fiumi e nei laghi e soprattutto a gestire l'acqua. La presenza umana stimata in quel periodo, confrontando la concentrazione di popolazioni attuali negli ultimi habitat vergini del Pianeta, non doveva superare i 60.000 individui. Un gruppo di pastori transumanti, decise di creare la prima città nella roccia. Dando inizio alla stupefacente civiltà dei trogloditi di Matera.



1.641 GROTTA DI MATERA, LA PRIMA SMART CITY DELL'UMANITÀ

Se c'è un inizio simbolico delle tecnologie dell'acqua sul suolo italico, questo potremmo fissarlo con la dose di creatività che ha consentito ai nostri "trogloditi" di riscattare il senso di arretratezza trasmesso dalla parola nei millenni successivi.

In quel tempo, infatti, i **Sassi di Matera** ospitavano la prima *smart city* dell'antichità, l'insediamento più sicuro e resiliente tra gli inghiottitoi fluviali naturali, le *gravine*, le gole nelle quali scorrevano le acque soprattutto nei periodi piovosi, e dove i pastori transumanti abbeveravano gli animali da poco addomesticati. Lì, hanno creato un sistema abitativo a sviluppo verticale con 1641 abitazioni trogloditiche, sfruttando razionalmente le poche risorse idriche di quell'altopiano assolato e semi-arido ma con fitte foreste verso l'interno, e tramandando tecniche oggi molto rivalutate dall'urbanistica bioclimatica e dalla bioedilizia e per il risparmio idrico.

L'avventuroso viaggio degli italici nelle tecnologie per gestire la risorsa fondamentale ha come prima tappa cronologica proprio i Sassi. Quando le altre prime civiltà asiatiche e orientali erano ancora sogni, i trogloditi già applicavano soluzioni tecniche per



recuperare gestire la scarsa acqua nella più incredibile “città di pietra” del Pianeta, il più antico abitato rupestre del mondo. Riuscivano a captare, convogliare e conservare le acque piovane creando la più avanzata civiltà di allora, oggi patrimonio mondiale dell’Unesco per essere “...eccezionale testimonianza... per le generazioni future per il modo di utilizzare le qualità dell’ambiente naturale per l’uso delle risorse del sole, della roccia e dell’acqua”.

Nel sistema di grotte ricavate dalla duttilità delle rocce calcaree della Murgia Materana che permetteva scavi e forniva blocchi da costruzione, quelle che oggi definiremmo come applicazioni di ricerca avanzata resero possibile la vita utilizzando e migliorando anche tecniche trasferite dalle prime migrazioni. Crearono “giardini di pietra” come li definisce l’architetto dell’Unesco Pietro Laureano cui si deve il recupero dei Sassi, grazie all’iniziale cultura idrica fatta di tecniche allora all’avanguardia planetaria. Come la stessa tipologia abitativa che ricorda le “corte a pozzo” dei Sumeri che erano abitazioni con annesso cisterne per l’acqua dalle quali si diramavano gallerie radiali per la sua raccolta e distribuzione, le “case a corte” di Matmata in Tunisia, i primi nuclei abitativi nelle aride pianure cinesi, le *Megaron* cretesi, le grotte abitate della Cappadocia e a Petra, nei canyon algerini e marocchini, nella Valle della Loria, quelle dei nostri

Nuraghi in Sardegna e dei cavernicoli della Tuscia e degli Iblei. Ma solo Matera può raccontare la più ingegnosa storia di innovazione. L’acqua in ogni abitazione trogloditica non mancava mai, e irrigava anche piccoli giardini pensili e orti, e le acque piovane venivano raccolte e convogliate in cisterne riempite anche con l’acqua drenata da infiltrazioni capillari e da condensazione in gallerie radiali. La loro intelligenza intuitiva permise di ricavare le abitazioni arcaiche in modo da poter intercettare i raggi del sole nei mesi invernali, quando il sole è più basso e meno forte, e molto meno d’estate quando il sole è più alto e le temperature più elevate, mantenendo freschi gli ambienti. È oggi la tecnologia utilizzata per la climatizzazione naturale e il raffrescamento passivo, che in quel tempo garantiva all’interno delle grotte una temperatura costante tutto l’anno, utile anche per lo stoccaggio del grano.

Ma l’intero sistema ipogeo delle 1641 grotte abitate, sovrapposte anche fino a 10 piani di grotte e con decine di cisterne “a campana” collegate tra loro attraverso canali sotterranei con la giusta inclinazione, di notte e di giorno e d’inverno e d’estate, funzionava anche come una enorme infrastruttura di condensazione dell’acqua. Nelle giornate estive, il vento che dal mare trasportava umidità, soffiando negli interstizi di pietra, raffrescava gli ambienti e l’abbassamento della temperatura favoriva la

condensazione con gocce d’acqua che precipitavano negli incavi e nelle canalizzazioni delle cavità. Di notte, il processo termico si invertiva, con la condensazione sulla superficie rocciosa esterna dove, la temperatura più bassa, condensava umidità facendo depositare la brina che si trasformava in gocce d’acqua che scivolavano e venivano sapientemente fatte defluire nelle cisterne sotterranee. Nella stagione secca soprattutto, il sistema di grotte funzionava di notte come “aspiratore” di umidità atmosferica che si condensava nelle cisterne che non dovevano essere mai vuote.

Grazie a queste tecnologie preistoriche, le prime finora conosciute nella storia dell’umanità, l’habitat dei Sassi di Matera “produceva” acqua in modalità combinata utilizzando la captazione, la condensazione, la distillazione, lo scorrimento controllato, l’accumulo. In più, nei periodi con precipitazioni violente, i terrazzamenti e quei sistemi di scorrimento e raccolta dell’acqua in cisterne, erano in grado di proteggere i pendii dall’erosione eccessiva e da frane. La grandezza di Matera, con la sua antichissima civiltà tecnologica di gestione dell’acqua, troppo a lungo spacciata come la “vergogna per tutta la Nazione”, oggi ci riempie di orgoglio. Era e resterà come la prima meravigliosa lezione di tecnologia italiana, esempio di civiltà dell’acqua.

CONDENSATORI DI PIETRA MURI A SECCO, TUMULI, SPECCHIE, TRULLI

Già nell’ultima fase del Paleolitico, c’era chi aveva intuito che ammassare massi avrebbe prodotto umidità e persino rivoli di acqua. E così, sull’altopiano materano e nelle pianure assolate del nostro Sud, inventarono i *tumuli*, i *condensatori di pietra* sotto forma di muretti o accumuli di pietrame che, sfruttando soprattutto l’umidità notturna atmosferica, trasformavano il vapore acqueo in goccioline di umidità che si depositavano sul suolo. Nel bacino del Mediterraneo, queste primordiali tecniche di recupero di acqua in aree assolate furono via via migliorate con pratiche di raccolta chiamate *Tiv’rat*, altre tipologie di strutture di pietre a secco e convogliatori di umidità che 9000 anni fa utilizzavano nelle aree desertiche del Negev, oggi Israele, negli Stati Uniti sud-occidentali, in Perù, Cina e Nuova Zelanda. Del tutto simili alle soluzioni preistoriche materane, sono i sistemi di *Tombe Solari* utilizzati dagli antichi popoli del Sahara costituiti da anelli concentrici di pietre intorno a un *tumulo*. Sono ancora oggi utilizzati nelle aree pre-desertiche e in zone aride dell’Africa e del Medio Oriente, e anche in Italia in particolare al Sud. Sfruttano l’assorbimento naturale della roccia del calore solare durante il giorno, rilasciato di notte come *pioggia occulta*



grazie al fenomeno naturale della condensazione dell'umidità dell'aria trasportata dai venti marini o presente sotto forma di brina, rugiada e nebbia, che riesce a produrre microscopiche goccioline acquose che, a contatto con la pietra, svicolano come acqua liquida che irrorà il terreno circostante. I *muretti-condensatori* diventano quindi dei micro-impianti di captazione, condensazione e riutilizzo di umidità notturna per colamento. Non è un caso se le radici degli ulivi centenari pugliesi sono rivolte verso i *muretti a secco* che in Puglia sono chiamati *Specchie* e caratterizzano il paesaggio regionale con le loro forme di semplici accumuli di pietre o strutture con blocchi squadri poggiate orizzontalmente anche per delimitare le proprietà agricole, e persino con costruzioni come i caratteristici Trulli, le architetture tipiche a *Tolos*.



A Ugento, nel semi-arido basso Salento dove i processi di desertificazione e di salinizzazione delle falde acquifere sono in corso, è stata costruita la più grande area agricola irrorata dai *condensatori di pietra*. È l'*Orto dei Tu'rat*, 17mila metri quadrati di terreno dove 13 strutture di pietra a forma di *mezzaluna* nelle ore notturne fanno scivolare acqua sul terreno. Grazie all'antica

tecnica trasmessa dai maestri pugliesi costruttori di *muretti a secco* utilizzando la pietra calcarea di Alessano, ogni *mezzaluna* intercetta i venti umidi di libeccio creando quel microclima che permette la coltivazione. Sono costruite come strutture *a corte* collegate tra loro.

6.000 ANNI FA, TECNOLOGIE PER I TERRAZZAMENTI AGRICOLI

Con la sola forza delle braccia, circa 6 mila anni fa, i nostri antichi iniziarono a ricavare i primi spazi agricoli con abbattimenti di boscaglie e aprendo radure accanto alle loro capanne. Delimitarono i campi della prima agricoltura, praticata da almeno 10.000 anni fa nel Vicino Oriente - che oggi ingloba Israele, Giordania, Siria, Iran e Iraq -, con coltivi con annesse abitazioni, le prime macine, i pozzi, i carretti, gli aratri e gli spazi per allevare. In Italia, quei saperi e quelle pratiche giunsero al seguito delle prime migrazioni di nuovi italici, permettendo di far fronte a fabbisogni alimentari crescenti con la prima produzione di cibo, e con l'introduzione della macina per ridurre in farina i chicchi dei cereali. Coltivazioni di grano e orzo selvatici, e la domesticazione di pecore e capre e poi di bovini fu un passaggio determinante, al quale seguì un salto di civiltà con la prima conservazione alimentare e nuove modalità di organizzazione sociale, e anche nuovi conflitti.

L'Italia era ed è terra ideale per la fertilità dei terreni, per l'abbondanza di acqua e il clima temperato. E nell'arco temporale tra il 4000 e il 2600 a.C. risalgono i primi impianti di frumento,

orzo e avena, segala, miglio, viti, olivi, fichi. Nelle piccole radure recuperate anche con tagli di boscaglia e abbattimenti di alberi, iniziava l'agricoltura a cereali, vite e olivo, aiutata da una sempre migliore conoscenza della natura dei suoli e la dinamica delle acque. Tracce di insediamenti proto-agricoli sono stati ritrovati nelle valli fluviali della pianura padano-veneta, sulle piane del Friuli occidentale, sui Colli Berici e nella pianura vicentina, tra i Monti Lessini nelle Prealpi venete ricchi di minerali come ossidi di ferro, calce, potassio e fosforo molto adatti alle colture, sui terrazzamenti liguri, nelle fasce litoranee della Toscana e nei terreni interni dell'Italia centrale, sui Monti Lepini, alle falde dei vulcani laziali e del Vesuvio, nel Cilento, nei tratti di pianura pugliese tra Barletta, Lecce e Castrovillari, sulle piane della Calabria, in Sardegna lungo la costa, in Sicilia sui pendii collinari dell'Etna che coronano la fertillissima piana di Catania e dove i vicini giacimenti di basalto, quarzite e selce fornivano materia prima per forgiare asce, picconi, zappe e falcetti con cui disboscare e dissodare e coltivare. Quell'inizio fu reso possibile dalla prima tecnologia applicata alle acque e ai terreni con tecniche, procedimenti e conoscenze primordiali per soluzioni di problemi molto pratici come il dissodamento, l'asciugamento dei terreni acquitrinosi, la stabilizzazione dei terreni su versanti



collinari da mettere a coltura, le sistemazioni d'altura orizzontali, le arginature, le prime palificazioni sia per palafitte ai bordi di laghi e fiumi o mare e sia contro il rischio di veder franare ciglioni e terrazzi dai ripidi fianchi collinari e montuosi.

L'Italia ancora oggi presenta versioni tecnologiche di *muretti a secco* costruiti anche per proteggere da frane e sostenere i nostri eccellenti terrazzamenti agricoli collinari e montuosi, un patrimonio agricolo di qualità quasi unico al mondo. Li ritroviamo nella costiera amalfitana dove sui campi terrazzati si coltiva anche il tipico *limone sfusato*, a Pantelleria con le tipologie architettoniche a forma circolare dei *Giardini Panteschi* dove si coltivano agrumi e la pregiata uva zibibbo, nello Stretto e sui litorali costieri della Calabria come "giardini di pietra" chiamati *Armacie* dove le tecniche agricole millenarie a picco sul mare hanno creato i paesaggi viticoli della Costa Viola con uva zibibbo e limoni, sulle alture coltivate della Sardegna. Ci sono anche i versanti ripidi del Monte Pisano in Toscana dove, dopo il furioso incendio del 2018, tutto è stato ricostruito con le

tecniche antichissime dei terrapieni riformando i sistemi terrazzati coltivabili e regimando il deflusso delle acque con reti di drenaggio con tecnologie su 3 elementi centrali: **1** la *lenza* o pianale o ripiano con presenza di colture, **2** l'argine ovvero l'elemento verticale che contiene il terrapieno costituito da un muretto a secco, **3** la canaletta di sottoscarpa alla base dell'argine che drena verso valle le acque lungo il pendio.

Fanno parte della rete di drenaggio anche gli antichi sentieri ristrutturati che svolgevano la funzione di collettori di acque meteoriche. La loro manutenzione è oggi costante, al punto che il comune di Calci ha aperto la "*Scuola di muretti a secco*". Ma si resta a bocca aperta davanti alle ripide pendenze delle colline-campagne che guardano il Tirreno dalle Cinque Terre, tra i nostri iniziali campi agricoli gestiti da primitive opere funzionali per la loro difesa dalle erosioni e per l'irrigazione. Sono coltivazioni su terreni così acclivi da richiedere passione, competenze e tanto fegato, e lavori senza sosta di manutenzioni. Dal primo millennio avanti Cristo, nell'Età del Ferro, ricavarono i



primi 2000 ettari di terrazzamenti coltivati, calati poi a 1200 nel XX secolo per crolli dovuti alla carenza di manutenzioni delle sapienti canalizzazioni delle acque e di opere di tenuta dei versanti a mare dei coltivi a vite e di altri prodotti di qualità. Messi in fila oggi, i terrazzamenti inseriti e protetti nel Parco delle Cinque Terre, sono lunghi complessivamente 6.730 km, e sommati con tutti i terrazzamenti coltivati nell'intera Liguria superano i 21.196 km di lunghezza della Grande Muraglia Cinese. La più lunga opera agricola umana dalla preistoria, è stata costruita con tecnologie efficaci, utilizzando le pietre del luogo squadrate grossolanamente e tenute insieme senza legante cementizio per sostenere e modellare aree altrimenti aride e franose, costruendo la più monumentale architettura agraria, oggi affacciata sul mare di Riomaggiore, Manarola, Corniglia, Vernazza e Monterosso, dove migliaia di piccoli appezzamenti sono Patrimonio dell'Umanità.

9000 A.C. I NURAGHI E LE CISTERNE-TEMPLI DI ABBASANTA E ABBACHIARA

Nella Sardegna di 9.000 anni fa, i Nuragici dai loro villaggi di capanne circolari controllavano l'isola e commerciavano con micenei, cretesi, ciprioti, fenici, etruschi e iberici. La loro merce di scambio erano le produzioni minerarie con l'estrazione dell'ossidiana alle pendici del Monte Arci, il vetro vulcanico scavato in almeno 70 siti finora individuati, con 160 insediamenti nei quali veniva lavorato per essere esportato via mare. Già utilizzavano primordiali tecnologie per gestire le acque, e le loro canalizzazioni irrigue favorirono la prima attività agro-silvo-pastorale. L'acqua era mitizzata e già presente anche nelle ingegnose opere delle culture pre-nuragiche di Ozieri o di Arzachena, con imponenti monumenti megalitici, i *Domus*, i sepolcreti più antichi scavati nella roccia, i *Dolmen* a galleria lunghi anche 30 metri, circa 7000 nuraghi - in media uno ogni 4 km² -, i 500 nuraghi a *tholos* scoperti con anche vere fortezze sormontate da torrioni, e i *Menhir* e i *Circoli Megalitici*. I Sardi sono anche stati tra i primi scavatori di pozzi. Ogni nucleo aveva il suo pozzo d'acqua, considerato e realizzato come se fosse un tempio sacro e ne sono esempi i 40 pozzi-templi ritrovati con i più grandi quelli di Santa Cristina a Paulilatino, Matzanni a Vallermosa-Villacidro, Scaba e Cresia a Morgongiori. Nell'età del Bronzo, erano aree per rituali e cerimoniali del culto delle acque, e la loro struttura sotterranea era frutto di un ingegno idraulico e sapienza architettonica. La struttura ricorda un nuraghe al rovescio, un cono scavato nella terra, e dimostrano



Nuraghe Losa di Abbasanta

tecniche costruttive allora all'avanguardia, come anche per la costruzione delle ampie *cisterne a trincea* per raccogliere e conservare acqua di pioggia, sfruttando i declivi collinari come quelli dei colli cagliaritari di Sant'Elia e San Bartolomeo.

Il pozzo di Santa Cristina è un capolavoro assoluto di architettura e tecnologia. È la massima espressione della civiltà nuragica intorno all'acqua, costruito circa 3100 anni fa con massi squadri e incastrati con una geometria perfetta realizzando il vestibolo o atrio, la scala, la camera ipogeica a tholos, due perimetri esterni. Una costruzione che evidenzia l'abilità realizzativa nella complessità delle tecniche costruttive. Il pozzo è racchiuso nell'area sacra costruita a forma di ellissi e delimitata da un muro a secco. All'ingresso c'è il *Vestibolo*, l'area coperta e a pianta trapezoidale utilizzata per la preparazione di rituali e cerimonie all'interno del pozzo. Si accede poi alla *Scala a Nuraghe* con 25 gradini monolitici a sbalzo, che conduce alla camera del pozzo a forma di "scala rovesciata" che si restringe verso il basso, creando il suggestivo effetto di verticalità. Quindi, si entra nella *Camera del pozzo* scavata nella roccia basaltica per una profondità di circa 14 metri dove, al centro, c'è la vasta di acqua sorgiva profonda circa 9 metri, considerata sacra e meta dei Nuragici e utilizzata per riti propiziatori legati al culto dell'acqua, alla fertilità e al ciclo delle stagioni. Le pareti sono decorate, e le nicchie contenevano statuette votive e offerte. È stupefacente la copertura a *tholos*, tipica dell'architettura nuragica, con un foro centrale che permette alla luce di penetrare all'interno. Le tecnologie costruttive lasciano sbalorditi. Come anche quelle dell'acquedotto nuragico che garantiva il rifornimento di acqua



nel pozzo, un ingegnoso sistema di canalizzazione sotterranea alimentato da una sorgente sorgiva distante all'incirca un chilometro. È una ulteriore dimostrazione dell'abilità ingegneristica dei Nuragici italice nella gestione delle risorse idriche, insieme allo scavo del pozzo verticale a grande profondità, realizzato con strumenti manuali. Anche la lavorazione accurata dei blocchi di pietra basalto utilizzati per la costruzione, testimonia eccezionali capacità. I pozzi sacri, e soprattutto il pozzo di Santa Cristina, erano luoghi di culto e di approvvigionamento idrico, centrali nella vita religiosa e sociale delle comunità. La bellezza architettonica e la tecnologia raffinata, la maestria costruttiva dimostrano le capacità di una delle culture più affascinanti del Mediterraneo antico.

NELL'AMAZZONIA ITALIANA TECNOLOGIE DI PALAFITTE DI BONIFICA E AEREE

Tra le tecnologie di sopravvivenza dei primitivi nell'allora "Amazzonia" italiana troviamo le ingegnose "abitazioni" su palafitte "aeree" direttamente costruite nell'acqua bassa dei laghi o stagni o del mare, o anche su "palafitte di bonifica" così chiamate

dagli archeologici perché collocate su strutture di legno ben piantate sulla fanghiglia ai bordi dei laghi o di immensi acquitrini. Erano adattamenti per la vita nelle morfologie spaventose di estese foreste planiziali, paludi e acquitrini che permisero la nascita dei primi villaggi lungo fasce costiere e vallate interne, grazie a notevoli capacità tecniche e realizzative. Le capanne costruite con la tecnica delle "palafitte di bonifica", furono l'intuizione geniale delle popolazioni tra il Neolitico e l'età del Bronzo. Poggiavano su impalcature orizzontali fatte di tronchi d'albero legati l'uno all'altro con intrecci di foglie palustri lunghe e taglienti dalle quali ricavano le prime corde, nel tempo fissati con i primi chiodi di legno e poi di bronzo, adagiate sui fondi fangosi di sponde lacustri o fluviali, drenati alla meglio con rudimentali fossi di scolo e irrobustite da colmate di terra asciutta mista a fogliame. Formato quel pavimento di legno, veniva coperto di strati di argilla, sigillando le fessure tra un tronco e l'altro con fango o sterco di animali indurito al sole. La struttura portante delle pareti era formata di pali contrapposti e la copertura era protetta da fogliame.

Le tecnologiche "palafitte aeree" erano invece strutture sopraelevate sull'acqua bassa di tratti costieri a pochi metri dalle spiagge, o di specchi lacustri. Le capanne erano collocate anch'esse su piattaforme lignee orizzontali, ma sostenute da selve di pali ricavati ripulendo grossi tronchi che, appuntiti, venivano conficcati nel fondale emergendo per circa due metri. Nasce così la rete di 19 villaggi della civiltà dei Polada lungo il Po e i laghi di Garda, Varese, Monate e Comabbio, gli insediamenti palafitticoli finora scoperti e risalenti tra il 5000 e il 500 a.C.. La loro "capitale" era il villaggio più grande costruito sul lago di Garda, con oltre 30 palafitte rinvenute di cui la più imponente sorretta da oltre 500 pali. Quella coraggiosa civiltà scomparve per gli effetti di un lungo periodo piovoso con allagamenti permanenti. La stessa sorte è toccata alla civiltà dei Terramare, i cui villaggi su palafitte sono databili dal 6500 al 1150 a.C., costruiti nei fondovalli acquitrinosi e intorno a corsi d'acqua e laghi. Il nome deriva da *terra marna*, cioè grassa e quindi fertile. Erano iniziali agricoltori, pescavano, sapevano fondere i metalli e creare oggetti in ceramica, tessere la lana e il lino. Conquistarono

spazi su tratti di rive anche del Po e dei suoi affluenti in Piemonte, Veneto, Emilia-Romagna, con villaggi con analogie costruttive e culturali rinvenuti anche sulla costa della Toscana e Sardegna e in Sicilia. Un altro "popolo dell'acqua" che ha sviluppato un'altra stupefacente storia italica di palafitticoli lacustri, avanguardia dei successivi villanoviani e antenati degli Etruschi, ma anche questa primordiale civiltà acquatica che ha costruito primordiali approdi fluviali, lacustri e marittimi e vie di collegamento tra villaggi, è scomparsa a causa di un ciclo climatico terribile con nubifragi a ripetizione.

8000 A.C. DALLE CAPANNE HI-TECH ALLE TECNOLOGIE DI VENEZIA FONDATA NELL'ACQUA

Venezia lascia senza fiato, la sua bellezza poggia sin dall'inizio su milioni di pali di legno ben piantati intorno a un centinaio di isolotti della sua laguna: una delle più grandi città su palafitte del mondo. La specie umana diede inizio alla colonizzazione della laguna adattandosi a vivere su isolotti sabbiosi circondati da canaletti e specchi d'acqua con bassi fondali, da cordoni di



Venezia, Canal Grande

dune e *barene* cespugliate, periodicamente sommerse dal gioco delle maree. Le prime avanguardie lagunari erano pescatori e navigatori di una laguna dove l'*acqua grande* può raggiungere i due metri di altezza. Vivevano su primitive capanne sorrette da pali conficcati nella sabbia fatte con legno, giunco e qualche pietra, ma stabilizzate dall'intuizione delle fondamenta ricavate con un incredibile anticipo di bioedilizia *hi-tech*, intrecciando fittissime trame di rami di legno flessibile, simili ai resilienti nidi degli uccelli. Una tecnica descritta con ammirazione ai tempi della prima Venezia con l'abitato romano di *Altinum*, in una lettera di Flavio Aurelio Cassiodoro, allora Prefetto Pretorio del re Ostrogoto Vitige che ebbe l'ambizione di conquistare l'Italia, inviata ai "Tribuni Marittimi Veneziani" nell'anno 537 con la quale li incaricava del trasporto marittimo di derrate, stupito dalle loro abitazioni costruite "alla maniera degli uccelli acquatici".

All'incirca seimila anni fa, sorsero piccoli villaggi sparsi, con i primi attracchi nella laguna destinata a diventare la più celebre del mondo, distesa per 550 km² tra le foci del Piave e del Brenta con 50 chilometri di lunghezza e 11 di larghezza, a forma di spicchio d'arancia, per il 67% sommersa dall'acqua, il 25% coperta di *barene*, l'8% da isolotti e il 15% da valli da pesca arginate. In quella antica geografia di terre emerse oggi ammiriamo i canali artificiali più celebri come la Giudecca, il Cannaregio e l'imponente *El Canalasso*, il Canal Grande che Venezia taglia in due attraversandola per 3800 metri largo da 30 a 70 metri e profondo in media 5 metri, raccogliendo 45 rii minori lungo il

tracciato a "S" rovesciata dal Ponte della Libertà al bacino di San Marco. Ai lati del *Rivus Altus*, così lo chiamavano i Romani, i magnifici edifici costruiti in gran parte sotto la Serenissima hanno sostituito le palafitte pre-romane. Solo i rilievi satellitari individuano oggi i letti fluviali di un tempo, e i bordi del Canal Grande molto più ampio di oggi, che si insinuava tra piccole isole collegate da ponticelli in legno.

Tecniche e tecnologie resero possibile i sogni. Come quelli dei *Venetkens*, altri temerari che vivevano tra le paludi e le acque basse del vicino Polesine e sui terreni umidi lungo i corsi del Po, Mincio, Garda, Adige. Strabone, nella sua *Geografia*, descrive quei territori con realismo, ma con tutta la meraviglia possibile: "La maggior parte della pianura è cosparsa di lagune. Come nel paese detto Basso Egitto, è solcato da canali e da dighe, per cui da una parte la terra viene drenata e coltivata, dall'altra si permette la navigazione. Alcune città sono delle vere e proprie isole, altre sono solo in parte circondate dalle acque. Le città esistenti all'interno, al di là delle paludi, hanno delle meravigliose vie di navigazione fluviale e tra queste soprattutto il Po...". Eppure, anche in quella idrologia da spavento, la lotta millenaria tra l'uomo e l'acqua fu combattuta con tecnologie che resero possibile la vita già cinquemila anni fa, su villaggi di capanne su "palafitte di bonifica" erette sui terreni lagunari più rialzati, e sorrette da piattaforme lignee sostenute da fitti tronchi di legno conficcati e arginati con pesanti massi. Tecnicamente erano comparabili alle palafitte dei Polada e dei Terramare, a dimostrazione di una diffusione di saperi italici sorprendenti.

L'abitato di Venezia, la cui fondazione viene tramandata dal 25 marzo 421 d.C., si reggeva su pali di legno infissi nel sedimento con le tecniche del *costipamento* e dell'aumento di densità del fondale. Iniziavano dall'infissione dei pali lungo il perimetro della superficie, proseguendo man mano verso il centro. Il *costipamento* prevede una profondità di palificazione pari a 2-3 volte il diametro del palo. E i pali venivano affiancati al punto che un muro portante veneziano si regge generalmente su una fitta "pantumazione" di pali fino a 25 per metro quadrato, battuti o trivellati nel terreno a percussione, ben conficcati nel fondale per aumentare la resistenza. L'ingegneria della "foresta al contrario" ha permesso le robuste fondazioni veneziane utilizzando pali dal diametro da 10 a 25 cm, e lunghezze da 1 a 3,5 metri, variabili per l'imponenza della struttura da sostenere. Le costruzioni degli edifici più importanti poggiano generalmente su pali di abete, larice e pino, il resto su pali di olmo, frassino, acacia. Realizzato lo scheletro della palificazione, il piano di appoggio della struttura elevata veniva realizzato posando strati di tavolato e di pietrame per dare solidità, con uno spessore di circa 50 cm. Sulle strutture lignee ci sono controlli, monitoring e analisi costanti delle caratteristiche meccaniche per gestire il deterioramento fisico, chimico, biologico.

Dal 2007, il team del Dipartimento di scienze ambientali di Cà Foscari guidato da Guido Biscontin, con il Consorzio Ricerche in Laguna, la Soprintendenza per i beni architettonici e paesaggistici di Venezia e Laguna, i tecnici Ivalsa-Cnr, il Dipartimento di ingegneria civile, edile e ambientale dell'Università di Padova, la società "Insula" per la manutenzione urbana di Venezia, con cantieri di dragaggio dei canali analizzano le fondazioni sfruttando i rii in secca con strumenti *multiparametrici* che permettono di misurare simultaneamente più parametri, calcolando le concentrazioni di ossigeno, pH, conducibilità del sistema acqua e fango. Come spiega Francesca Caterina Izzo che, con Guido Biscontin e Enrico Rinaldi, ha descritto "Il sistema delle fondazioni lignee a Venezia": "La presenza di materiale organico nell'acqua e nel sedimento favorisce la presenza di batteri anaerobi che degradano il legno, tuttavia acqua e fango vanno a riempire i vuoti che si creano, garantendo il sostegno. La tecnica costruttiva antica, dunque, si è dimostrata efficace". La chiave è l'equilibrio fisico, chimico e meccanico tra legno, terra e acqua. Tutto dipende dall'interazione con le altre componenti, in un ecosistema complicato e delicatissimo che richiede costanti tecnologie per il monitoraggio e la manutenzione delle fondazioni, e l'attivazione

permanente di una filiera di competenze e discipline che sono un *unicum* nel panorama mondiale dello studio delle palificate di fondazioni lignee storiche nell'acqua.

5700 A.C. IL PRIMO TUNNEL IRRIGUO DAL LAGO DI ALBA LONGA

Anche il lago di Albano era abitato dall'età del Bronzo da palafitticoli sulla riva settentrionale, a poca distanza dall'odierna Castel Gandolfo. Intorno a quelle acque lacustri sarebbe nata Alba Longa, la città del *Latium Vetus* fondata da Ascanio figlio di Enea a metà del XII secolo a.C., dominatrice della valle del Tevere, conquistata dai Romani intorno al 673 a.C.. La comunità di pescatori di lago e agricoltori riuscì a realizzare un'opera di fronte alla quale si resta senza parole per funzionalità nella gestione delle acque lacustri e per la perizia nello scavo del lungo tunnel, con calcoli di ingegneria idraulica e tecniche incredibili per l'epoca. Le impegnative ricognizioni degli speleologi mostrano che ancora oggi il tunnel sarebbe utilizzabile e funzionante. Il canale sotterraneo serviva per regolare il livello del lago che, essendo privo di emissari, era soggetto a riempimenti con rischi di allagamenti, e alimentava i canali d'irrigazione nei campi agricoli sottostanti. Non sappiamo chi progettò l'opera, ma sappiamo che lo scavo dal VI secolo a.C fu eseguito da fronti contrapposti e da più squadre di scavatori, partendo dall'imbocco e dallo sbocco e da vari pozzi di aereazione. Durante gli scavi l'incile era posto ad una quota più elevata rispetto al livello massimo del lago per evitare allagamenti del tunnel, e solo a condotto completato fu abbassato consentendo il deflusso. Il tunnel di Alba Longa con i suoi 1.450 metri, è uno dei più lunghi tunnel idrici nell'area mediterranea, e la gestione delle sue paratie permise al lago, profondo 170 metri, di non prosciugarsi mai. I Romani definirono l'opera come seconda solo alla Cloaca Massima.



Roma, Albalonga - La cisterna sotterranea

3500 A.C. PRG DELLE ACQUE CON TECNOLOGIE DI BONIFICA PER SYBARIS

Nell'area interna dalla Campania alla Basilicata e alla Calabria, 3500 anni fa dominavano gli Enotri, organizzati con sentieri della transumanza e vie fluviali con piccoli approdi alle foci del Savuto e del Lao. Dalle alture della loro Pandosia avvistavano l'impaludata ampia Piana di *Sybaris*, affacciata sul Golfo di Taranto che, nel 708 a.C., fu colonizzata dai Greci fondatori di una delle più straordinarie città tra due corsi d'acqua. Era la mitica *Sybaris*, nata tra il fiume *Krathis*, nome greco del Crati, e il fiume *Sybaris*, l'antico nome del Coscile, la nostra prima *metropolis*, la più importante, ricca, sfarzosa e popolosa città della Magna Grecia sullo Jonio. La fondazione degli italici-greci seguiva le regole adottate anche per la nascita di Metaponto situata tra il Bradano e il Basento, di Posidonia o Paestum tra il Sele e Capodifiume, di Locri tra la Fiumara di Portigliola e il torrente Lucifero. Tutte aree urbane edificate dopo opere colossali di bonifica idraulica con massicciate e argini come iniziali tecnologie di protezione da allagamenti e piene.

Tra il 600 e il 510 a.C. Sibari superava i 300.000 abitanti o forse il mezzo milione per alcuni storici antichi. Diventò potente e fondatrice di colonie e, documenta Strabone: «*La città raggiunse*

anticamente tanta fortuna che esercitò il suo potere su quattro popoli vicini; ebbe assoggettate 25 città; inoltre con le sue abitazioni, riempiva tutt'intorno lungo il fiume Crati un cerchio di 50 stadi [ogni stadio misurava 178 metri, ndr]». Sul mare, oggi di Taranto, le due foci del Sibari e del Crati segnavano i suoi confini, e una foce divenne l'area portuale con fiorentissimi commerci e traffici marittimi dall'Etruria alla Grecia, e il controllo delle rotte di navigazione dal Tirreno allo Jonio. Ma il forziere dei Sibariti era soprattutto nella grande pianura, la più estesa della Calabria per 470 km², che da area perennemente acquitrinosa fu asciugata da una delle più ingegnose bonificazioni con scavi di canalizzazioni irrigue e scolanti nel mare, opere di contenimento e protezione dalle piene. Oggi a Cassano allo Jonio c'è uno dei più straordinari siti archeologici del mondo con oltre 9 km² di perimetro urbano ritrovato, che ci restituisce tutto intero il fascino di un'altra grande storia di tecnologie applicate.

2600 A.C. GONFIENTI, ATLANTIDE DELL'ETRURIA CON TECNOLOGIE DI RESILIENZA

Fu un lungo ciclo di terrificanti inondazioni a cancellare una della più temerarie sfide urbanistiche, la leggendaria "metropoli" dell'Etruria, la cui presenza è stata a lungo un enigma come



Sito archeologico di Sibari



Sito archeologico di Gonfienti

quello di Atlantide, chiarito solo 26 anni fa quando in un mattino fortunato si concluse la ricerca dell'antica Gonfienti, scomparsa improvvisamente 2.500 anni fa. I suoi resti riemersero casualmente durante gli scavi per l'interporto di Prato. Era il 4 novembre del 1996.

La sua nascita era stata decisa dai principi etruschi nella seconda metà del VI secolo a.C., insieme alla costruzione della più lunga via lastricata del mondo antico che da Populonia sulla costa toscana doveva raggiungere Spina sull'Adriatico, attraversando l'Appennino. La progettaron e edificarono come la più grande città-emporio dell'Etruria, vetrina di merci provenienti da ogni angolo conosciuto, e fu la prima città costruita su una pianura, e non su alture. Le fondamenta dovevano poggiare su un'area alluvionale e paludosa della piana-catino della Toscana centrale, nella quale si riversavano numerosi torrenti dall'Appennino. Oggi nei suoi confini troviamo Prato, Campi Bisenzio, Calenzano e Carmignano. In quel perimetro Gonfienti ha resistito per 200 anni, prima di essere inghiottita dall'acqua. La sua storia è stipata dentro 3.000 casse di reperti in attesa di un museo, e dimostra che fu laboratorio di sapienza idraulica con tecnologie per la gestione delle acque. Tutti i suoi edifici, popolari e di pregio con stanze decorate da affreschi e mosaici, erano collegati da un reticolo ortogonale di strade che conducevano alle darsene fluviali, ad aree mercantili, laboratori di tessitura, fattorie agrarie, atelier artigianali e officine. Doveva essere sempre affollata di venditori e acquirenti, mercanti e mercanzie poiché intercettava l'unica viabilità interna verso Arezzo, Chiusi e l'Etruria Meridionale. La sua ricchezza è dimostrata anche dalle notevoli quantità di vasi a *buccheri* di perfetta manifattura, da pezzi rarissimi di calici e coppe con

figure in ceramica attica, dai raffinati e costosi vasi *askòs* con testa di uccello, dai metalli lavorati. Il controllo dell'acqua nell'area alluvionale era il suo punto di forza. I progettisti idraulici inserirono la pianta urbanistica in un reticolo di idrovie con un ingegnoso sistema di tecnologie di regimazione. I corsi d'acqua alimentavano anche le cisterne della città, ed erano navigabili grazie a chiuse, e trasportavano merci e persone dagli scali fluviali che collegavano il Bisenzio all'Arno e fino al porto di Pisa. Fu riorganizzata l'intera idrologia della piana con un eccezionale lavoro di prosciugamento e bonifica di almeno 20 ettari scavando canali, fossi, scannafossi, ricavando fognature sotto ogni strada con perfette pendenze dei condotti in terracotta che conducevano le acque di scarico nel Bisenzio. Fu la prima trasformazione di una vasta pianura paludosa a scopo agricolo, con canalizzazioni anche in muratura per la raccolta delle acque di scolo, alti argini a difesa dalle piene, acquidocci e fossati, terrapieni e anche diverse "isole agricole" su terreni rialzati come i terrazzamenti sui fianchi collinari. Gonfienti era stata, insomma, progettata per resistere fino a un balzo delle acque di piena a 4 metri di altezza, e con opere per la massima sicurezza allora possibile della conca pianeggiante.

Il sogno etrusco durò meno di due secoli. La città scomparve tra la fine del V e l'inizio del IV secolo, a causa, come risulta da indagini geologiche e geofisiche, di una serie di devastanti inondazioni dovute a un terribile ciclo di piovosità. Continui nubifragi e allagamenti seminarono panico e distruzioni, vanificando quella prima opera integrata di sicurezza idraulica. Saltate le tecnologie per il controllo delle acque, tutto fu sommerso e gli etruschi furono costretti a tornare sulle alture.



Antiche rovine di Babilonia

Le iniziali tecnologie per il sollevamento dell'acqua

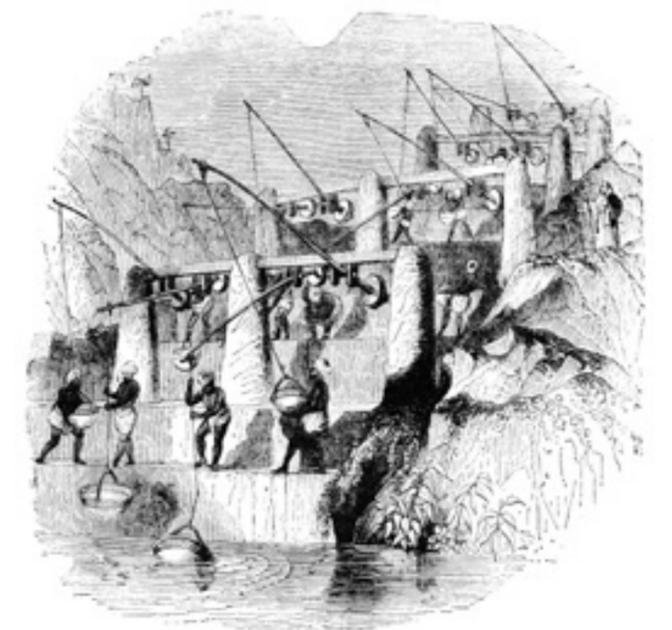
Dal V millennio a.C., lungo il Nilo, nella Mesopotamia tra il Tigri e l'Eufrate si svilupparono le tre grandi civiltà dei Babilonesi, dei Sumeri e degli Assiri. Intorno all'acqua dei due fiumi costruirono città-stato e organizzarono l'agricoltura stabile con canalizzazioni irrigue per circa 3 milioni di ettari di terreni coltivati, e reti di commerci e trasporto fluviale. Uruk era la più grande città della Mesopotamia, con possenti mura alte 7 metri e lunghe quasi 10 km, volute dal leggendario re Gilgamesh a protezione di 2.5 km² di abitato e di una popolazione di quasi centomila persone. La superò solo Babilonia, ma duemila anni dopo. L'acqua influenzava ogni attività, dai lavori pubblici ai rituali religiosi. Una complessa e monumentale rete di canali d'irrigazione fu realizzata intorno al 700 a.C. sotto il re assiro Sennacherib per irrigare l'entroterra di Ninive e portare acqua con un sistema a vasche digradanti. Una canalizzazione lunga circa

6 km, tagliata in parte nella roccia e scavata nella terra, riforniva 5 condotte costruite con blocchi di pietra presso l'odierna Fai-deh, mentre i primi sbarramenti in terra battuta trasformavano piccole valli in serbatoi di stoccaggio. Sistemi di canali d'acqua artificiali navigabili, come il "Canale di Assur", complessivamente lunghi circa 240 km, con primordiali chiuse regolavano i flussi dei torrenti di montagna riducendo in danni delle inondazioni. Senza le tecnologie per sollevare l'acqua, i babilonesi non avrebbero potuto irrigare la settima meraviglia del mondo antico: i paradisiaci giardini pensili di Babilonia, voluti nel 590 a.C. da Nabucodonosor II. Flavio Giuseppe descrive come il re: "...fece ammassare pietre su pietre, fino ad ottenere l'aspetto di vere montagne, e vi piantò ogni genere di alberi, allestendo il paradiso pensile". Il Paradiso di Babilonia si estendeva in verticale su 5 terrazze da 3.500 m² complessivi e l'effetto a distanza era di una montagna colorata di fiori. Veniva irrigato da "artigiani meccanici", e l'acqua non mancava mai alle radici di alberi e fiori ed essenze di ogni specie. Veniva sollevata sempre più in alto

prelevandola da due grandi bacini riforniti da condotte sotterranee collegate all'Eufrate. Grandi *Norie* azionate da schiavi e animali alimentavano le cisterne di ogni piano dove l'acqua veniva distribuita da vasi di terracotta nei giardini che si arrampicavano verso il cielo.

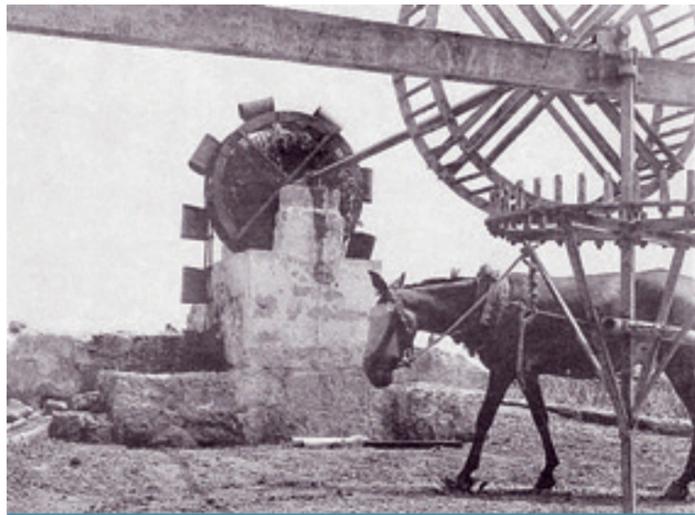
La prima risposta tecnica al sollevamento dell'acqua da fiumi e canali, all'epoca era una grande conquista tecnologica, fu lo *Shaduf*.

Era un lungo bilanciere montato su piloni di terra cruda alle cui estremità legavano un secchio e un contrappeso formando un sostegno verticale con l'elemento orizzontale libero di oscillare. Posizionato sulle rive, i recipienti immersi venivano sollevati pieni d'acqua. Per la semplicità costruttiva si diffuse tra i popoli mediterranei, e ancora oggi lo vediamo in zone del Sahara algerino chiamato *Khottara*, e nelle aree rurali dell'India e dell'Africa. Aveva però due limiti: non poteva prelevare l'acqua da grandi profondità, e sollevava prelievi limitati.

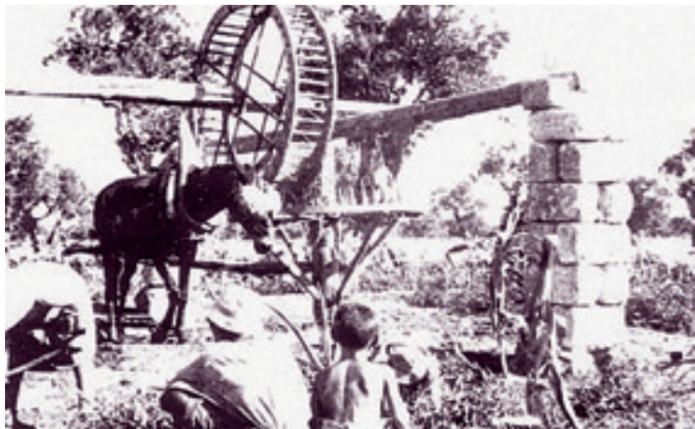


Ma l'ingegno meccanico aggiunse, nello stesso periodo, la *Noria*. Che ebbe versioni sempre più perfezionate dal terzo secolo prima di Cristo, come la *Sāqiya*. La ruota era molto simile all'originale, ma con pale "a cucchiaio", e la forza animale o umana spingeva circolarmente una barra collegata ad un asse che faceva ruotare l'ingranaggio consentendo il sollevamento dell'acqua scaricata in una canalizzazione. Gli egiziani sfruttavano sia la forza delle correnti fluviali che di cammelli, asini, cavalli, buoi e anche di schiavi e prigionieri condannati a girare in tondo.

Gli antichi saperi idrologici e meccanici li ritroviamo applicati anche nella nostra tradizione agricola soprattutto al sud. Nell'antica *Ostium*, numerose ruote idrauliche pescavano acqua da almeno 60 pozzi di falda, e una straordinaria grande ruota idraulica in legno pescava l'acqua dal sottosuolo per gli usi termali.



Ricostruzione di antiche Noria a Gioia del Colle - Puglia



Ricostruzione di antiche Noria a Gioia del Colle - Puglia

Un'altra geniale innovazione che stupisce ancora oggi, comparve 3000 anni prima di Cristo in Persia con la prima ruota idraulica mossa dal vento. Era il *mulino eolico*, spinto dai venti tesi e inesauribili delle zone desertiche che penetravano nelle fessure di piccole torri simili a un castello, come le millenarie torri ancora funzionanti di Nashtifan, in Iran, con la loro architettura particolare e l'edificio costruito con mattone crudo, fango e legno a due piani: al piano terra c'è la grande pietra del mulino per la macinatura dei cereali, e nel piano superiore sono alloggiati le "vele" di legno che la muovono. La località non è stata scelta a caso. Il nome Nashtifān deriva da "nash", puntura, e "tifan" ovvero tempesta, per il potente soffio dei venti stagionali della zona del Sistān. Tra i 40 mulini a vento ancora in piedi, i più grandi sono stati restaurati e ricostruiti e vengono utilizzati

per la macinatura. Nelle stagioni poco ventose, venivano sfruttate anche le correnti dei fiumi a sud della cittadina con l'utilizzo dei mulini ad acqua ancora visibili.

L'evoluzione tecnologica successiva per il sollevamento dell'acqua ha portato alla realizzazione della *Pompa a pressione*, inventata da Ctesibio, un genio dell'antica scuola di Alessandria, e perfezionata dai Romani inventori delle prime *pompe a stantuffo* a uno o due cilindri che, inserite in un pozzo, potevano pescare acqua anche a 15 metri di profondità, e con una portata continua da 60 litri al minuto. I Romani inventarono anche una *mini-pompa portatile* in bronzo per svuotare l'acqua di *sentina* nella parte interna e più bassa delle navi o di allagamenti nelle miniere.

IL MIRACOLOSO DONO DEL NILO ALL'EGITTO

Da seimila anni prima di Cristo erano all'opera anche gli egiziani, altri possessori di una stupefacente cultura idrica di necessità, conoscitori di tecnologie per l'irrigazione, costruttori di opere idrauliche come invasi e dighe di dimensioni anche gigantesche. La civiltà egizia, del resto, nacque lungo le rive dell'immenso Nilo, il "dono di dio", che aveva l'eccezionale particolarità di distribuire le sue acque attraverso regolari periodiche inondazioni di vasti territori per almeno dieci settimane, per poi rientrare nell'alveo lasciando però sui terreni umidi i nutrienti con spessi strati di limo a fertilizzarli. Gli egiziani dovevano solo adattarsi al Nilo, e al ciclo delle sue acque fluviali, e gestirlo per scongiurare siccità e carestie, trasformando un paese desertico in un unico ed enorme impianto agricolo che permetteva l'agricoltura intensiva.

Spettava agli agrimensori stabilire dove e come realizzare sistemi di bacini artificiali e canali, disegnando i tracciati sul terreno, delimitandoli con paletti collegati da corde. Una miriade di bacini artificiali accoglievano le acque del Nilo, conservate dentro alti argini. Erano dei grandi quadrati con ogni lato lungo in media 2 km, dove l'acqua del Nilo penetrava quando la piena innalzava il fiume per circa 6 metri oltre il livello naturale. A quel punto, entrata l'acqua, le chiuse bloccavano la fuoriuscita e permettevano al limo di depositarsi nel tempo in grandi quantità sul fondo del bacino. Passato un mese, l'acqua veniva fatta defluire dalle chiuse in altri bacini minori, per essere poi convogliata nel Nilo. L'efficientissima circolarità fluviale aveva come terminale l'estesa e fitta rete di canali che raggiungevano anche i campi più distanti dal fiume, dove le acque di piena non sarebbero arrivate.

Il Nilo era tutto. E l'anno egiziano era diviso in 3 stagioni di 4 mesi: *inondazione*, *semina* e *raccolto*. La tempistica del ciclo annuale fluviale non avrebbe potuto essere migliore per l'agricoltura,

con un flusso costante di acqua nei periodi della semina, della crescita, del raccolto e poi l'inondazione della valle coltivata a fine estate e il deposito di limo, sali, sostanze organiche e nutrienti, e anche di nuovo fango per nuovi argini. In quel paesaggio acquatico fertile, bastava seminare da novembre a gennaio e, una volta ritirate le acque alluvionali, le piante crescevano per essere raccolte prima della successiva stagione delle piene benefiche. Le infrastrutture dell'irrigazione di bacino, tuttavia, erano necessarie per rallentare il drenaggio, regolare il deflusso. Il Nilo divenne anche la lunga via d'acqua navigabile.

I Faraoni della III Dinastia, nella fase dell'Antico Regno dal 2682 a.C., fecero realizzare il più grande sbarramento in muratura a Memphis alla foce del delta del Nilo, capitale dell'Egitto per mille anni, e le cui rovine sono oggi a 20 km a sud di Giza. Ma una delle più complesse canalizzazioni della storia è il *Bahr Yusuf*, il Canale di Giuseppe, fatto costruire da Giuseppe gran visir del faraone, per accumulare imponenti volumi di acqua nel Lago Moéris, prendendo il posto di uno scarico naturale del



Fiume Nilo - Egitto



Castello di Qaitbay - Alessandria - Egitto

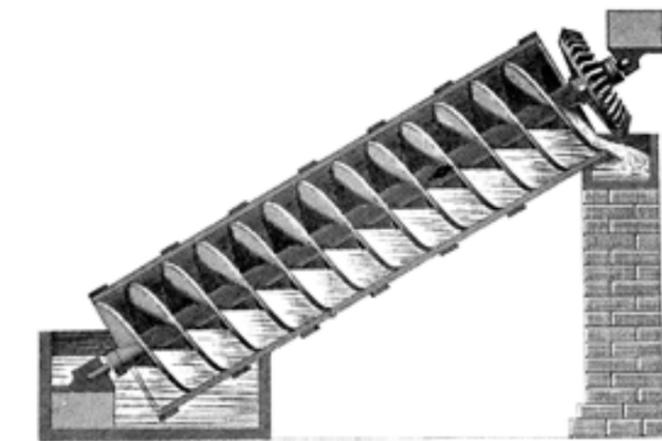
Nilo che durante le sue piene alimentava l'immenso lago a ovest del Nilo in una depressione di oltre 1.700 km², per trasformare barea paludosa di Fayoum in un'area agricola con il lago immagazzinava l'acqua del Nilo in eccesso per poter irrigare durante la siccità. Il bacino d'irrigazione forma oggi una delle più grandi oasi d'Egitto.

SIFONI, MANTICI, OROLOGI AD ACQUA...

LA SCUOLA IDRICA DI ALESSANDRIA

Sifoni, mantici, siringhe, l'organo a canne, l'orologio ad acqua...meraviglie della scuola euclidea di meccanica di Alessandria, dove insegnavano anche i primi maestri dell'idraulica e dell'idrostatica. Alessandria d'Egitto era stata conquistata da Alessandro Magno e alla sua morte, nel 323 a.C., Tolomeo diventato re, ne fece la capitale culturale del mondo antico con una sorprendente *fusion* di saperi e culture egiziane, greche, babilonesi, ebraiche che spinse in avanti le sperimentazioni e le innovazioni tecnologiche nel campo della gestione dell'acqua.

Con un museo di storia naturale e la più completa biblioteca dell'epoca, con oltre 500.000 rotoli di papiro, distrutta da un incontenibile incendio, vi insegnarono i maggiori sapienti a partire da Euclide, storici, filosofi, matematici, e letterati. L'ingegnoso Ctesibio stupiva. A lui dobbiamo l'aggettivo «idraulico» e invenzioni come la pompa a pistoni che produceva un getto d'acqua a pressione, che Marco Vitruvio Pollione descrive ammirato nel *De Architectura*. La sua pompa aveva due cilindri di bronzo all'interno dei quali, azionando un'asta girevole, venivano sollevati e abbassati due pistoni. Entrambi i cilindri erano comunicanti con un tubo verticale e, azionando la pompa nell'acqua, si riempivano spingendola nel tubo. Una tecnologia rivoluzionaria per l'epoca. Come il suo orologio idraulico, niente di più di un contenitore in pietra di forma conica che faceva fuoriuscire acqua da un foro praticato sul fondo a un ritmo costante, con il tempo scandito da una lancetta girevole su un quadrante, collegata meccanicamente ad un galleggiante che seguiva il sollevarsi del livello dell'acqua.



Vite archimede

Di scuola alessandrina erano anche Philo o Philone di Bisanzio inventore del principio di funzionamento del sifone, Erone di Alessandria inventore anche della formula geometrica, matematica e topografica, che consentì di poter costruire acquedotti per lunghe distanze e in grado di superare in galleria alture altrimenti insormontabili. Inventò un dispositivo che, sfruttando la pressione del vapore acqueo, azionava l'apertura delle grandi porte del tempio di Alessandria, tra lo stupore e l'ammirazione generale. E progettò anche l'antenato del motore a getto

e della macchina a vapore: l'*Eolipila*. Con l'energia del vapore faceva azionare il movimento rotatorio di una sfera e fu l'antichissimo precursore della turbina idraulica.

Nuove scoperte si aggiungevano. Come quelle del siracusano Archimede, figlio dell'astronomo Fidia, genio costruttore di macchine idrauliche come la pompa a spirale per il sollevamento dell'acqua, la *coelea* o *chiocciola* passata alla storia come la *Vite di Archimede*. Fu lo strumento meccanico che rivoluzionò l'irrigazione, risolvendo uno dei più grandi problemi dell'agricoltura nell'antichità, quello di riuscire a distribuire grandi quantità di acqua prelevandola con facilità e continuità da pozzi e fiumi o infossamenti impaludati. La sua *Vite* era un cilindro all'interno del quale aveva collocato una spirale di legno, la cui estremità doveva essere immersa in posizione inclinata nell'acqua. Azionando una manovella, l'acqua veniva spinta attraverso le volute della spirale risalendo in superficie e fuoriuscendo alla sommità. Quell'innovazione permise di superare ogni dislivello, di poter drenare acqua da terreni o da miniere. Scrisse ammirato Galileo (Galileo Galilei, *Mecaniche*): "...l'invenzione di Archimede d'alzar l'acqua con la vite...non solo è meravigliosa, ma è miracolosa; poiché troveremo, che l'acqua ascende nella vite discendendo continuamente". La *Vite* fu immediatamente utilizzata anche con una serie di "viti" collegate tra loro per trasferire più acqua e anche ad altezze considerevoli.



Il geniale siracusano ha legato per sempre il suo nome ai fondamentali studi di idrostatica, matematica, fisica, geometria, ottica, astronomia. Venne ucciso nel 212 a.C. dai romani durante la conquista di Siracusa. L'ordine del Senato era di catturarlo vivo e portarlo a Roma per utilizzare le sue conoscenze ma, racconta Plutarco quando un legionario sfondò la porta di casa e gli chiese chi fosse, il genio preso dai suoi studi e chino sulle pergamene tardò a rispondergli. Il soldato doveva solo scortarlo dal console Marcello. Archimede rispose che lo avrebbe seguito solo dopo aver risolto un problema. Il soldato la prese come un'offesa personale, sguainò la spada e lo trafisse.

L'ITALIA UNDERGROUND. 3.985 CAVITÀ, CUNICOLI IRRIGUI, QANAT, ACQUEDOTTI

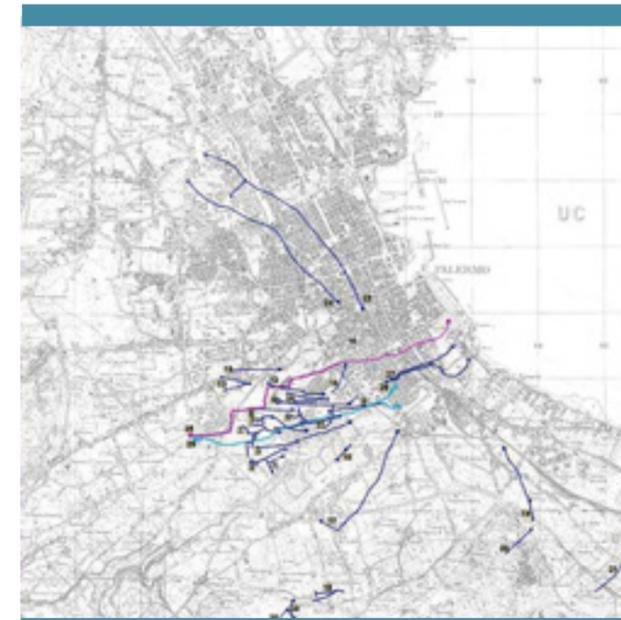
Reti di antichissimi cunicoli come acquedotti sotto-attra-versano le aree desertiche come gallerie-spugna che intercettano flussi di falda. Sono le gallerie di *qanat* e di *foggara*, scavate con pozzetti di aerazione verticali a distanze regolari. Le *qanat* drenano acqua dalle falde profonde anche oltre 100 metri, e la

lunghezza dei cunicoli di un singolo scavo può superare anche i 100 km, mentre le *foggara* intercettano acqua a profondità minori, intorno ai 20 metri, con reti che in media non superano i 10 km per il trasporto di volumi di acqua che aumentano nel percorso aggiungendo acque di condensazione e da drenaggi superficiali. La stessa tecnica di scavo delle due versioni di gallerie, hanno il vantaggio di non avere perdite da evaporazione, di essere preservate dalle violente tempeste di sabbia e l'invisibilità in superficie proteggeva i preziosi cunicoli-acquedotto dalle distruzioni durante guerre e assedi. Lo svantaggio era nei rischi mortali per gli uomini-talpa, perlopiù prigionieri, ai quali si aggiungevano anche maestranze locali e soldati di eserciti conquistatori compresi i legionari romani.

Reti di gallerie di acquedotti hanno sotto-attra-versato anche la nostra millenaria storia nazionale, testimoniando tecnologie di scavo e capacità tecniche e progettuali fin dall'inizio della nostra storia culturale. Esplorazioni, ricerche e studi della Società Speleologica Italiana con la "Carta Antichi Acquedotti", e dell'Ispra, riportano 3.985 cavità artificiali scoperte, un numero



CARTA DEI QANAT DELLA PIANA DI PALERMO



Sistemi di captazione e gestione dell'acqua nella piana di Palermo nel Medioevo - Pietro Todaro

sottostimato ma che rappresenta la ricchezza di testimonianze idrauliche del passato, un patrimonio ipogeo artificiale straordinario per dimensioni, tipologia e caratteristiche, con perfette funzioni drenanti e di scorrimento. Le funzioni delle gallerie sono varie: dall'utilizzo come acquedotto all'asciugamento di laghi - uno su tutti, la lunga galleria per l'opera maxima dello svuotamento del "lago che sembra un mare", come lo descriveva Strabone, che occupava l'intera piana della Marsica come il più grande lago in quota italiano, iniziato dai Romani incanalando l'acqua verso il fiume Liri e il mare, e concluso con le bonifiche novecentesche con la trasformazione della pianura in una rigogliosa valle agricola di oltre 13.000 ettari coltivabili. Abbiamo alle spalle secoli di scavi di gallerie per la regimazione dei livelli lacustri come emissari o immissari, di captazione con cunicoli drenanti, per attingere da vene d'acqua sotterranee diventati parte di acquedotti locali, per deviazioni sotterranee di corsi d'acqua per consentire la costruzione di quartieri, come canali di scarico di acque bianche o nere.

A Siracusa e Agrigento sono state scoperte gallerie per l'acqua risalenti al periodo greco-corinzio. Cunicoli drenanti e di trasporto sono stati ritrovati a Taranto, Gravina, Laterza, Atri. A Roccarainola, in Campania, l'acquedotto delle Fontanelle utilizza *qanat* che partono dalle colline a nord del

centro abitato e si sviluppano per circa 800 metri in due rami lungo i quali si trovano 20 pozzi verticali. Ad Atri, già in epoca preromana, dal sottosuolo dei tre piccoli colli di Maralto, Mezzo e Muralto l'acqua veniva convogliata, sfruttando la natura geologica del terreno e l'inclinazione, in diversi punti di raccolta. Altre gallerie di acquedotto sotterranei della penisola hanno garantito acqua potabile. Come a Cagliari, dove immagazzinavano acqua in vasche ricavate nella roccia calcarea e sono almeno 700 le cavità sotto l'area urbana, un'immensa città ipogea ancora con i suoi segreti, e sotto Piazza d'Armi un lago sotterraneo ancora riempie una enorme cava di pietra di età romana. Un patrimonio idro-archeologico unico.

A Palermo sono spettacolari sistemi cunicolari di *Qanat*, eredità della cultura araba, narrati da eruditi e viaggiatori con descrizioni di fonti, sorgenti, piscine, fontane, peschiere e polle zampillanti che abbondavano dentro e fuori la cerchia delle mura. Il viaggiatore arabo-andaluso Ibn-Ubayr che la visitò nel 1185 in pieno periodo normanno, racconta di giardini, torri di guardia e canali sull'agro palermitano, di dimore regali immerse in rigogliosi *giardini paradiso* che contornavano e coloravano la città che re Ruggero definiva "sollazzi" di grandi fontane dalle quali zampillava acqua dolce. Il Parco del castello della Zisa da mille e una notte era circondato da viali, canali d'acqua e bacini collegati con reti di tubazioni di terracotta, le lunghe condotte di *catusi* o *catusati* o *incatusati* con acqua corrente a pressione o a caduta. Sofisticati sistemi di refrigerazione passiva erano le "torri del vento" e le "camere sotterranee rinfrescate". E la pianura agricola era attraversata dalle canalizzazioni di superficie chiamate *Saje*, al servizio dell'irrigazione. Erano fossati rettilinei, in muratura o scavati nel suolo o nella roccia, con la *Saja mastra* come



Bottini di Siena

canale principale di distribuzione di acqua a canali secondari sempre più ramificati e di minore sezione, simile al sistema cunicolare delle oasi del Sahara centrale delle regioni del Touat, Gourara e Tidikelt. Le analogie sono sorprendenti nei sistemi di captazione sotterranei e di distribuzione in leggera pendenza verso la *Gebbia*, la cisterna a pianta quadrata o rettangolare fatta in conci di tufo con pareti e fondo impermeabilizzati per lo stoccaggio di acqua irrigua. Di questi serbatoi artificiali ce n'erano a centinaia, fino un secolo fa. Nelle campagne si sentiva il suono delle ruote per il sollevamento dell'acqua dei pozzi, la *Nòria* e la *Sénia*, ingegnose macchine idrauliche. Anche con due ruote di legno, la ruota motrice con l'asse verticale azionata dal "giro" degli "asini ciechi" così chiamati per i due paraocchi calati sulla testa, e la ruota che faceva scorrere una doppia catena senza fine alla quale erano legati i vasi di terracotta o i *cati* di legno che si riempivano d'acqua riversando il contenuto in una vasca di raccolta in muratura, dalla quale i *catusi* la trasferivano nella *gebbia* e da questa nelle reti di saje che irrigavano le colture con canalizzazioni a scacchiera. L'uso della *Sénia* per irrigare si è protratto fino all'Ottocento in tutta la piana di Palermo, sempre migliorate nella tecnica costruttiva e nei materiali con supporti di ghisa e ferro, poi sostituite da macchine a vapore.

Fonti, sorgenti e polle zampillanti, le *favara*, abbondavano anche dentro la cerchia delle mura, e la distribuzione di acqua potabile in città e nei campi veniva effettuata con opere ingegneristiche che percorrevano sottoterra la pianura costiera con lunghe gallerie di drenaggio. Erano le gallerie *qanat* che, a gravità,

portavano acqua in una città straordinariamente ricca di pozzi, anche 18 per ogni 1000 metri quadrati. Le sorgenti storiche documentate hanno ancora i loro nomi arabi: *Ayn Said* (Danisinni), *Ayn Sabu* (sorgente del Leone), *Ayn Rotah* (Averinga), *Ayn Rôm* (Fonte dei Cristiani) e *Ayn as-Šif* (Fonte della salute). Gli appassionati speleologi palermitani hanno valorizzato ciò che resta dell'efficiente rete dei *qanat*. Gli arabi li fecero scavare nel ventre della città con un incredibile intreccio di gallerie che seguivano le caratteristiche idrologiche della piana trasportando sia le acque di falda che quelle drenate. Il percorso era interrotto da piccoli sbarramenti alti fino a un metro che creavano piccoli bacini di riserve d'acqua e limitavano l'erosione frenando il flusso. Lungo i percorsi, a circa 20 metri l'uno dall'altro, c'erano i pozzetti per aerazione e ispezioni e per prelevarla con le *senie*.

Grazie alla rete cunicolare di sorgente e acquedotto allo stesso tempo, drenava, captava e trasportava acqua a gravità in superficie, che permise di introdurre in epoca araba nella Conca d'Oro coltivazioni di agrumi, riso, gelsi, datteri, meloni, peschi, aglio, cipolla, canna da zucchero, pistacchi, banani, mirra, zafferano. Le *qanat* ebbero una grande diffusione dal periodo arabo al XVI secolo con estensioni fatte realizzare anche dai padri gesuiti come la *qanat* del Gesuitico che irriga ancora oggi alcuni agrumeti. Le più recenti risalgono all'Ottocento, scavati sotto le borgate di Cruillas, Villagrazia e Ciaculli. Geologi e speleologi hanno individuato ben 25 sistemi di *qanat* nel solo bacino idrologico sud della pianura. Alcuni ancora utilizzabili, come il *qanat Scibene* sotto il borgo di Altarello di Baida.

QANAT ALLA SENESE. L'ANTICA RETE DEI BOTTINI PER RECUPERARE ACQUA

"Sottoterra è più bella che alla luce del sole" sospirò, nell'aprile del 1536, Carlo V re di Spagna in visita alla città, risalendo dai "bottini" senesi quando già il *Palio alla Lunga* si correva per le vie della città. L'acquedotto sotto la città medievale meglio conservata del mondo, si estende ancora oggi con un'articolata ma originalissima rete di *qanat* scavati nell'arenaria, in parte murati, ma tenuti in efficienza grazie ad una manutenzione attenta e ininterrotta, quasi maniacale, oggi grazie ai volontari *bottinieri* dell'associazione "La Diana". Sono opere straordinarie, e vale la pena entrare nei cunicoli e lasciarsi abbagliare dalle pareti che brillano alla luce artificiale ricoperte da incrostazioni di calcare, con stalattiti e stalagmiti, che raccontano una storia lunga quasi due millenni, fatta di scavi e continui ampliamenti di gallerie per la raccolta d'acqua drenata dalle infiltrazioni delle piogge e recuperata dallo stillicidio e dalle vene d'acqua delle colline circostanti. Sfruttando l'inclinazione, la permeabilità delle porosissime sabbie arenarie che filtrano acqua piovana depurandola naturalmente, convogliavano risorsa idrica sul fondo della galleria facendola scorrere in scanalature larghe 15 centimetri e profonde 20 chiamate *gorelle*, e da quei docci di terracotta, aumentando la portata lungo il percorso, giungeva abbondante alle fonti della città per gravità, seguendo la perfetta pendenza dell'uno per mille, un metro per ogni chilometro. In tutto sono 25 i km di gallerie sotterranee scavate nel tufo e nella roccia. Li chiamano *bottini* per la caratteristica volta a botte, e sono un monumento all'ingegno, all'ingegneria idraulica e

all'architettura italiana. La qualità tecnica della realizzazione è evidentissima, e ha visto al lavoro schiere di operai e minatori anche su progetti di ingegneri e architetti come Mariano di Iacopo detto il Taccola e Francesco di Giorgio, portando acqua fino agli inizi del Novecento e alla costruzione del moderno acquedotto del Vivo. Era severissima la legislazione per la manutenzione e il controllo dei bottini. Sui terreni sotto-attraaversati dal *bottino* era vietato coltivare e spargere concime organico e piantumare alberi perché concime e radici potevano danneggiare le volte. E per chi entrava nelle gallerie senza permesso erano guai, fino alla pena di morte per "attentato alla Repubblica", la cui sopravvivenza politica ed economica era garantita dal flusso d'acqua sotterraneo.

Solo così riuscirono a dissetare la città, facendo sfociare zampilli da oltre 50 fonti pubbliche e rifornendo 5 grandi pozzi pubblici, pozzi e cisterne private, facendo muovere le pale dei mulini delle manifatture senesi. Erano imprese prioritarie e, come per le guerre, mobilitavano prigionieri e minatori specializzati reclutati sulle colline metallifere di Massa Marittima, Gerfalco, Montieri e dell'Amiata, agli ordini di architetti, esperti di acque e maestri costruttori di opere pubbliche. Lavoravano al buio e anche di notte per perforare il sottosuolo a forza di braccia e picconi, scavando gallerie calcolate al centimetro e dotate di un pozzo verticale chiamato *occhio* che permetteva di individuare meglio il percorso, prendere aria fresca e scaricare terre di scavo. Lavoravano con attrezzi rudimentali come zappe, picconi da tufo con una sola punta, picconi da sasso con due punte, pale e





Archipendolo

paletti di ferro, succhielli, *mazzapicchi* per pietre e scalpelli, uncinini per togliere depositi calcarei dal *gorello* con operazioni di “sgrumatura”. Veniva usato l'*archipendolo* (nell'immagine seguente) uno strumento ad “A” con un filo centrale piombato per stabilire la pendenza quasi impercettibile dell'uno per mille grazie alla quale l'acqua scorreva lenta depositando impurità. Se in un tratto il dislivello era maggiore l'acqua la indirizzavano in curve a serpentina per rallentare la velocità tenendo inalterata la pendenza.

Alla luce di candele di sego e poi di lanterne, i cunicoli venivano rinforzati con archi, transetti e spalline di laterizio per evitare frane e cedimenti. Ci pensavano i carpentieri che seguivano i minatori, insieme ai *vetturali* addetti al trasporto dei materiali e gli addetti ai rifornimenti alimentari.

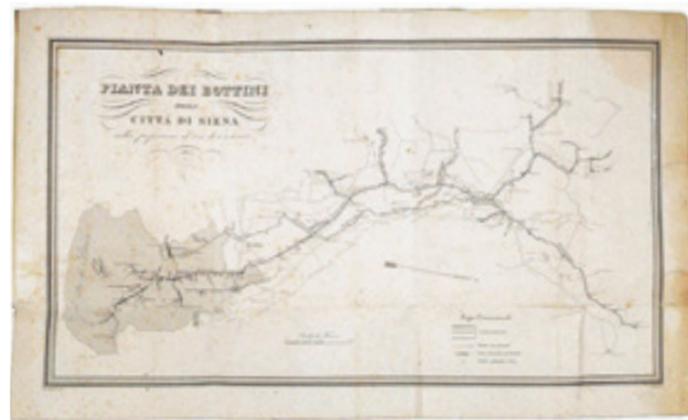
La rete delle *quanat* senesi è ramificata. Le prime opere di scavo risalgono al 394, ma uno dei cunicoli circolari più antichi è di origine etrusca poi *ampliati e rimodernati dai romani*, epoca in cui il primo acquedotto sotterraneo drenava già acque di stillicidio. Siena continuò a intercettare falde acquifere e sorgenti anche molto distanti, migliorando e allungando le gallerie con ampliamenti successivi e con i riferimenti alle contrade e persino ai numeri civici delle abitazioni.

ISTRUZIONI PER COLONI ROMANI. AGRIMENSORI E PRG DELLE ACQUE

L'opera di colonizzazione iniziava dalla pianificazione di quel che oggi definiremmo il “Piano Regolatore delle acque”, premessa necessaria per la conquista di pianure allagate e allagabili, acquitrini costieri e interni, bollati come “*loca palustris*”, ma considerati parte del *continuum* paesaggistico romano, indicati sulle mappe come possibili parti integranti

della più generale economia rurale. Sfidare e trionfare sulla Natura più ostile era il *mood* dei Romani e, dall'inizio del II secolo prima di Cristo, conquistarono le valli malariche prosciugandole, deviando e canalizzando le acque e poi colmandole con strati di terra, tufo e detriti. L'opera di bonifica doveva ricavarne terreni per coltivazioni intensive per sfamare una popolazione in aumento e l'esercito.

Erano gli agrimensori a delimitare i vasti territori agrari a ridosso delle città fondate, dividendoli in appezzamenti coltivabili, creando nuovi e ordinati paesaggi agrari gestiti con manutenzioni e bonifiche costanti. Lo spazio coltivato doveva essere perfettamente inserito nell'impianto urbano, e la *centuriazione* agricola si sviluppava in parallelo con il *castrum*. Il modello romano si basava sia sugli immani latifondi con intorno i poderi, sia su appezzamenti di pochi ettari affidati ai veterani delle guerre civili o ai coloni delle città. Furono così rasi al suolo boschi e sradicate vaste foreste pluviali per sviluppare coltivazioni di alberi da frutto come pero, melo, fico, melograno, olivo, vite; favorire la pastorizia e gli allevamenti di galline, pavoni, tortore, tordi, oche, anatre, pernici, capre, lepri, cinghiali, tori, caprioli, lumache, e anche alveari perché delle api non si consumava solo il miele ma anche la cera usata per le *tabulae* della scrittura, e col miele si faceva l'idromele. La struttura agricola doveva rispondere a tre criteri fondamentali: la presenza dei corsi d'acqua seguendo l'allineamento parallelo al fiume o al torrente più vicino, la presenza dei percorsi viari e la vicinanza alle strade imperiali e, se esisteva, il rispetto della pianta agricola della precedente sistemazione idrogeologica etrusca o greca o di altri popoli più antichi.



Pianta dei bottini della città di Siena - 1848-1859 - G. Tarducci



L'assetto vegetazionale a ridosso delle città era quindi rimodellato con tre fasce: la grande *silva* utilizzata per la caccia, la produzione di legname e la raccolta di erbe e frutti; il *saltus*, gli spazi aperti e cespugliati adibiti a pascolo; l'*ager*, la campagna coltivata. E il concetto base era la continua manutenzione del reticolo idrologico perché l'incuria o l'abbandono delle opere idrauliche realizzate significava il ritorno alle selvagge boscaglie.

TECNOLOGIE DI SCAVO. L'IMPRESA DI 250 KM DI IDROVIE LAGUNARI RAVENNA-AQUILEIA

Che la conquista del delta del Po sarebbe stata strategica per le potenzialità dei commerci via mare, lo avevano intuito le tribù di paleo-veneti, poi gli Etruschi dopo il loro arrivo nel VI secolo prima di Cristo che consolidarono insieme ai loro alleati Greci due aree portuali a ridosso degli isolotti lagunari collegati dai canali d'acqua quasi allo sbocco dei più importanti rami del Po: Adria che diede il nome all'Adriatico, e Spina. Inglobando anche le popolazioni esistenti, realizzarono i primi asciugamenti delle “Paludi Adriane” scavando incredibili canali interni navigabili come lunghi e larghi “*fossomi*”. A sud ricavarono la *Fossa Messanica* che da Spina permetteva di raggiungere la zona di Ravenna costeggiando le paludi di Comacchio alla foce del Reno. A nord, la *Fossa Filistina* che limitava anche le piene del Po portando le acque dell'emissario Tartaro nella laguna di Venezia, collegava Adria a Chioggia e Malamocco. Due opere ciclopiche che resero possibile la navigazione endo-lagunare su canali paralleli alla linea di costa evitando il mare aperto e le vie di terra interne. Quel capolavoro di vie d'acqua, tra il VI e il IV

secolo a.C., trasformò il delta del Po in uno snodo di scambi marittimi, un *terminal* di carico e scarico di merci come ceramiche, vino e prodotti agricoli, l'ambra, la porpora e le anfore della minoica Creta, la carne salata di maiale che oggi è il prosciutto. Da Spina partivano anche i lingotti di metalli lavorati a Populonia che giungevano da un'altra gigantesca opera etrusca: la prima via lastricata del mondo antico, la “Due Mari” Tirreno-Adriatico che dalla costa toscana valicava l'Appennino e raggiungeva i porti adriatici, costruita nella seconda metà del VI secolo a.C.. Da abili commercianti, avendo la supremazia nell'estrazione dei minerali metalliferi e nella fabbricazione di strumenti in ferro, dalla prima autostrada d'Italia facevano transitare le loro produzioni con carovane di robusti carri partendo dai forni fusori costieri di Populonia, raggiungendo Pisa e poi risalendo la valle dell'Arno facendo tappa nella città-emporio di Gonfienti sulla piana tra Firenze e Prato, e nella prima Marzabotto sull'impervio Appennino, da dove scendevano verso le valli paludose padane fino a Spina da dove imbarcavano il loro ferro per i mercati greci e orientali.

Con i Romani, che conquistarono l'Adriatico nel 229 a.C., cambiò ancora l'idrografia lagunare. Fondarono a nord del delta del Po la città-fortezza di Aquileia, e a sud Ravenna con il nuovo porto di Classe. I Romani, maestri di bonifiche, ripristinarono e migliorarono la rete di canalizzazioni lagunari etrusche, la nuova *Fossa Messanica* diventò *Fossa Augusta*, inoltre garantirono la lunga via d'acqua da Ravenna all'entroterra padano risalendo il Po. Scavarono la nuova *Fossa Flavia*, ampliando gli antichi canali etruschi, permettendo alle imbarcazioni di

raggiungere il porto di *Fossa Clodia*, la prima Chioggia, e di *Altinum*, la prima Venezia, e di risalire per fiumi e canali fino ad Aquileia, capitale della *Regio X Venetia ed Histria* e sede di legioni. L'impressionante sistema di navigazione fluviale e lagunare permetteva di navigare ininterrottamente all'interno delle lagune su vie d'acqua lunghe complessivamente 250 chilometri, per gran parte dell'anno. Del resto, basta leggere gli ammirati resoconti di Polibio e Plinio il Vecchio, Strabone e Virgilio, Tacito e Tito Livio, Sidonio Apollinare e Catullo che narrano viaggi lagunari e fluviali, anche con l'organizzato traino umano e di buoi e cavalli per raggiungere le città lungo il corso del Po.

162 KM DI NAVIGLI LOMBARDI LE PIÙ LUNGHE VIE D'ACQUA ARTIFICIALI D'EUROPA

I Navigli sono il primo e più lungo sistema di canali artificiali d'Europa, secondi nel mondo, qualcosa di immensamente speciale

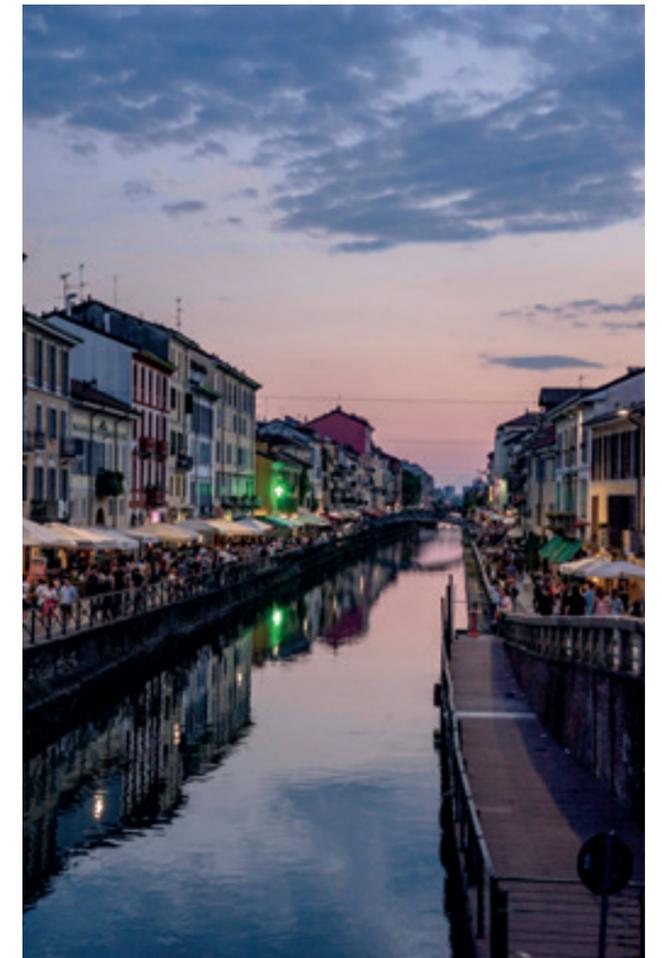
e tecnologico che a raccontarli sembra mitologia. Il mondo è certo pieno di canali, la via d'acqua artificiale più lunga con 1.794 km è il Grande Canale Pechino-Hangzhou scavato tra il 605 e il 610; in Germania Elba, Reno, Weser e Oder sono collegati nel Mittelland Kanal lungo 320 km; nei Paesi Bassi i canali sono talmente tanti che capita spesso di vedere navi in mezzo ai campi ma in realtà sono in navigazione; in Francia, il Canal du Midi con 240 km unisce l'Atlantico al Mediterraneo; in Russia il Canale Volga-Don collega Baltico, Mar Nero Mar Caspio e Mar Bianco e possiamo continuare di canale in canale, ma nessun canale ha fatto la storia, disegnato geografie e ridisegnato le idrografie come i nostri Navigli. Come il nostro più lungo canale, il Canale Emiliano Romagnolo con i suoi 135 km gestiti dal consorzio di bonifica, seguito dal Canale Villoresi, costruito dal 1881 al 1891 con 86 km di percorso, e dal Canale Cavour, altro capolavoro dell'ingegneria idraulica costruito tra il 1863 e il 1866 che per 83 km.



Naviglio Grande - Milano

Su tutti c'è il *Sistema Navigli* che copre un'area tra il Ticino e l'Adda vasta 1.800 km² con uno sviluppo di 162 km lineari di canali solcati da ponti che attraversano paesi e città dove vivono 2,5 milioni di persone. Oggi irrigano le ampie distese agricole lombarde, ma sono stati per secoli le vie di trasporto e di commerci più veloci e sicure, a bordo di barche e barconi chiamati "cagnoni", "mezzane", "borcelli". Già nel 1300 si poteva "viaggiare per acque", grazie all'invenzione delle "conche di navigazione", da uno scalo merci all'altro, dal Lago Maggiore e poi dall'Adda e da Milano verso Pavia allacciando ovunque fiumi e idrovie. Le conche, con le chiuse, permettevano di superare i dislivelli dovuti alla morfologia dei terreni. Scavate a mani nude, come tutti i canali di allora, con pale e picconi e carriole, lo spazio della conca veniva chiuso da due sbarramenti, i portoni di monte e di valle, delle paratoie mobili in legno regolabili e apribili che consentivano di far defluire l'acqua facendo salire o scendere il livello insieme all'imbarcazione galleggiante e "posteggiata" al suo interno. La conca, insomma, aveva l'effetto-ascensore grazie anche alla vasca-scolmatore utilizzata per scaricare le acque nelle operazioni di riempimento e svuotamento. Le dimensioni delle conche dei Navigli variano in funzione dei dislivelli da superare e dalla lunghezza e larghezza delle imbarcazioni. Nel caso di salti molto elevati costruivano *bi-conche*, due conche in sequenza come quelle sul Naviglio Pavese. L'interno della conca è rivestito in mattoni che assorbivano i colpi delle imbarcazioni, mentre i portoni dal legno, sono stati man mano sostituiti dal ferro.

L'ultimo barcone ha solcato il Naviglio Grande nel 1979. Dal 1992 la Regione Lombardia ha affidato al Consorzio di Bonifica la loro funzione principale irrigua, e alimentano oggi dalle bocche di presa 120 derivazioni di una rete che supera i 1000 km con quasi 100mila ettari di campagne irrigate, con due asciutte, le *sùcia*, all'anno per la pulizia e la manutenzione. Mai come oggi la nuova civiltà dell'acqua richiede la riapertura dei Navigli urbani come a Milano - Martesana, Cerchia Interna, Naviglio di via Vallone, Conca di Viarenna, Darsena - e la loro riconnessione idraulica con l'intero sistema dei Navigli lombardi, riattivando, perché no, anche la navigazione lungo i canali. Basta godersi i pochi tratti aperti dei navigli Grande e Pavese per entrare nell'atmosfera milanese della città d'acqua che ha perso man mano il suo fascino con la progressiva copertura della cerchia dei Navigli dal 1929. Eppure, scriveva il gran viaggiatore Stendhal nel suo gran tour: "Ovunque si scorgono i canali d'acqua corrente che gli danno fertilità: si costeggia il canale navigabile per mezzo del quale si può andare in battello da Milano a Venezia o in America!"

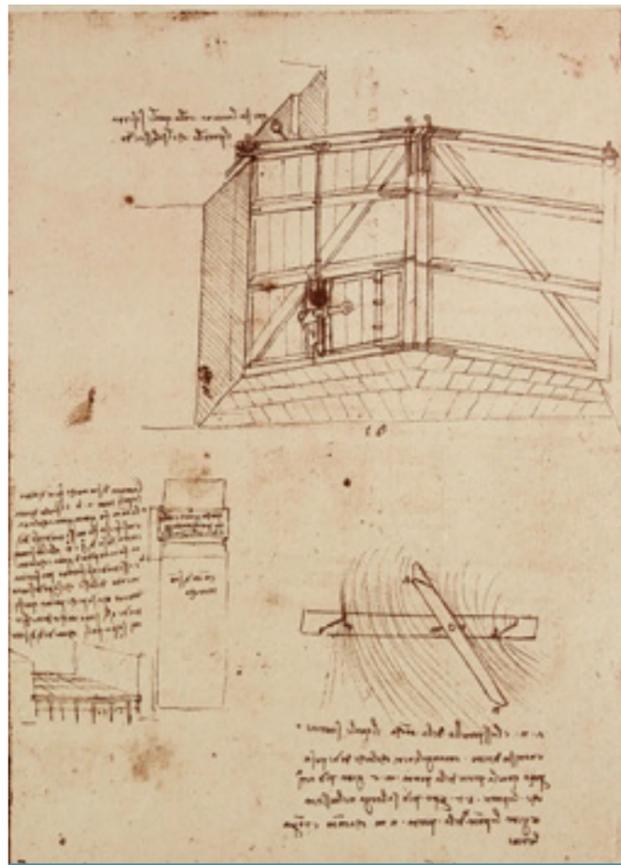


NAVIGLIO GRANDE

A Milano, nel 1117, era già in funzione il Naviglio Grande con le acque del Ticino, da Tornavento di Lonate Pozzolo, deviate in un primo fossato detto Canale *Ticinello*, che nel 1209 allungarono fino a Milano dove sarebbe diventato il canale dei canali navigabili con 116 "bocche d'irrigazione" che resero produttive le campagne. Disegnò il suo tragitto l'ingegnere militare genovese Guglielmo da Guintellino e dal 1177, l'anno dopo la vittoriosa battaglia di Legnano tra l'esercito imperiale di Federico Barbarossa e le truppe della Lega Lombarda, scavarono il canale Ticinello da Abbiategasso a Gaggiano poi fino a Trezzano e nel 1211 fino alle porte di Milano facendolo confluire nel laghetto di Sant'Eustorgio, l'attuale Darsena, diventando il Naviglio Grande, irriguo e navigabile. Complessivamente è lungo 49,9 km, con profondità massima di 3,80 metri, non ha bisogno di conche e l'acqua va in pendenza in canali larghi da 20 a 12

metri all'arrivo, con un dislivello di 33,5 metri. È stato il primo e il più lungo canale d'Europa e da Milano i barconi risalivano fin verso il lago Maggiore e la Svizzera con a bordo stivati carichi di sale, grano, vini, riso, manufatti, tessuti, stoviglie e anche letame e cenere. Rientravano in città pieni di ciottoli, mattoni, creta, sabbia, ghiaia, paglia e fieno, marmi, graniti, pietre, calce, carbone, legna, vino, formaggi, pesce e bestiame. Da Candoglia sul Toce sul lago Maggiore via Naviglio Grande a Milano arrivava anche il marmo per la "Veneranda Fabbrica del Duomo". Il 15 marzo del 1386, l'arcivescovo Antonio da Saluzzo aveva posato la prima pietra del Duomo, che Gian Galeazzo Visconti volle tutto in marmo per non sfigurare con le grandi cattedrali europee, regalando i suoi marmi delle sue cave di Candoglia, con diritto al trasporto esente da dazi e gabelle. Come per i legni che giungevano via Arno dall'Appennino alla Fabbrica del Duomo di Firenze, il carico veniva contrassegnato con la sigla "AUF", acronimo di *Ad Usum Fabricae*, poi tradotto a furor di popolo a *ufo*, cioè a gratis. Al cantiere del Duomo, i blocchi di marmo venivano scaricati con mastodontiche gru su robusti carri per diventare mirabili statue, fregi, doccioni e guglie. Nel 1438 costruirono la prima conca di navigazione del mondo: la *Conca di Viarenna*. Aveva l'apertura e la chiusura con due chiuse, ad una distanza che conteneva il barcone consentendo il superamento del dislivello di circa 2 metri sia in salita che in discesa tra la Cerchia dei Navigli e la Darsena di Porta Ticinese. I battelli con carichi pesanti e ingombranti riuscivano così a raggiungere il laghetto di S. Stefano in Brolo allora nel cuore della città. La *conca di Viarenna*, con la *conca di S. Ambrogio* costruita nel 1445 nell'attuale via Carducci, agevolarono la navigazione nel Naviglio Grande e Milano iniziò a utilizzare, per la prima volta al mondo, un sistema integrato di 10 *conche* per superare dislivelli delle sue vie d'acqua. Sono nella storia della tecnica fluviale le opere degli architetti e ingegneri idraulici della Fabbrica del Duomo, come Filippo degli Organi da Modena e Fioravante da Bologna, che permisero la navigazione nei canali regolando anche la velocità delle acque, poi perfezionate dalle innovazioni di Leonardo da Vinci.

Sul Ticino si resta affascinati dall'opera di presa del Naviglio Grande a Lonate Pozzolo, frazione di Tornavento, dove l'antico incile, nel 1585, con le "moderne arti del costruire" fu irrobustito con la *Paladella*, ossia la diga che deviava parte del flusso del fiume verso il canale del naviglio. Lo sbarramento è in diagonale e in muratura lastricato in granito, lungo 280 metri e largo da 9,50 a 17,80. Prudentemente, mantennero un'apertura di 60 metri, "le canne dell'organo", per dar sfogo alle piene torrentizie.



Leonardo da Vinci, Chiusa presso San Marco - da Codice Atlantico

Oggi alla *Paladella* tra aree naturalistiche del Parco del Ticino, l'Isola del Turbigaccio, l'ansa del Bosco del Ticinetto, il Mulino Vecchio di Bellinzago ultimo impianto ancora funzionante nella valle, ci sono opere idrauliche che resteranno nella storia della gestione delle acque. La diga del *Panperduto*, inaugurata nel 1884 su progetto di Eugenio Villoresi, ha fatto nascere l'economia agricola a nord di Milano, e aziona le turbine dei bacini idroelettrici di Vizzolo, Tornavento e Turbigo. Oggi parte del Ticino scorre in due canali: il Canale Villoresi utilizzato per l'irrigazione, e il Canale Industriale o Vizzola, per la produzione di energia idroelettrica. Poco oltre il Canale Industriale, si diramano altri 3 canali: a sinistra le maggior parte delle acque si immettono nel Naviglio Grande, al centro confluiscono nello scaricatore *Turbi-ghetto* e rientrano nel Ticino dopo aver mosso le turbine della quarta centrale idroelettrica di Turbigo Inferiore, e a destra vanno nel Canale di regresso e poi ritornano nel Ticino. E così che da Tornavento, il Naviglio Grande, con 50 mila ettari di terre irrigate alle spalle, finiva nella Darsena di Milano.

NAVIGLIO DI BEREGUARDO

Il Trecento milanese, con i Visconti, vide la città dominare sulla Lombardia e parte dell'Emilia, padrona della navigazione fluviale e puntò a trasformare ogni canale in un "naviglio", continuando a far scavare nuovi canali difensivi poi piegati all'irrigazione e alla navigazione. Nel 1323 aprì il fossato *Redefossi* che riutilizzava parte dell'antico letto del Seveso deviato dai Romani, e progettaronò la navigabilità della Vettabbia e del Lambro per raggiungere il Po. Per irrigare i campi agricoli, Galeazzo II fece scavare un altro canale verso Binasco e Pavia che convogliava verso sud le acque del Ticinello sul tracciato del futuro Naviglio Pavese. Un nuovo canale venne aperto dall'Adda per portare acqua fino al Parco del Castello di Porta Giovia, sul tracciato del futuro Naviglio della Martesana. Si progettò il nuovo *Naviglio di Bereguardo* da destinare alla navigazione interna e nel 1420 Filippo Maria Visconti, il Duca di Milano, diede inizio ai lavori per la nuova via d'acqua che avrebbe collegato

Pavia e Milano facendo giungere in città anche le merci di pregio che arrivavano dal Po imbarcate a Venezia dove giungevano dal lontano Oriente attraverso l'Adriatico: stoffe, spezie, vetri di Murano, ma anche cereali, formaggio e il preziosissimo sale. Scavato in gran parte tra il 1457 e il 1470, è oggi lungo 18,85 chilometri con un dislivello di 24,766 metri. Fu un'altra opera idraulica tecnicamente complessa che oggi impegna ben 12 "conche" a distanze medie di 1,7 chilometri. Nasce dal Naviglio Grande, a Castelletto di Abbiategrasso, e raggiunge il Ticino al ponte di Bereguardo. Nella seconda metà del Quattrocento, sotto il dominio degli Sforza, nel gran fervore economico con le nuove colture a riso e a gelso e le nuove produzioni come quella della seta, i due ingegneri idraulici alla corte degli Sforza, Bertola da Novate e Aristotele Fioravanti, migliorarono i trasporti fluviali e le capacità irrigue. Con il nuovo Naviglio di Pavia, nel 1819 la navigazione del Bereguardo alquanto difficoltosa per salti e dislivelli da superare cessò, e fu utilizzato come canale irriguo.



Naviglio di Bereguardo

NAVIGLIO DELLA MARTESANA

Il *Naviglio Piccolo*, poi detto *Naviglio della Martesana*, lo scavarono in soli tre anni e venne inaugurato nel 1475 da Francesco Sforza per muovere le ruote idrauliche di “*macine, torchi d'olio, filatoi, cartiere*”. Navigabile dal 1482, completato nel 1496 sotto Ludovico il Moro con il collegamento con il fossato interno milanese, scorre da Trezzo sull'Adda a Milano per 38 chilometri di percorso, affiancando l'antica strada romana che oggi è la statale 11 Padana Superiore. Nasce dall'Adda sotto il castello di Trezzo, e irriga con 129 *bocche* quasi 25.000 ettari di terreni sopra la fascia dei fontanili. La città ebbe così il suo collegamento con l'Adda, il lago di Como e risalendo verso l'Europa. Le barche giungevano a Milano in 7 ore e mezza e tornavano a Trezzo in 12, con l'ausilio di due cavalli da traino sulle rive dell'alzaia. Arriva oggi a Milano a Cascina de' Pomm e finisce interrato a San Marco.



Naviglio della Martesana

NAVIGLIO PAVESE

Il *Naviglio Pavese* nacque come idrovia navigabile Milano-Pavia e con funzioni irrigue per 8 mila ettari di campi. Furono i Visconti, nel 1359, a dare il via alla costruzione di un nuovo canale irriguo e per portare l'acqua nel Parco del Castello di Pavia. Dal 16 agosto del 1819, con l'inaugurazione in gran pompa di Ranieri arciduca d'Austria e vicerè del Lombardo-Veneto, il *Naviglio Pavese* dalla Darsena di Porta Ticinese passando per Binasco e Pavia sfociava nel Ticino a Pavia lungo 33,1 km e largo 10,8 metri, e diventava anche una via di trasporto.



Naviglio di Paderno

NAVIGLIO DI PADERNO BY LEONARDO

Il *Naviglio di Paderno* non arriva a Milano, e fu ideato da Leonardo all'inizio del Cinquecento, ospite dei conti Melzi a Vaprio d'Adda, come un canale parallelo all'Adda da Robbiate a Cornate d'Adda. “*Questo Naviglio di Paderno è lungo 2.605 metri; largo 11 sul fondo; l'acqua è sempre tenuta a metri 1,20 d'altezza, colla pendenza di 0.10 almeno, e 0.45 al più ogni mille metri, sicché ha la velocità, per minuto secondo, di metri 0.31 al minimo, e 1,50 al massimo. La pendenza è divisa per metri 26.40 fra i sostegni, e per metri 1.10 fra il declivio del fondo*”, lo descrivevano nel 1857. (C. Cantù, Grande illustrazione del Lombardo Veneto, Milano, 1857). È quindi il più piccolo tra i Navigli ma il più complesso, con un salto di quota di 27,5 metri superati con la costruzione di sei *conche* leonardesche per permettere la navigazione tra la città e il Lago di Como, che sarebbe stato così collegato alla cerchia interna dei Navigli grazie alla Martesana. Il via ai lavori lo diede il re di Francia Francesco I nel 1516, ma l'opera fu abbandonata e conclusa quasi tre secoli dopo, sotto Maria Teresa d'Austria, e inaugurata nel 1777.

IDROGRAFIA DI MILANO: 370 KM DI CORSI D'ACQUA NATURALI E ARTIFICIALI

Carlo Cattaneo, a metà Ottocento, descriveva con enfasi¹ l'epopea della bonifica e la rinascita delle terre lombarde con “*...la pianura tutta smossa e quasi rifatta dalle nostre mani... Abbiamo preso le acque dagli alvei profondi dei fiumi e dagli avvallamenti palustri, e le abbiamo diffuse sulle aride lande. La metà della nostra pianura, più di quattro mila chilometri, è dotata d'irrigazione; e vi si dirama per canali artefatti un volume d'acqua che si valuta a*

¹ Carlo Cattaneo, *Notizie naturali Milano 1844*, Garzanti, 1979



più di trenta milioni di metri cubici ogni giorno”. Se l'Ottocento fu il secolo dell'agricoltura lo dovevano alle lunghe e organizzate vie d'acqua con la loro multifunzione irrigua, commerciale e di trasporto. C'era il “*Corpo dei custodi delle acque*” che vigilava sullo stato delle sponde rilevando 3 volte al giorno i livelli agli idrometri, e ogni 15 giorni il “*pelo dell'acqua*” per definire gli utilizzi per la navigazione e l'irrigazione, verificando la manutenzione delle *barricate* in legno lungo le rive, il taglio dell'erba palustre, lo stato dei ponti. Fino all'ultimo barcone che navigò sul Naviglio Grande nel 1979.

Con il divieto di navigazione, i canali persero la loro storica funzione, già ridotta dal 1913 quando le ultime *barche-corriere* solcavano le acque lombarde trasportando merci e persone ovunque ci fosse una via d'acqua collegata². Ma sotto il manto stradale milanese resta il groviglio idrico unico al mondo. Un tesoro d'acqua che non ha paragoni e che la fa come galleggiare sul mar delle acque dolci avendo nelle sue viscere la bellezza

² wikipedia, www.naviglilive.it, www.naviglilombardi.it

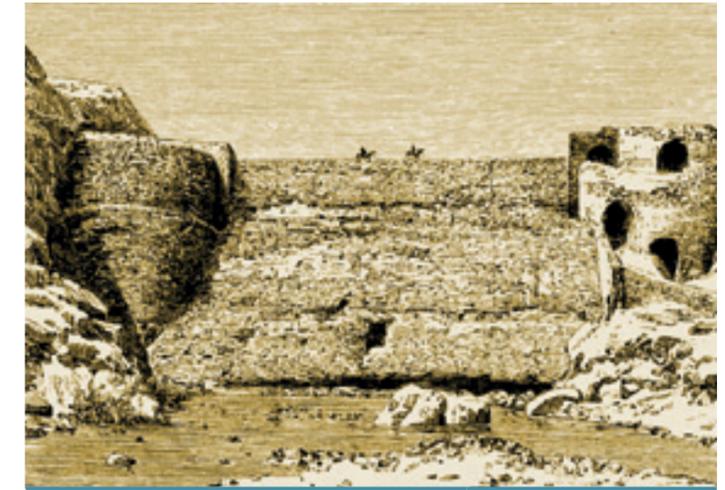


Sbarramenti e dighe

LE PRIME INFRASTRUTTURE IDRICHE PER ACCUMULARE ACQUA

Fin dall'antichità, accumulare acqua nei periodi di pioggia, trattenerla in infossamenti del terreno con le prime rudimentali traverse fluviali e poi con sempre più perfezionate opere di sbarramento ricavando serbatoi e addirittura vasti laghi, è stata l'istintiva soluzione per poterne disporre costantemente per i vari utilizzi.

Le prime dighe sono state innalzate lungo i fiumi, o a valle dei profondi canyon scavati dai torrentizi wadi che per larga parte dell'anno, rimanevano letti asciutti, per indirizzare l'acqua con fossati a cielo aperto verso i primi campi agricoli nei pressi dei villaggi. Tecniche sempre più aggiornate e perfezionate, permisero opere idrauliche che oggi dimostrano iniziali intuizioni di ingegneria idraulica. Senza l'immagazzinamento dell'acqua trattenuta nelle dighe, nei territori aridi e semi-aridi non sarebbe stato possibile organizzare l'irrigazione in modo programmato e continuativo, e la stessa vita umana sarebbe stata compromessa dalle spietate fasi di siccità o da inondazioni non mitigate dalla funzione di laminazione degli invasi. L'accumulo di acqua, insomma, è stato il primo sistema che riuscì a soddisfare gli iniziali fabbisogni collettivi, a proteggere le popolazioni dai condizionamenti della ciclicità delle precipitazioni, permettendo a popolazioni erranti e nomadi di stanziarsi, poter programmare l'arrivo dell'acqua sui campi agricoli nei modi e nei tempi utili alla semina, per l'allevamento e l'addomesticamento di animali. La riduzione in schiavitù dei



La diga di Saveh

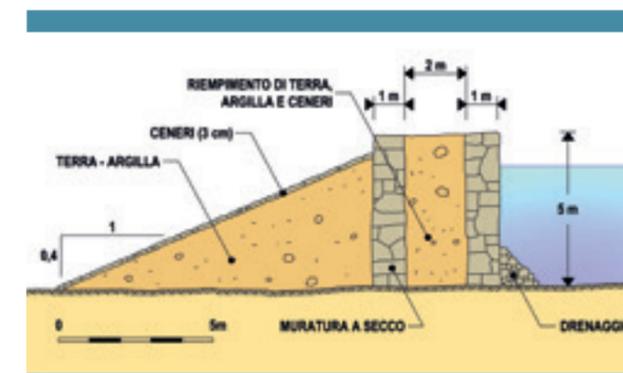
nemici sconfitti in guerra, e il bassissimo o insistente costo della mano d'opera, consentiva la costruzione di sbarramenti colossali che trasformavano vallate in serbatoi idrici naturali.

LO SCAVO DEI POZZI E I PRELIEVI DAI SECCHI ALLE POMPE IDRAULICHE

La parola *pozzo* deriva dal greco *phréar*, *phréatos*, e dal latino *pūteus*. Indica la struttura generalmente di forma circolare, a volte quadrata o anche ellittica, di dimensioni e profondità variabili. Da che mondo è mondo, in tantissimi luoghi, l'unico modo per attingere acqua è lo scavo di una buca verticale nel terreno per provare a raggiungere l'acquifero sotterraneo. Ed erano numerosi già nelle fondazioni delle prime città sulle pianure alluvionali, favorite da falde facilmente raggiungibili. Intercettarle richiedeva scavi abbastanza semplici, e in genere dopo 4 o 5 metri emergeva acqua dolce. I pozzi più antichi risalgono al Neolitico, e in Israele, nel sito archeologico sottomarino lungo la costa di Atlit Yam, è stato rinvenuto il pozzo più antico, scavato circa 10.100 anni fa.

Si può intercettare una *falda freatica*, cioè l'acquifero più superficiale e dalla superficie "a pelo libero", alimentato da infiltrazioni di acque meteoriche o di percolazione da fiumi e laghi. O una *falda artesiane*, cioè l'acquifero racchiuso tra due formazioni impermeabili di rocce o argille in condizioni di stoccaggio in pressione, con l'acqua pronta a schizzare verso l'alto fino al livello del piano di campagna. Il vantaggio è di fare a meno dei sistemi di pompaggio, indispensabili per le altre tipologie. I rivestimenti interni sono passati dal nulla ai mattoni, all'essere intonacati con cocchiopesto per renderli più impermeabili, in

STRUTTURA DELLA MAGGIORE DELLE DIGHE DI JAWA



Fonte: Ministero delle Infrastrutture e Trasporti



Ricostruzione di pompa romana rinvenuta negli scavi della Metro di Londra

muratura, calcestruzzo, cemento armato e con anelli di ghisa per i pozzi a forti pressioni. La bocca poteva essere a livello del suolo, inizialmente chiusa da una semplice pietra, poi protetta da un muretto basso circolare o quadrato di malta e mattoni e da strutture esterne sempre più lavorate come le artistiche “vere di pozzo”.

I pozzi erano e ancora oggi sono ovunque, sia privati che di pubblica utilità. Per i Romani integravano gli acquedotti e avevano anche un'imponenza monumentale, talvolta raggiungibili anche da scale fino al livello dell'acqua, e con eleganti architetture. L'acqua si attingeva semplicemente calando una corda e un secchio, poi azionando meccanismi più evoluti. Il pozzo è stata a lungo la principale “sorgente” cittadina in molte città, almeno fino all'Ottocento, con profondità medie intorno ai 15 metri, ma le tecniche di scavo e sistemi di battitura di tubi metallici permisero poi di superare anche i 100 metri, fino a farli pescare nella falda acquifera, provvisti di filtri all'estremità inferiore dalla quale l'acqua veniva aspirata da una pompa. Quanti sono in Italia, oggi nessuno lo sa. Il loro numero è una incognita. Si lanciò qualche anno fa alla ricerca dei pozzi italiani Francesco Puma da Segretario Generale dell'Autorità di Bacino del fiume Po e, dopo mesi di indagini, indicò la bella cifra presunta di circa 10 milioni fra pozzi censiti, autorizzati o abusivi, e in parte abbandonati.

Una stima fondata oggi risulta impossibile, e purtroppo riemerge anche in questo caso una carenza di conoscenze minime. Il compito del loro censimento e controllo venne affidato da dopoguerra alle Province ma, una volta cancellate, è scomparso l'aggiornamento del catasto dei pozzi. Oggi sono le regioni a rilasciare le concessioni di pozzi per usi irrigui o industriali e domestici, ma anche in questo caso non esistono database ufficiali aggiornati e completi. Una indagine della Cassa per il Mezzogiorno, dal 1950 al 1968, valutò le estrazioni di acqua nel settore agricolo, censendo circa 33.000 pozzi che irrigavano circa 140.000 ettari. Nel 1970 la Conferenza Nazionale sulle Acque stimava il numero dei pozzi in circa 54.000, ma con dati insufficienti e con molte regioni senza dati.

Si continua a perforare e ad attingerne acqua senza preoccuparsi dei riflessi sui corpi idrici sotterranei. Senza valutazioni di volumi delle falde, controllo dei prelievi, studio delle interconnessioni tra acque superficiali e sotterranee per evitare stress idrici con l'abbassamento progressivo delle falde come è accaduto in varie territori.

SCAVI NELLA ROCCIA. TAGLIATE, LABIRINTI, CANALI, E I PRIMI ACQUEDOTTI

Ai piedi del versante sud-est del colle di Ansedonia, colpisce la *Tagliata*, l'opera *testimonial* di un'opera di ingegneria realizzata dagli Etruschi con incredibile perizia per ottimizzare flussi e riflussi delle acque marine, evitando l'insabbiamento dei loro campi agricoli. Nella roccia incredibilmente *tagliata*, si notano gli incassi delle paratie con le quali aprivano e chiudevano il canale che ancora oggi, in condizioni di mare agitato, regola la dinamica delle acque. È una delle opere più impressionanti e fuori da ogni immaginazione, come lo scavo dei canali di drenaggio verso l'interno della Maremma e fino al lago di Burano, che impedivano l'impaludamento evitando che il deflusso dell'acqua li colmasse di sabbia, intasandoli. La roccia incredibilmente *tagliata* ampliò le superfici bonificate e successivamente coltivate.

Nei pressi, c'è lo *Spacco della Regina*, la fenditura naturale della roccia che svolgeva le stesse funzioni e che una frana rese inseribile e venne utilizzato come area per rituali religiosi. Le pareti portano ancora i segni degli antichi colpi di scalpello.

Anche la tecnica agraria per il riutilizzo dell'acqua piovana era praticata nella Maremma etrusca, con le piogge raccolte e conservate. Ma l'assoluta novità di quel tempo, furono i primi

acquedotti che sotto-attraversavano le città, rivoluzionando i tradizionali approvvigionamenti idrici dei popoli antichi. Una delle reti di trasporto dell'acqua è il sistema di gallerie scavate sotto la collina di *Clevisin*, l'antica potente Chiusi governata dal leggendario Lucumone Lars Porsenna. Sono gallerie alte oltre due metri e larghe uno, scavate in perfetta lieve pendenza e intervallate da sfiatatoi. A lungo quel dedalo di condotti furono identificati dagli etruscologi come il “*Labirinto di Porsenna*”, parte del mausoleo descritto da Plinio nella *Naturalis Historia*, citando Varrone, che appariva come un “...*un labirinto inestricabile, dove se qualcuno vi entrasse senza un gomitollo di lino, non potrebbe trovare l'uscita*”, con le spoglie di Porsenna deposte in un sarcofago poggiato su un cocchio trainato dalle statue di dodici cavalli, vegliato dalle rappresentazioni di una chiocchia con cinque pulcini, e il tutto realizzato con l'oro. Da millenni era in corso la più lunga e vana caccia al mitologico “*Tesoro di Porsenna*” finché non scoprirono che il *labirinto* altro non era che l'acquedotto etrusco del V secolo a.C. della città, con il suo intreccio di cunicoli che conducono alle cisterne di raccolta dell'acqua piovana e di acqua di falda. Ogni città etrusca aveva la sua rete sotterranea di raccolta e drenaggio dell'acqua, collegata in superficie da pozzi verticali. La conoscenza dei fondamenti dell'idrologia, ingegneria e geologia permise la posa di condotte di terracotta che la distribuivano a fontane e cisterne nell'area urbana. Grazie a accorgimenti tecnici, superavano differenze di livello e eliminavano acqua e umidità stagnante nei sottosuoli cittadini ricchi di falde, scavando canali sotterranei di deflusso.

Un altro esempio delle loro capacità idrauliche è l'emissario del lago vulcanico di Nemi, una galleria di 1.653 metri e larga 80 centimetri che regolava il livello delle acque del lago tutelando dagli straripamenti i coltivi e anche il tempio di Diana Aricina, edificato sulla sua riva. Il meccanismo di regolazione è una chiusa rudimentale ma efficiente, con una grata forata di tufo e con sistemi di scorrimento anch'essi in tufo. A scavare la galleria furono due squadre partite dagli estremi opposti e impegnati notte e giorno a 80-100 metri sotto la montagna in un lavoro senza protezioni e nemmeno pozzi di aerazione. La condotta artificiale faceva scorrere le acque del bacino verso il piccolo Lago di Vallericcia, a quote più basse, utilizzato per l'irrigazione, da dove partiva un'altra galleria che scaricava acqua nel mare presso Ardea. Dal 1920 al 1932 il canale fu rimesso in funzione per prosciugare il Lago di Nemi permettendo il recupero di due navi imperiali di Caligola affondate nel I secolo d.C.

Non meno stupefacente è il Ponte Sodo di Veio, un'altra galleria lunga 76 metri ma larga 8 e alta 7, scavata nella roccia vulcanica con la doppia funzione di scaricare le acque del fiume Crèmera, affluente del Tevere, e evitare o almeno ridurre le sue inondazioni. E anche le canalizzazioni ispezionabili scoperte all'interno delle possenti mura di Perugia dimostrano la prima presenza di acquedotti con annessi reti fognarie. L'acqua veniva prelevata da numerosi pozzi-cisterna e immessa in tunnel di ottima tenuta, e una seconda rete di tunnel sigillati con malte e disseminati all'interno della città scaricavano le acque usate con le loro forti pendenze portandole fuori dalle mura attraverso piccole uscite chiamate “*postierle*”. Anche a Orvieto hanno lasciato un altro palinsesto di ingegnosi sistemi idraulici per il recupero di acqua di falda grazie ad una rete di cunicoli ricavata nelle viscere della rupe. A Bolsena, invece, il rifornimento idrico arrivava dai lunghi condotti allacciati al “*lago che si beve*”, come definivano il lago vulcanico. Un'altra rete idrica etrusca è sotto le rovine dell'antica Surina, la prima Viterbo, che sorgeva nei pressi della sorgente termale sulfurea, oggi appena fuori città. Il sottosuolo roccioso è attraversato da numerose canalizzazioni e la loro disposizione rivela anche un'ottima conoscenza della geologia dei luoghi.



Labirinto di Porsenna



La prima globalizzazione di tecnologie per acquedotti, cloache, terme, latrine

DALL'ULTRARESISTENTE CEMENTO IDRAULICO ROMANO AL CALCESTRUZZO

L'invenzione dello strabiliante *opus caementicium*, grazie al quale i Romani costruivano opere eterne anche nell'acqua, in parte resistenti fino ad oggi con ciò che resta di antichi ponti, moli, frangiflutti, dighe, banchine portuali e fluviali. Erano tre i principi ispiratori delle opere romane: *firmitas*, *utilitas* e *venustas*. La stabilità integrata a resistenza, funzione d'uso e bellezza. E la composizione chimica della malta romana garantiva una resistenza strutturale superiore, in virtù della particolare miscela di calce chiamata *pulvis puteolanus*, la *pozzolana* mista a ceneri vulcaniche, limo dei Campi Flegrei, frammenti di tufo, mattoni e cocci perché la "*structura caementicia*" descritta da Vitruvio nel *De architectura*, come scrive Plinio nella *Naturalis Historia*: "... diventa una massa unica in pietra, inespugnabile alle onde e ogni giorno più resistente del giorno precedente".

L'impasto formava un calcestruzzo sempre più resistente nel tempo la cui forza derivava dalla reazione dell'acqua di mare con il materiale vulcanico, che origina nuovi minerali che lo rinforzavano. Marie Jackson, geologa dell'University of Utah, scoprì il segreto nel minerale *tobermorite alluminosa*, che si forma quando calce, acqua di mare e cenere vulcanica vengono a contatto, generando quella reazione che compatta ulteriormente la struttura cementizia, evitando crepe o altri indebolimenti che si possono formare al suo interno.

LA CLOACA MAXIMA, LA "FOGNA PIÙ GRANDE" E ANCORA FUNZIONANTE

Iniziarono a scavarla 2636 anni fa, inizialmente come rete di fossati di drenaggio di acque nelle vaste zone malariche sotto i sette colli, e divenne l'opera leggendaria, il capolavoro della più resistente condotta fognaria del mondo, la prima e più lunga infrastruttura di scolo e fognaria dell'antichità, prototipo di tutte le opere idrauliche di drenaggio che potrebbe continuare a svolgere il suo compito anche ai giorni nostri. La *Cloaca Maxima* Plinio il Vecchio la celebra con orgoglio come "*Incollabile ed*

eterna [...] l'opera massima, perché, a costruirla, si dovettero scavare intere colline [...] è l'opera più notevole che si possa menzionare, visto che costrinse a fare gallerie nei colli di Roma, facendola diventare una città pensile [...] vi si poteva navigare sotto e raccoglieva sette corsi d'acqua che scorrendo impetuosi trascinavano via tutto".

Per l'epica impresa furono coinvolti i più abili esperti di acque e canalizzazioni ed eserciti di scavatori con schiavi e prigionieri spinti, con pochi arnesi rudimentali e coperti alla meglio, nell'umido e nel fango delle paludi della valle del Tevere. Con picconi e pale o a mani nude estirparono ettari di vegetazione e monumentali alberi con le radici immerse nell'acqua. Molti ci lasciarono la pelle: sapevano di essere avviati a morte sicura nella mal aria infestata dalla misteriosa malattia che uccideva senza misericordia tra gli spasmi delle febbri primitive. Il morbo acquatico, la malaria, avrebbe inferito sulle popolazioni per altri venticinque secoli, sterminando chi entrava nei *loci palustres*, fino alla scoperta della cura nel miracoloso chinino e del vettore nella micidiale zanzara *Anopheles*. Era inizialmente un lungo e largo fossato di drenaggio

con alcune canalizzazioni, e seguiva in leggera pendenza il percorso del Tevere, nel quale scaricava le acque di ristagno. Il primo tratto era un fognone a cielo aperto lungo circa 800 metri, come testimoniano i fori ricavati per i passanti di legno che



Cloaca Maxima



sostenevano alcuni ponticelli per l'attraversamento. Gli argini erano robuste pareti di blocchi di pietra gabina, prelevata dalle cave della di Gabii, sulla via Prenestina. Ma man mano che la città si espandeva il canale che collegava il Foro al Tevere diventava il collettore della rete fognaria e delle acque di scolo della città. I canali principali furono ricoperti tra il II e il I secolo a.C., e via via allungati e ampliati fino a consentire il passaggio di due carri di fieno, ricorda Strabone, e liberarono dall'acqua le aree del Foro, del Circo Massimo e della Suburra, prosciugando le paludi del Velabro Maggiore fra Aventino e Palatino, e del Velabro Minore fra Palatino e Capitolino.

Nei secoli successivi, fu ulteriormente ingrandita con altri rami sfocianti nel Tevere, prosciugando anche le aree oggi tra Quirinale, Viminale ed Esquilino. Nell'epoca papale, furono convogliati nella cloaca *chiaviche* e *chiaviconi* che ricevevano le acque nere dalle abitazioni, e le acque piovane raccolte dalle *chiavichette* laterali lungo le strade principali di Roma, autentiche fogne a cielo aperto ricoperte intorno al 1830, sboccanti nel Tevere. Il monumentale sistema di canalizzazione sarebbe ancora oggi funzionante, in parte è percorribile scendendo gli scalini di ferro dal chiusino ai piedi della Basilica Giulia, con la dovuta attrezzatura speleologica. È a 10 metri di profondità, pavimentata con lastre di travertino la copertura a volta, con gallerie alte 2,70 metri e larghe 2,12 nel tratto iniziale, che aumentano progressivamente di dimensione fino ai 3,30 metri di altezza e a una larghezza di 4,50 allo sbocco nel fiume. L'acqua raccolta è ormai solo quella limpida dal ruscellamento di piccoli corsi tributari del Tevere, spinta in pendenza verso lo sbocco imponente sotto il grande arco della Porta Stercoraria edificata a pelo d'acqua nel 100 a.C. e dedicata al dio Sterculo protettore di escrementi e concimazione dei campi. L'uscita è oggi sotto il piano stradale, all'altezza della Sinagoga.

Anche i suoi tombini dai quali colavano acque nere e piovane erano autentiche opere d'arte con bassorilievi in marmo e fogge lavorate. Riportavano spesso immagini di divinità fluviali a bocca aperta o semiaperta da dove fluivano le acque. Il più celebre tombino di Roma - chi lo immaginerebbe? - è la Bocca della Verità, immortalata da Audrey Hepburn e Gregory Peck in *Vacanze romane* e tra le principali attrazioni della Capitale. Murata in una parete di Santa Maria in Cosmedin, è un enorme tombino a disco di marmo frigio, scolpito in bassorilievo. Raffigura un volto maschile, forse Poseidone o Oceano, con occhi, narici e bocca cavi, lavorato con estrema cura artistica.

LA LATRINA. LA TECNOLOGICA INVENZIONE DEL GABINETTO

Nella Città Eterna, nel III secolo dopo Cristo, se le abitazioni aristocratiche in avevano condotte collegate direttamente sia all'acquedotto che alla cloaca, il popolo, più o meno nell'età repubblicana, utilizzava l'invenzione benemerita della *latrina*. Erano funzionanti 144 latrine pubbliche di varie dimensioni, complessivamente con circa 4.000 "posti a sedere". Erano saloni ai quali si accedeva da un vestibolo, e alle pareti c'erano le sedute di marmo con i relativi fori, in fila e distanziati. "*I romani* - scrive Strabone nella Geografia - *hanno pensato soprattutto a ciò che quelli [i precedenti] avevano trascurato: a pavimentare vie, a incanalare acque, a costruire fogne che potessero evacuare nel Tevere tutti i rifiuti della città tanta è l'acqua condotta dagli acquedotti da far scorrere i fiumi attraverso la città e attraverso condotti sotterranei*".

Il nome *latrina* derivava da *lavatrina*, indicando inizialmente la stanza da bagno con i primi gabinetti ricavati nelle case patrizie. Niente di più di una seduta fornita di un foro ovale, con sotto un canale di scolo verticale terminante in un pozzo nero ripulito periodicamente, e smaltito in cloaca o nei campi. Nel III secolo a.C., si diffusero le latrine pubbliche per la moltitudine dei romani, con una rigorosa separazione dei sessi. Erano gestiti da privati e si entrava inizialmente a pagamento, ma nel 33 a.C. il *Curator* Agrippa inaugurò la gratuità dei bagni pubblici per garantire la massima igiene urbana. In genere erano ambienti rettangolari o semicirculari, con *sedute* per più persone contemporaneamente, ognuna delle quali poteva scegliere una postazione lungo la parete, la *Sellae pertusae* che poteva essere di pietra o marmo. Due braccioli scolpiti a forma di delfino servivano da

appoggio e separavano i sedili. Talvolta, in alto, c'erano nicchie con statue di eroi e di divinità, e altari.

Erano due le tipologie di latrine: a secco e ad acqua corrente. Nelle prime, sotto le sedute si accumulavano gli escrementi che periodicamente venivano rimossi e utilizzati per la fertilizzazione nelle campagne, con procedure analoghe a quelle per gli escrementi degli animali, con l'accumulo per la maturazione. Nelle seconde, molto più igieniche e presenti agli impianti termali, l'acqua *caduca* dell'acquedotto era in perenne scorrimento sotto il sedile nella canaletta portando via i liquami in tempo reale e scaricandoli attraverso grossi tubi di terracotta in cloaca, dove tutto scorreva verso il fiume a 2,5-3 metri sotto il piano viario. Le urine, invece, venivano raccolte separatamente. Gli orinatoi pubblici utilizzavano anfore o vasi svuotati dai *fullones* o *coriarii* per essere utilizzate per tingere e conciare stoffe e pelli. Sistemi esportati fino ai confini dell'impero, e nel nord dell'Inghilterra, nelle fortificazioni del Vallo di Adriano, sono stati rinvenuti locali con latrine ad acqua corrente.

L'ACQUA CALDA DELLE THERMAE

Nella Roma antica, le grandiose *thermae*, erano vere oasi di benessere dove, dopo ogni battaglia, si curavano ferite e si ritemprava lo spirito. Il relax termale entrò stabilmente nelle abitudini dei Romani. Inizialmente per soli uomini, in seguito aperte alle donne, richiedevano enormi e costanti rifornimenti di acqua - le sole terme di Caracalla utilizzavano circa 200 litri di acqua dell'acquedotto al secondo, con volumi quotidiani oggi sufficienti a soddisfare i bisogni di una città di 70.000 abitanti - e nella Roma del III secolo d.C., c'erano 11 stabilimenti termali imperiali.

Erano costruzioni monumentali, con giardini e fontane, ninfei e palestre, biblioteche e sale per conferenze, spazi per giochi e spettacoli, sale d'esposizione e ambienti per pubbliche letture e declamazioni poetiche. Chi entrava, si immergeva in un santuario del salutismo, poteva scegliere tra massaggi e saune rilassanti e purificanti con aromi e unguenti, immersioni in acque calde o fredde. Divennero presto il cuore della vita mondana, luoghi di affari, amori, e anche di intrighi e complotti. E si diffusero in ogni angolo dell'impero, favorite dallo sviluppo degli acquedotti nel primo secolo avanti Cristo e delle tecniche di riscaldamento dell'acqua.

Tra i più grandi impianti, nella capitale dell'impero c'erano le terme di Tito, di Nerone, di Adriano, di Caracalla e di Diocleziano, che insieme occupavano una superficie di





12 ettari. La gestione era nelle mani di un *conductor*, che aveva diritto ad esigere il *balneaticum*, la tassa d'ingresso, un quadrante, la moneta di bronzo del valore più basso, i ragazzi entravano gratis. Al riscaldamento dell'acqua e degli ambienti provvedevano i *fornacari*, che giorno e notte erano addetti ai forni, mentre gli *acquarii* gestivano il complesso sistema idraulico. Potevano ospitare contemporaneamente anche fino a 2.600 persone in ambienti particolarmente curati, decorati, con saloni affrescati o creati per stupire con stupefacenti grotte sottomarine e saloni con piscine adornate con sculture a tema.

Il loro primo ambiente era l'*apodyterium*, lo spogliatoio, dal quale si passava nel *tepidarium* che favoriva la traspirazione del corpo e preparava alle temperature del *calidarium* orientata a sud-ovest per sfruttare il calore del sole e messo al centro delle stanze calde per irradiare calore e conservarlo il più a lungo possibile. Il *calidarium* aveva una forma rettangolare con due spazi: il primo con l'*alveo*, un'ampia piscina per il bagno, il secondo il *labrum*, la conca di forma rotonda al centro della quale zampillava acqua. Poi si entrava nel *frigidarium*, l'ambiente più vasto con la piscina più grande, che si affacciava all'esterno. C'erano poi

l'*heliocaminus*, lo spazio destinato alle cure solari e con la palestra in un cortile porticato a pianta quadrata a sua volta formato da vari ambienti come l'*ephebeum* per i più giovani, il *coryceum* per il gioco della palla, lo spazio per il consumo dei pasti, il *conisterium* e l'*elacothesium* per massaggi.

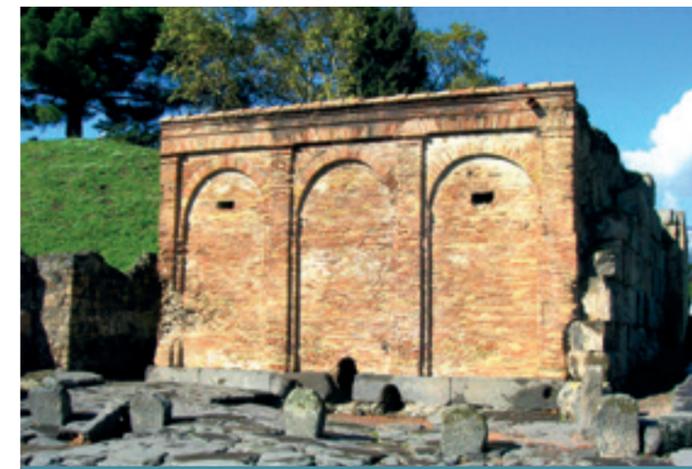
L'ACQUA (NON GRATIS) RIPARTITA DAI CASTELLA AQUAE

Il racconto dell'acqua nella Roma antica si deve al *De aquaeductu urbis Romae*, il trattato sugli acquedotti firmato, nel I secolo d.C., da Sesto Giulio Frontino, il più celebre *Curator aquarum* dell'antichità, ingegnere militare e già Governatore della Britannia. A lui, nel 97 d.C., l'imperatore Nerva affidò il prestigioso incarico dell'amministrazione pubblica delle acque, e l'orgoglio delle realizzazioni lo portò a scrivere: «Nessuno comprenderà le inutili piramidi... né gli inutili pensieri o le opere famose dei greci, in confronto a questi acquedotti».

Frontino raccontò gli acquedotti nei minimi particolari: dalle caratteristiche della *fistula aquaria* ovvero il condotto, al lavoro degli *acquarii* addetti alla pulizia degli acquedotti, dalle regole di

ripartizione dell'acqua alle *fraudes*, le frodi e le manomissioni. Descrisse il complesso sistema di approvvigionamento urbano e suburbano, unico per monumentalità, capillarità e funzionalità, in grado di stupire il mondo anche oggi, per l'intera rete di condutture sopraelevate e sotterranee lunga complessivamente oltre 500 chilometri, con 47 chilometri su arcate in sopraelevata. L'acqua era un bene pubblico, fonti e fiumi erano di proprietà statale e destinati all'*usus publicus*, e solo su concessione speciale dell'imperatore o con pagamento di un tributo potevano essere sfruttati per usi privati. Le sanzioni per chi sgarrava con captazioni private abusive, usi fraudolenti, manomissioni di infrastrutture, inquinamento, sabotaggi, erano salate, fino a 100.000 sesterzi più i risarcimenti e la riparazione dei danni, qualcosa come 600.000 euro di oggi. In caso di danno senza intento di frode, la condanna era di ripararlo. Nei casi peggiori, carcere e pena di morte. Le norme regolavano le servitù degli acquedotti, le proprietà demaniali, i prelievi subordinati ai calcoli delle portate. Livio e Plutarco narrano che il censore Catone, nel 184 a.C., fece demolire le derivazioni abusive realizzate da privati per irrigare i loro giardini e condurre l'acqua nelle loro ville.

Al suo arrivo in città dall'acquedotto, l'acqua veniva immagazzinata con sistemi di pompaggio e valvole e pistoni nei *Castella aquae*, le torri circolari con all'interno 3 cisterne di decantazione, delle vasche concentriche o a cascata da dove venivano allacciate le condutture di ripartizione con flussi gestiti con primi rubinetti in bronzo o in lega di piombo. L'acqua della prima cisterna era destinata a fontane e piscine pubbliche; l'acqua della



Castellum aquae



Giovanni Battista Piranesi - Avanzo del Castello dell'Acqua Claudia e Anione Nuovo

seconda cisterna era indirizzata verso teatri, bagni e terme; quella della terza cisterna a *villae*, fontane e fulloniche private. È leggenda l'abbondanza di acqua potabile a Roma. Anche quando la popolazione superò il milione di abitanti, per ognuno scorreva un volume impressionante pari a circa 500 litri al giorno, il doppio del consumo medio di ogni italiano e di chi vive oggi nelle più sprecone metropoli del mondo. Il flusso ininterrotto era talmente abbondante da far scrivere a Dionigi di Alicarnasso: «Mi sembra che la grandezza dell'impero romano si riveli mirabilmente in tre cose, gli acquedotti, le strade, le fognature».

Dai calcoli del mitico Sesto Giulio Frontino, sappiamo che a Roma il 44,2% dell'acqua spettava agli usi pubblici e alimentava 591 fontane, di cui 15 monumentali, 19 caserme, 95 edifici pubblici, circa 900 tra piscine, abbeveratoi, vasche e lavatoi pubblici, 2 bacini per naumachie dove di inscenavano combattimenti navali e 3 laghi artificiali. Il 38,6% della risorsa era destinato ai privati su concessioni a pagamento, e ai teatri; il 17,2% agli 11 stabilimenti termali imperiali e a 926 *balnea* e latrine rifornite generalmente di acqua "in eccesso" o caduca, non potabile, utilizzata anche per la pulizia di strade e fogne. La diversa qualità dell'acqua disponibile la rendeva idonea a usi diversi. Frontino indica quella dell'*Aqua Marcia* come *optima* da bere, quella della *Virgo* buona per le piscine e quella dell'*Anio* per l'irrigazione. Alle utenze private era imposta una tariffa con un importo fisso calcolato in proporzione al diametro della tubazione di allacciamento. Dalle sue dimensioni si risaliva alle quantità di acqua erogate. E in caso di crisi idrica, rotture o interruzioni nella rete degli acquedotti, la priorità era l'uso pubblico, chiudendo i rubinetti della terza vasca.

La gran parte della popolazione romana si serviva da fontane pubbliche. L'acqua in casa o in villa era un lusso per privilegiati. All'acqua trasportata con gli acquedotti, i Romani affiancavano anche quella piovana, immagazzinata in bacini all'aperto per abbeverare gli animali o nelle *domus*, raccolta attraverso un'apertura sul tetto, il *compluvium*, corrispondente ad una vasca a fondo piatto sul pavimento, l'*impluvium*. E aggiungevano gli antichi "pozzi verticali" collegati a lunghi cunicoli-spugna, le *qanat* romane scoperte tra il Pincio, l'Aventino e il Salario che assorbivano le acque piovane dai colli e captavano le falde. Non mancavano nei campi i pozzi con l'acqua facilmente raggiungibile nel sottosuolo alluvionale, a partire da 4 metri di profondità. La massa d'acqua era impressionante.

LE ISTRUZIONI PER L'USO DELL'ACQUA DI VITRUVIO, PLINIO E COLUMELLA

Marco Vitruvio Pollione, teorico dell'architettura e dell'idraulica, scrisse il suo ponderoso trattato *De Architectura* in 10 volumi tra la fine degli anni 30 e i primi anni 20 a.C., dedicandolo ad Augusto. È un compendio di studi e regole tratti anche da testi di autori greci come Teofrasto, Timeo, Posidonio, Egesia, Erodoto, Aristide, Metrodoro. Spiegava anche come gestire le acque e canalizzarle, con quali tecniche e materiali costruire condotti, le differenze tra le aree climatiche e le caratteristiche dei terreni per individuare quelli più adatti all'agricoltura. Sulla tipologia delle acque consigliava: "Chi va alla ricerca dell'acqua deve rivolgere la propria attenzione ai diversi tipi di terreno, poiché

è in determinati terreni che essa nasce. Nell'argilla la quantità è esigua, sottile e poco profonda. Il suo sapore non sarà particolarmente buono. Nella sabbia di grana rossa sarà ugualmente esigua, ma si troverà ad una maggiore profondità. Sarà limacciosa e di sapore sgradevole. Nella terra nera, invece, si trovano umori e gocce sottili che si raccolgono in seguito alle tempeste invernali e si depositano nelle zone compatte e consistenti. Questi hanno un sapore ottimo. Nella ghiaia poi si trovano vene d'acqua modeste e irregolari. Anch'esse hanno un gusto veramente squisito. Nel sabbione argilloso e nella sabbia e nella terra rossastra si trovano quantità più sicure e più costanti, e in più hanno un sapore gradevole. Nella roccia rossa se ne trovano tanto abbondanti quanto buone, se non si disperdono scolando attraverso gli interstizi".

Dava indicazioni su come immagazzinare e conservare l'acqua piovana in cisterne: "Se poi si scavasse in terreno duro, oppure non si trovasse a qualunque profondità vena d'acqua, allora si devono raccogliere acque o dai tetti, o da altri luoghi alti, nelle cisterne con lastrico di smalto...le conserve d'acqua, ove si costruiscano duplicate o triplicate, in modo che dall'una all'altra si possano tramutare colando le acque, ne renderanno assai più salubre l'uso...e conserverà il suo naturale sapore". E sulle condutture consigliava: "Quando si fa scorrere dell'acqua nelle tubature, si genera inizialmente una forte pressione dell'aria in grado addirittura di spaccare le pietre; è quindi opportuno che l'acqua della sorgente sia immessa gradualmente e senza impeto e che si abbia l'accortezza di fissare saldamente al suolo e di zavorrare i gomiti e le curvature...Prima di introdurre per la prima volta l'acqua nelle tubature è anche bene introdurrevi una quantità di cenere sufficiente ad otturare eventuali fessure rimaste... È consigliabile inserire dei serbatoi ogni duecento acri (780 metri

circa, ndr) in modo che in caso di guasti non venga compromesso l'intero acquedotto e si potranno facilmente individuare le rotture".

La *Naturalis Historia*, il compendio tecnico-scientifico in 37 libri composto da Gaio Plinio Secondo, è un'altra enciclopedia di scienze naturali che tratta anche dell'acqua in relazione alla geologia dei terreni e alle stagioni, alle tecniche di adduzione e al sistema di cloache, agli acquedotti e agli emissari dai laghi, alla costruzione delle cisterne con i vari tipi di calce. In epoca ne-roniana, Lucio Giunio Moderato Columella, tribuno esperto in scienze agrarie e autore di altri 11 volumi del trattato *De re rustica*, suggeriva nuove tecniche ai veterani delle guerre che affrontavano il nuovo mestiere di agricoltore: "Entro il recinto della fattoria o condottavi dall'esterno ci sia una sorgente d'acqua viva...Se l'acqua corrente mancherà si scavi un pozzo nelle vicinanze che non sia troppo profondo e l'acqua del quale non abbia gusto amaro e salso. Se non si potrà fare nemmeno questo e non ci sarà assolutamente speranza di avere acqua viva, saremo costretti a costruire vaste cisterne per gli uomini e abbeveratoi per le bestie. L'acqua piovana, del resto, è la migliore per mantenersi sani; ma per essere considerata eccellente deve arrivare alla cisterna in tubi di terracotta, e la cisterna deve essere chiusa. Subito dopo l'acqua piovana, viene quella che scende dai monti, purché scorra in pendio molto ripido e fra i sassi...Terza viene l'acqua di pozzo scavato in collina o anche nella valle, ma non troppo in basso. Pessima è l'acqua che scorre lenta e s'impaluda. Quella poi che sta sempre ferma nella palude è pestilenziale. Eppure anche questo liquido, per natura sua tanto nocivo, d'inverno si migliora mescolandosi alle

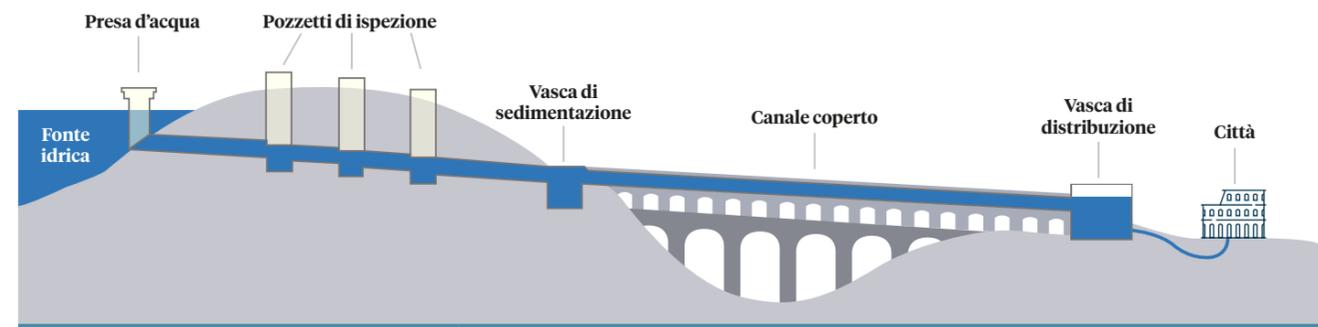
piogge: cosa che dimostra ad evidenza la bontà dell'acqua che viene dal cielo, se è capace di rendere innocuo il veleno dell'acqua marcita. Ma ho già detto appunto che l'acqua piovana è la migliore per bere. I ruscelli scorrenti giovano moltissimo a temperare i calori estivi...se le condizioni della regione lo permettono si faranno passare attraverso la fattoria comunque siano purché abbiano acqua dolce".

LA COSTRUZIONE E LA MANUTENZIONE DELL'ACQUEDOTTO

"Chi vorrà considerare con attenzione la quantità delle acque di uso pubblico per le terme, le piscine, le fontane, le case, i giardini suburbani, le ville; la distanza da cui l'acqua viene, i condotti che sono stati costruiti, i monti che sono stati perforati, le valli che sono state superate, dovrà riconoscere che nulla in tutto il mondo è mai esistito di più meraviglioso", scrive Plinio nella *Naturalis Historia*. L'acqua iniziò a scorrere stabilmente nelle città, anche in zone semi aride, grazie a possenti capolavori tecnici che per essere costruiti mobilitavano come nelle guerre, anche fino a 30.000 lavoratori sia di giorno che di notte, tra schiavi, prigionieri, legionari, maestranze locali, tecnici, agli ordini di architetti e ingegneri e del *curator aquae*. Riuscivano a far passare gli *specus*, i canali dell'acqua, attraverso gallerie calcolate al centimetro penetrando montane e colline e scavando pianure realizzando ogni 20 metri un pozzo verticale per scaricare le terre di scavo e fornire un po' d'aria fresca ai minatori dell'acqua. Gli acquedotti superavano i più impervi ostacoli naturali, e l'acqua scorreva nelle condotte sugli archi di viadotti capolavori dell'ingegno, anche a due o tre arcate



COME FUNZIONA UN ACQUEDOTTO ROMANO



sovrapposte, e talvolta sul primo livello c'era la strada. Calcolando la perfetta e costante pendenza, scorreva "a caduta" nel canale di pietra rivestito dal manto cementizio impermeabile, e raggiungeva per gravità le mura delle città, superandole in sovrapposte per essere immagazzinata e poi distribuita nei *castellum aquae*, i serbatoi partitori che la diramavano verso terme, ninfei, fontane, palazzi pubblici e le domus dell'aristocrazia. Venivano progettati come opere immortali, anche per stupire e meravigliare. E alcuni trasportano ancora acqua. Sono la testimonianza della prima globalizzazione della storia di una funzionale infrastruttura idrica collegata alle reti di cloache, la dimostrazione di una egemonia tecnica e idraulica che rifletteva la potenza culturale e l'idea di civiltà. Anche l'acquedotto creava consenso, legittimava l'opera colonizzatrice e riusciva più facile anche l'assimilazione dei vinti.

COME PROGETTAVANO E COSTRUIVANO L'ACQUEDOTTO?

Progettare un acquedotto era il lavoro di *architecti*, *libratores* e *plumbarii*. Ma prima di sfoderare pergamene e disegnare tracciate e misurare percorsi sotterranei e su arcate, dovevano attendere il responso dei cercatori d'acqua inviati su monti e colli più vicini alle città alla ricerca di copiose fonti di acqua con stabili portate. Spettava a loro localizzare falde, sorgenti, laghi, corsi d'acqua e, una volta accertata la buona disponibilità idrica, al loro rientro si passava alla scelta del modello costruttivo. L'acquedotto a quel punto entrava in fase realizzativa e della verifica delle disponibilità finanziarie messe a disposizione sia dalla città che dall'imperatore, della manodopera, delle eventuali difficoltà realizzative e dei tempi di consegna.

Costruire un acquedotto era un'impresa per la quale valeva la pena affidarsi anche alla protezione divina e ringraziando gli dèi

attraverso sacrifici e opere *ex voto*. Se infatti era certa la data d'inizio, era molto meno sicura quella della fine per le troppe variabili in campo, a cominciare dai finanziamenti che spesso finivano per gravare sull'erario della città, sui sesterzi di facoltosi privati e la benevolenza dell'imperatore. I costi erano considerevoli. L'acquedotto dell'*Aqua Marcia* di Roma del 144 a.C., lungo 91 km, raggiunse l'enorme cifra di 180 milioni di sesterzi, e per l'*Aqua Claudia* e l'*Anio Novus* sborsarono altri 350 milioni di sesterzi. Ogni milione di sesterzi varrebbe oggi oltre 6 milioni di euro, e quindi la sola *Aqua Marcia* oggi sarebbe costata 1 miliardo e 80 milioni, più o meno il costo attuale di un'opera simile.

Acquisite le disponibilità, si passava all'affidamento della progettazione con la verifica delle soluzioni migliori per superare problemi tecnici, di morfologia del territorio e dell'attraversamento urbano. I progettisti disegnavano non solo su fogli di papiro ma anche sul terreno con una serie infinita di pali allineati dalla fonte e ai serbatoi urbani. Determinavano la perfetta pendenza regolata con la *livella ad aqua* e anche con il *chorobates*, il cavalletto munito di filo a piombo con indici graduati. Fattibilità del progetto alla mano, con il consenso dell'imperatore e dei rappresentanti della città, iniziava la trattativa con i proprietari dei terreni lungo il tracciato per acquisti o espropri. Le trattative potevano durare il tempo di una stretta di mano oppure, in caso di rifiuto, si applicava la *servitus aquaeductus*, espropriando le aree di pertinenza. La fascia di terreno utilizzato doveva essere larga almeno 6,40 metri - la larghezza della struttura di 1,60 metri più le due vie laterali di 2,40 metri ciascuna - per permettere l'accesso a manutenzioni e rifacimenti, e da lasciare libere sia da costruzioni che dalla vegetazione. La *Lex Quinctia* del 9 a.C. tutelava rigorosamente gli spazi ai lati di canali, condotti sotterranei, archi di acquedotti e condotte, serbatoi e cisterne.

IN PERFETTA PENDENZA DALLA FONTE ALLA CITTÀ

La costruzione dell'acquedotto iniziava dalla fonte, da dove l'acqua doveva scorrere in pendenza naturale, a *caduta* nello *specus* o *canalis* rivestito di *cocciopesto*, l'amalgama impermeabile ottenuto legando terracotta e calce. L'acqua defluiva verso la *piscina limaria*, la prima di una serie di vasche di decantazione presenti lungo il percorso che avevano la funzione di sedimentazione delle impurità sul fondo evitando possibili ostruzioni. Dalla *piscina limaria* veniva immessa nel canale scavato nella roccia o nel tufo rivestito da strati di intonaco impermeabilizzante e accuratamente liscio per facilitare lo scorrimento. L'altezza dello *specus* variava da 1,30 a 2 metri di altezza e la larghezza da 0,50 a 1,20 metri. Il profilo poteva essere ellittico o rettangolare, e la copertura a volta triangolare o trapezoidale, realizzata in pietra o in cotto. Se l'acquedotto correva in superficie, lo *specus* veniva ricoperto con lastre di pietra o laterizi per proteggere l'acqua dal sole e da infiltrazioni. A intervalli regolari, negli acquedotti sotterranei, c'era il pozzo circolare, lo *spiramen*, dal quale si calavano i manutentori per raggiungere la condotta posta anche a 30 metri di profondità. L'acqua scorreva per chilometri con la sola forza di gravità grazie a una pendenza uniforme e costante. Regolare la pendenza significava regolare anche la pressione di scorrimento dell'acqua. Precisi calcoli di

ingegneria idraulica dovevano assicurare una "*caduta*" media del 2 per mille. Tra i numerosi acquedotti romani, le minori pendenze - da 0,07 a 0,67 per km - sono state realizzate per gli acquedotti di Nîmes e Antibes, le maggiori per l'acquedotto di Metz - 3,47 per km - e l'*Anio Novus* - 1,45 per km. Regolavano le pendenze anche delle grandi arcate fino a tre ordini sovrapposti che ancora oggi mostrano un'incredibile solidità, leggerezza e armonia, alte anche 50 metri e ben visibili a distanza. Gli acquedotti aggiravano colline, attraversavano vallate, perforavano montagne, correvano su archi, ponti, fossati, viadotti mantenendo un deflusso regolare per tutta la lunghezza del percorso. Per superare valli o altri ostacoli utilizzavano tecniche mai viste prima come il sistema delle *condotte forzate* o a *sifone rovescio* che provocavano la giusta pressione di scorrimento per la spinta in risalita all'estremità opposta.

Nel trasporto urbano utilizzavano *fistulae aquariae di piombo*, una condotta molto resistente ma con facilità di lavorazione, nonostante fosse già nota ai romani la nocività. I *plumbarii* potevano piegarlo a freddo e saldarlo con piombo fuso unito allo stagno. I tubi in rame o in bronzo erano molto più costosi, anche se più resistenti a forature per furti d'acqua e allacciamenti abusivi. A opera conclusa, il percorso veniva segnalato dai cippi numerati, a distanza di circa 70 metri l'uno dall'altro. Nei tratti sotterranei, invece, il tracciato era segnalato in superficie dai pozzi-tombini.





GLI ACQUEDOTTI DELL'ANTICA ROMA: COSTRUZIONE, LUNGHEZZA, PORTATA, ALTITUDINE

NUMERO	Acquedotti	Data costruzione	Lunghezza (km)	Portata l/s	Altitudine sorgente (m.l.s.m.)	Livello a Roma
1	Appia	312 a.C.	16,4	878	30	20
2	Anio Vetus	272-269	63,7	2.095	280	48
3	Marcia	144-140	91,7	2.209	318	59
4	Tepula	125	18,7	198	151	61
5	Julia	33	22,9	566	350	64
6	Vergine	19	20,7	1.161	24	20
7	Alsentina	2	32,8	198	209	17
8	Claudia	38-52 a.C.	68,8	2.152	320	67
9	Anio Novus	38-52	87,0	2.274	400	70
10	Traiano	109	57,0	1.366	-	-
11	Alessandrino	226	22,0	255	-	-
TOTALE			500,7	13.352	-	-

Fonte: EWA

GLI 11 ACQUEDOTTI DELLA REGINA AQUARUM

A Roma, quando gli abitanti superarono il milione, per ognuno

di essi erano disponibili circa 500 litri di acqua al giorno, il doppio del consumo pro-capite medio quotidiano di oggi.

RIPARTIZIONE DEI CONSUMI DI ACQUA NELLA ROMA ANTICA

- **44,2%** per usi pubblici: 591 fontane di cui 15 monumentali, 19 caserme, 95 edifici pubblici, circa 900 tra piscine, abbeveratoi, vasche e lavatoi pubblici, i 2 bacini per le naumachie che inscenavano combattimenti navali e 3 laghi artificiali.
- **38,6%** destinato ai privati per fulloniche e botteghe su concessioni a pagamento e ai teatri.
- **17,2%** indirizzato negli 11 stabilimenti termali imperiali, 926 tra balnea e latrine rifornite di acqua in eccesso o caduca, non potabile, utilizzata anche per la pulizia di strade e fogne.

149 ACQUEDOTTI IN ITALIA E 500 NEL RESTO DELL'IMPERO

La globalizzazione della tecnica idraulica correva parallela alle conquiste. Ai 149 acquedotti costruiti nella penisola, se ne aggiunsero altri 264, l'avanguardia di quelli finora scoperti: 39 in Numidia, 24 nella penisola iberica, 156 in Gallia, 20 in Britannia, 12 in Anatolia, 13 nell'Africa Proconsularis e altre decine ormai scomparsi o con resti rinvenuti in Grecia, Fenicia, Mauritania, Nabatea, Siria. Ma è una lista incompleta, probabilmente erano circa 500 nel resto del mondo conquistato. Gran parte di essi furono distrutti, e molti attendono di essere riscoperti. I Romani non affidavano nulla al fato né al caso in tema di acqua. L'approvvigionamento idrico diventava una priorità pubblica ovunque occupassero città. Dovevano trasformarle da un semplice insieme di edifici e di mura in *civitas*, nella città-stato, e l'acquedotto era l'infrastruttura primaria portatrice dell'azione civilizzatrice di Roma, e chi li faceva costruire e li gestiva acquisiva onori e gratitudine eterna, scolpita nelle



epigrafi funerarie nell'elenco dei titoli d'onore e delle grandi imprese militari e civili. Dal livello di gestione della risorsa si misurava la qualità degli imperatori e dei loro governatori nei territori. La scelta di costruire acquedotti era dettata anche da interessi militari e commerciali, di natura anche clientelare per approvvigionare aree in cui costruivano ville e residenze private, legate agli spostamenti dell'imperatore di turno. Il forte e progressivo aumento dell'investimento finanziario negli acquedotti si vede a partire dal I secolo a.C., ma soprattutto tra il I e il III secolo poiché rispondevano alle esigenze di una popolazione urbana in forte crescita.

L'acquedotto era l'icona di valori positivi, simbolo di onore e decoro insieme alle *thermae* per la rigenerazione del corpo e dello spirito e ai bagni pubblici. Per i più grandi "addomesticatori" di acque del mondo, non erano un lusso, ma un passaggio di civiltà, un servizio pubblico essenziale. Così costruirono l'acquedotto di Corinto sotto l'imperatore Adriano, lungo 132 chilometri con partenza dalla sorgente presso Stinfalo, sui monti dell'Arcadia.

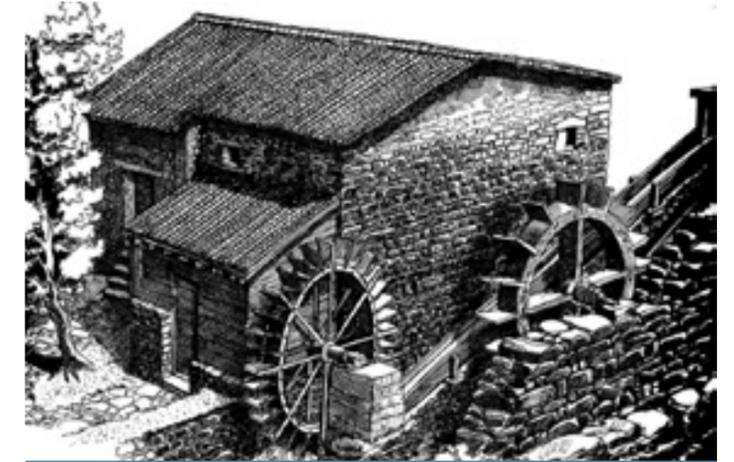
E sempre Adriano risolse i problemi di approvvigionamento idrico della nuova Atene costruendo un acquedotto lungo 18 km che portava sulla collina di Licabetto le acque delle fonti del Parnete in un serbatoio della capacità di 500 metri cubi, impreziosito da una facciata di quattro colonne ioniche. L'iscrizione commemorativa incisa sull'architrave è oggi nei Giardini nazionali.

Nel resto dell'imperium, tra le più importanti infrastrutture idriche troviamo gli acquedotti di Cartagine (132 km), il maestoso Eifel presso Colonia (78 km), gli acquedotti di Lione Gier (75 km), Lione Brevenne (66 km), Lione Mont d'Or (28 km) e Lione Craponne (25 km), di Nîmes (50 km), i due di Cherchel (45 e 35 km), di Fréjus (40 km), Tarragona (35 km), Bejaia (25 km), Metz (22 km), Sens (17 km), Maktar (15 km), Tolosa (9,5 km), Saintes (7,5 km), Antiochia (6 km). E ancora a Mérida, Carmona e Segovia nell'antica Hispania; a Caesarea e Carthago in Africa; a Magonza e Rheinbach in Germania; a Valente e a Costantinopoli, Gerusalemme e Caesarea. Testimonianze epigrafiche li attestano a Sabratha in Tripolitania.

MULINI AD ACQUA, L'ENERGIA PER LE RUOTE IDRAULICHE

Strabone, nella sua *Geografia*, ricorda il "mulino ad acqua" fatto costruire dal re del Ponto, Mitridate VI, nel 65 a.C. a Cabira, in Asia minore. Ma dobbiamo a Marco Vitruvio Pollione, la prima descrizione delle tecnologie che azionavano le ruote idrauliche verticali o orizzontali mosse dall'acqua. Plinio il Vecchio, nella *Naturalis Historia* ha lasciato scritto che ai suoi tempi per la macinazione del grano ormai si utilizzavano soprattutto le ruote "quasi acqua verso". E in effetti, tra il primo secolo avanti Cristo e il primo secolo dopo Cristo, l'invenzione tecnicamente migliorata dai Romani grandi assorbitori di culture, si diffuse in Italia con versioni di mulini via via perfezionati e con ruote e pale sempre più efficienti, più leggere e più resistenti.

Gli impianti molitori erano preziosi e ben difesi come strutture strategiche, quasi militari. A Roma, ad esempio, dal II secolo d.C. le ruote in serie giravano sul "Colle dei mulini", dall'altura del Gianicolo fino alla riva del Tevere, protetti da mura e ben sorvegliate affinché nessuno potesse manometterli o distruggerli. Scrive Procopio di Cesarea (*Guerra Gotica I, XIX*): "I Romani antichi decisero di circondare di muro il colle e la riva del fiume... affinché i nemici non potessero sciupare i molini e... facilmente procacciare danno...". Nell'assedio di Roma del 537, non a caso, il primo bersaglio fu l'acquedotto Traiano, distrutto sia per interrompere la fornitura di acqua e, insieme, quella di farina e quindi di pane per prendere i romani anche per fame. La fine del rifornimento dell'acquedotto, infatti, lasciò a secco il canale delle ruote del Gianicolo, ripartite solo nel XVII secolo quando Paolo V ripristinò il condotto dell'Acqua Paola. Nell'attesa, farina e pane venivano dai mulini natanti o galleggianti e ormeggiati al centro del Tevere dove la corrente era più forte, a valle di Ponte Sisto, nell'unico tratto protetto da mura. Erano montati su imbarcazioni a fondo piatto, assicurate da robuste funi tese da una riva all'altra, e nel tempo ormeggiarono anche versioni diverse con un barcone in mezzo al fiume e due ruote idrauliche ai lati, con la ruota tra due imbarcazioni affiancate come quelle sotto i ponti Cestio, Fabricio e Probo. Da una passerella di legno nel mulino entravano i mugnai con i muli carichi di sacchi di grano, e uscivano con sacchi di farina. Il mulino più famoso di Roma era la "Mola del Fiorentini", nei pressi di Via Giulia, a due passi dall'antico granaio sull'isola Tiberina. E i 10 mulini romani hanno fatto parte del paesaggio fluviale per oltre 1.300 anni. Nel 1746 Roma poteva contare nel corso



Ruota verticale alimentata da sotto



Ruota alimentata da sopra

urbano del Tevere su 2 mulini galleggianti a valle di Ponte Sant'Angelo, e 8 a ridosso dell'Isola Tiberina. Alcuni ostacolavano il deflusso dell'acqua e spesso la forza della corrente spezzava gli ancoraggi trascinandoli via. Finché non furono tutti travolti dalla grande piena del 1870 dopodiché, costruiti i Muraglioni, scomparvero definitivamente.

L'IMPRESA DEI 16 MULINI IN SERIE E 32 MOLE DI BARBEGAL

I Romani, da grandi inventori e costruttori, nel I secolo a.C. realizzarono il più grande complesso di mulini del mondo antico. Erano ben 16 e comparvero in sequenza a Barbegal, oggi a Fontvieille, ai piedi delle Alpi e alle porte della Camargue, presso Arles. Nella Provenza che allora era la Gallia meridionale, i Romani costruirono l'acquedotto e i mulini e mole unica, considerata la

più grande concentrazione di energia meccanica del mondo antico. L'acquedotto forniva acqua ai circa 10.000 abitanti di Arles trasportata su arcate attraversando per 12 chilometri la valle del Rodano. Ma dal punto di partenza, su una collina rimodellata per ospitare i mulini, il flusso d'acqua si divideva in due canali regolati da chiuse. Sfruttando la forte pendenza, uno di essi scaricava acqua su 8 coppie di ruote idrauliche azionando 16 ruote idrauliche in successione, del diametro di 2,20 metri e lo spessore di 0,70, e ciascuna di esse azionava attraverso ingranaggi lignei due macine. Le 32 macine producevano complessivamente in 10 ore giornaliere circa 2.800 chili di farina, una quantità industriale che bastava per fare pagnotte per 40.000 persone. Lo spettacolare complesso molitorio ha funzionato per due secoli.

ANNO MILLE. LA PENISOLA DEI MULINI CON FRANTOI, FORNI, MACINE...

Il fragore di ruote, pulegge, rotori, mole e magli tra lungofiumi e lungo i canali si sovrapponeva ai dolci suoni della natura. Era l'acqua che spingeva le economie locali con tutta la sua energia inesauribile, intercettata da flussi di cascate e salti, fiumi e torrenti, maree e venti, con ruote e tecniche molitorie sempre più efficienti. Dalla Val di Susa alle Madonie, ebbe inizio lo sviluppo della filiera dell'energia dell'acqua, con l'utilizzo in una filiera lunga quanto la penisola, articolata per settori, che metteva in movimento ruote idrauliche di ogni dimensione e numero per la macinazione del grano e la battitura del frumento, per azionare forge e martelli per la lavorazione dei metalli, magli per frantumare le pietre, attrezzi per setacciare la farina o lavorare la canapa



Mulino sul Tevere

e follare la lana muovendo folloni e telai della nuova industria tessile, meccanismi per s fibrare gli stracci, e mazze e martelli a punta, sistemi per la conciatura e l'affilatura, mole per frangere le olive, forni per fondere e lavorare il ferro, seghe per tagliare tronchi o marmi, mole per spremere essenze vegetali e ottenere colori per tingere tessuti e colorare ceramiche, congegni per azionare pompe idrauliche per l'irrigazione o per produrre la preziosissima seta. L'industria spinta dall'acqua raggiunse il massimo della produttività nel tredicesimo secolo, grazie a geniali architetti e costruttori al servizio di famiglie aristocratiche e di abati e vescovi, e di quanti disponevano dei diritti sulle acque e dei capitali necessari. Intorno ai mulini nascevano sbarramenti, pescaie e traverse, e canalizzazioni. Il mulino non fu solo la macchina dei lavori meccanici che sfruttava la forza dell'acqua. Era l'inizio di un mondo nuovo. Non a caso, nella "Regola di San Benedetto" ogni monastero aveva l'obbligo di costruire almeno un impianto molitorio. Ma non c'era feudo, castello, convento o abbazia o monastero e nemmeno un abitato che non avesse un mulino. Se nel 1086 Guglielmo il Conquistatore fece censire in Inghilterra 5.864 impianti molitori, in Italia probabilmente erano molti di più, e di ogni dimensione, e i primi Statuti comunali descrivevano norme per la loro gestione, essenziale anche per la produzione alimentare³.

Le ruote idrauliche erano spinte anche dall'acqua corrente di una "gora", il canale artificiale parallelo al fiume nel quale veniva deviata parte dell'acqua fluviale, con portate costanti garantite manovrando le chiuse e accelerando o rallentando la velocità del flusso, e determinando la velocità di rotazione delle ruote e la sicurezza delle portate dovuta anche ai minori sedimenti e altri materiali trasportati dalla corrente fluviale.

Erano di diverse tipologie. C'era l'impianto molitorio con ruota orizzontale, cosiddetto "ritrecine", il mulino con ruota verticale inserito anche all'interno di strutture in muratura o in legno, il mulino "natante" sostenuto da imbarcazioni galleggianti, il mulino "a marea" azionato dalle correnti marine in particolare lungo l'Adriatico, infine i mulini a vento o eolici chiamati anche "Acquimoli", soprattutto lungo le coste tra Marche e Abruzzo, con le loro 4 vele verticali mosse dal vento che azionavano le macine del grano. Erano anche un punto di orientamento per la navigazione, e si diffusero approfittando dell'assenza di gabelle per lo sfruttamento dei venti. Nelle saline muovevano le pompe per spingere l'acqua di mare da una vasca all'altra.

³ Associazione nazionale amici dei mulini storici www.aiams.eu

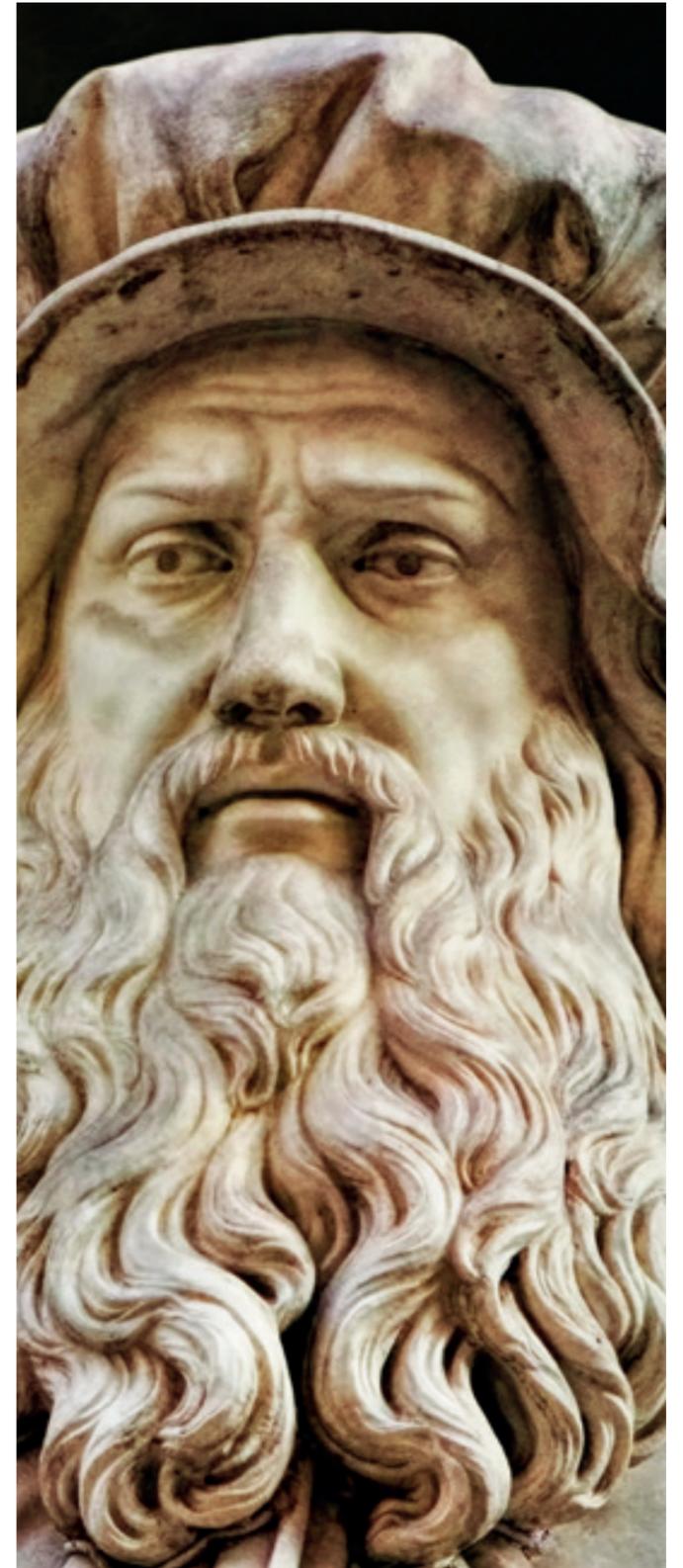
Le tecnologie della scuola idraulica italiana dal Cinquecento

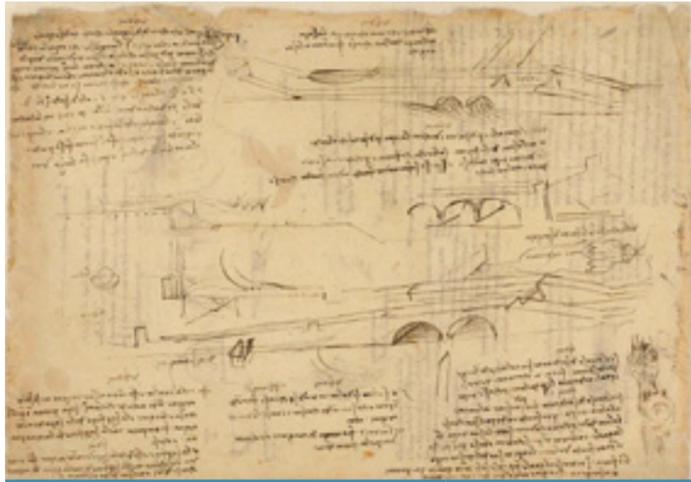
LEONARDO IL GENIO ASSOLUTO

C'è da perdersi di fronte alla immensa mole di studi, opere, schizzi, disegni, dipinti, invenzioni, progetti, teorie spiazzanti, roboanti realizzazioni, pensieri talvolta inafferrabili ma da far invecchiare di colpo tanta parte del pensiero scientifico e delle tecniche precedenti, e con una tale trasversalità scientifica e autorevolezza acquisita in tutti i campi di applicazione che uno penserebbe a una *chat bot* interfacciata con sistemi di Intelligenza Artificiale, e non ad un solo uomo, a Leonardo l'*Homo Novus* del Rinascimento, con quel poco che aveva a disposizione, il nulla rispetto ai tempi nostri.

Dei suoi lavori e delle sue realizzazioni per i potenti del tempo - dai Medici ai Borgia, dagli Sforza al re di Francia - restano studi e preziosi manoscritti, tra questi il *Codice Atlantico* e i 9 tomi del trattato *Del moto e misura dell'acqua*, dove anticipava il futuro per come analizzava e descriveva i *moti* dell'acqua, velocità e distribuzione dei flussi, formazione di vortici e onde e scie, il salto idraulico, la misurazione delle portate nelle condotte, la meccanica delle ruote idrauliche. Leonardo inventava strabilianti marchingegni molitori, marittimi, fluviali, sistemi di scavo, pale di ruote idrauliche e rotori di mulini e gualchiere, disegnava nuove imbarcazioni per fendere l'acqua con il massimo risultato, anemometri, pompe idrauliche, sofisticati sifoni, turbine, contatori di lunghezze per misurare i fiumi, *fontane da tavola* dalle quali poteva sgorgare acqua o anche vino, *automi idraulici*. Inventò persino il "*modo di camminare sopr'acqua*" con due otri di pelle gonfi d'aria allacciati ai piedi e due braghe manovrate a mano con due racchette, remi palmati "*a uso di piè d'oca*", guanti per nuotare in mare e uno "*strumento salvagente*" per salvarsi dai naufragi, persino un respiratore subacqueo a canna e sughero. Progettò ingegnosi sistemi di sollevamento dell'acqua per farla arrivare sulla sommità di castelli e palazzi, studiò i sistemi molitori più efficaci, macchine escavatrici, sistemi di conche e geniali chiuse, canali a più livelli, dispositivi per potenziare l'irrigazione.

Sapeva bene che "*la natura è piena d'infinite ragioni*", ma invitava a diffidare e a non abusarne e a gestire gli elementi naturali, e soprattutto l'acqua, per lo sviluppo delle città, la navigazione, la produzione agricola, le manifatture. L'acqua, per Leonardo, con le sue potenzialità illimitate poteva trasformarsi persino in arma bellica, trasportando più velocemente eserciti e armamenti e merci. Inventò architetture e macchine idrauliche di ogni tipo,





Leonardo Da Vinci, Codice Atlantico - Ponti, canali e barche

nuovi ponti smontabili, canalizzazioni, arditi collegamenti fluviali. Si occupò di bonifiche e del riassetto di territori “per fuggire le alluvioni e la ruina”. Scrive nel *Codice Atlantico*: “Ma con quali vocaboli potrò io descrivere le nefande e spaventose inondazione, contro alle quali non vale alcuno umano riparo, ma con le gonfiate e superbe onde ruina li alti monti, dripa le fortissime argine, disvelle le radicate piante e colle rapaci onde, intorbidate delle cultivate campagne, portando con seco le intollerabili fatiche di miseri e stanchi agricoltori, lascia le valli denudate e vili per la lasciata povertà”. Ammoniva i

potenti che lo ingaggiavano, spiegando che i “*monti sono disfatti dalle piogge e dalli fiumi [...] L'acqua riempie le valli, e vorrebbe ridurre la terra in perfetta sfericità, s'ella potessi*”. Ma continuava a progettare soluzioni perché l'acqua “*non ha mai quiete, insinoché non si congiunge col su o marittimo elemento*”. Come attestano le collezioni vinciane - presso il Museo Galileo di Firenze e il Museo Nazionale della Scienza e Tecnologia “Leonardo da Vinci” di Milano -, si dedicò alla ricerca di interventi efficaci per impedire che i corsi d'acqua producessero danni agli argini, alle fondazioni dei ponti, alla stabilità delle pescaie. Raccomandava di non contrastare violentemente il filo della corrente fluviale, piuttosto di assecondarla, modificandone gradualmente la direzione. Descrisse diversi tipi di erosione, studiò l'accumulo dei sedimenti trasportati dai fiumi con l'emersione di isole temporanee. Nessuno come lui e prima di lui aveva descritto con un tale grado di dettaglio gli infiniti moti dell'acqua, le sue interazioni con gli altri elementi naturali e le continue modificazioni che produce in superficie e nel ventre della Terra. E all'acqua riconduceva tutti i fenomeni osservabili e vitali, come scrive nel *Del moto e della misura dell'acqua*: “*Dico che, sicome il naturale calore tira il sangue nelle vene alla sommità dell'homo [...] similmente le vene, che vanno ramificando per il corpo della terra, e per lo naturale calore ch'è sparso per tutto, e per questo l'acqua sta nelle vene elevate all'alte cime de monti*”.

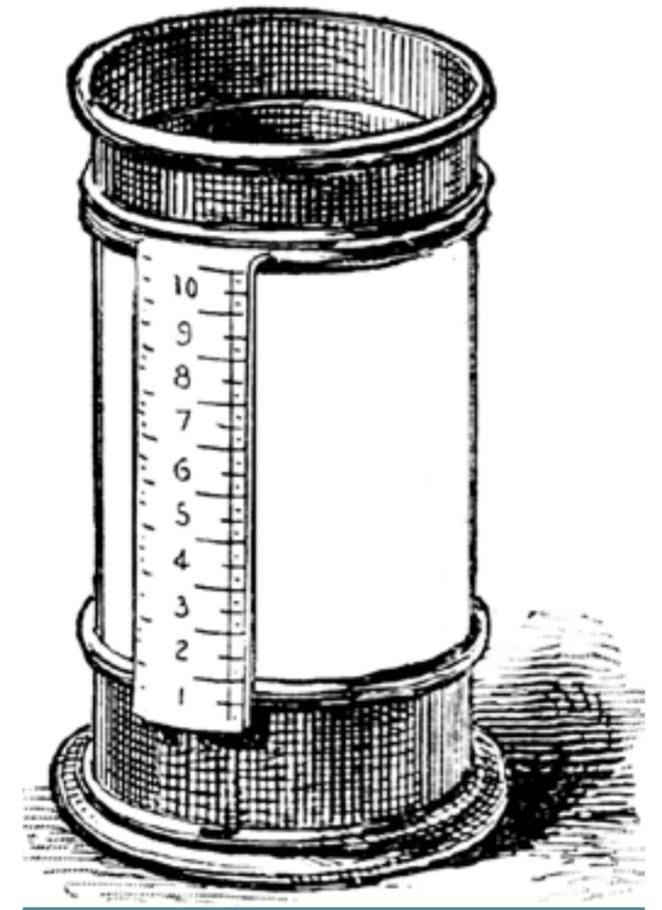


Nilometro

MISURARE LA PIOGGIA? DAL NILOMETRO ALLE COLONNE ROMANE AL PLUVIOMETRO

Misurare la pioggia caduta sul suolo in un dato intervallo di tempo espressa con l'altezza in millimetri, dal 1639 è l'informazione base dell'idrologia, sulla quale si sono misurati a lungo gli antichi. Gli Etruschi e poi i Romani segnalavano il livello dei fiumi e le quantità di piogge cadute con le altezze raggiunte sulle tacche di un'asta con la numerazione del livello crescente dal basso in alto. Elementari “idrometri”, che potevano essere tronchi di albero o aste di legno o alte rocce di sponda. C'erano anche idrometri fluviali più stabili come il celebre *Nilometro* dell'isola di Elefantina presso Assuan con la sua scalinata di marmo i cui gradini equidistanti che conducevano nel Nilo indicavano le altezze del fiume, accessibile ai sacerdoti che così predicevano il destino dei raccolti. I Romani perfezionarono le misure idrometriche con colonne di marmo con incisi i livelli della scala graduata alla distanza di un *Pes* uno dall'altro. Ogni *pie*de misurava 29,6 centimetri, e monitoravano così le variazioni dei fiumi. Molte colonne-idrometri sparivano spesso nei flutti travolte da masse d'acqua di piena, come narrano le cronache di Livio e Dione Cassio, Plutarco e Tacito, Orazio e Plinio il Vecchio e Plinio il Giovane. Seguirono poi le aste idrometriche medievali e rinascimentali con scale di misurazione espresse nelle diverse unità di misura in uso nelle nostre varie città, dalle *Braccia fiorentine* di 0,58 metri al *Piede bolognese* di 38 centimetri alla *Pertica* fissata sotto Carlo Magno a 7,12 metri.

Per il primo *Pluviometro* il mondo aspettò l'anno 1639, quando la creatività di un sapiente matematico e monaco benedettino di nome Benedetto Castelli, inventò lo strumento principe dell'idrologia. In quell'Italia del Seicento, soprattutto intorno agli studi di un altro genio come Galileo Galilei, prese corpo una scuola di idraulica di livello mondiale, e uno dei suoi principali collaboratori e amico fraterno, Benedetto Castelli, fu tra i fondatori della moderna idrologia. Castelli insegnò matematica a Pisa e a Roma dove Papa Urbano VIII, nel 1626, lo chiamò in qualità di consigliere idraulico per le bonifiche. Pubblicò nel 1628 “*Della misura delle acque correnti*”, testo di riferimento per tutti gli studi successivi di idraulica fluviale, nel quale determinò il rapporto matematico tra la sezione d'un fiume e la velocità delle acque, ricavando indicazioni sulle piene e la portata degli affluenti, i metodi per ridurle per mezzo di canali, sull'irrigazione e la distribuzione delle acque. Lo aiutava il suo discepolo, Evangelista Torricelli.



Pluviometro totalizzatore di Benedetto Castelli (1639)

Inventò lui il *pluviometro* per misurare l'intensità di pioggia e costruì il prototipo nel monastero di San Pietro a Perugia paradossalmente nell'anno siccitoso 1639, scosso dalla tragedia delle famiglie dei contadini umbri senz'acqua e senza cibo e con fiumi e torrenti e il lago Trasimeno quasi secchi, e le pale idrauliche di 22 mulini ferme. Lo strumento-base della misurazione della pioggia lo costruì come un lungo recipiente di vetro a forma cilindrica, e nella sua disarmante semplicità diede inizio alle prime sistematiche informazioni dell'idrologia, permettendo il calcolo della pioggia caduta in un dato spazio e in un dato intervallo di tempo, espressa dall'altezza in millimetri. Fu perfezionato nel 1662 dal matematico inglese Christopher Wren, e otto anni dopo dal fisico e geologo britannico Robert Hook, e da allora registra l'evoluzione temporale della pioggia. È una specie di imbuto con l'imboccatura di 36 cm di diametro e nello sviluppo cilindrico è incisa la scala graduata in millimetri dove 1 millimetro equivale a 1 litro di acqua caduta su un metro



quadrato di superficie. È l'unità di misura che permette di calcolare quanta pioggia cade su un'area urbana o su un bacino idrografico, semplicemente moltiplicando i millimetri raggiunti con i metri quadrati della sua estensione. Al *Pluviometro* si aggiunse poi il *Pluviografo*, che permetteva di registrare i cumulati di pioggia nel tempo: giornaliera, settimanale, mensile e annuale. La sua sperimentazione fu oggetto di un intenso scambio di opinioni con Galileo su come associare la misura della pioggia al tempo e allo spazio, e in quell'anno Castelli gli scrisse una lettera a Galileo sui mulini e i livelli dei fiumi e del Trasimeno: "...una gran conserva d'acqua, ma male custodita e governata, in modo che in alcuni tempi scarica più acqua del bisogno e poi li viene a mancare; ma io propongo il modo di conservarla e andarla dispensando, sì che serva tutto l'anno continuamente. Sono però fuori di speranza affatto che si habbia da mettere in pratica mai, ancorchè l'utile sia così manifesto; e mi vado confirmando poichè si è dato orecchio a un tale, quale ha proposto di cavare l'acqua dal lago con ingegni e machine meravigliose, ed ha promesso di cavare tanta acqua che farà macinare

continuamente una macina, che verranno ad essere undeci molini...ha negoziato, ed ottenuto patenti e brevi di fare l'impresa. Non ha però avvertito di farci mettere clausole tali che avvalorassero le sue invenzioni; e però, ritornato a Perugia, dopo havere fatta una buona spesa, tutto gli è riuscito vano...da diversi accidenti che si sono osservati nella corrente siccità e da alcune osservazioni mie particolari...inclino assai ad affermare che l'origine dei fiumi e di fontane dependa tutto da queste conserve d'acqua, delle quali parte si scoprono manifeste, come sono i gran laghi, e parte sono riposte nelle segretissime viscere della natura. La materia è bella, assai vasta e sin hora ci trovo di gran riscontri. Non so come mi riuscirà spiegarla: andarò faticando e farò quello che potrò, e di tutto darò parte a V. S. Ecc.^{ma}, alla quale fo riverenza."
Castelli morì a Roma nel 1643, ma il suo idrometro con l'informazione scientifica di base permise all'ingegnere veneziano Giovanni Poleni, a fine Seicento, di iniziare la serie sistematica di osservazioni e misurazioni meteorologiche che portò ai concetti di *frequenza* e di *tempi di ritorno* di una piena. Con le osservazioni in tempi determinati si ottenevano medie idrometriche

mensili e annuali, e la correlazione tra le altezze idrometriche e le portate corrispondenti permise di elaborare la scala dei *deflussi* di riferimento dove si distingue la fase di crescita della piena verso l'altezza massima, chiamata *colma*, superata la quale più o meno lentamente il livello dell'acqua inizia a calare.

TOILETTE TRASPORTABILI, EARTH CLOSET, WATER CLOSET, "TAZZONI", "SEDIE FORATE...

L'acqua in casa era un privilegio rarissimo quando, dalla Francia e dall'Inghilterra, arrivarono echi di aristocratiche innovazioni che spinsero la nostra nobiltà a scoprire l'*Earth Closet*, la *Toilette Transportabile*. L'oggetto dei desideri era niente di più di un *restyling* del vecchio pitale, sottoforma di una specie di *scatolone* o sedia forata, con sotto un contenitore a chiusura automatica e con gli odori molto attenuati versando strati di argilla secca o di cenere e qualche profumo. Ma il definitivo abbandono del vaso da notte e dei suoi surrogati che continuavano ad essere custoditi gelosamente sotto il letto o nel comodino accanto al

letto, iniziò da metà dell'Ottocento quando le prime stanzette da bagno, spesso anche in comune tra famiglie, diventavano il sogno raggiungibile dei più facoltosi italiani, collegate persino a tubazioni che scaricavano nelle prime fogne o sempre in pozzi neri o in varie tipologie di contenitori, anche trasportabili e intercambiabili.

Nel 1775, era stato l'orologiaio londinese Alexander Cummins a brevettare il primo *Water Closet* con annesso un tubo curvo in grado di trattenere acqua evitando le emanazioni del pozzo nero sottostante; il sifone. Tre anni dopo, un altro inglese, Joseph Bramah, presentò il suo *Vaso a sciacquone* formato dal sedile e dal rivoluzionario contenitore dell'acqua provvisto di galleggiante per lo scarico. Ma nel 1885, Thomas Twyford cambiò il *design* del *tazzone* con il *water closet* in porcellana, più igienico rispetto al legno o al metallo. Un altro inglese dal nome italiano, Tommaso Crapperi, brevettò la valvola per il riempimento automatico dello scarico aggiungendo lo sciacquone azionato da una catenella e l'isolatore degli odori con un sistema di ventilazione



Moule Earth Closet

dallo sfiato al tetto. All'inizio del 1900, dagli Stati Uniti arrivarono i *flushers*, i bagni all'aperto con tubi di ferro o terracotta che conducevano gli escrementi in una fossa chiusa e con pareti in mattoni e un camino per lo sfiato dei miasmi. Il mondo, insomma, ricominciava a fare ciò che i romani avevano fatto oltre due millenni prima.

E I SAVOIA DESCRISSERO "OGGETTO MISTERIOSO A FORMA DI CHITARRA": IL BIDET

L'Ottocento fu il secolo dell'igiene, segnalata anche dall'invenzione del *bidet* che, pur bollato come moralmente pericoloso dalla chiesa, veniva utilizzato dalla regina di Napoli, Maria Carolina d'Asburgo-Lorena, che lo fece installare nelle sue sale da bagno nella favolosa Reggia di Caserta. Ma l'ignoranza delle funzioni dell'oggetto era tale che, a Unità d'Italia avvenuta, nell'inventario dei

funzionari dei Savoia di ciò che razziarono nella Reggia, non sapendo cosa fosse, catalogarono diversi: «*Oggetto sconosciuto a forma di chitarra*».

DAI POZZI NERI AL PRIMO CENSIMENTO DI ACQUEDOTTI E RETI FOGNARIE

Era un'Italia dal disperato bisogno di infrastrutture primarie, reti fognarie e di approvvigionamento idrico sicure. Nelle città devastate da ondate di epidemie di colera o tifo, era molto chiara la correlazione con la qualità dell'igiene urbana e la mancanza di tecnologie infrastrutturali fognarie che inchiodava le aree urbane al *fai da te* della raccolta e dello smaltimento.

In quel periodo, insieme alle prime leggi per l'igiene pubblica, il dibattito sulle tecnologie dell'ingegneria sanitaria impegnava studiosi e tecnici, e i primi manuali con le prime proposte finivano sulle scrivanie dei sindaci alla disperata ricerca di soluzioni. Venivano proposte *Fogne mobili* e *Fogne asportabili*, insomma botti, bidoni e contenitori di varie dimensioni e varia tenuta stagna, da collocare in locali sottostanti gli edifici pubblici e le abitazioni private e uffici tra cantine, sottoscala e altri spazi, da acquistare o noleggiare. Le più moderne erano intercambiabili e dotate di ruote per essere caricate e scaricate con facilità dai carri fogna, persino con servizio "*botti aspiranti*" per lo svuotamento sul posto che però creavano problemi a non finire per colature e spargimenti di puzza e liquami per strade e vicoli inadatti alla circolazione dei carri trainati da cavalli con le "*botti aspiranti*".

Le proteste dilagavano anche contro i "*depositi di escrementi*" collocati a ridosso delle città dove, in ampie cisterne, venivano sversati flussi continui di rifiuti organici e nonostante gli sforzi degli smaltitori, come la "*Società Italiana Delle Latrine Asportabili*"



Antico Bidet Vittoriano



alla quale molti comuni italiani avevano appaltato il "servizio di vuotatura", che assicuravano fosse "*inodora*" con svuotamenti settimanali o quindicinali di pozzi neri e "fogne mobili" e il trasporto-escrementi su "*carri eleganti e chiusi*" e la rigenerazione in "*pasta di concime la quale non tramanda odore*", venduta ai contadini a sacchi o barili di legno. Ma il gran puzza dilagava, come le ordinanze dei comuni che chiudevano uno via l'altro i depositi urbani. Dalla deregulation del servizio vuotatura, molti comuni passarono all'"*Albo dei votafogne*", con rigidi regolamenti che prescrivevano sistemi "*efficienti e inodori*", vietandola nelle ore notturne. I nuovi imprenditori fognari, promuovevano le "*ultime invenzioni*": "*Fosse Filtranti*" ricavate sotto le abitazioni poi evolute in "*Fosse biologiche per dispersione*" che filtravano scarichi nei terreni, "*Fosse Fisse Impermeabili*" con sfiatoi esterni che ammorbatavano l'aria, il "*Sistema Pneumatico Liernur*" olandese che spingeva le *acque nere* fuori dai centri abitati attraverso canalizzazioni metalliche lunghissime e costosissime con pompe a vapore. A scegliere le soluzioni migliori tra le alternative tecniche elencate dall'ingegneria sanitaria italiana, erano i luminari dell'epoca, ai quali i comuni generalmente affidavano la scelta tra *pozzi neri* sia fissi che mobili e assorbenti, o permeabili o impermeabili e a spargimento di cenere, latrine "a terre secche", "fognette" mobili, fognature a conduttura unica o separata, il "sistema pneumatico". La scelta delle reti era ristretta

alla canalizzazione mista o separata, a sistemi tubolari ad aspirazione pneumatica o ad aria compressa come il Liermur, presentato all'Expo di Vienna del 1873, basato sulla spinta delle acque reflue nelle tubature con enormi macchine di pompaggio che, per la conformazione delle città italiane, aveva il gap insuperabile dei gas di scarico prodotti che rendeva irrespirabile l'aria dei quartieri popolari. Come alternativa tecnica rimaneva il classico fognone per acque miste, - nere e meteoriche -, con il supporto dei vuotatori privati di pozzi neri, l'antico mestiere del "vuotapozzo", ricavati perlopiù scavando buche non impermeabilizzate nei cortili che a volte intercettavano falde idriche, o svuotando i rifiuti umani in contenitori collocati nelle cantine o nei pressi degli edifici.

In una Italia senza reti fognarie, Napoleone Bonaparte, dal 26 maggio del 1805 incoronato re del Regno d'Italia, fece realizzare le prime *égouts*, sistemi di scolo urbani con *fognette* di terracotta orientate generalmente verso i corsi d'acqua. Ma quando il Governo Crispi, nel marzo del 1889, presentò il primo "*Censimento degli acquedotti e delle reti fognarie*", sugli 8.258 comuni italiani, 6.400 risultavano totalmente privi di reti di fognatura, più della metà senza acquedotti e le prime analisi sanitarie di laboratorio delle acque prelevate da fontane, pozzi e cisterne portavano a chiusure a ripetizione perché "*pericolosissime e inadatte agli usi potabili*".



2. Tutte le tech-applicazioni nei processi operativi per la gestione idrica

Water innovazioni. Tutte le tecnologie per aree operative

Le funzioni dell'Intelligenza Artificiale, con la complementarietà e l'integrazione con altre tecnologie che aumentano potenza e flessibilità di applicazioni, aprono scenari promettenti e già visibili nelle prime utilizzazioni nelle fasi del ciclo dell'acqua. Dalla previsione di eventi meteo e dei relativi cumulati di precipitazioni ai prelievi per ogni uso, dalla distribuzione dell'acqua alla gestione delle fasi emergenziali, gli algoritmi dell'Intelligenza Artificiale e le macchine dell'apprendimento automatico, analizzando grandi quantità di dati in tempo reale, oggi permettono operazioni che fino a ieri si ritenevano impossibili. Le tecnologie rivoluzionano l'operatività nel mondo dell'acqua per come l'abbiamo conosciuto finora, migliorando i controlli di qualità e le gestioni degli asset in ogni fase operativa, aumentando la sicurezza, l'efficienza e l'intelligenza di ogni processo, velocizzando e ottimizzando ogni soluzione, migliorando significativamente anche la trasparenza e il rapporto con i cittadini. La capacità di analizzare in tempi infinitesimali la memoria dei dati storici, di poter utilizzare modelli predittivi e tutte le informazioni raccolte in tempo reale dalla sensoristica nei sistemi infrastrutturali a rete e negli impianti, grazie alla potenzialità degli algoritmi e alla modellistica dei dati garantiscono diagnosi precoci, la regolazione dinamica di ogni parametro - dai flussi di portata ai trattamenti di depurazione e alla previsione delle fasi di manutenzione -, la riduzione dei tempi di lavoro, minori sprechi

di acqua e di consumi di energia, l'aumento di standard di sostenibilità ambientale e la buona tenuta infrastrutturale intercettando e consentendo risposte immediate anche nelle riparazioni di guasti per ridurre o evitare blocchi o perdite di acqua, danni in caso di eventi meteo devastanti migliorando le gestioni post-evento.

Intelligenza Artificiale

L'IMPRONTA IDRICA DELLA SUPER-TECNOLOGIA CHE VA AD ACQUA

C'è un dato sorprendente, finora rimasto sommerso e scarsamente valorizzato: l'Intelligenza Artificiale non esisterebbe senza l'utilizzo dell'acqua, poiché i sistemi intelligenti funzionano grazie all'acqua, e senza andrebbero immediatamente in *crash* i circuiti elettrici e elettronici, in *tilt* e in avaria i *server*, e i potenti supercalcolatori non sarebbero più in grado di rispondere nemmeno alle loro funzioni minime. Il favoloso mondo iper-tecnologico, infatti, dall'*addestramento* dell'algoritmo *offline* all'utilizzo predittivo *online*, sono il risultato del lavoro di potenti *data center* che sono infrastrutture di base tra le più idro-esigenti, oltre ad essere anche tra le più energivore. Dietro i contenuti e le infinite utilità dei nostri computer e dei nostri *smartphone*, c'è lo sviluppo delle tecnologie digitali, e soprattutto la crescita galoppante dell'IA ad elevatissimo consumo di acqua dolce e potabile, determinante ma non percepito come valore in sé, che i colossi dell'IA iniziano solo oggi a valutare rendendo più trasparente il consumo.



L'acqua, infatti, deve raffreddare mega-computer sempre più potenti che devono "lavorare" h24, senza rischiare di far surriscaldare i circuiti, provocando blocchi o magari incendi. Le immense "sale server" devono essere sempre mantenute ad una media di raffreddamento tra minimo 10 e massimo 26 gradi di temperatura per garantire il funzionamento dell'infrastruttura e dei sistemi di IA. Per regolare la temperatura si utilizzano "torri di raffreddamento" esterne che funzionano grazie a enormi quantità d'acqua immessa nei dispositivi. E l'acqua deve essere dolce, pulita, possibilmente potabile per evitare eventuali corrosioni delle macchine o infiltrazioni di batteri. L'acquisizione e l'analisi di enormi quantità di dati comporta, infatti, l'utilizzo di enormi quantità di acqua per raffreddare il calore emesso dal consumo di enormi quantità di energia elettrica. Del resto, in piccolo, basta osservare il calore emesso dal processore dei nostri computer per farsi un'idea del surriscaldamento. L'acqua, ad oggi, è l'unica soluzione. Questo significa che i consumi idrici aumenteranno enormemente, soprattutto per l'utilizzo di nuovi modelli con elaborazioni di dati sempre più vasti rispetto ai software precedenti.

È la stessa Google, che ha sviluppato la Chatbot Gemini basata sull'IA generativa e sull'apprendimento automatico, a comunicare che, tra il 2021 e il 2022, ha dovuto aumentare del 20% i consumi idrici in gran parte per far funzionare i sistemi di IA. Anche Microsoft, nel suo ultimo report sulla sostenibilità ambientale, rivela un consumo di acqua aumentato del 34%, e che dal 2021 al 2022 ha utilizzato 1,7 miliardi di galloni, e se un gallone vale 7,854 litri l'intero consumo equivale al riempimento di 2.500 piscine olimpioniche all'anno. I ricercatori dell'Università del Colorado Riverside e della texana Arlington, hanno calcolato che la sola fase di "addestramento" di ChatGpt-3, l'assistente virtuale di OpenAI, ha consumato 700.000 litri di acqua, e l'impronta idrica delle sole *query* di IA vale un consumo di mezzo litro d'acqua per rispondere a un *range* di domande tra 20 e 50. Microsoft, che ha finanziato *OpenAi*, società creatrice di *ChatGpt*, indica l'aumento maggiore dei suoi consumi idrici nella gestione dei mega data center dell'IA collocati nello Iowa, al confine tra gli immensi campi di granturco e la capitale Des Moines, dove un'infinità di computer gestiscono il modello *ChatGpt-4* alimentati senza sosta dall'acqua prelevata dai fiumi Raccoon e Des Moines. Complessivamente, nel 2022 le aziende tecnologiche globali top - Google, Microsoft e Meta - hanno prelevato e consumato oltre 2 miliardi di metri cubi di acqua dolce. E nel 2027 la domanda di AI generativa richiederà prelievi che si stimano in una media di 5,5 miliardi di metri cubi di acqua, più o meno quanto l'intero servizio idrico integrato italiano che preleva ogni anno 9,2 miliardi di m³.

Le big tech, le multinazionali tecnologiche, cercano soluzioni contro lo spreco, e fanno bene poiché anche l'IA, e più in generale le tecnologie applicate, emergono come attività idro-esigenti e, come tali, richiedono specie in aree in *stress* idrico, l'applicazione di innovazioni per il risparmio idrico. *Water Footprint Network*, la piattaforma di analisi globale degli usi dell'acqua che calcola l'evaporazione e l'incorporazione di acqua in ogni



prodotto e il livello di inquinamento prodotto - valori che andrebbero contrassegnati in etichetta per noi consumatori -, rivela un'impronta idrica tecnologica paragonabile al nostro fabbisogno quotidiano di acqua moltiplicato per 30, e per noi italiani varrebbe il consumo teorico di 7.000 litri a testa al giorno. L'efficiamento nei consumi idrici, come i percorsi di decarbonizzazione nei consumi energetici, dovranno ormai entrare stabilmente nelle procedure di sostenibilità, anche in Italia.

Oltre ai *server*, anche la produzione di energia rinnovabile con i pannelli solari, soprattutto in aree semi-aride o desertiche dove producono più energia, senz'acqua crolla. Uno dei principali problemi per i moduli solari installati in queste aree, infatti, è costituito dalla polvere terrosa e dalla sabbia sollevata e trasportata dal vento che, depositandosi costantemente sui pannelli, riduce il loro rendimento fino a dimezzarlo. Solo l'acqua desalinizzata, oggi, risolve il problema con interventi di pulizia manuale.

LE APPLICAZIONI DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

L'Intelligenza Artificiale sta rivoluzionando le modalità di interazione tra noi e le macchine, e le modalità con le quali le macchine interagiscono tra loro, attraverso "ragionamenti" intelligenti e sempre più complessi, imparando dagli errori, svolgendo funzioni fino a ieri esclusive dell'intelligenza umana e in tempi infinitamente minori. È il *linguaggio macchina* di programmazione, con sequenze elaborate nella *memoria programma* del computer e codificate in *codici mnemonici* che forma il linguaggio *assembler* di un microprocessore, il cui risultato viene automaticamente tradotto in *linguaggio macchina* da un *programma compilatore*. Le aree di maggiore utilizzo dell'IA con "funzioni umane" sono:

- **automatizzazione di compiti ripetitivi** come inserimento dati, analisi finanziaria, servizio clienti, funzioni ad alto tasso di ripetitività;
- **abilità nell'eseguire compiti fisici**, finora svolti da esseri umani, come produzione e movimentazione di tipologie di merci e di pratiche;
- **assunzione di decisioni** basate sui dati analizzati.

L'introduzione dell'IA richiede anche una profonda riorganizzazione del lavoro, individuando tre possibili tipologie di aree di operatività: le attività che possono essere svolte con migliori performance dall'IA, quelle che possono essere migliorate dall'IA, e quelle che oggi ancora non sono possibili ma che grazie all'IA sarebbero in grado di migliorare i processi aziendali e la qualità del lavoro. L'innovazione dei sistemi punta oggi ad esplorare la terza area.

L'IA è in grado di analizzare enormi quantità di dati, e di assumere decisioni in molti campi. Può scrivere, può generare immagini, può essere usata nelle più delicate funzioni decisionali poiché "studia" metodi e strumenti per far svolgere ad una macchina compiti intelligenti. Attualmente, l'utilizzo di *reti neurali* - i metodi di IA che "insegnano" ai computer a elaborare i dati in modalità simile al cervello umano - sono simulate a strati e con connessioni, con percorsi unidirezionali e interazioni multiple multidirezionali. Le macchine possono percepire la realtà, imparare da esempi, ragionare e innovare con impatti significativi in ogni settore, e tra questi l'acqua nella sua complessità di gestione, con i suoi vari e strategici campi di applicazione aperti alla forte innovazione e ai continui cambiamenti di applicazione grazie ad una gamma di sistemi indicati nel BOX:

Natural Language Processing

Riconoscimento del Linguaggio Naturale - l'algoritmo di apprendimento testi e sequenze di parole, pagine web, post, tweet, informazioni aziendali - utilizzato in applicazioni come Chatbot, Traduzione Automatica e Analisi del *sentiment*.

Visione Artificiale e Computer Vision

Algoritmi e tecniche per la comprensione di alto livello dei contenuti di immagini e video, che includono il riconoscimento facciale, la segmentazione delle immagini e l'analisi di oggetti.

Intelligent Data Processing

È la gamma più ampia delle applicazioni dell'IA con tutte le soluzioni che utilizzano algoritmi di IA su dati strutturati collegati all'estrazione delle informazioni presenti nei dati stessi. I principali utilizzi sono quelli del *Forecasting* (Previsioni) e del *Classification & Clustering* (Classificazione e Raggruppamento).

Recommendation System

Sono applicati nei modelli di business delle piattaforme social e di eCommerce, con servizi digitali basati su algoritmi di IA che conservano tracce delle azioni dell'utente, comparate con altri utenti, apprendendo preferenze e producendo indicazioni mirate.

Soluzioni fisiche di Intelligenza Artificiale

Sono applicazioni utilizzate per mezzi di trasporto dotati di guida autonoma, robot in grado di muoversi senza l'intervento umano, e nell'*Intelligent Object* per compiere azioni senza l'intervento umano sulla base delle condizioni dell'ambiente circostante.

AI Generativa

Sono Chatbot di elaborazione testi o generazione di immagini su piattaforme come ChatGPT, DALL-E, Bard ora Gemini di Google, nuovi modelli fondativi come Bing AI di Microsoft.

ChatGPT

Dal 2022 è la piattaforma OpenAi che utilizza gli algoritmi di IA di apprendimento automatico per molte funzioni: dialogo con gli utenti, stesura testi, generazione di immagini.

Gemini, l'AI Generativa

Google ha reso disponibile in Italia dal 2023 Gemini che, come ChatGPT, è una piattaforma multimodale, integrata con altri servizi: Google Documenti, Gmail, e aggiornamenti da informazioni dalla grandissima mole di dati.

Apprendimento Automatico

È il *Machine Learning* che consente ai computer di apprendere dai dati, migliorando le prestazioni senza essere esplicitamente programmati.

Apprendimento Profondo

È il Deep Learning che utilizza *reti neurali* profonde multi-strato per analizzare grandi quantità di dati.

Sistemi Esperti

Per simulare il ragionamento di un esperto umano.

Algoritmi di Ottimizzazione

Sono utilizzati per cercare la soluzione migliore in un insieme di possibilità.

Calcolo cognitivo anche su reti neurali

È la forma avanzata di apprendimento automatico basata anche su *reti neurali* profonde con strati multipli, particolarmente efficace nel riconoscimento di modelli complessi.

Automazione e Robotica

Tecnologie e sistemi di controllo per la gestione intelligente di reti e impianti, macchinari industriali e linee di produzione, controllo di processi fisici, automatizzazione di attività all'interno di processi.

Percezione delle Macchine

Interpretano le informazioni dall'ambiente circostante, utilizzando sensori, telecamere e altri dispositivi di *input*.

Chatbot

Le *Chatbot* sono *software* che simulano ed elaborano le conversazioni umane scritte o parlate, consentendo agli utenti di interagire con i dispositivi digitali come se fossero persone reali. Il termine, composto da *Chat* e da *Robot*, indica l'applicazione di software che consente l'interazione tra un umano e un robot attraverso dialoghi semplici con risposte a semplici *query*, oppure dialoghi più articolati con risposte da *assistenti digitali* che apprendono e forniscono livelli crescenti di personalizzazione come nel caso di sistemi complessi come nel settore idrico. La tecnologia *Chatbot*, connessa alle applicazioni più avanzate dell'IA, ha un formidabile sviluppo nelle sue due tipologie principali:

- **Chatbot basate su un set di regole predefinite** per rispondere a domande relativamente semplici, limitate nella loro capacità di comprendere domande complesse;
- **Chatbot basate sull'Intelligenza Artificiale** per comprendere le domande più complesse e generare risposte pertinenti.

Le *Chatbot* possono essere utilizzate in una vasta gamma di modalità: **fornire informazioni** su prodotti, servizi o argomenti

specifici, **rispondere a domande** fornendo un'assistenza tecnica più avanzata e precisa in ogni area di contenuti, **eseguire compiti semplici** come ordinare un prodotto, persino **intrattenere**, ad esempio, giocando a scacchi.

L'*utilità della chatbot* nel settore idrico è evidente nell'aumentare la qualità del servizio agli utenti, fornendo "esperienze" personalizzate h24 attraverso sia interazioni tecniche che di informazioni sulla gestione del servizio e in caso di guasti e disservizi, sul risparmio nel consumo di acqua.

I punti di forza sono nella potenzialità di un numero illimitato di accessi di utenti gestiti nello stesso istante, la completezza delle informazioni supportate dall'IA, l'interazione garantita tra diverse fonti e tipologie di dati. Così come per *feedback* costanti con informazioni e formazione specialistica e mirata all'uso di tecnologie per l'*Agricoltura 4.0* con indicazioni sui consumi e risparmi di acqua, previsioni meteo, adattamento delle tipologie di terreni alle colture. O nella **prevenzione dei rischi naturali** come strumento di informazione sui rischi potenziali di un territorio e i comportamenti da adottare per ridurre i pericoli, incentivi per interventi di prevenzione e altro.



Big Data

Big Data indica la capacità praticamente illimitata di raccolta dati da varie fonti, con set talmente voluminosi che il tradizionale software di elaborazione dati non riuscirebbe a gestire. Una capacità estesa per volumi di informazioni ovvero la quantità di dati da elaborare, *feed* di dati da Twitter, Web o sensori, velocità di acquisizione e di elaborazione direttamente nella memoria, varietà di dati anche non strutturati come testi o audio. Con metodi analitici specifici si estrae conoscenza e visione complessiva, determinante in un settore idrico molto frammentato.

Lo sviluppo dei Big Data, in tandem con la capacità di calcolo delle nuove tecnologie, consente oggi e in evoluzione esponenziale nel prossimo futuro con **computer quantici**, l'elaborazione di modelli interpretativi ricavati dalla massa di dati disponibili su determinati settori di utilizzo della risorsa idrica. I **Big Data** contengono, infatti, un vasto insieme di dati informatici utilizzabili con metodologie e tecnologie mirate per l'analisi e l'estrazione di valore. I dati - strutturati, destrutturati o semi-strutturati -, consentono analisi, con tecniche come **data mining** e **machine learning**, e con altri strumenti tecnologici

e conoscitivi per aiutare gli analisti a comprendere meglio fenomeni complessi anche intorno al ciclo dell'acqua, e a **prevedere le dinamiche e a gestire i problemi**.

I Big Data si integrano sempre più con l'IA, e presentano 4 caratteristiche rilevanti che consentono analisi avanzate:

- **numerosità dei dati**, la dimensione richiesta per applicare il metodo, di dimensioni molto grandi, misurati in terabyte, petabyte o persino exabyte;
- **varietà dei dati trattabili** con dati strutturati, non strutturati, immagini video, numeri;
- **velocità di trattamento** operando sugli aggiornamenti in tempo reale;
- **veridicità dei dati** alla base della qualità dell'interpretazione e della potenza analitica.

Le applicazioni di Big Data sono utilizzate nel **monitoraggio**, nell'**ottimizzazione** dei processi, nella **previsione e prevenzione** di problematiche e di fenomeni naturali, nella **programmazione e pianificazione** strutturale e di medio lungo periodo dei piani di gestione dell'acqua o delle crisi idriche.



CLOUD COMPUTING

Il cloud computing è un modello di erogazione di servizi informatici che permette di accedere a server, archivi, database, rete, software e altro, tramite Internet per servizi di:

- **Archiviazione in sicurezza dei dati** raccolti attraverso sensori, rilevamenti e database archiviati su cloud.
- **Elaborazione in tempo reale** delle informazioni raccolte, consentendo risposte più rapide ed efficaci anche in caso di disservizi o emergenze.

Condivisione protetta dei dati attraverso applicazioni web e smartphone, facilitando condivisione in tempo reale, migliorando trasparenza e coordinamento durante le fasi gestionali più critiche o di emergenza.

Machine learning e Deep learning

È l'*Apprendimento Automatico*, una sotto-area dell'IA che utilizza i Big Data e lo sviluppo di algoritmi intelligenti permettendo ai computer l'apprendimento da dati storici e migliorare le prestazioni nel tempo, anche senza essere stati programmati per specifiche attività, ed elaborare modelli predittivi. La qualità dei dati è fondamentale, e devono essere rappresentativi dei problemi da risolvere, e questa enorme capacità di apprendimento automatico viene considerata come un salto gigantesco nel futuro, anche oltre le tecniche tradizionali di programmazione dell'IA. L'integrazione con i Big Data e l'IA apre nuove opportunità nel campo dell'analisi dei dati e delle decisioni operative nel settore idrico. L'*Osservatorio Artificial Intelligence* cataloga 6 metodologie principali del Machine Learning, canali di applicazioni che iniziano ad essere utilizzati nei settori industriali e di servizi italiani:

Model Prediction o Modellazione Predittiva

È l'area che include tecniche di **raccolta informazioni dai dati e di apprendimento di modelli in grado di operare su nuovi dati per prevedere possibili eventi, e da utilizzare per la manutenzione predittiva e l'analisi qualitativa**.

Deep Learning o Apprendimento Profondo

È lo strategico insieme di tecniche che simulano i processi di apprendimento del cervello umano attraverso reti neurali artificiali stratificate che, assumendo una vasta quantità di dati, sono in grado di svolgere compiti evitando la fase del pre-processamento o pre-elaborazione dei dati.

E-Learning

Con l'uso di tecnologie multimediali e di IA migliorano la qualità dei servizi, scambi in remoto, collaborazione a distanza a partire dai sistemi di videoconferenza, percorsi di apprendimento basati su materiali multimediali testuali, audio, video, monitoraggi in continuo delle attività, test di valutazione, interazioni tra gli studenti e i professori tramite scambio di messaggi oppure tramite sistema di videoconferenza.

Explainable Regression & Classification

Le tecniche di Regressione e Classificazione Spiegabili, sono tecniche di classificazione e di soluzioni di *problemi di regressione*. Consentono di capire perché modelli di IA prendono determinate decisioni, permettendo di comprendere il funzionamento dell'apprendimento del Machine Learning.

Information Retrieval

Il "reperimento dell'informazione" è un insieme di tecniche utilizzate per gestire rappresentazione, memorizzazione, organizzazione e accesso a oggetti contenenti informazioni utili - documenti, pagine web, cataloghi online e oggetti multimediali - a fornire informazioni.

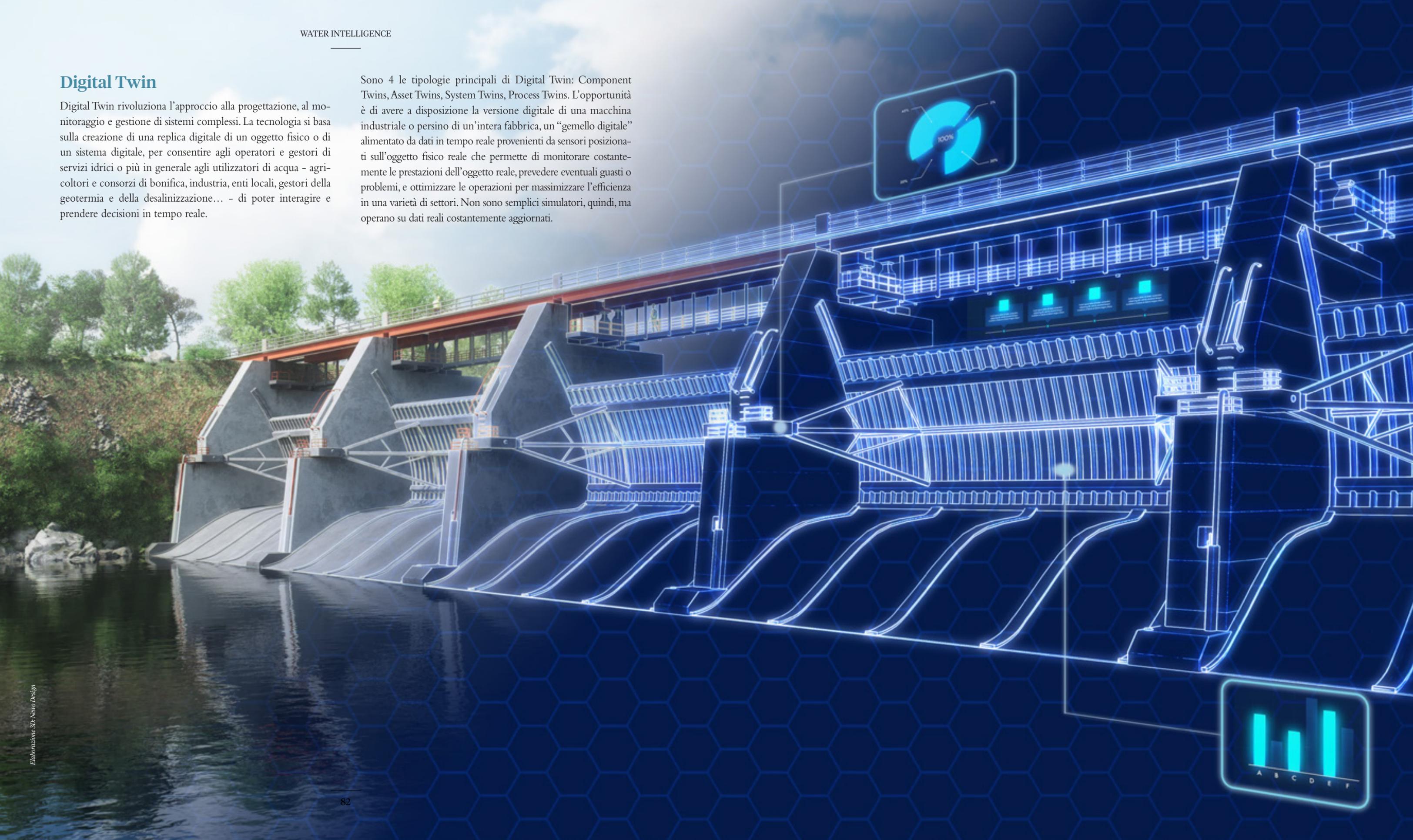
Reinforcement Learning

L'apprendimento per rinforzo risolve problemi decisionali sequenziali attraverso l'interazione con l'ambiente in cui opera, apprendendo per tentativi attraverso sensori sia fisici che virtuali, per decidere quale azione eseguire e osservarne gli effetti.

Digital Twin

Digital Twin rivoluziona l'approccio alla progettazione, al monitoraggio e gestione di sistemi complessi. La tecnologia si basa sulla creazione di una replica digitale di un oggetto fisico o di un sistema digitale, per consentire agli operatori e gestori di servizi idrici o più in generale agli utilizzatori di acqua - agricoltori e consorzi di bonifica, industria, enti locali, gestori della geotermia e della desalinizzazione... - di poter interagire e prendere decisioni in tempo reale.

Sono 4 le tipologie principali di Digital Twin: Component Twins, Asset Twins, System Twins, Process Twins. L'opportunità è di avere a disposizione la versione digitale di una macchina industriale o persino di un'intera fabbrica, un "gemello digitale" alimentato da dati in tempo reale provenienti da sensori posizionati sull'oggetto fisico reale che permette di monitorare costantemente le prestazioni dell'oggetto reale, prevedere eventuali guasti o problemi, e ottimizzare le operazioni per massimizzare l'efficienza in una varietà di settori. Non sono semplici simulatori, quindi, ma operano su dati reali costantemente aggiornati.



Il “Gemello Digitale” del Ciclo Idrico

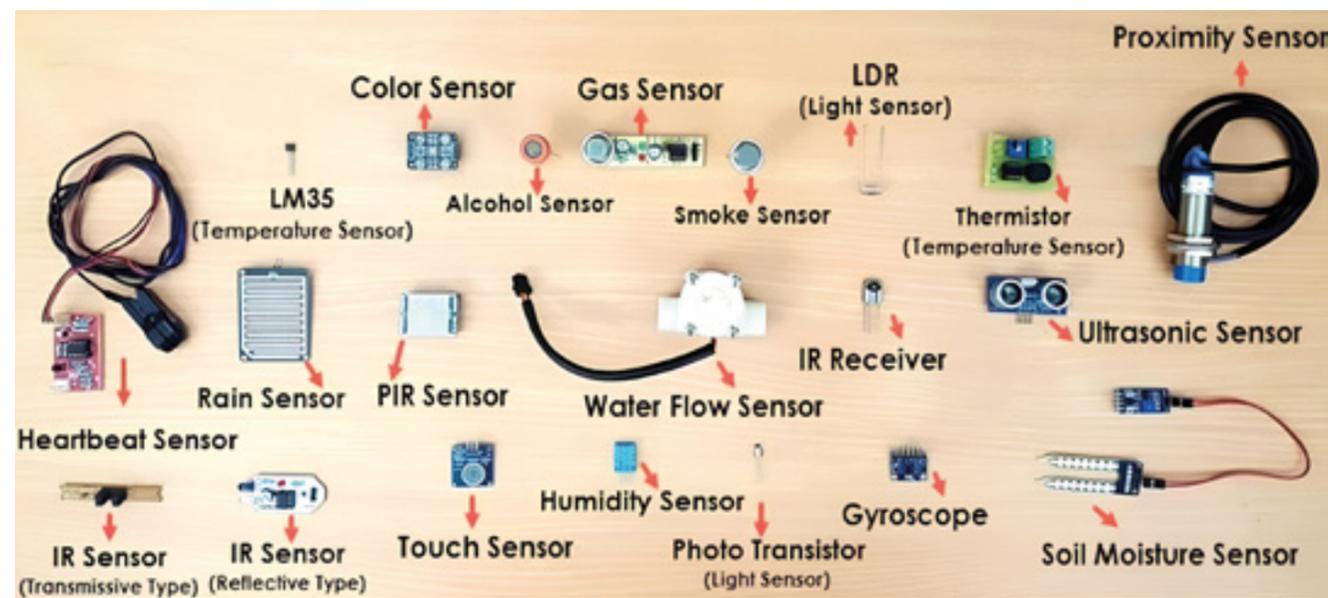
L'ultimo sviluppo del modello virtuale del ciclo dell'acqua, utilizza dati satellitari ad alta risoluzione, ed è il “Gemello Digitale” finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea, che sta studiando le dinamiche delle risorse idriche nel bacino del Mediterraneo, e coinvolge ricercatori di ogni paese membro, e in Italia l'Università di Bologna. Il modello utilizza vaste quantità di dati satellitari per tracciare il ciclo idrologico monitorando e calcolando piogge e neve, umidità al suolo e flussi delle acque superficiali e sotterranee, acque lacustri e marine.

Agisce come ambiente virtuale predisposto per *test*, costantemente alimentato con nuovi dati dalle diverse fonti di osservazione, e anche dai modelli idrologici più avanzati, permettendo simulazioni di scenari, valutazioni di rischi - inondazioni e siccità su tutti -, sviluppo di strategie di gestione delle risorse idriche con una nuova generazione di sistemi di supporti decisionali. L'uso di tecnologie di IA e Machine Learning, migliora la capacità di monitoraggio del ciclo idrologico e consente la realizzazione di **Digital Twin Earth** completamente operativi non solo per il ciclo idrologico globale, ma anche per singoli bacini fluviali e aree territoriali. La replica digitale che imita il comportamento dell'acqua, infatti, può essere sviluppata utilmente anche sui nostri singoli bacini idrologici e per le aree urbane, e un primo modello è stato predisposto per il bacino dell'Adige,

basato sui dati provenienti soprattutto dai programmi di osservazione della Terra dallo spazio che consentono implementazioni *open-source* e miglioramenti, coprendo ad alta risoluzione spaziale sottobacini medi della grandezza di 5 km² e analizzando periodi temporali dal 1980.

Sensori e Internet of Things

Cosa è un sensore o trasduttore? È il dispositivo che, lungo la rete idrica o in un impianto o più in generale nell'ambiente intorno a noi, rileva modifiche - dai cali di pressione dell'acqua alle piogge che superano i limiti di guardia - e converte l'*input* fisico rilevato in un segnale digitale trasmesso al *display* per la lettura. È sempre più centrale nei processi e nei controlli per *alert* o misurazione di parametri, abbinato all'utilizzo di altri componenti intelligenti che formano l'*Internet of Things*, IoT. L'utilizzo di sensori abbinati alla IoT è fondamentale per efficientare processi, ridurre sprechi e anche costi interni, e lo dimostra la diffusione di queste tecnologie innovative che aprono scenari anche per la cosiddetta “quarta rivoluzione industriale”. **La sensoristica** è una tecnologia ormai indispensabile nelle applicazioni di *Big Data* e quindi di IA, con la trasmissibilità dei dati garantita da processi di **digitalizzazione**, attraverso l'utilizzo di tecnologie applicative di **trasmissione** come il 5G, e il prossimo 6G, il Gps e altre.



Fonte: Electronics Hub



TANTI SENSORI PER TANTE FUNZIONI

Nella vasta gamma di sensori applicati alla gestione dell'acqua ci sono:

- **Sensori fisici** che misurano grandezze come distanze, temperatura, pressione, umidità, flussi, accelerazioni.
- **Sensori chimici** che rilevano presenze e livelli di concentrazione di sostanze chimiche specifiche.
- **Sensori biologici** che monitorano parametri biologici della risorsa.

Sensori e Big Data sono normalmente utilizzati nel monitoraggio della qualità e della quantità dell'acqua prelevata e distribuita. Possono infatti misurare in tempo reale parametri come presenza di contaminanti, temperatura, livello di pH e altri indicatori critici, oggi raccolti costantemente per poter identificare anomalie o potenziali problemi e quindi ottimizzare eventuali processi di trattamento. Sono straordinari supporti come “controllori” del buon funzionamento della rete idrica o di un canale irriguo o di un vaso, monitorando e ottimizzando il flusso dell'acqua. L'integrazione con i *Big Data* consente analisi predittive per anticipare problemi, oltre al controllo in *real time* per migliorare la gestione complessiva.

Sensori di pressione e flusso sono determinanti per la riduzione delle perdite nelle reti, e l'integrazione con tecnologie Big Data consente un monitoraggio continuo strutturale, e garantisce la massima sicurezza, rilevando eventuali cambiamenti.

I sensori di monitoraggio dell'umidità dei terreni, meteo e di precipitazioni atmosferiche sono centrali nelle pianificazioni irrigue o del servizio idrico e meteo. *Iot* e reti di dispositivi - fisici, veicoli, e altri oggetti con incorporati sensori, software e connettività di rete - consentono raccolta e scambi di dati, e di creare ecosistemi digitali interconnessi, la rappresentazione del mondo fisico in tempo reale. Ecco la varietà delle loro funzioni e le caratteristiche.

Sensori di monitoraggio dell'acqua installati lungo le reti idriche possono rilevare qualità, temperatura, pressione e flusso in tempo reale. Sono utilizzati per intercettare perdite, anomalie e problemi.

Telemetria e comunicazione nelle reti idriche consentono la trasmissione dati in tempo reale a sistemi centralizzati. Ciò permette agli operatori di monitorare e controllare funzionamento e distribuzione da remoto.

Analisi avanzate dei dati: l'IoT può essere utilizzato per raccogliere grandi quantità di dati nella gestione idrica, da analizzare utilizzando algoritmi avanzati e IA per rilevare anomalie o predisporre modelli di gestione.

Sistemi di gestione delle perdite: i sensori di pressione e di flusso individuano in real time perdite nelle reti. L'IoT consente il loro monitoraggio costante e l'identificazione tempestiva del problema.

Predizione delle esigenze di manutenzione con l'analisi dei dati provenienti da sensori e dispositivi IoT per prevedere quando tratti di infrastruttura idrica necessitano di manutenzioni o sostituzioni, riducendo i tempi di inattività e i costi operativi.

Gestione remota delle valvole di controllo dell'acqua automatizzate e gestite da remoto, utilizzando tecnologie IoT che consente di regolare il flusso e la pressione in tempo reale e in base alle esigenze.

Rilevamento piene fluviali con sensori di livello dell'acqua che lanciano *alert* in caso di inondazioni imminenti o di altre emergenze idriche.

Irrigazione intelligente: L'IoT può essere utilizzato per ottimizzare l'irrigazione, utilizzando sensori di rilevamento dell'umidità del suolo, dati meteorologici e previsionali, determinando quando e quanto irrigare.

Applicazioni per il consumatore: le applicazioni mobili, i dispositivi domestici intelligenti, *smart meter* o contatori e misuratori intelligenti che permettono il controllo in real time dei consumi, ricevendo avvisi in caso di perdite o di superamento dei limiti di consumo.

Rete idrica intelligente: l'insieme di queste tecnologie integrate consente la gestione ottimizzata delle risorse idriche, riducendo sprechi, migliorando l'efficienza e garantendo alta qualità di servizi.



Droni

Gli *Unmanned Aerial Vehicle* o *Remotely Piloted Aircraft Systems*, ovvero i Droni, sono apparecchi volanti o aeromobili senza pilota e controllati da remoto o che seguono percorsi pre-programmati con sensori e visori per la raccolta dati, e sistemi di comunicazione per il controllo a distanza. Sono utilizzati nel settore idrico con applicazioni per rilievi multispettrali con immagini e video, raccolta e monitoraggio di parametri di corpi idrici, suolo o atmosfera attraverso sistemi di sensoristica, per consegna e trasporto veloci in caso di emergenza, nella gestione intelligente dell'“*agricoltura di precisione*”, che richiede monitoraggi di colture, mappe e analisi dei terreni per ottimizzare la pianificazione irrigua. La tecnologia con **drone equipaggiato monitora** le diverse fasi agricole con immagini ad alta risoluzione dalla **fotocamera multispettrale** e dalla telecamera di guida del drone, **indicando anche lo stato di salute della pianta o lo stress idrico**.

Sono utilizzati per **ispezioni di infrastrutture idriche** con sorvolo di dighe, verifiche di condotte e impianti e altri componenti infrastrutturali, sorveglianza di corsi d'acqua e di aree costiere anche con droni sottomarini, e nella gestione delle emergenze soprattutto per la ricerca e salvataggio di dispersi e la **distribuzione di materiali di primo soccorso**. La tecnologia *Made in Italy* è in continuo forte sviluppo. Con droni *higt-tech*, Big Data e sensori per il monitoraggio ambientale e

la sicurezza, è attiva l'“*Accademia di volo*” con droni, con campi e aree didattiche per l'uso dell'IA, presso il Centro Ricerche dell'Enea del Brasimone, sull'Appennino tosco-emiliano, con team internazionali di ricercatori da Cina, Regno Unito, Giappone, Canada e Stati Uniti. Su una superficie di 400 ettari, si testano tecnologie in volo del programma *Exadrone* di Enea - in collaborazione con Metaprojects -, e il nuovo “Laboratorio di Automazione e Controllo” sviluppa e testa su droni i sensori di nuova generazione di tipo LIDAR - Light Detection And Ranging -, basati su tecnologie laser sviluppate dai ricercatori Enea per il monitoraggio ambientale e l'analisi delle acque in tempo reale, e il monitoraggio di installazioni infrastrutturali come ponti, viadotti e dighe. La nuova gamma di sensori italiani, utilizza nuovi algoritmi di controllo e gestione e dati che consentono di intercettare in tempo reale anche eventuali presenze di inquinanti nelle acque e altre criticità. L'Alta Scuola di volo è riconosciuta dall'Enac, e utilizza un campo-scuola con aree didattiche per l'addestramento teorico, pratico, con corsi abilitanti per pilotaggio di droni con fotogrammetria, termografia e monitoring dell'agricoltura di precisione. Nei laboratori ci sono attività di progettazione mecatronica ed elettronica, ricerca e sviluppo di prodotti, applicazioni *firmware* e *software*, test su sensori e tecnologie di *automation*, *motion control* ed elettronica di potenza, oltre a sistemi di localizzazione GPS miniaturizzati, radiofrequenza e IoT. Un polo di eccellenza internazionale.

SCADA e i suoi modelli

LA GESTIONE A CONTROLLO CENTRALIZZATO

La tecnologia Il controllo centralizzato è una soluzione efficace, con software che permettono ai programmatori il controllo multi-sito. Uno dei modelli più avanzati e utilizzati è **SCADA**, il *Supervisory Control and Data Acquisition*, il sistema informatico che sovrintende al controllo e al monitoraggio, anche da remoto, dei processi industriali e dei sistemi infrastrutturali. È trasversale a diversi settori produttivi, può controllare un solo processo industriale legato ad una fase di gestione dell'acqua, oppure l'intero ciclo produttivo e di gestione di una infrastruttura come la diga con centrale idroelettrica. SCADA svolge funzioni di raccolta centralizzata dei dati da macchine e infrastrutture del sistema, utilizzandoli per generare procedure e processi decisionali. I “referenti” del sistema **SCADA** sono **PLC** - controllori logici programmabili - software delle macchine, **RTU** - Remote Terminal Unit -, sistemi di controllo locale che inviano informazioni al sistema centralizzato che sovrintende e attiva decisioni sull'intero processo. I dati vengono resi fruibili tramite interfacce grafiche e operazioni di visualizzazione, consultazione e supervisione, e ciò consente di avere in *real time* il quadro dello stato di impianti e reti. È una architettura digitale delle *smart factory* in grado di governare processi industriali e funzionamento di infrastrutture con estesi processi di digitalizzazione, automazione e retroazione, fornendo l'interpretazione integrata dei dati di processo. Le tecnologie applicate a questo “modello generale” sono numerose e diversificate, legate a singole modalità di applicazione, aperte all'innovazione e integrabili con le funzioni di controllo, gestione e programmazione. I sistemi SCADA sono quindi utilizzati per:

- **acquisire i dati** di impianto, mediante opportuni driver di comunicazione, al fine di fornire informazioni sul processo;
- **rappresentarli in forma grafica** grazie a interfacce intuitive di tipo grafico (HMI - Human-Machine Interface);
- **archiviare i dati** in una base dati, che costituisce il cuore del sistema;
- **inviare allarmi** e notifiche in caso di anomalie o malfunzionamenti;
- **consentire il controllo** da remoto grazie all'invio dei dati tramite connessione internet protetta con una Virtual Private Network.

Le imprese con SCADA sono in grado di sviluppare piattaforme integrate che, attraverso canali di trasmissione dati unificati, consentono la gestione globale di impianti, processi, personale.

L'archiviazione restituisce la serie storica dei dati utili per analisi gestionali, per tracciare i ritmi di produzione ai fini dell'efficientamento dei processi, per generare in automatico *report* a intervalli prefissati, per far interagire i dati tra loro per previsioni e programmazioni. I sistemi SCADA offrono quindi vantaggi per poter:

- **disporre di una grande mole di dati**, sulla base dei quali prendere decisioni;
- **avere una visione d'insieme** dell'impianto e dell'evoluzione dei processi in tempo reale, semplice e immediata grazie ad interfacce HMI intuitive;
- **ottimizzare i processi**, grazie ai dati storici, effettuando interventi migliorativi precisi;
- **aumentare la sicurezza** degli impianti, grazie al controllo continuo e alla trasmissione sicura dei dati.

È particolarmente adatto a gestire reti di pubblica utilità, a partire da quelle dell'acqua. L'equipaggiamento sul campo - sensori, attuatori, pompe, interruttori, turbine - è collegato a PLC o RTU in reti locali dove i dati di *input* vengono raccolti ed elaborati. Le azioni sono attivate sulla base dei risultati dei controlli eseguiti, le informazioni *alert* vengono inviate in tempo reale dalle unità geograficamente distribuite all'unità di monitoraggio remoto. I dati sono pre-elaborati dall'unità di controllo principale e preparati per la visualizzazione su interfaccia. Oltre SCADA altri modelli di gestione centralizzata sono:

Distributed Control System si concentra sul monitoraggio e sul controllo remoto, i sistemi DCS sono progettati per il controllo distribuito dei processi industriali, utilizzati in impianti di produzione di grandi dimensioni.

Manufacturing Execution System si concentrano sulla gestione delle operazioni di produzione, tra cui pianificazione, scheduling, monitoraggio delle risorse, tracciabilità e reportistica. Fornisce una visione più ampia delle operazioni di produzione, e si concentra principalmente sul controllo dei processi.

Enterprise Resource Planning sono sistemi software che integrano e gestiscono tutti gli aspetti delle operazioni aziendali, inclusi la produzione, la logistica, la finanza, le risorse umane e altro. Non si concentrano specificamente sul controllo dei processi industriali come SCADA, e forniscono una visione olistica dell'azienda e possono integrarsi con altri sistemi di gestione centralizzata.



Realtà Aumentata e Realtà Virtuale

La realtà aumentata e la realtà virtuale sono immersioni in esperienze digitali molto coinvolgenti. Con la realtà aumentata, siamo nel mondo reale attraverso uno smartphone o con occhiali speciali, con elementi digitali, immagini e informazioni sovrapposti a ciò che vediamo, aggiungendo anche “oggetti digitali” alla realtà che ci circonda. La realtà virtuale ci fa entrare, invece, in mondi completamente digitali, indossando dispositivi speciali, come visori o occhiali, che ci isolano dal mondo reale e ci immergono in ambienti virtuali. È come essere trasportati in un'altra dimensione dove possiamo interagire, esplorare e persino imparare cose nuove. Entrambe le tecnologie sono incredibilmente versatili, con applicazioni in

molti settori ma, oltre ai videogiochi o al design e la medicina, l'utilizzo coinvolge anche la formazione e l'educazione al rischio e alla gestione dei disastri naturali, con focus su alluvioni e terremoti. Essendo tecnologie che consentono di creare ambienti virtuali controllati, e di simulare situazioni reali, offrono metodi efficaci di “addestramento” e consapevolezza. Le simulazioni consentono, infatti, di interagire con elementi di contesto urbano di infrastrutture colpite da un evento estremo, preparando al meglio le risposte, anche personali. Anche nel corso di un evento disastroso, la comunicazione e la visualizzazione dei percorsi sono fondamentali, e le tecnologie di realtà aumentata e virtuale possono facilitare le operazioni, consentendo ai soccorritori di coordinare le attività e prendere decisioni in tempo reale.

Accompagnate da Chatbot, aiutano nella costruzione di comunità informate, permettendo di immergersi in scenari virtuali e realtà immersiva per apprendere, con modalità creative e innovative, cosa fare per gestire o prevenire situazioni di rischio. Il laboratorio del Politecnico di Torino, ad esempio, ha realizzato applicazioni in virtuale per la formazione alla prevenzione e gestione di incendi boschivi e rischi idrogeologici per operatori e volontari di Protezione Civile. Utilizza un *serious game* che simula i comportamenti ottimali in situazioni di allerta idrogeologica, dando la possibilità di viaggiare nel tempo per mettere in atto i comportamenti di prevenzione utili a contenere i danni.

Indossare un visore Virtual Reality e immergersi nella realtà aumentata può essere, insomma, un ottimo sistema per capire in

breve tempo e in modo coinvolgente quali sono le caratteristiche del territorio in cui viviamo o la dinamica delle inondazioni o di una frana. All'inizio del 2020, l'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale ha avviato l'innovativo progetto di comunicazione con WindTre e Impersive di Milano, con la partecipazione di Mario Tozzi, per educare alla gestione del rischio idrogeologico e sismico. Il video immersivo, girato con tecnica di ripresa e montaggio di immagini “360° stereoscopic 3D full body in motion”, fa scoprire dettagli spostando lo sguardo nelle diverse direzioni. Possiamo alzare la testa e vedere la cima della falesia, abbassare il mento e vedere la diga sotto i nostri piedi mentre un esperto parla di acqua, o degli effetti di un terremoto e di come proteggersi. Sono informazioni e concetti che difficilmente scivolano via. La tecnologia, infatti, stimola curiosità, tiene viva l'attenzione, coinvolge dal punto di vista razionale ed emotivo.

Robotica

La robotica sviluppa sistemi in grado di permettere ad un robot di eseguire compiti specifici, riproducendo in modo automatico il lavoro umano. Ci sono tre tipologie di robot:

- **Robot non autonomi**, macchine gestite da un software che le istruisce per le operazioni da effettuare, a controllo remoto. Ci sono varie tipologie di robot, da quelli industriali attivi su linee di montaggio, ai robot utilizzati dai gestori dei servizi idrici per ispezionare condotte o intervenire su guasti, ai robot della Protezione Civile che penetrano in luoghi a rischio - frane, crolli di edifici per terremoti, incendi - o disinnescano eventuali rischi in aree dove è impossibile far intervenire squadre.
- **Robot autonomi** in grado di percepire, grazie a sensori, i contesti ambientali e di prendere decisioni funzionali con sistemi di apprendimento basati anche sul Machine Learning e tecniche di IA. A differenza dei robot non autonomi, il loro software consente alla macchina di auto-apprendere dai dati rilevati dai sensori, adattando i movimenti.
- **Robot di terza generazione dotati di IA** che generano in autonomia algoritmi di apprendimento automatico e di verifica sulla base delle operazioni da eseguire. Nelle configurazioni più avanzate, possono essere utilizzati per cercare persone disperse sotto le macerie o travolte da frane e in zone pericolose, oppure per riparare impianti e infrastrutture idriche danneggiate come condotti di distribuzione di acqua, anticipando e facilitando le operazioni di soccorso in condizioni di estremo pericolo.



Cyber Security

Circa un terzo di tutte le aziende di tutte le dimensioni ha subito violazioni negli ultimi anni, comprese le aziende idriche. In un mondo nel quale la gran parte degli strumenti e delle attività dipendono da tecnologie digitali in continuo sviluppo, la sicurezza e la protezione dei dati, archiviati o scambiati in processi di comunicazione, è centrale. Il Rapporto “Clusit 2024” sugli incidenti di sicurezza a livello globale, Italia inclusa, evidenzia nel 2023, un aumento significativo di attacchi informatici in Italia pari al 65% rispetto al 2022, con un tasso di crescita globale medio del 12%. Il settore governativo-militare è il più colpito, e un quarto di attacchi totali sono sul settore manifatturiero, ma la crescita negli ultimi 5 anni è stata esponenziale e pari al 79%, con una media mensile 2023 di 232 attacchi.

Le tecnologie di difesa attuali non sempre sono efficaci contro attacchi sempre più sofisticati che selezionano i bersagli, scovano vulnerabilità e producono malware. È una minaccia emergente anche per le aziende di servizi pubblici come quelli idrici, oltre che per settori della Pubblica Amministrazione, militare, industriale e finanziario-assicurativo. La sicurezza informatica aziendale deve sempre più risolvere problemi di sicurezza *Dos* (Denial-of-Service) e *DDos* (Distributed Denial of Service), di vulnerabilità del software, tutelando le modalità con le quali i dati vengono trasferiti tra dispositivi e reti. Gli attacchi informatici *DDoS* rappresentano la principale minaccia in Italia.

Si tratta di una tipologia che utilizza un gran numero di dispositivi connessi a internet, i *botnet*, per sovraccaricare un sistema o un servizio *online*, rendendolo inaccessibile agli utenti. Durante un attacco, i dispositivi compromessi inviano abnormi quantità di richieste di connessione o di dati al bersaglio, sovraccaricandolo e causando interruzioni e rallentamenti. Il rapporto sottolinea la necessità di strategie di difesa innovative e di investimenti condivisi per contrastare il *cybercrime*. Gli strumenti di prevenzione vanno dal bilanciamento del carico su più *server* per mitigare gli effetti di un attacco concentrato su un singolo punto, al filtraggio del traffico per bloccare o limitare quello dannoso da sorgenti sospette e quindi limitazioni di accessi non autorizzati.

La Cyber Security, o sicurezza informatica, è quindi cruciale per proteggere dati e risorse digitali, sistemi informatici, reti e informazioni da attacchi informatici che vanno dai virus ai malware agli hacker e altre forme di attacchi cibernetici. Le tecnologie di protezione dei sistemi informatici e le strategie di controllo dei flussi di dati che viaggiano tra dispositivi *wireless* e *server cloud*, basano la protezione dell'infrastruttura *on-premise* nel cloud, sul controllo di fornitori di terze parti e sulla protezione del numero crescente di *endpoint* connessi alla rete tramite l'*Internet of Things*. Oggi è disponibile una gamma di pratiche e tecnologie:

Firewall dispositivi hardware o software per monitorare e controllare il traffico di rete, che bloccano quello non autorizzato.

Antivirus e Anti-Malware software che rilevano e rimuovono virus e malware da dispositivi e sistemi.

IDS/IPS sistemi di rilevamento e prevenzione di intrusioni nel traffico di rete e di blocco di attività sospette.

Crittografia dei Dati protegge i dati sensibili rendendoli incomprensibili a chi non è autorizzato all'accesso

Autenticazione Multifattoriale richiede metodi di autenticazione per verificare l'identità dell'utente.

Analisi di Log e monitoraggi della sicurezza raccolgono e analizzano i *log* di sistema e di rete per individuare attività sospette.

Chi forma i “Manovratori” delle tecnologie per l'acqua?

Le innovazioni tecnologiche hanno introdotto strumenti e sistemi avanzati che hanno migliorato l'efficienza, la produttività e la qualità dei servizi offerti. Nel contesto idrico, la tecnologia sta rivoluzionando il modo in cui si comunica, si lavora, si apprende, rendendo la connettività e l'accesso alle informazioni elementi centrali della buona gestione dell'acqua. Nel settore degli utilizzi, sia in agricoltura che nell'industria, nel servizio idrico integrato e nella gestione dell'intero ciclo dell'acqua, l'adozione di tecnologie come l'automazione, l'Intelligenza Artificiale e tutte le tecnologie connesse hanno portato ad una trasformazione profonda dei processi produttivi. Queste innovazioni hanno migliorato la gestione dell'acqua, l'accessibilità e l'efficienza dei servizi offerti ai cittadini. Tuttavia, per sfruttare appieno i benefici dell'era tecnologica, è fondamentale promuovere la formazione di competenze digitali tra gli operatori. La trasformazione digitale richiede infatti non solo l'accesso alle nuove tecnologie, ma anche la capacità di saperle utilizzare efficacemente.

Il recentissimo Rapporto Eurostat sulla digitalizzazione in Europa, conferma la criticità dell'Italia rispetto ai partner più avanzati a livello europeo. Siamo in ritardo sui 5 aspetti dell'alfabetizzazione informatica e dei dati:

- a. **ricerca di informazioni online**, ovvero la capacità di saper utilizzare motori di ricerca, database e altre risorse online per reperire informazioni accurate e valide. Comprende anche l'abilità nel valutare la qualità e l'affidabilità delle fonti di informazione;
- b. **comunicazione anche attraverso l'invio di e-mail**. Cioè, la competenza di redigere e inviare messaggi di posta elettronica in modo efficace.;
- c. **creazione di contenuti digitali** che consentono di scrivere, comprendere e modificare codici di programmazione per creare software, applicazioni o siti web;
- d. **sicurezza e protezione dei dati personali** per salvaguardare le proprie informazioni personali online attraverso l'uso di password sicure, software antivirus, crittografia e altre pratiche di sicurezza informatica per prevenire furti di identità e violazioni della privacy;
- e. **risoluzione dei problemi** che consiste nello scaricare, installare e configurare software su diversi dispositivi. Include anche la capacità di risolvere problemi tecnici che possono sorgere durante processi di installazione o utilizzo del software.

In Italia, la percentuale della popolazione che ha almeno una di queste competenze è il 45,8% rispetto al dato medio europeo del 55,6% ed è in fondo alla graduatoria sopra soltanto a Romania, Bulgaria e Polonia. Una classifica che ci vede pressoché in fondo anche nella quota di lavoratori specializzati in ICT, Information Comunication Technology, col 4,1% rispetto alla media europea del 4,8%, e anche della quota di imprese che fanno formazione in ICT col 19,3% rispetto alla media europea del 22,4%. Anche nell'uso dell'IA nella gestione delle imprese l'Italia segna un ritardo con il 5% a fronte dell'8% di valore medio europeo.

Anche la ricerca su “Capitale umano e transizione tecnologica”, del Consiglio Nazionale dell'Ordine dei Consulenti del Lavoro, conferma quanto rilevato da Eurostat, e cioè che in Italia le competenze tecnologico-digitali sono in ritardo rispetto all'Europa più avanzata, utilizzate dal 45,6% della popolazione italiana in età lavorativa rispetto al 53,9% di quella europea. Ingegneri elettrotecnici e dell'informazione sono tra i profili più introvabili. Continua a crescere nelle imprese anche idriche la domanda di professionalità innovative - 1 milione e 227 mila richieste pari al 23,2% dell'intera domanda - è quasi impossibile da trovare come ingegneri elettrotecnici (90,4%), ingegneri dell'informazione (80,7%), tecnici gestori di reti e sistemi telematici (74,6%), tecnici del risparmio energetico e energie rinnovabili (71,7%), matematici, statistici e analisti dati. Tra le motivazioni alla base di queste difficoltà, si cita la «significativa mancanza di laureati nelle materie STEM», con una media di soli 18,3 laureati ogni 1.000 ragazzi di età compresa tra 20 e 29 anni, molto al di sotto della media europea.

È chiaro che in questo contesto occorre investire sulla formazione continua in azienda e all'esterno, e aumentando i laureati in materie STEM, se vogliamo cogliere le enormi opportunità dell'evoluzione tecnologica per la crescita delle imprese e del Paese.



3.

Quanta acqua c'è in Italia?

Precipitazioni record. La fortuna di averne tanta

IL BILANCIO IDRICO NAZIONALE DA RECORD POSITIVO

Per farsi un'idea dei volumi di acqua in gioco nella meteorologia italiana, basta uno sguardo alla media degli afflussi meteorici dal 1951 al 2023, e al relativo bilancio idrico nazionale per capire all'istante quanto noi italiani siamo doppiamente fortunati. Primo, perché possiamo godere della straordinaria e diffusa presenza di acque sia superficiali che nel sottosuolo come pochissimi altri territori del Pianeta. Secondo, perché il «dono dell'acqua» si manifesta con una unicità sorprendente, attraverso la bellezza di tutte le strepitose forme dell'idrologia presenti sulla Terra e contenute sulla nostra penisola.

Iniziamo dalle precipitazioni: l'acqua che cade dal cielo, come vediamo nella tabella, ci vede beneficiati, su scala nazionale, da copiosi cumulati annuali di piogge, neve e grandine per circa 296 miliardi di m³.

BILANCIO IDRICO NAZIONALE

Media annuale delle precipitazioni in mld di m³

	1951 1970	Valore %	2010 2023	Valore %
Evapotraspirazione	150	50,0	156	52,7
Deflussi superficiali e sotterranei	150	50,0	140	47,3
Afflusso totale	300	100,0	296	100,0

Elaborazioni Fondazione EWA su Dati Big Bang - ISPRA

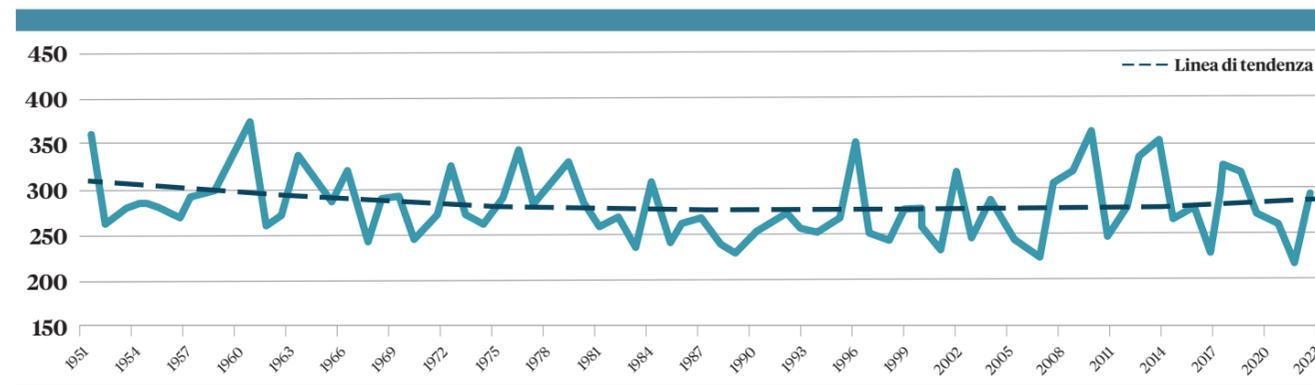
L'andamento, la frequenza, l'intensità e la variabilità dei fenomeni meteorologici mostrano un trend storico di precipitazioni sull'Italia sostanzialmente costante dall'anno 1921, l'inizio delle rilevazioni più accurate. Ci sono annate con valori alti o molto alti di piovosità e altre con valori più bassi, c'è la forte variabilità dell'ultimo decennio e lo scarto tra regioni e territori interni alle regioni, ci sono cumulati di precipitazioni dalle più clamorose e superiori a 2.000 mm all'anno sulle zone alpine e prealpine e in alcune zone appenniniche, ai valori medi annui più bassi tra 400 e 600 mm nelle aree meno piovose come nella Sicilia meridionale, Puglia e Sardegna meridionale. Ma un dato è costante: il nostro record di precipitazioni.

I primi clamorosi dati furono presentati, per la prima volta, nel corso della «Conferenza nazionale delle Acque 1968-1971», il primo e purtroppo finora unico confronto tra scienziati, operatori e istituzioni organizzata dal Senato dal 16 dicembre del 1968 al 31 luglio del 1971, e presentò le basi scientifiche conoscitive del settore, ponendo l'Italia all'avanguardia nelle modalità di rilevamento più avanzate e nella presentazione di un piano integrato di interventi. Aggiornamenti successivi - dell'Istituto Idrografico e Mareografico dello Stato, nel 1989 del Ministero Agricoltura, nel 1993-99 dell'Istituto di Ricerca sulle Acque IRSA del CNR, gli studi dal 2005 sullo stato dei servizi idrici del Comitato di vigilanza sulle risorse idriche del Ministero dell'Ambiente, le analisi dell'Istat sui consumi, studi dell'ISPRA - mostrarono dati molto confortanti, persino sorprendenti, poiché, tra annate con alti e bassi, complessivamente, è stato registrato persino un leggero aumento medio di precipitazioni.

Sappiamo quindi che, nel trentennio 1951-86, le altezze medie di precipitazioni sull'intero territorio nazionale sono state pari a 980 mm all'anno, per 296 miliardi di m³ d'acqua in media

ANDAMENTO DELLE PRECIPITAZIONI IN ITALIA

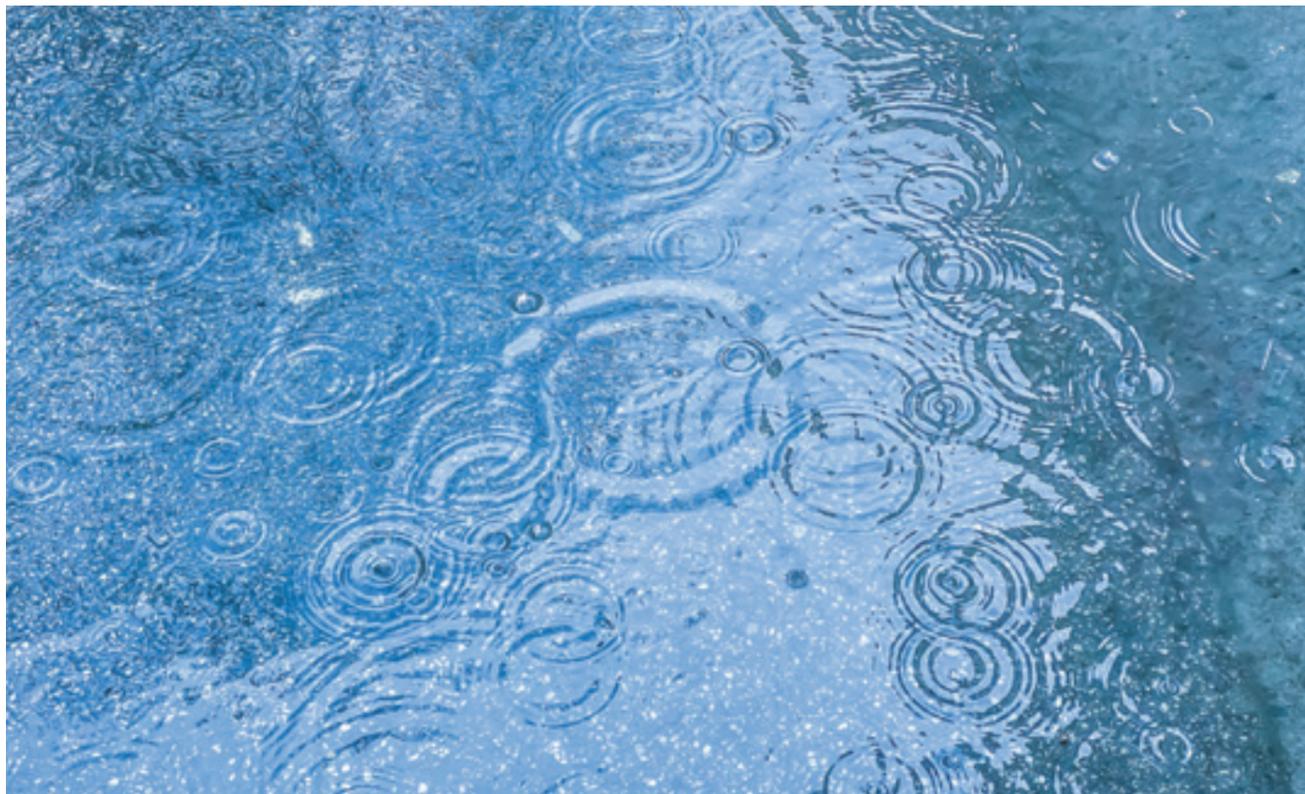
Valori medi annuali in miliardi di m³



Elaborazioni Fondazione EWA su Dati Big Bang - ISPRA

annua, con i maggiori valori rilevati sul versante tirrenico e sulle Alpi Centro-Orientali e sull'Appennino Settentrionale con oltre 3.000 mm in alcune zone, contro i 700 mm della Pianura Padana. Nelle regioni centro-meridionali le medie annue superavano i 1.500 mm sull'Appennino calabro-campano

ma erano inferiori ai 500 mm sul Tavoliere delle Puglie, nella Piana di Gela e lungo la fascia costiera di Cagliari e in Sicilia. Il forte squilibrio nella distribuzione mensile portò allora a individuare 4 tipicità pluviometriche italiane: Continentale, Sub litoraneo alpino, Sub litoraneo appenninico e Marittimo.



I 6 SISTEMI A RETE DELL'ACQUA

- SERVIZIO IDRICO INTEGRATO
- AGRICOLTURA E ZOOTECNIA
- CICLO INDUSTRIALE
- PRODUZIONE DI ENERGIA GREEN
- DISTRIBUZIONE DI ACQUA DI RIUSO E DESALINIZZATA
- GESTIONE DELLE ACQUE IN AREA URBANA

Le rilevazioni delle precipitazioni hanno poi sempre confermato l'elevatissimo valore medio annuo di circa 296 miliardi di m³, con valori massimi di circa 383,9 miliardi di m³ di precipitazioni registrato nel 1960 e i minimi di 226,6 miliardi di m³ nell'anno piuttosto siccitoso 2017 e i 217 miliardi di m³ dell'anno più siccitoso degli ultimi 70 anni: il 2022.

Negli ultimi 13 anni, il volume complessivo medio di acqua da precipitazione è stato di 296 miliardi di m³, con alcune annate meno copiose. Sull'intero ciclo di precipitazione, evapotraspirazione, scorrimento superficiale, reintegro dei prelievi di falda e consumi di acqua superficiale nei mesi bagnati si realizzano surplus

PRELIEVI DI ACQUA PER SETTORE E PER PROVENIENZA
Miliardi di m³

	OGGI
Da falda per il Servizio Idrico Integrato	8,1
Da falda per l'agricoltura	3,1
Da falda per l'industria	2,3
TOTALE FALDA	13,4
Da acque superficiali per l'agricoltura	13,9
Da acque superficiali per l'industria	5,4
Da acque superficiali per il Servizio Idrico Integrato	1,4
TOTALE SUPERFICIE	20,8
TOTALE GENERALE	34,2

Elaborazione Fondazione EWA su dati Istat e Ispra

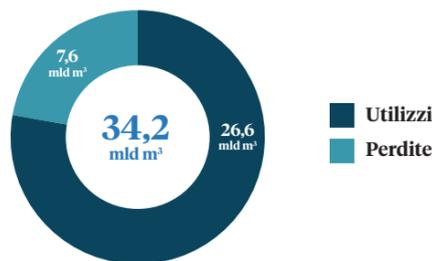
TUTTE LE ACQUE DOLCI IN ITALIA

	Quantità	Dimensione km ²	Vol. d'acqua miliardi m ³	% acqua sul totale
Ghiacciai	903	368	199	11,8
Laghi	368	1.492,8	74,6	44,1
Specchi acqua	15.595	252,1	0,5	0,3
Falde	1.053	-	43	25,4
Dighe	531	761,1	8,7	5,1
Piccole dighe	26.288	160,2	0,8	0,5
Piccoli invasi	145.000	199,3	0,4	0,2
Umidità nel terreno	-	-	21,1	12,5
TOTALE PATRIMONIO IDRICO NAZIONALE	-	-	169	100,0
Disgelo dei ghiacciai	-	-	1	0,7
Sorgenti	75.000	-	9	6,4
Fiumi	7,644	9.173,1 (km)	89	63,8
Falde a mare	-	-	41	29,1
Desalazione	-	-	0	0,2
TOTALE FLUSSO ANNUALE	-	-	140	100,0
Recupero dell'acqua depurata rigenerata	-	-	0,5	1,3
Acqua depurata immessa nei fiumi e in mare	-	-	8,5	21,8
Acqua non depurata immessa nei fiumi e in mare	-	-	5,4	13,8
Acqua utilizzata e dispersa	-	-	24,6	63,1
TOTALE DISPERSIONI ANNUALI	-	-	39	100,0

Elaborazione Fondazione EWA su dati Istat e Ispra

di risorsa pari a circa 99,1 miliardi di m³, mentre nei mesi secchi si registrano deficit di circa 35 miliardi di m³. Ma questo trend consolidato significa avere sempre teoricamente disponibili e prelevabili per ogni utilizzo, tolta l'acqua che evapora e quella che va in mare e nei deflussi sotterranei, almeno 140 miliardi di m³, una enormità da record europeo e da podio mondiale. È come se ciascun italiano avesse a disposizione all'incirca 2.345 m³ teorici di acqua all'anno che paragonati agli abbondanti consumi medi annui di una famiglia media di tre persone, pari a circa

PRELIEVI



Fonte: EWA

260 m³, rendono l'idea della quantità teoricamente disponibile di risorsa.

Questa clamorosa verità scientifica, però, non emerge mai anche per l'eccessiva frammentazione delle competenze sull'idrologia

italiana, per l'estrema parcellizzazione dei database provenienti da varie sorgenti informative, tutte di altissima qualità ma con una bassissima capacità di integrazione e zero interoperabilità che impediscono la necessaria visione unitaria e alle istituzioni di fornire ai cittadini un quadro chiaro, complessivo e aggiornato in real time, come imporrebbe la dinamica idrologica di un Paese come il nostro. La verità è che questo invidiabile patrimonio idrico di cui disponiamo, come censito dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, sarebbe largamente sufficiente a garantire nei 6 sistemi idrici a rete, tutti i fabbisogni, con acqua di buona spesso di eccellente qualità.

NON MANCA L'ACQUA. MANCANO LE INFRASTRUTTURE DELL'ACQUA

Anche l'ultima fase di grande sete per la siccità del biennio 2022-23, e la lunga crisi idrica in Sicilia del 2024, hanno riportato a galla i tre "nodi" critici da affrontare per poter prevenire e

superare le crisi idriche prossime future. Il primo, è la velocità dell'alternarsi, dal 2000 ad oggi, dei picchi positivi e negativi di precipitazioni atmosferiche piovose e nevose. La fase climatica in corso condiziona le nostre dotazioni idriche con una successione temporale di periodi "bagnati" e periodi "secchi" mai vista prima, con una maggiore frequenza dei ritorni siccitosi sempre più prolungati che impattano ormai sull'intero territorio nazionale, e non più solo nelle consuete aree del Sud e sulle isole. Il *check-up* delle gravi siccità dal 2000, come ha dimostrato l'ultima del 2022-23, individua la partenza dalla grande crisi idrica nel Nord produttivo e nel bacino del Po. A questa progressione, si aggiunge il costante aumento della temperatura che aumenta i livelli di evapotraspirazione non solo nelle stagioni primaverile ed estive. Il secondo "nodo" è il deficit di stoccaggio di acqua da colmare prima possibile con il ritorno degli investimenti per gli invasi. Il terzo è il nostro record europeo, inaccettabile, delle perdite di acqua dalle reti di distribuzione, con conseguenti perdite anche di

energia per la loro spinta nella conduzione. Tre concause, due delle quali dipendenti dall'immobilismo politico sul tema acqua, che ci rendono estremamente vulnerabili in questa fase di crisi climatica, e ci espongono al paradosso di essere un territorio mediamente sempre molto ricco di acqua, ma strutturalmente povero nella dotazione complessiva di infrastrutture e tecnologie idriche che servirebbero. Saremmo, insomma, un paese "bagnato" e molto fortunato, nel quale ogni problema idrico potrebbe essere facilmente superabile se solo fossimo in grado di dimensionare e adeguare quantità e qualità dei nostri sistemi e schemi idrici. Gli interventi tecnologici e strutturali sono diversi e, come vedremo in seguito, a partire dalla necessità di un **maggiore accumulo di risorsa** nelle stagioni "bagnate", **dalla minore perdita** nella fase di distribuzione, **dalla maggiore efficienza** negli utilizzi a partire dall'irrigazione, dalla **maggiore disponibilità di risorsa non convenzionale** da dissalatori e depuratori di acque reflue.



4.

I cantieri tecnologici dell'acqua

Osservazione della Terra dallo spazio

TECNOLOGIE PER PREVISIONI CLIMATICHE E METEOROLOGICHE

La prima grande area di innovazione è quella delle previsioni climatiche e meteorologiche. Il monitoraggio dell'atmosfera è strategico per la gestione del ciclo dell'acqua, per la previsione di fenomeni di siccità o di precipitazioni, per *alert* e misure di prevenzione a terra, sfruttando algoritmi di elaborazione *water-view*, radar meteo, modellistica dell'IA. La "previsione meteorologica numerica", ad esempio, supportata da supercalcolatori come il "Leonardo" del Tecnopolo di Bologna, consente calcoli con valutazioni di altissima affidabilità. L'accuratezza delle previsioni meteo sta aumentando, e temperature superficiali o percorsi di un uragano possono essere previsti anche con giorni di anticipo. Non siamo ancora alla precisione millimetrica di dettaglio dei luoghi di caduta, a causa della forte variabilità dei fattori in campo, ma ricerca e modellistica stanno facendo passi da gigante.

DeepMind, la società di ricerca IA di Google, ha realizzato un nuovo modello ultrasofisticato: il *GraphCast*, in grado di generare previsioni meteo globali con 10 giorni in anticipo con un'accuratezza senza precedenti, e in meno di un minuto. Una sfida, poiché i modelli meteo tradizionali richiedono grandi quantità di dati e tempi più lunghi di elaborazione. Ma intanto migliora l'accuratezza delle analisi predittive, utilizzando *pattern*, scale dati e tecnologie che utilizzano non solo la capacità di modelli "pensati dall'uomo" e attuati dal computer, ma anche "modelli interni al sistema dei dati" che vengono fuori dalla grandissima capacità di calcolo, non esplicitamente individuati da "equazioni umane".

In linea con i modelli previsionali, c'è la "messa a terra" di modelli idrologici e idraulici per la conoscenza del rapporto tra precipitazioni e ciclo dell'acqua a terra, con tutte le interazioni con il comportamento dei corsi d'acqua nei sistemi dei bacini idrografici. Sono modelli di simulazione determinanti per avere quadri più chiari possibili delle aree di impatto dei fenomeni di precipitazione estrema, e per poter intervenire in chiave preventiva e emergenziale. È rilevante anche la tecnologia *Digital Twin* che esce dal campo strettamente delimitato della sola simulazione per andare verso quello più vasto, e per alcuni versi meno esplorato e più promettente, del controllo in tempo reale del sistema analizzato. Il sogno degli studiosi e degli applicatori è di poter disporre, anche nella definizione di modelli idrologici e idraulici, di un "sistema digitale gemello" altamente sofisticato e quindi il più possibile "reale" da cui trarre informazioni preventive sui comportamenti in atto o indotti da modifiche esterne. Supportata da strumenti di sensoristica avanzata, questa tecnologia consente già monitoraggi attivi sul ciclo dell'acqua, e trova interessanti applicazioni nella gestione di dighe e invasi, acquedotti e impianti di depurazione, e li troverà ovunque ci sia un sistema, sia esso naturale o produttivo, che necessita di controlli in tempo reale e *test* di simulazioni di rischi.

Per il mondo dell'acqua, così ricco di sistemi complessi e interagenti, sono decisive le tecnologie poiché consentono di strutturare gestioni centralizzate e in parte automatizzate, con invio di dati di controllo da più punti-base, dalla fonte allo scorrimento e fino ai contatori intelligenti. La filosofia di approccio è: autonomia dei nodi nella centralizzazione dei dati e quindi del coordinamento generale.



C'ERA UNA VOLTA L'ACQUAZZONE, CI SONO OGGI CICLONI, URAGANI...

L'ingrediente di un temporale è soprattutto la sempre più calda temperatura delle acque marine che stanno oscillando da un minimo di 16°C a un massimo di 26°C, con una sempre più intensa evaporazione che in alcune aree marine mediterranee porta la temperatura a raggiungere per la prima volta quella delle acque del golfo del Messico. Questa evoluzione rende anche l'atmosfera molto più calda, facendo stazionare in alto volumi sempre maggiori di vapore acqueo, e innescando e gonfiando i nuovi catastrofici temporali del terzo millennio. Un grado di temperatura in più dell'aria, - calcola Andrea Rinaldo, docente di idrologia e costruzioni idrauliche all'Università di Padova e premiato con il "Nobel dell'Acqua", lo Stockholm Water Prize -, significa avere circa il 7% in più di contenuto di acqua trattenuta nell'atmosfera, con un accumulo di energia che prima o poi scaricherà a terra acqua in quantità con improvvise, concentrate, violentissime precipitazioni.

Che tutto stia cambiando nella meteorologia lo dimostra ampiamente anche il nostro lessico, che si avvale di sempre nuove definizioni. Non esiste più il solo classico "temporale" o "acquazzone" ma esistono improvvisi *flash floods* o *urban floods*, cicloni extratropicali, mesocicloni, vortici ciclonici extratropicali, tifoni, uragani, tornado, il *medicane* ovvero l'uragano mediterraneo chiamato così dalla fusione delle due parole *mediterranean* e *hurricane*. Precipitazioni tropicalizzate e ormai a carattere "esplosivo", sono spesso associate a 3 tipologie di fenomeni meteorologici: fulmini con lampi e rombi di tuono, velocissime e forti raffiche di vento, rovesci intensi con variazioni rapide tra pioggia e grandinate con chicchi di dimensioni sempre più grandi.

La meteorologia - come rilevano i laboratori di monitoraggio e modellistica ambientale dal CNR-ISAC al Centro Nazionale

per la *Meteorologia* e Climatologia Aerospaziale, dal Consorzio Lamma Cnr-Regione Toscana guidato da Bernardo Gozzini a Italia Meteo-, cataloga una nuova gamma di temporali isolati, persistenti e forti, rapidi e improvvisi e sempre più violenti, sotto osservazione del sistema di Protezione Civile:

Temporali a cella singola scatenati da imponenti nubi cumulo-nembi gonfie d'acqua e a sviluppo verticale, su aree con estensione media 10 km.

Temporali organizzati prodotti da sistemi di celle convettive sempre più estese che continuano a rigenerarsi sulla stessa area con piogge della durata di 2-3 ore.

Temporali a grappolo di multicelle auto-rigeneranti provocati da nubi in serie che si formano in alta quota spinte da fortissimi venti, che moltiplicano la cella temporalesca creando continuamente nuove celle e un sistema convettivo in grado di scaricare abbondanti piogge finché non esaurisce l'energia che lo sostiene. Paradossalmente, più scarica piogge e più si autoalimenta.

Temporali supercella producono *Mesocicloni* con vortici d'aria con diametri dai 3 ai 16 km.

Atmosferic river penetrano sulla penisola come fiumi atmosferici mediterranei che trasportano vapore acqueo, aria calda e umidità dalle regioni tropicali lungo lo stretto corridoio che dal continente africano e dalle zone sub-tropicali raggiunge le nostre latitudini. È la struttura temporalesca che può innescare anche trombe d'aria localizzate con intensità di vento improvvise ed elevatissime.

I NUOVI TEMPI DI RITORNO DELLE PIENE FLUVIALI

La dinamica fluviale sempre più condizionata dalla crisi climatica, ha aperto anche l'enorme problema dei modelli probabilistici delle piene. Un secolo fa le stime delle portate si basavano sul concetto del *tempo medio di ritorno*, cioè del periodo intercorrente tra due eventi alluvionali successivi di entità uguale o superiore, e da quelle rilevazioni furono estrapolate le curve di frequenza dei cosiddetti "ritorni" delle piene con tempi di alluvioni: *cinquecentenarie*, *duecentennali*, *centenarie*, *cinquantennali* e *decennali*. Erano intervalli che, in qualche modo, tranquillizzavano, e che avrebbero dovuto e potuto anche concedere tempo utile ad aumentare le difese. Non è andata così, purtroppo.

Oggi, nella nostra anomalia meteorologica, i *tempi di ritorno* sono parametri superati dagli eventi. Emergono dopo ogni piena gli errori madornali della pratica abusiva o legale della copertura con cemento e asfalto delle golene e degli stessi corsi d'acqua, proseguita anche quando i Piani di Assetto Idrogeologico delle Autorità di bacino, oggi distrettuali, la vietavano, ancora oggi ci riprovano. Studi sballati e di convenienza hanno continuato a far intubare fiumi e fiumicelli calcolando portate ordinarie e sezioni di condotte sulla base del costruito di un secolo o mezzo secolo fa. È come se avessero innescato sotto le città corsi d'acqua ad orologeria, pronti ad esplodere e a far danni perché dai quei calcoli al ribasso delle portate sotterranee, mancavano e mancano le estese cementificazioni successive che hanno ridotto o cancellato suoli e storiche aree di espansione dei fiumi in piena. Tante ipotesi e piani reali di espansioni urbane non tengono conto nemmeno oggi del carico della crisi climatica, della perdita progressiva della capacità di smaltimento delle acque in eccesso per la scarsa efficienza delle reti fognarie, della capacità distruttiva della troppa acqua. Sono fenomeni ancora in larga parte imprevedibili nella loro evoluzione autorigenerante. Queste condizioni meteo senza precedenti hanno accelerato l'invio nello spazio del primo "Fulminometro" europeo, realizzato da Leonardo, che rileva i fulmini da un satellite Meteosat geostazionario a 36mila chilometri dalla superficie terrestre. I dati del *Lightning Imager*, da gennaio 2024, permettono previsioni di maggior precisione di eventi estremi, spesso preceduti da cambiamenti improvvisi nel numero di fulmini su aree definite. Bisogna riuscire a colmare margini di errore tra previsioni e realtà, spingere la ricerca scientifica, associando ai nuovi temporali la conoscenza dell'orografia e dell'idrologia complessa, l'urbanizzazione, i tempi di reazione negli stati di allerta.

OCCHI TECNOLOGICI: SATELLITI, RADAR E SENSORI SPAZIALI

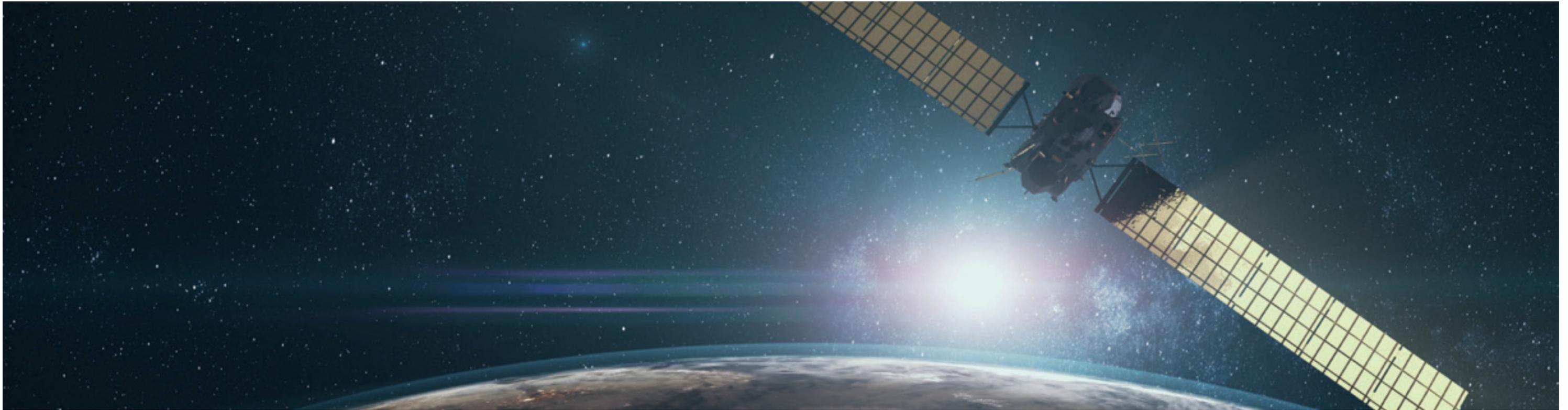
Fin dai primi lanci dell'uomo nello spazio l'immagine della Terra "da lassù" ha aperto nuovi scenari, non solo emotivi, ma di conoscenza. Vedere la Terra dall'alto, poterla fotografare e poterla indagare, attraverso decine di filtri e strumenti di ispezione ad altissima tecnologia, è stata la grande opportunità per la scienza dell'Osservazione della Terra dallo spazio. Con il processo di utilizzo di satelliti e ogni altra tecnologia spaziale si possono raccogliere dati e informazioni sulla superficie terrestre e sui suoi fenomeni: dalla raccolta di immagini ad alta risoluzione ai dati sul clima, l'acqua, la vegetazione, l'uso del suolo, il sottosuolo, le aree urbane, industriali e molti altri parametri.

Lo spazio è, insomma, un continuo processo tecnologico con lo sviluppo di nuove tecnologie sempre più integrate con *Digital Technologies*. L'Osservazione della Terra si basa sull'integrazione di immagini satellitari e fonti come le mappe del catasto, mappe digitalizzate dell'infrastrutturazione e dei terreni, e l'adozione di tecnologie digitali come Machine Learning, Intelligenza Artificiale per la fruizione e l'interpretazione immediata. Due tipologie di infrastrutture spaziali per monitoraggi terrestri sono le più utilizzate e sono di grande importanza per la gestione del ciclo idrico:

- **Radar ad apertura sintetica - SAR** -: l'infrastruttura spaziale per misurazioni che è possibile utilizzare indipendentemente dalle condizioni meteo locali o di luce, e quindi senza distinzioni tra giorno e notte.
- **Sensori ottici o multispettrali**: il loro utilizzo è prevalentemente diurno, con la raccolta di immagini interpretabili e a colori.



Il primo Lightning Imager d'Europa



L'analisi di 45.000 ricerche nel mondo, coordinata da Zhao Qi per l'Accademia di Scienze della Cina, sui risultati delle 15 missioni di satelliti per l'osservazione della Terra, ha identificato Landsat, Sentinel e MODIS come le più significative, indicando il nostro Sentinel come il più promettente nei prossimi anni. I satelliti sono la principale tecnologia utilizzata per l'osservazione della Terra dallo spazio e ne esistono diversi tipi con varie capacità e obiettivi:

- satelliti meteorologici;
- satelliti per l'Osservazione della Terra ad alta risoluzione;
- satelliti per il monitoraggio ambientale.

Possono essere progettati per svolgere una vasta gamma di missioni e ospitare diverse tecnologie e filtri di lettura a bordo per vari compiti. Alcuni sono progettati per missioni specifiche, come la mappatura della superficie terrestre, la raccolta di dati meteorologici, la sorveglianza ambientale. Altri possono montare strumenti e sensori per raccogliere dati su diversi fenomeni terrestri. La dotazione dei satelliti è costituita da **sensori** che registrano e misurano temperatura, umidità, copertura nuvolosa, vegetazione, livelli di inquinamento, altimetria, e molti altri parametri fisici e ambientali e si trattava di:

- **sensori ottici** che catturano immagini della Terra utilizzando la luce visibile e, talvolta, la luce infrarossa, impiegati per monitorare la copertura terrestre, le condizioni atmosferiche, i cambiamenti ambientali e altro ancora.
- **i sensori radar** che emettono **onde elettromagnetiche** e registrano il segnale riflesso dalla superficie terrestre. Questa tecnologia è utile per ottenere informazioni sulla topografia, sulle condizioni del suolo, sulle deformazioni del terreno e su altri fenomeni che possono essere misurati attraverso la riflessione delle onde radar.
- **i sensori lidar** che utilizzano impulsi laser per misurare la distanza dalla superficie terrestre. Possono essere utilizzati per rilevare variazioni nella superficie terrestre, mappare la vegetazione, monitorare la qualità dell'aria e molto altro ancora e la **spettroscopia** che misura la luce riflessa o emessa dalla superficie terrestre in diverse lunghezze d'onda. Può essere utilizzata per identificare e mappare composizioni chimiche, come ad esempio la presenza di determinati gas o minerali.

LA COSTELLAZIONE SENTINEL

Con partner scientifici in tutta Europa, tra cui le Università di Bologna, Perugia e Genova, l'Agenzia Spaziale Europea ha lanciato il modello che integra dati satellitari ad alta risoluzione della costellazione "Sentinel", e la modellazione idrologica e idraulica più avanzata. Gli obiettivi sono soprattutto: previsioni del rischio di piena, monitoraggi delle possibili condizioni di siccità e delle colture agricole, migliore gestione delle risorse idriche.

Si basa sul "Modello virtuale del ciclo dell'acqua", che aggiorna i sistemi modellistici di oltre 50 anni fa per la migliore previsione delle piene fluviali e delle inondazioni, aggiungendo una miriade di informazioni in alta risoluzione che consentono indicazioni dettagliate per valutare anche le quantità di acqua necessaria all'irrigazione, volumi di acqua che possono essere rilasciati da invasi e altro. La piattaforma del progetto "Digital Twin Earth Hydrology" integra dati satellitari e modellistica avanzata per simulare nuovi cicli dell'acqua, partendo dal bacino del Po. Modella scenari del tipo "what-if", utilizza osservazioni satellitari di pioggia, umidità del suolo, neve ed evaporazione come dati di ingresso per la modellistica idrologica e

idraulica avanzata che simula, con dati che si aggiornano in real time, piene fluviali, aree inondate, scenari di utilizzo dell'acqua in funzione della sua disponibilità, scenari di rischio idro-geologici, possibili scenari futuri. L'aspetto innovativo è nei calcoli dell'evaporazione, precipitazioni, umidità del suolo e portate fluviali.

Le connessioni, soprattutto nel corso di eventi calamitosi, cosa che oggi non accade, devono essere un elemento di base per qualsiasi strategia, per evitare drammatici "buchi" operativi e di soccorso durante l'emergenza. La gestione dell'emergenza si fonda, infatti, su sistemi digitali, Internet of Things, connessioni e mezzi guidati e controllati a distanza che devono inviare dati e informazioni al centro e saper interagire con i cittadini colpiti e rimasti isolati. Se crollano o si bloccano torri e tralicci per coperture outdoor e backhauling e le reti wireless, come è accaduto nella alluvione della Romagna e tante altre situazioni, deve essere possibile *switchare* i segnali su satelliti.

Nonostante siano sistemi diversi, Sentinel e Sky Med, possono essere utilizzati insieme o in modo complementare per ottenere una copertura più completa delle informazioni sulla Terra. Ad esempio, i dati ottici dai satelliti Sentinel possono essere integrati con le immagini radar ad alta risoluzione dei satelliti

SkyMed per una visione più completa di aree o fenomeni terrestri. Copernicus fornisce dati gratuiti e aperti attraverso la sua infrastruttura DIAS e altri portali, offre opportunità per lo sviluppo di nuovi servizi attraverso programmi come l'*Acceleratore Copernicus* che supporta startup e PMI. Si tratta di un lavoro continuo che punta a creare in Italia una industria di servizi di contenuti avanzati dei dati satellitari per la conoscenza soprattutto del ciclo idrico. Con NASA e l'Agenzia Spaziale Europea sono stati pianificati progetti per nuove missioni satellitari con capacità di osservazione migliorata con nuovi satelliti per monitorare il cambiamento climatico in corso, fenomeni atmosferici estremi, ecosistemi fluviali, lacustri, marini e terrestri, includendo nuovi sensori, algoritmi di elaborazione dati e piattaforme satellitari più avanzate. Il 2024 è un anno ricco di lanci di satelliti per l'osservazione della Terra che annuncia una forte ripresa di questa attività.

1° trimestre

- Ocean Color Instrument per monitorare la salute degli oceani.
- GISAT-2 (o EO-5) per fornire immagini ottiche multispettrali per il monitoraggio di eventi naturali e disastri.
- Satellite radar ad apertura sintetica NISAR, mapperà terre e ghiacci del Pianeta.

2° trimestre

- GOSAT-GW (Greenhouse Gases Observing Satellite) monitorerà i gas serra come la CO₂ nell'atmosfera terrestre.
- Satellite meteorologico GOES U NASA-NOAA per monitorare le condizioni meteorologiche degli Stati Uniti.
- EarthCARE, missione congiunta Europa-Giappone, si concentra sull'osservazione delle nuvole e degli aerosol.

3° trimestre

- Sentinel-2C dell'ESA, un sostituto di Sentinel-2A, fornirà immagini multispettrali ottiche per varie applicazioni terrestri.

4° trimestre

- PROBA 3 dell'ESA lancerà due satelliti per volare in formazione in un'orbita altamente ellittica.
- HRSAT, una costellazione indiana di tre satelliti ad alta risoluzione, offrirà immagini con risoluzione sub-metrica.
- Cartosat-3B dell'ISRO offrirà immagini ottiche con risoluzione di 1 metro in modalità multispettrale.
- Altri satelliti EO e missioni come Legion 1, 2, 3, 4, 5 e 6 di WorldView, di CubeSats.



Programma Spaziale IRIDE

IRIDE, L'AMBIZIOSO PROGRAMMA SPAZIALE ITALIANO

Il programma spaziale italiano più promettente a livello europeo di Osservazione della Terra è la costellazione satellitare Iride, il cui sviluppo, dal 2022 è in fase realizzativa all'Esrin di Frascati, il centro dell'Agenzia spaziale europea cui fanno capo tutte le attività di monitoraggio del Pianeta. È una costellazione composta da 69 apparati e il primo raggiungerà l'orbita nel 2025, sfrutterà tecniche osservative e disporrà di satelliti. Entro la metà del 2026, permetterà un campionamento al suolo a due metri, supporterà centri di ricerca e sistema di Protezione Civile per contrastare il dissesto idrogeologico e incendi, tutelare le coste e monitorare le infrastrutture critiche, la qualità dell'aria e le condizioni meteorologiche. La "costellazione di costellazioni" Iride è un sistema *end-to-end* con satelliti nell'orbita bassa (Upstream Segment), infrastruttura operativa a terra (Downstream Segment) e servizi destinati alla Pubblica Amministrazione (Service Segment). I suoi dati saranno a disposizione gratuita e verranno conservati in un'infrastruttura di archiviazione di ultima generazione. Iride disporrà di *radar ad apertura sintetica*, sensori *iperspettrali* e *infrarosso*, *payload* ottici con risoluzioni di due o tre metri, in alcuni casi anche inferiori al metro. Spazierà dall'osservazione delle coste al monitoraggio dell'atmosfera, dalla qualità delle acque e del sistema idrico ai movimenti del terreno e delle grandi infrastrutture. Capacità per servizi di sicurezza, prevenzione, gestione delle emergenze, per applicazioni a supporto dell'agricoltura con il *precision farming*, il controllo delle acque, la gestione del patrimonio boschivo.

In emergenza, attraverso i radar, anche di notte Iride potrà osservare, ad esempio, zone alluvionate per indicare le aree sommerse oppure, dopo un terremoto, permetterà di identificare gli edifici danneggiati. Allo stesso tempo gli occhi della costellazione

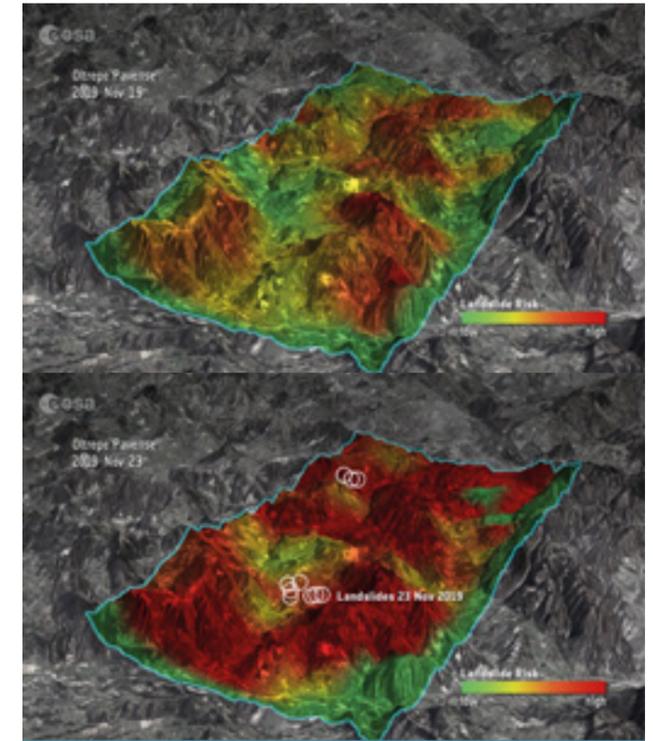
eseguiranno un monitoraggio costante, nuove *sentinelle* potranno individuare crolli e cedimenti di versanti franosi. Insomma Iride è un programma *end to end*, che promette un salto qualitativo nell'utilizzo dei dati satellitari che aiuteranno nei monitoraggi dell'erosione costiera e della qualità delle acque. Il comparto industriale italiano partecipa al progetto con 47 aziende, che offrono tecnologie che dimostrano l'abilità tecnologica spaziale italiana.

Modelli di previsione meteorologica, climatica e idraulica

CLIMA E METEOROLOGIA

- **Tecnologie per l'Osservazione della Terra dallo spazio** con satelliti, aerei, droni, sonde spaziali per la raccolta dati elaborati anche attraverso l'utilizzo di tecnologie come IoT, 5G e Edge Computing.
- **Tecnologie per il telerilevamento** spaziale o *remote sensing* da satelliti artificiali o per telerilevamento, da aerei, droni, sonde spaziali, sensori di rilevazione, attraverso foto, dati numerici, misure di radiazione elettromagnetica emessa, riflessa o trasmessa che interagisce con le superfici fisiche.
- **Tecnologie dell'Intelligenza Artificiale nella modellazione climatica e meteorologica**, e nell'analisi del rischio prodotto dalla crisi climatica.
- **Tecnologie di monitoraggio e controllo dei parametri atmosferici e meteo-climatici** - composizione, profili meteorologici, nuvolosità, precipitazioni, vento, modelli di previsione - per effettuare *nowcasting* con previsioni meteo a brevissimo termine degli impatti a terra.

- **Realtà aumentata e realtà virtuale** per visualizzare possibili aree di impatto di potenziali eventi meteo-climatici in modo coinvolgente e educativo navigando nel virtuale ed esplorando ambienti acquisendo dati per tecnologie di prevenzione.
- **Modellazione meteorologica predittiva** con l'IA per analizzare enormi quantità di dati meteo sia storici che in tempo reale per sviluppare modelli predittivi di precisione.
- **Tecnologie di monitoraggio con radiazione nell'infrarosso** e mappatura della fluorescenza delle piante.
- **Modellistica climatica di precisione** per analisi di superfici marine, lacustri e fluviali, di aree montuose più a rischio frana con anomalie e instabilità di pendii e identificazione di aree in dissesto idrogeologico anche urbanizzate.
- **Tecnologie monitoraggio della circolazione marina**, moto ondoso, livello del mare, temperatura, stato biologico e di qualità.
- **Tecnologie di rilevamento dello stato dei ghiacciai** per tipologia, spessore, estensione e movimenti.



Fonte: ESA/Planetary Visions

TERRITORIO

- **Tecnologie per l’acquisizione dati** per valutazione processi di degradazione dei suoli e di desertificazione.
- **Tecnologie per topografia e cartografia di precisione** per mappature delle aree urbanizzate e di foreste, boschi, vegetazione.
- **Tecnologie a supporto della pianificazione urbanistica sostenibile** con l’IA valutando l’impatto degli interventi sulle acque e gli ambienti naturali, identificando potenziali rischi in aree fragili e sviluppando modelli di progettazione urbana più sostenibili riducendo consumo di suolo e aumentando la qualità urbana.
- **Tecnologie di IA per analizzare dati da satelliti e droni per monitorare il territorio** con algoritmi di apprendimento automatico per identificare modifiche nella topografia, condizioni del suolo e della vegetazione, indicando aree a rischio frane, alluvioni o erosione costiera.
- **Tecnologie per analisi dei dati Idrologici per la modellazione del territorio** provenienti da stazioni meteorologiche, sensori e modelli idraulici per valutare portate dei fiumi, saturazione del suolo e altri parametri chiave per attivare prevenzione da eventi idrologici estremi, creando modelli virtuali del territorio con topografia, suolo, vegetazione e altri fattori, e indicare aree vulnerabili aiutando la mitigazione del rischio.

Accumulo stoccaggio di acqua

TECNOLOGIE PER DIGHE E INVASI

Nel mondo, le grandi dighe sono complessivamente 58.713. Di queste, circa 23mila sono in Cina, oltre 9mila negli Stati Uniti, e 4mila in India, ma quelle attualmente funzionanti sono 39.110. La domanda di acqua fa prevedere un trend di crescita elevato. Con la loro capacità attuale cumulata di circa 7.714 km², le dighe hanno un ruolo significativo nella gestione efficace dell’acqua potabile che in molte aree del Pianeta è, o rischia di essere, limitata.

NUMERO DI DIGHE PER PAESE

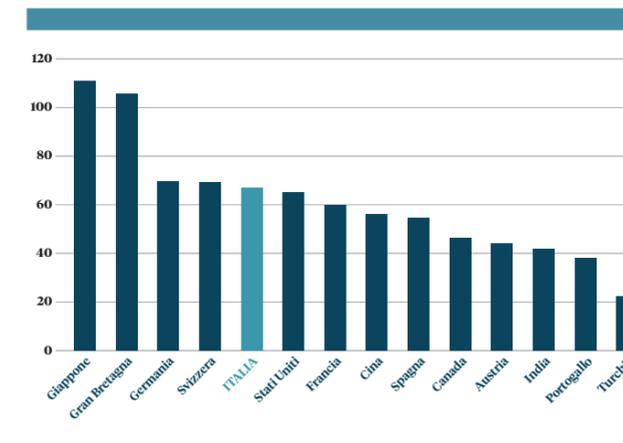
Paesi	Numeri
China	24.089
United States of America	10.158
India	4.540
Japan	3.135
Canada	1.440
South Africa	1.428
Korea (Rep. of)	1.359
Brazil	1.280
Mexico	1.107
Spain	1.066
Australia	730

Fonte: CIGB-ICOLD



La diga di Valvestino sul Lago di Garda - Italia

ETÀ MEDIA DELLE DIGHE NEL MONDO (ITGOLD)



Fonte: EWA

La grande diga italiana risponde alle caratteristiche definite dalla Legge del 21 ottobre 1994 n. 584, che la indicano come sbarramento di altezza superiore a 15 metri, oppure con un serbatoio artificiale contenente un volume di acqua superiore a 1 milione di m³ d’acqua. Sono manufatti incastonati nei nostri paesaggi montani e alpini, che hanno creato invasi che ormai formano il bel paesaggio italiano, al punto che quasi non ci accorgiamo più della loro presenza. La loro multi-funzione costante, è fondamentale.

Costruzioni e gestioni di grandi dighe rispondono a procedure complesse e ad una attenta pianificazione, a tecniche costruttive, tecnologie e analisi rigorose per garantire il massimo della sicurezza, dell’efficienza, della sostenibilità e benefici per le popolazioni. Studi approfonditi della geologia e dell’idrologia, della sismicità e delle caratteristiche ambientali sono determinanti per la scelta dei siti e della tipologia di diga, dell’altezza e del volume d’acqua da immagazzinare, delle funzioni: per uso potabile, per l’irrigazione, produzione di energia, controllo e mitigazione delle piene. La progettazione strutturale analizza con precisione orografia e morfologia dei luoghi vallivi che le ospitano, composizione dei terreni, tipologia delle rocce, caratteristiche dei corpi fluviali che devono sbarrare, possibili impatti sismici, vulcanici e da frana, rischi meteorologici, fabbisogni idrici ed energetici, dimensioni e materiali necessari per garantire la massima sicurezza. Sono sottoposte a valutazioni dell’impatto ambientale, a sistemi di monitoraggio geotecnico, idraulico e sismico, a valutazione di rischio frane, a modellazioni e simulazioni di comportamenti sotto diverse condizioni di carico e ambientali.

Oggi le grandi dighe italiane sono 526, come risulta dal Database del Registro Italiano delle Grandi Dighe della Direzione Generale per le dighe e le infrastrutture idriche del Ministero delle infrastrutture e trasporti. Sono gestite da 131 concessionari, e i primi due per numero sono Enel Produzione con 180 dighe e Ente Acque della Sardegna con 33. Tutte insieme, sarebbero in grado di invasare un volume complessivo pari a circa 13.7 miliardi di m³ di acqua, compresi i 3.4 miliardi di m³ negli sbarramenti all’incile dei grandi laghi sub-alpini.

LE GRANDI DIGHE IN ITALIA E I VOLUMI DI ACQUA INVASIBILI E AUTORIZZATI

	Numero	Volume invasabile Miliardi m ³	Volume autorizzato Miliardi m ³
Piemonte	59	0,37	0,36
Valle d’Aosta	8	0,14	0,13
Lombardia	77	4,04	4,00
Trentino A. Adige	36	0,65	0,63
Veneto	18	0,24	0,23
Friuli V. Giulia	12	0,19	0,18
Liguria	11	0,06	0,06
Emilia Romagna	24	0,16	0,15
Toscana	50	0,32	0,31
Umbria	9	0,43	0,24
Marche	16	0,12	0,11
Lazio	21	0,52	0,51
Abruzzo	14	0,37	0,37
Molise	6	0,20	0,13
Campania	17	0,29	0,25
Puglia	9	0,54	0,46
Basilicata	14	0,91	0,54
Calabria	20	0,48	0,44
Sicilia	46	1,10	0,82
Sardegna	59	2,51	1,98
ITALIA	526	13,65	11,90

Elaborazione Fondazione EWA su dati Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

L'età media degli impianti è di 67 anni. Il 47% degli invasi è al Nord con un volume invasabile pari a 5,8 miliardi di m³ - autorizzati 5,7 miliardi di m³ -, e l'età media più alta è di 78 anni. Seguono le regioni meridionali, con il 35% delle grandi dighe per un volume invasabile pari a 6,5 miliardi di m³ - autorizzati 4,9 miliardi di m³ - e l'età media più giovane di 53 anni. In Centro Italia troviamo il 18% delle grandi dighe con una capacità invasabile di 1,4 miliardi di m³ - autorizzati 1,2 miliardi di m³ -, e l'età media di 67 anni.

La Lombardia ha la massima capacità invasabile con 4,04 miliardi di m³, quasi interamente autorizzati, mentre la Liguria con 60 milioni di m³ è la regione con la capacità invasabile più bassa. Lo scarto maggiore tra volume invasabile e autorizzato è nelle grandi dighe della Sardegna con un differenziale di circa 530 milioni di m³. L'energia idroelettrica viene prodotta in 310 impianti. E gli invasi ad uso irriguo sono 138.

ANCHE LE DIGHE PERDONO ACQUA. PER SEDIMENTI E PER 147 DIGHE «LIMITATE»

Oggi, pur avendo una maggior capacità di invaso, in realtà i volumi di acqua disponibili sono sostanzialmente quelli di cinquant'anni fa, ed è in calo la capacità reale di invaso delle grandi dighe per l'effetto di due

limiti: un limite amministrativo e un limite fisico, che interagiscono. Si può stimare che, nonostante un volume teoricamente invasabile pari a 13,652 miliardi di m³ - compresi i 3,4 miliardi di m³ ottenuti dalla regolazione dei grandi laghi sub-alpini di Como, Maggiore, D'Orta, D'Iseo e Garda - e ad un volume autorizzato molto più limitato e pari a 11,903, il volume realmente invasato nelle grandi dighe italiane sia oggi valutabile intorno agli 8,852 miliardi di m³ di acqua. La perdita di accumulo di risorsa risulta quindi di circa 5 miliardi di m³ di acqua.

GRANDI DIGHE FUORI ESERCIZIO O INVASO LIMITATO

	Numero	Miliardi m ³	Valore %
In Costruzione	7	0,11	0,8
In Collaudo	76	5,282	38,7
Invaso Limitato	41	1,231	9
Fuori esercizio temporaneo	23	0,073	0,5

Elaborazioni Fondazione Earth Water Agenda

QUANTA ACQUA C'È NELLE DIGHE (mld m³)

• VOLUME INVASABILE	13,652
• VOLUME AUTORIZZATO	11,903
• VOLUME STOCCATO	8,852

Per dighe e invasi tra le grandi aree di innovazione e applicazione di tecnologie ci sono la **pianificazione della costruzione**, la **gestione della diga** e, nei casi in cui la diga ha anche centrali idroelettriche, la tecnologia per lo **sfruttamento dell'acqua a fini di produzione elettrica** sia in maniera diretta, sfruttando il "salto naturale dell'acqua", sia in maniera "artificiale" utilizzando la tecnica dei pompaggi. Il cosiddetto **disinterramento o pulizia della diga** e delle relative tecniche mirate a depotenziare gli accumuli di detriti e sedimenti, sia attraverso sistemi limitanti favoriti da specifiche gestioni dei flussi di acqua, sia attraverso interventi di disinterramento che richiedono alti costi operativi nelle operazioni tecniche e nello smaltimento dei sedimenti.

Le tecniche, materiali e processi per la costruzione delle dighe, dalla scelta dei luoghi all'individuazione di tipologie e capacità di stoccaggi e al rapporto con l'ambiente esterno e con quello più ampio a livello di bacino idrologico, richiamano idrologia, geologia, studi di impatto socioeconomico sull'area molto vasta sulla quale influiscono il fiume e la diga. La costruzione di una diga coinvolge varie tecnologie non solo di ingegneria civile.

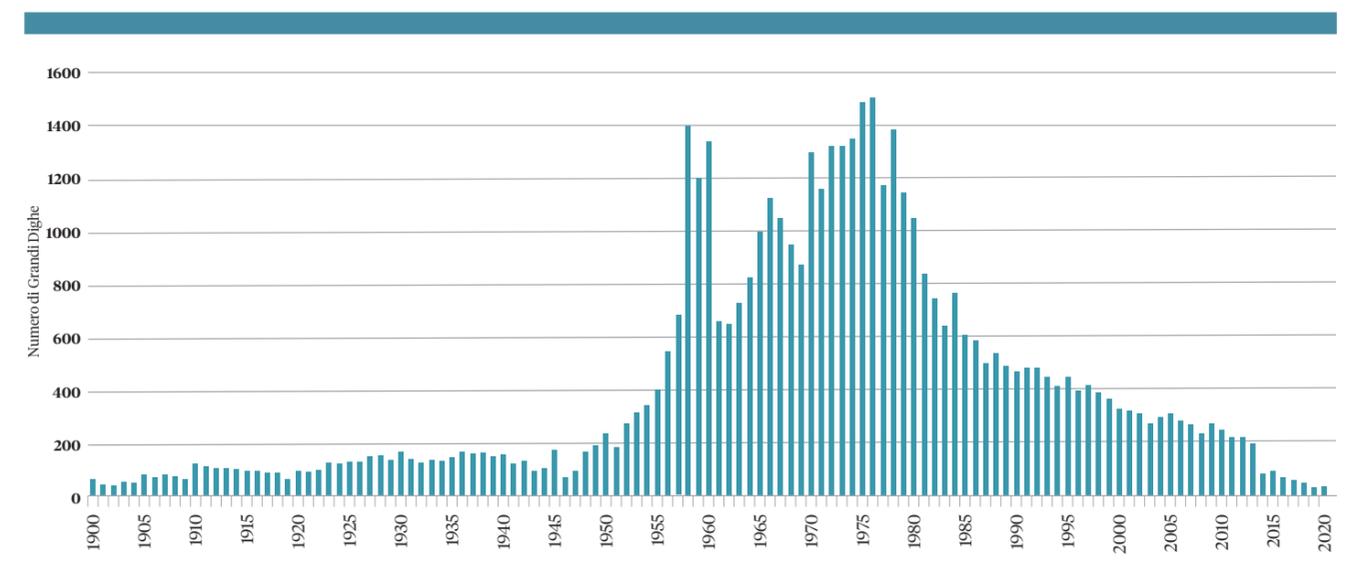
GEOTECNICA E INGEGNERIA DEI TERRENI

La geotecnica studia le proprietà meccaniche dei terreni e delle rocce, informazioni che l'ingegneria utilizza per valutare la stabilità dei pendii che devono accogliere le dighe e la loro capacità di contenimento, con sistemi di monitoraggio di vari parametri - deformazione, pressione dell'acqua, piezometria e temperatura - fornendo dati per la massima sicurezza possibile e per la costante manutenzione delle strutture.

MODELLAZIONE E SIMULAZIONE AL COMPUTER

Consentono di valutare il comportamento idraulico delle strutture, di prevedere l'erosione del suolo, di simulare eventi di piena e di valutare l'impatto ambientale delle dighe.

COSTRUZIONI DI GRANDI DIGHE NEL MONDO DAL 1900 AD OGGI



Fonte: ICOLD WRD, 2020

STUDIO E ANALISI DEI SEDIMENTI

Sia in fase di costruzione che in quelle di gestione e manutenzione, lo studio del contenuto solido e l'analisi dei sedimenti affianca la strategia efficiente della gestione del materiale di scavo e dei successivi sedimenti. L'Intelligenza Artificiale permette:

- l'analisi dei grandi volumi di dati da sensori;
- l'identificazione di anomalie che potrebbero indicare potenziali rischi;
- la creazione di modelli predittivi accurati del comportamento della diga sotto diverse condizioni di sforzo;

- l'ottimizzazione già in fase di progettazione della diga, tenendo conto di tutti i fattori e consentendo modifiche;
- la manutenzione predittiva per monitorare le condizioni strutturali della diga e prevedere i tempi delle manutenzioni.

Nella legislazione italiana è poi normato il *Debat Public* come prerequisito alla messa a punto di progetti di fattibilità nella costruzione di una diga o un invaso. Le tecnologie oggi disponibili possono garantire la migliore comunicazione e il coinvolgimento dei cittadini e validare in maniera più adeguata questi strumenti di partecipazione delle comunità locali alla progettazione delle infrastrutture del territorio.





TECNO-COSTRUZIONE DELLA DIGA. LA TECNOLOGIA DEL CALCESTRUZZO

Il calcestruzzo è ampiamente utilizzato per le dighe per cui sono state sviluppate tecnologie avanzate per la produzione, il trasporto e la colata, garantendo resistenza e durabilità. È un conglomerato artificiale costituito da una miscela di legante, acqua e aggregati fini e grossi (sabbia e ghiaia) con l'aggiunta, secondo necessità, di additivi o minerali che ne rafforzano le caratteristiche fisiche o chimiche e le prestazioni del conglomerato sia fresco sia indurito. Nel ventunesimo secolo il legante utilizzato per confezionare calcestruzzi è stato il cemento, ed esistono oggi formulazioni di calcestruzzo "auto-compattanti" che si costipano per forza di gravità grazie all'acqua. Il cemento, infatti, idratato con l'acqua, fa presa e indurisce conferendo alla miscela una resistenza meccanica tale da renderla assimilabile alla roccia, rendendolo oggi, il materiale da costruzione più impiegato nel mondo, e diverse tecnologie, con l'inserimento di speciali additivi, lo rendono adatto anche a condizioni di resistenza ad aggressioni chimiche o di risalita di acqua di falda. Calcestruzzi impermeabili sono utilizzati per strutture idrauliche, strutture edili realizzate sotto il livello di falda, fosse, vasche, cunicoli, canali. La tecnologia dei calcestruzzi impermeabili permette l'impermeabilizzazione con l'esecuzione dei calcestruzzi della struttura stessa, eliminando rivestimenti e impermeabilizzazioni applicate all'esterno con manti bituminosi, sintetici o bentonitici o all'interno con rasature e sistemi applicati in superficie.

Nel caso di strutture interraste sotto il livello della falda si utilizza la tecnologia di "vasca bianca" formata da calcestruzzo impermeabile combinato con sistemi di sigillatura dei giunti per ogni tipo di giunto costruttivo e di movimento. Per produrre calcestruzzo impermeabile all'acqua, si utilizzano additivi super-fluidificanti e agenti impregnanti o a cristalli attivi, che garantiscono una consistenza e una compattazione ottimali, con sigillanti idrofili/profili idro-espandenti, water-stop, tubi di iniezione. I calcestruzzi anti-dilavamento sono progettati per strutture da gettare nell'acqua, realizzati con impasti addensati per avere getti che non perdono pasta cementizia mantenendo compattezza e qualità fisico-meccaniche.

VALUTAZIONI DEGLI IMPATTI

Ogni diga oggi deve fare i conti con i rischi naturali e con il cambiamento climatico e i suoi effetti, per aumentare la flessibilità, gestendo livelli di precipitazioni e portate variabili e differenziate nelle stagioni e negli anni. La legislazione italiana assume, giustamente, come parametro centrale quello della resistenza alle spinte sismiche, specie nelle aree più a rischio, e le dighe esistenti sono state costruite, e successivamente ristrutturare e rafforzate, per questo obiettivo.

Le tecnologie devono oggi far fronte anche a necessità di adattamento a fenomeni meteo estremizzati, e di segno opposto e tra questi anche l'incremento della temperatura che aumenta la crescita dell'evapotraspirazione.

L'osservazione dell'evapotraspirazione

In Italia, sulla media di precipitazioni di 296 miliardi di m³, si stima una evapotraspirazione intorno ai 156 mld di m³.

Con l'**evaporazione** dal suolo e dagli specchi d'acqua, l'acqua passa dallo stato liquido a quello gassoso per effetto del calore del sole e di altri fattori come la ventilazione e l'umidità dell'aria. Si aggiunge la **traspirazione** delle foglie delle piante che assorbono acqua dalle radici che viene trasportata alle foglie da dove evapora attraverso le aperture stomatiche.

Diversi fattori condizionano il fenomeno: la radiazione solare, la temperatura, l'umidità dell'aria, il vento, la tipologia di vegetazione. Si tratta di un processo importante nel bilancio idrico di un'area, ed è quindi un parametro strategico la cui conoscenza aiuta nella gestione delle risorse idriche.

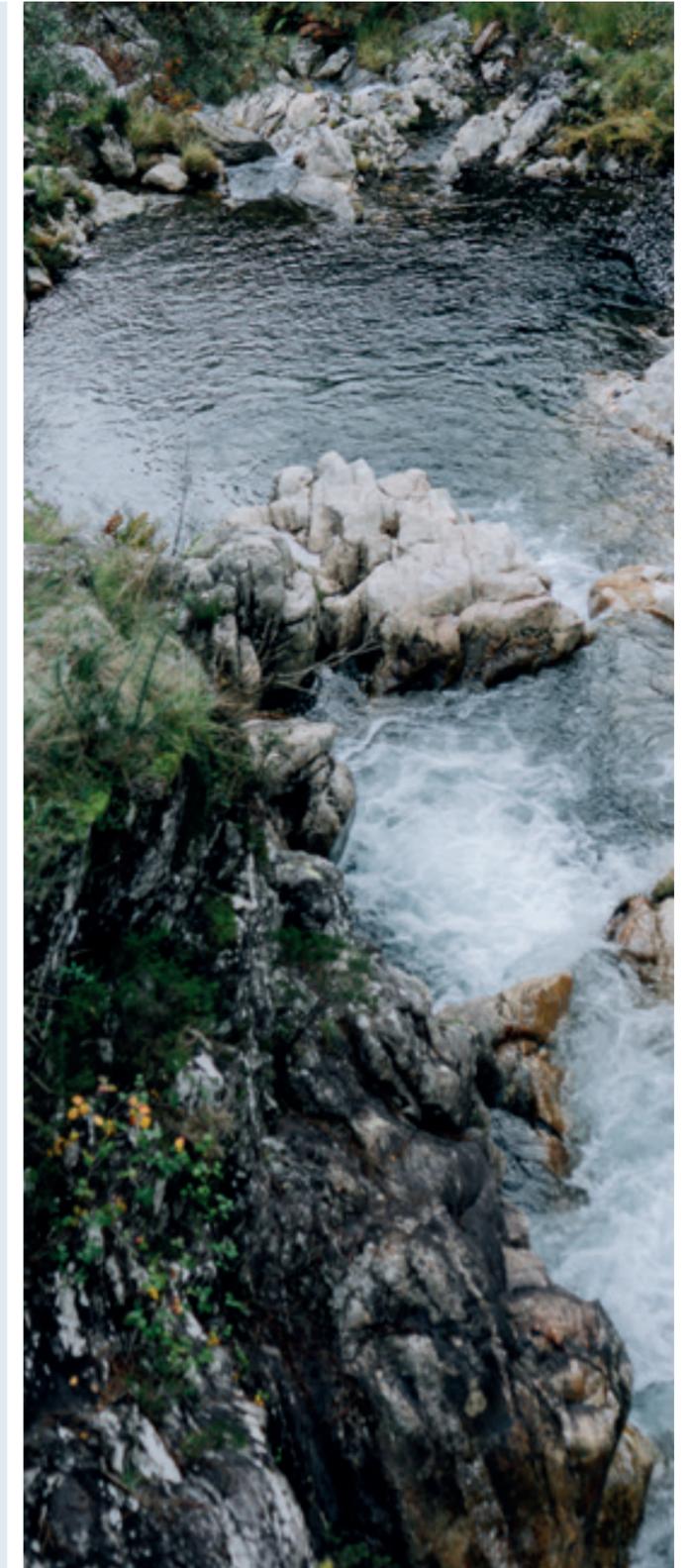
Per l'evapotraspirazione, la prima area di utilizzo di tecnologie è quella relativa alla previsione di stime del fenomeno in determinati territori attraverso modelli di calcolo che si avvalgono dei dati resi disponibili dal telerilevamento sia satellitare che Lidar, o con sistemi di sensoristica a terra. I modelli di simulazione, con diversi e ampi approcci metodologici, si avvalgono di tecnologie di Machine Learning e di Reti Neurali Artificiali. Sono essenziali in settori come l'agricoltura dove l'accuratezza della stima della evapotraspirazione è cruciale per migliorare l'irrigazione di precisione e aumentare così l'efficienza della risorsa idrica utilizzata.

Ci sono metodi per ridurre l'evapotraspirazione in un invaso, mitigando radiazioni solari e vento, aumentando gli impianti di vegetazione, utilizzando pannelli solari galleggianti che riducono l'esposizione al sole dell'acqua accumulata, che funzionano anche da barriera contro il vento e da generatori di umidità attraverso la creazione di maggiore ombreggiatura. I pannelli solari possono ridurre la perdita di acqua in dighe e invasi da evapotraspirazione in un range tra il 10 e il 20%.

EVAPOTRASPIRAZIONE IN ITALIA 2010/2023

Quota su precipitazioni	Autunno Inverno	Estate	Intero anno
EVAPOTRASPIRAZIONE	34,3%	112,4%	52,7%

Elaborazioni Fondazione Earth Water Agenda





GESTIONE E MANUTENZIONE TECNOLOGICA

Il controllo e il monitoraggio costante dei potenziali rischi di erosione e interrimento e da eventuali anomalie strutturali, è correlato a sistemi di allarme precoce per “comportamenti anomali” della struttura. Sono diverse le tecnologie utilizzate: sensori avanzati per il monitoraggio da remoto, tecnologie di gestione dati e *cloud*, tecnologie di *imaging* satellitare e da droni, modellazioni e simulazioni avanzate, l'*Internet delle cose* (IoT) e, sempre di più, l'Intelligenza Artificiale e l'Apprendimento Automatico o combinazioni tra queste tecnologie.

La diga è sempre più un sistema iper-controllato e gestito col supporto di tecnologie che vedono e prevedono flussi e comportamenti del sistema. Le “smart dams” sono l'evoluzione tecnologica del modo di essere e operare della diga. Aumentano sempre più le possibilità di integrare la produzione di energia idroelettrica con la nuova produzione di energia rinnovabile nello specchio d'acqua, utilizzando pannelli solari, con effetti positivi: più energia pulita e meno evapotraspirazione dell'acqua e formazione di alghe.

L'utilizzo di sistemi di pompaggio permette poi di accumulare acqua nei periodi di minore richiesta di elettricità, e di bilanciarla nei periodi di alta richiesta. Il pompaggio, in parte abbandonato al punto che oggi siamo ad appena 2.000 Gwh rispetto agli oltre 7.000 Gwh di 20 anni fa, permette alla diga di diventare un “accumulatore” di energia rinnovabile.

La gestione sostenibile passa anche dalla creazione di habitat per la fauna selvatica, dall'implementazione di tecnologie eco-compatibili, dall'uso di turbine “fish friendly” che minimizzano il rischio per la fauna ittica.

PULIZIA DI DIGHE E INVASI PER RECUPERARE UN TERZO DI STOCCAGGIO

La prima causa della riduzione dell'acqua nelle dighe è l'interrimento progressivo degli invasi a causa dei sedimenti di terra e rocce trasportate dai fiumi che si riversano nei fondali e che non vengono asportati. Siamo un Paese con territori caratterizzati da climi estremi e da forti processi erosivi e il fenomeno dello scivolamento in diga dei sedimenti è in crescita. Accumulandosi, riducono gli spazi dei laghi artificiali per invasare l'acqua, perdendo ad oggi una capacità di invaso complessiva di 4,8 miliardi di m³, privandoci di quasi un terzo dei volumi di risorsa utilizzabile. Ai sedimenti si aggiunge poi lo scandaloso scarto tra il volume teoricamente invasabile e il volume autorizzato nelle 80 dighe che da decenni risultano in «invaso sperimentale», «in attesa di collaudo tecnico-funzionale», con «sperimentazioni non completate o interrotte», con «esercibilità non definitivamente conseguita». Potrebbero, tutte insieme, invasare 1,5 miliardi di m³ ma risultando sempre fuori esercizio o a invaso limitato riducono lo stoccaggio, e i risultati si vedono nelle regioni in perenne emergenza come la Sicilia con dighe fuori uso o con invasi molto ridotti.

INTERVENTI URGENTI DI RIMOZIONE DI SEDIMENTI NELLE DIGHE

Milioni di m³ e di Euro

Autorità di bacino distrettuale	Volume di sedimenti da rimuovere (Mln m ³)	Risorse finanziarie impegnate (Mln €)
Alpi orientali	31,9	250
Appennino centrale	1,3	13
Appennino meridionale	8,3	86
Appennino settentr.	12,4	-
Fiume Po	3,3	104
Sardegna	-	-
Sicilia	0,9	55
TOTALE	58	508

Elaborazioni Fondazione Earth Water Agenda

Come emerge dalla tabella, presentata dal Commissario Straordinario per interventi urgenti connessi alla siccità Nicola Dell'Acqua, sulla base dei dati rilevati delle sette Autorità di bacino distrettuali, la pulizia delle nostre dighe e la gestione dei sedimenti sono emergenze da affrontare poiché ripulirle avrebbe lo stesso effetto dell'inaugurazione di «nuove» grandi dighe.

¹ G. Di Silvio “la sedimentazione dei serbatoi: nuovi approcci a un vecchio problema”, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, marittima, ambientale e geotecnica Università degli Studi di Padova; Fiorenzo Fumanti e Leonello Serva L'Astrolabio, 2015.

Attualmente, in Italia, il livello medio di spazi «rubati» all'acqua negli invasi è calcolabile intorno al 30%, con aumenti annui per le piccole dighe del 2%, e per le grandi dighe dello 0,6%. Quel terzo della nostra capacità di invaso non è solo una preoccupante perdita di risorsa disponibile, ma anche della multifunzionalità dell'infrastruttura. Nell'analisi costi-benefici del ciclo di vita di una diga la gestione dei sedimenti è determinante perché gli effetti negativi che si riflettono sulla struttura condizionano la più generale gestione integrata dell'acqua. La riduzione del volume di invaso, ha come conseguenze¹:

- minore capacità di regolazione dei deflussi e di laminazione delle piene con possibili maggiori rischi di inondazione;
- possibili ostruzioni di opere di derivazione e degli scarichi;
- abrasione di sfioratori e gallerie
- problemi a sistemi e dispositivi come turbine e paratoie;
- aumento di sollecitazione sulla diga e possibili erosioni localizzate al piede;
- abbassamento dell'alveo a valle della diga, con possibili erosioni localizzate e instabilità delle infrastrutture come ponti, arginature, opere di presa;
- riduzione di apporti solidi verso i litorali;
- problemi nella produzione energetica.

Lo svasamento di una diga è un'operazione complessa, ma ci sono accorgimenti, strumenti e tecnologie per limitare al massimo l'afflusso di sedimenti, e strategie di gestione - dalla deviazione del sedimento intorno o attraverso l'invaso, alla loro rimozione - per recuperare la capacità di invaso, diminuendo le perdite di volumi e mitigando gli effetti dell'incremento della evapotraspirazione. Occorrerebbe anche una revisione delle norme, senza ovviamente derogare a principi di sicurezza, sostenibilità e rispetto dell'ecosistema. Il Decreto del Ministero delle Infrastrutture del 12 ottobre 2022, n. 205 con il "Regolamento recante criteri per la redazione del progetto di gestione degli invasi" va in questa direzione, ma andrebbe attuato e andrebbe soprattutto finanziata la pulizia delle dighe.

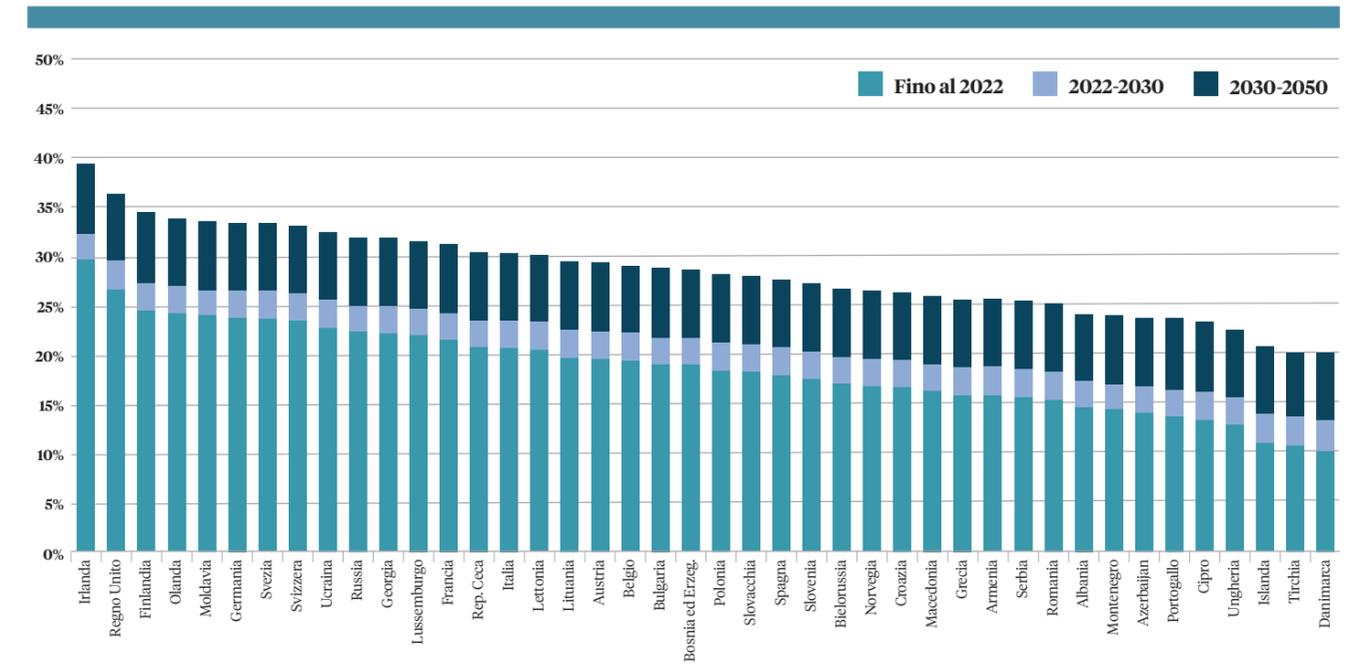
L'interramento può essere segnalato da sistemi di monitoraggio integrati con tecnologie di telerilevamento, immagini ottiche satellitari, immagini radar a sintesi d'apertura e dati altimetrici satellitari che rilevano cambiamenti spaziali nel tempo nella sedimentazione del bacino. Il "Comitato Nazionale Italiano per le Grandi Dighe" valuta l'ampia gamma delle operazioni e delle tecnologie in funzione, delle dimensioni del serbatoio, della quantità del materiale, delle caratteristiche fisico-chimiche, del grado di accessibilità dell'area d'intervento, dei vincoli normativi e anche dell'aspetto economico. Oggi la pulizia prevede un complesso "progetto di gestione" che disciplina le operazioni di svasso - lo svuotamento totale o parziale dell'invaso - e di sfangamento e sghiaimento, con la rimozione del materiale fine e

grossolano sedimentato nel serbatoio. Sono operazioni che possono provocare impatti positivi per l'aumento di contenimento di acqua a valle in caso di piena. Per l'asportazione di materiale a diga piena vengono utilizzati sistemi di pompaggio o dragaggio con apparecchiature posizionate su piattaforme galleggianti, e il materiale asportato, se ricadente nella normativa rifiuti, deve essere stoccato, trasportato e conferito in discarica.

Negli ultimi anni sono state sperimentate tecnologie che consentono l'asportazione di sedimento senza intorbidamento dell'acqua e con la separazione netta tra materiale granulare riutilizzabile e materiale fine generalmente destinato a discarica. Si tratta di una innovazione interessante, una linea di intervento adeguata per il disinterramento delle dighe. Lo sfangamento rimuove la prima causa della riduzione progressiva dei volumi di acqua e della capacità idrica delle dighe: i livelli dell'interramento e la velocità di accumulo dipendono dalle caratteristiche idrologiche e geo-morfologiche dell'area che ospita l'impianto e dalla quantità di sedimenti di terra e rocce trasportate dai fiumi che si riversano nei fondali e non vengono asportati. Le tecnologie per recuperare capacità di invaso utilizzando dispositivi e processi di "sfangamento" con rimozione meccanica per l'asportazione del materiale solido sedimentato sono sempre più sostenibili. Il dragaggio con tecnologie e attrezzature sempre meno invasive consente una rimozione mirata o ampia con sistemi aspiranti che convogliano all'interno di una tubazione galleggiante una miscela di acque e sedimenti, da



DIGHE IN EUROPA: LIVELLO DI INTERRAMENTO AL 2022, 2030 E 2050



Fonte: MDPI

qualsiasi profondità, anche in zone poco accessibili con pontoni modulari assemblati sul posto, con opzioni in relazione alla destinazione finale dei sedimenti rimossi (refluimento a valle, in cassa di colmata, stoccaggio provvisorio, refluimento in impianto di trattamento meccanico, dewatering). La quantità di materiale solido trasportato dipende dalle caratteristiche granulometriche del sedimento, varia generalmente dal 5-10% per materiale limo-argilloso fino a circa il 20% per materiale sabbioso.

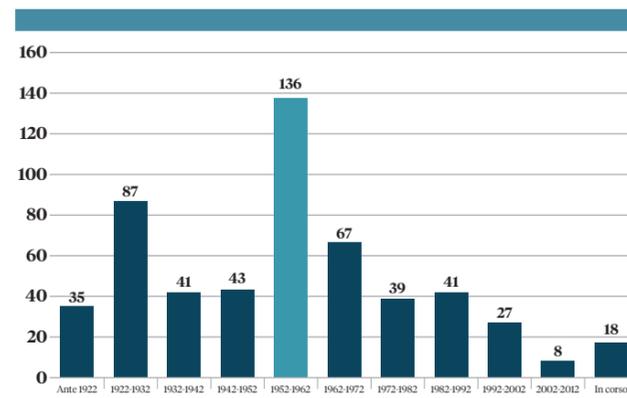
La mancata pulizia dipende dal disinteresse delle amministrazioni pubbliche, dalle lungaggini del Parlamento che lascia il problema nell'incertezza delle norme, l'annosa questione delle proroghe delle concessioni idroelettriche. È un problema che riguarda ovviamente le dighe di tutto il mondo, e su scala planetaria, la percentuale media di interrimento oggi si situa intorno al 16%, e si calcola che nel 2050 tale percentuale potrebbe arrivare intorno al 25,5%. Si tratta di quasi 10 punti percentuali in più, con una perdita di acqua accumulata che sui volumi oggi esistenti nelle dighe, è pari a circa 800 miliardi di m³, una quantità pari a 23 volte il consumo attuale di acqua in Italia. I costi dell'asportazione del materiale solido sedimentato, dipendono dalla qualità e dalla quantità dei sedimenti e materiali

da asportare, dalla localizzazione della diga e dalle distanze di conferimento del materiale. Ma spesso, la pratica dello "sfangamento", anche parziale, incontra vincoli e proteste e capita che, prima di montare i sistemi di pompaggio o di dragaggio, arrivino ordinanze di stop di amministratori o procure e denunce anche di comitati locali, così il problema continua ad essere completamente rimosso.

26.288 PICCOLE DIGHE CON 800 MILIONI DI M³ DI ACQUA

Sono 26.288 le nostre piccole dighe con sbarramenti di altezza inferiore a 15 metri o con un serbatoio artificiale contenente un volume di acqua inferiore a 1.000.000 di m³. È un numero importante e fanno anch'esse parte a pieno titolo dei nostri paesaggi, e la loro percezione è quella di una miriade di laghetti naturali. L'ISPRA, che verifica numero, localizzazione geografica, dimensioni e stato di esercizio anche dei piccoli invasi, indica il ritardo cronico di alcune regioni nei monitoraggi. Se per le grandi dighe l'informazione è completa a livello nazionale, per i piccoli invasi i database sono infatti disponibili non in tutte le regioni, e solo 15 di esse aggiungono le coordinate geografiche degli invasi, anche solo parziali.

COSTRUZIONE DI GRANDI DIGHE IN ITALIA DAL 1920 AD OGGI



Fonte: elaborazione dell'Agenzia per la Coesione Territoriale su dati del Registro Italiano Dighe

Se per le grandi dighe, il database è al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti sempre aggiornato con l'archiviazione informatica dei dati tecnico-amministrativi nel «Registro delle Grandi Dighe», per le piccole dighe la competenza è attribuita alle singole regioni, ad eccezione delle province autonome di Trento e Bolzano. In molti casi non hanno provveduto alla realizzazione delle banche-dati, e non hanno uffici in grado di ottenere e gestire i dati su piccole dighe e altri piccoli bacini idrici, e questo anche per il mancato adeguamento alle normative.

Grazie alle grandi e piccole dighe, tre regioni italiane non hanno sofferto la mancanza di precipitazioni dell'ultima siccità 2022-23, tra le più dure del secolo. La prima è la Sardegna che ha fatto fronte alla scarsità di piogge con il suo robusto sistema di stoccaggio ormai con un secolo di vita, garantendo risorsa per l'idropotabile e l'agricoltura. La seconda regione è il Piemonte, che ha fronteggiato la siccità estrema con il suo sistema di grandi invasi. La terza è la Toscana che senza la diga-lago di Montedoglio in funzione dal 1983 che a regime raggiunge i 145 milioni di m³ di d'acqua, e la diga-lago di Bilancino con un volume di invaso di 69 milioni di m³, in due terzi della regione, a partire dall'intera area metropolitana di Firenze, si sarebbero viste le autobotti e una agricoltura in ginocchio.

RECUPERARE 10 MILIARDI DI M³ DI ACQUA CONTRO LA CRISI CLIMATICA

Lo stoccaggio dell'acqua piovana è il «trucco» grazie al quale un Paese come il nostro può riuscire a garantire la continuità dell'approvvigionamento idrico, anche durante le siccità. Invasiamo sempre meno acqua, e intercettiamo e stocchiamo poco

più del 3% delle precipitazioni e siamo fermi ai livelli di invaso di oltre mezzo secolo fa, ma con fabbisogni e consumi di mezzo secolo dopo. Un confronto che spiega l'abbandono del settore idrico è quello con le stime di stoccaggio di acqua previste dalla «Conferenza Nazionale sulle Acque» che nel 1971 lanciò il «Piano Dighe» per «soddisfare le esigenze del 1980». Prevedevano di portare la capacità di immagazzinamento idrico nazionale dai 7,7 miliardi di m³ di allora, poco meno di quelle attuali, a ben 17 miliardi di m³, in un solo decennio di lavori. Nei ponderosi atti della Conferenza si legge questo passaggio: «...sono già stati costruiti in Italia serbatoi artificiali per una capacità utile di circa 7,7 miliardi di m³ (3,2 miliardi nell'Italia settentrionale, 0,9 nella centrale, 1,5 nella meridionale e 2,1 nelle isole)... per soddisfare le probabili esigenze dell'anno 1980, bisognerebbe portare la complessiva capacità di invaso a circa 17 miliardi di m³... È probabile che la costruzione di nuovi invasi risulti sempre più costosa. Però ci troviamo di fronte ad una situazione dinamica, che lo impone...».

Avevano capito tutto. La straordinaria capacità di rinviare i buoni piani, ci ha lasciato sempre lì, a fare i conti con problemi enormemente aumentati, ma tutti superabili. Per poter affrontare i prossimi roventi decenni, avremmo infatti bisogno di volumi aggiuntivi per almeno 10 miliardi di m³ di acqua accumulabili. È possibile farcela? Sì, avviando sei azioni contemporaneamente:

- pulizia delle dighe dai sedimenti accumulati;
- rimessa in esercizio delle 157 grandi dighe oggi a invaso risotto o non funzionali;
- nuova programmazione di almeno 5.000 piccoli e medi invasi;
- riduzione delle perdite nelle condotte idriche e degli sprechi negli utilizzi;
- riuso dell'acqua reflua rigenerata dai depuratori;
- «produzione» di nuova risorsa da impianti di desalinizzazione.

Sono investimenti strategici ineludibili anche in termini di valore aggiunto per l'occupazione e la qualità del nostro sviluppo. Dall'autunno del 2021, ci sarebbero due ottimi piani da realizzare, custoditi nei cassetti di vari ministeri e di Palazzo Chigi. Il primo è il «Piano laghetti» predisposto dall'Associazione Nazionale Bonifiche e Irrigazioni guidata da Massimo Gargano e Francesco Vincenzi, per la realizzazione di almeno 10.000 piccoli e piccolissimi bacini artificiali, con pannelli solari galleggianti su parte delle loro superfici. Il secondo è il «Piano di ripristino idraulico funzionale delle opere idrauliche», avviato nell'anno del Covid dal Dipartimento Casa Italia della Presidenza

del Consiglio, allora guidato da Fabrizio Curcio e poi da Elisa Grande e oggi da Luigi Ferrara, per riattivare aree di laminazione fluviali, canali scolmatori e reticoli idraulici urbani la cui funzionalità è scomparsa nel tempo per riempimenti di rifiuti di ogni tipo, espansioni urbane abusive, crescita di vegetazione infestante, assenza di manutenzioni. Queste preziose infrastrutture di contenimento di acqua e di scolo non svolgono più le funzioni idrauliche indispensabili di un tempo, e dovrebbero essere ripristinati immediatamente per ridurre i rischi. È possibile allora ipotizzare, in considerazione della sempre maggior richiesta per vari usi e delle criticità climatiche dei prossimi decenni, volumi aggiuntivi da stoccaggio e recupero per almeno 10 miliardi di m³ di acqua? Pensiamo sia necessario e urgente. È tempo di lanciare un Piano Nazionale di invasi medio-grandi per il loro ruolo fondamentale come protezione di aree urbanizzate da rischio alluvioni, nel garantire forniture di acqua nell'ordinario e nella gestione dei periodi di siccità, per la produzione di energia più pulita e rinnovabile che esista.

TECNOLOGIE PER LE DIGHE

- **Sistemi di monitoraggio avanzato** con uso di sensori, telecamere e tecnologie *remote sensing* permettono di monitorare costantemente le condizioni dell'infrastruttura e dei serbatoi fornendo dati in tempo reale sul livello dell'acqua, la pressione, le deformazioni e altre variabili, aiutando a prevenire e a gestire potenziali problemi.
- **Modellazione avanzata** idrologica e idraulica consentono di prevedere la risposta delle infrastrutture e dei serbatoi a diverse condizioni di sforzo, meteorologiche e idrologiche, aiutando la pianificazione delle operazioni e la gestione delle risorse idriche.
- **Sistemi di allarme precoce** utilizzano dati in tempo reale e modelli di previsione per *alert* tempestivi su potenziali situazioni di rischio come esondazioni o superamento dei limiti di sicurezza.





- **Manutenzione predittiva** con l'uso di tecnologie avanzate come l'Intelligenza Artificiale e l'Apprendimento Automatico, consente di prevedere quando e come effettuare manutenzioni della diga e del serbatoio analizzando le condizioni strutturali e della risorsa acqua.
- **Tecnologie di costruzione e riparazione** delle dighe includono l'uso di materiali più resistenti e resilienti, tecniche di costruzione più avanzate e l'introduzione di metodi non invasivi per ispezioni o riparazioni.
- **Sistemi di rilascio controllato** dell'acqua più efficienti consentono di regolare il flusso in modo più preciso e sicuro.
- **Partecipazione pubblica e coinvolgimento delle comunità** perché l'innovazione non riguarda solo le tecnologie, ma anche l'innovazione per il maggior coinvolgimento delle comunità attraverso feedback dalla gestione delle dighe, comunicando le loro molteplici utilità.

GESTIONE DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE

- **Coperture flottanti** con uno strato galleggiante sopra la superficie dell'invaso, per ridurre l'evaporazione e le perdite di acqua realizzate con materiali come plastica o gommapiuma, utilizzate in invasi di riserve d'acqua e serbatoi.
- **Schermi anti-evaporazione** costituiti da materiali permeabili all'aria, che consentono lo scambio acqua-atmosfera, riducendo l'evaporazione.
- **Utilizzo di polimeri idro-assorbenti** mescolati con l'acqua per formare un *gel* che copre la superficie dell'invaso, riattivati con l'aggiunta di acqua.
- **Installazione di impianti galleggianti fotovoltaici** non solo per produrre energia rinnovabile, ma anche per ridurre l'evaporazione.

LA PULIZIA DEGLI INVASI

La separazione dei sedimenti più fini da quelli più grossi può essere ottenuta utilizzando una serie di tecnologie e processi di *sfangatura* avanzati. Ecco alcune delle tecniche che possono essere utilizzate:

- **Idrociclone con controllo della densità:** sfrutta la forza centrifuga per separare le particelle solide dall'acqua. Utilizzando il controllo della densità, regola la velocità di sedimentazione delle particelle in modo da separare le più fini da quelle più grosse. Le particelle più dense si depositano più rapidamente, mentre le particelle meno dense vengono espulse dalla parte superiore dell'idrociclone.
- **Flottazione a due stadi:** La flottazione è un processo in cui le particelle solide vengono fatte galleggiare in superficie utilizzando agenti chimici o aria compressa. Nel caso della separazione dei sedimenti, è possibile utilizzare una flottazione a due stadi. Nel primo stadio, le particelle più grosse vengono fatte galleggiare, mentre nel secondo stadio, le particelle più fini vengono trattate separatamente.
- **Setacciatura con griglie multiple:** Utilizzando una serie di griglie con maglie di diverse dimensioni, è possibile separare le particelle più grosse da quelle più piccole. Le particelle più grosse vengono trattenute dalla griglia più spessa, mentre le particelle più piccole passano attraverso le griglie più sottili.

- **Filtrazione avanzata:** L'uso di filtri a membrana o altri sistemi di filtrazione avanzati può consentire la separazione efficace delle particelle più piccole da quelle più grandi. Le membrane con pori di dimensioni diverse possono essere utilizzate per separare il particolato fine da quello grosso.
- **Utilizzo di polimeri flocculanti:** L'aggiunta di polimeri flocculanti può favorire l'aggregazione delle particelle fini in particelle più grandi, facilitando così la separazione. Questo processo è spesso utilizzato insieme a altre tecniche di separazione.
- **Sistemi di separazione centrifuga:** L'uso di sistemi di separazione centrifuga può separare efficacemente il particolato fine da quello grosso in base alla loro densità e dimensione. Questi sistemi possono essere regolati per separare in modo specifico le particelle più fini.

Energia dall'acqua

4.783 CENTRALI IDROELETTRICHE. 41% DI ENERGIA GREEN

Se l'acqua è la più antica fonte di energia utilizzata dall'uomo, l'Italia è il Paese con la più antica tradizione nello sfruttamento dell'acqua per produrre energia idroelettrica. Un'altra storia affascinante, un secolo fa, ci ha visti all'avanguardia mondiale nello sviluppo di turbine e sistemi idraulici in grado di trasformare la forza meccanica del flusso dell'acqua in energia elettrica in modo costante e programmabile.

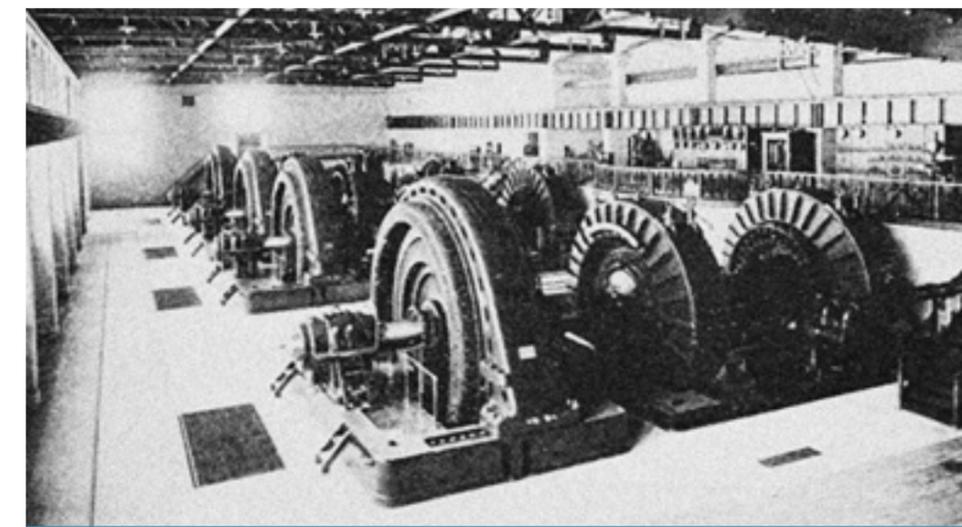
Sono 4.783 le nostre centrali per la produzione di energia idroelettrica, rilevate da Terna al 2023, complessivamente in grado di produrre ogni anno circa 47.552 GWh di energia, cioè il 41% circa dell'intera produzione da fonti rinnovabili. Sono concentrate soprattutto lungo l'arco alpino, dove troviamo: 1.087 bacini idrici in Piemonte, 890 in Trentino-Alto Adige, 748 in Lombardia e 408 in Veneto. Meno diffuse verso il centro-Sud, dall'Emilia Romagna con 225 la Toscana, le Marche 189, l'Umbria 49, il Lazio 101, l'Abruzzo 78, la Campania con 63, il Molise 39, la Puglia 10, la Basilicata 21, Calabria 74, Sicilia 31, la Sardegna con 18. Si tratta comunque di un numero in costante crescita. I dati Enel Green Power ci dicono che se nel

2009 il numero di centrali era 2.249, nel 2019 era salito a 4.401 e da quell'anno è iniziata la ripresa degli investimenti con nuovi impianti sempre più integrati nel contesto naturale e paesaggistico, anche se in grandissima parte di taglia "mini-idroelettrico" per cui all'aumento delle centrali non corrisponde un incremento di potenza generata per la riduzione della taglia media degli impianti. Si stima che il restyling degli impianti con nuove tecnologie per lo sfruttamento di qualsiasi dislivello e salto utile, possa far aumentare di 5,8 GW la potenza e di 4,4 TW l'energia annua, con un risparmio di oltre 2 milioni di tonnellate di emissioni CO₂.

Nelle centrali idroelettriche lavorano oltre 15 mila addetti e, rileva Giuseppe Argirò, Ad della Compagnia Valdostana delle Acque e vice presidente di Elettricità Futura con delega all'Idroelettrico, "oggi più che mai l'Italia può rilanciare grandi investimenti in 10 anni per 15 miliardi di euro per installare più impianti e valorizzare questo patrimonio di energia elettrica dalla fonte più green per aumentare la sicurezza energetica nazionale. Tecnologie sempre più evolute permettono un'alta efficienza, con un bassissimo impatto ambientale e senza consumare acqua".

LA PRIMA TURBINA DELL'IDROCENTRALE A CHIAVENNA

Lo sfruttamento idroelettrico ebbe inizio con l'invenzione della turbina idraulica nel 1832, ma solo nel 1881 fu progettata e costruita la prima centrale dal "mago dell'elettricità" Nikola



Prima turbina di Chiavenna

Tesla, l'inventore, fisico e ingegnere elettrico che sfruttò la forza meccanica di un versante delle maestose cascate del Niagara. Due anni dopo, nel 1883, fu l'ingegnere Lorenzo Vanossi a mettere in funzione, nel cotonificio "Amman" di Chiavenna, in provincia di Sondrio, il primo generatore elettrico azionato dall'energia cinetica, stupì tutti accendendo le prime 30 lampade a incandescenza. Nel 1888, gli impianti di illuminazione del mulino Ongania di Sondrio e del setificio Sacchi & C. di Morbegno furono accesi dall'energia idroelettrica prodotta da una dinamo, che portò la luce anche nelle vicine abitazioni. Il 1895 fu l'anno di nascita della prima centrale idroelettrica italiana a Paderno, costruita sull'Adda dalla Edison. La presenza di numerosi corsi d'acqua con cascate e possenti flussi, e la carenza di materie prime come il carbone, fecero investire enormi risorse nel "carbone bianco", l'energia dall'acqua, che divenne la prima fonte energetica nazionale. La dorsale appenninica e l'arco alpino garantivano quelle forti pendenze decisive per le centrali ad alta produttività, installate dalla fine dell'Ottocento a valle delle prime grandi dighe. Da allora lo sviluppo idroelettrico fu galoppante e, dall'inizio del Novecento trovò nell'acqua la protagonista assoluta della prima "transizione energetica" dal carbon fossile all'energia più rinnovabile ricavata da una "materia prima" talmente abbondante da poter garantire all'Italia l'autosufficienza energetica, a costi non eccessivi. E gli investimenti furono ingenti almeno fino agli anni Cinquanta.

Lo schema funzionale di una centrale idroelettrica comprende innanzitutto l'opera di sbarramento - la diga -, che intercetta il corso d'acqua creando un bacino idrico. Grazie a canali e gallerie di derivazione, l'acqua viene convogliata in vasche di carico e, attraverso condotte forzate, indirizzata alle turbine. Queste, messe in azione, generano energia meccanica mentre l'acqua in uscita defluisce nel canale di scarico per tornare al suo corso naturale senza subire trasformazioni chimico-fisiche e senza essere "consumata". Il generatore elettrico rotante, l'alternatore collegato alla turbina, trasforma quindi l'energia meccanica in energia elettrica che, attraverso il trasformatore, viene trasferita alla rete.

LE 3 TIPOLOGIE DI CENTRALI IDROELETTRICHE

- **La centrale ad acqua fluente** che, come dice il nome, sfrutta il flusso naturale di un fiume o di un torrente, la cui acqua viene incanalata verso le turbine per essere poi reimpressa nel flusso naturale, a valle dell'impianto.
- **La centrale a bacino** con l'acqua di uno o più corsi d'acqua accumulata in un bacino naturale o artificiale creato da una diga, da dove fluisce "a caduta" convogliata in condotte forzate che la portano alla turbina. Con il bacino cosiddetto "di monte" che permette la regolazione del flusso e quindi del livello di produzione elettrica. A valle l'acqua trova il piccolo "bacino di calma", dove sosta prima di essere reimpressa nel suo corso naturale.

- **La centrale ad accumulazione o di pompaggio** è formata da due bacini, uno a monte e l'altro a valle, collegati da una condotta forzata, al termine della quale sono posizionate le turbine. Sono dette anche centrali a doppio senso, con l'acqua che può essere rilasciata dal bacino superiore a quello inferiore (per produrre energia) o viceversa (per sfruttare l'energia in eccesso). Questa manovra stabilizza l'energia della rete elettrica del territorio nei periodi in cui la domanda è inferiore rispetto all'energia prodotta. Così, se e quando servirà produrre più energia elettrica basterà "aprire il rubinetto" della centrale per rimettere in equilibrio la rete. Così la centrale funziona da "batteria" ricaricabile, che può essere caricata per poi rilasciare l'energia in qualsiasi momento. Uno dei vantaggi delle centrali idroelettriche, infatti, è la velocità di produzione di energia grazie ai pompaggi di accumulazione, che aiutano a bilanciare offerta e domanda di energia. Oltre a produrre energia a emissioni zero di CO₂, sono incredibilmente flessibili e le turbine idrauliche hanno un rendimento di oltre il 95%. Ciò significa che praticamente tutta l'energia potenziale contenuta nell'acqua diventa energia elettrica. Un valore elevatissimo rispetto alle più efficienti centrali termoelettriche - a turbogas, metano, a ciclo combinato - che raggiungono il 60% di efficienza. La flessibilità permette la variazione di produzione di energia agendo sul flusso di acqua verso la turbina, e la produzione di energia è quasi all'istante, a differenza di una centrale termoelettrica che impiega oltre un'ora dall'accensione alla produzione.

Tecnologie per la produzione di energia idroelettrica

- **Turbine idrauliche** sono il cuore di un impianto idroelettrico. Convertono l'energia cinetica dell'acqua in energia meccanica rotante, e possono variare nel *design*, con modelli a flusso radiale, assiale o misto sulla base delle condizioni del sito.
- **Turbine ad asse verticale** offrono più vantaggi rispetto alle tradizionali turbine ad asse orizzontale essendo più compatte, più facili da installare e richiedono meno manutenzione.
- **Turbine a flusso trasversale** sono progettate per adattarsi ai flussi d'acqua variabili e possono essere utilizzate in siti con flussi meno costanti, soprattutto per la microgenerazione idroelettrica.
- **Turbine modulari** consentono una maggiore flessibilità nelle piccole centrali idroelettriche e possono essere facilmente adattate ad una gamma di condizioni idrologiche e ambientali.
- **Generatori** collegati alle turbine che trasformano l'energia meccanica rotante in energia elettrica, sia sincroni che asincroni.
- **Sbarramenti e dighe** costruiti per accumulare grandi quantità d'acqua, creano un bacino idroelettrico utilizzato per il flusso d'acqua che attraversa le turbine la cui regolazione permette la gestione flessibile della produzione di energia sulla base alle esigenze.



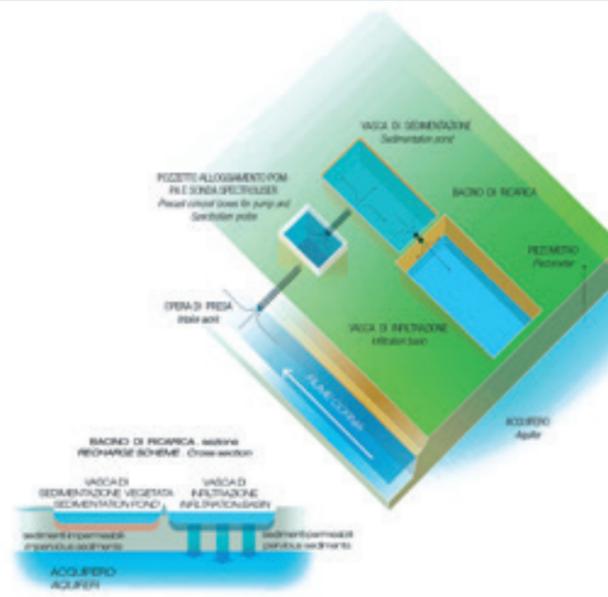
- **Canali e condutture forzate** attraverso le quali l'acqua viene condotta dalle dighe o dai bacini alle turbine, progettate per massimizzare il flusso e ridurre le perdite di energia.
- **Valvole e regolatori** utilizzati per controllare il flusso d'acqua attraverso il sistema idroelettrico, consentendo di regolare la produzione di energia in base alla domanda e alle condizioni del sistema.
- **Tecnologie di monitoraggio e controllo** utilizzano sensori e sistemi di automazione per ottimizzare l'efficienza e la sicurezza degli impianti idroelettrici.
- **Tecnologie di pompaggio** dai due serbatoi a differente altezza: nei periodi di bassa domanda energetica l'acqua viene pompata dal serbatoio inferiore a quello superiore, quando è necessaria maggiore energia l'acqua viene rilasciata dal serbatoio superiore per generare più elettricità.
- **Tecnologie per mini-idroelettrici e micro-idroelettrici** per la produzione di energia su piccola scala in zone remote o in comunità isolate sfruttando piccoli corsi d'acqua o piccoli salti e cascate.
- **Tecnologie di mitigazione dell'impatto ambientale nei progetti idroelettrici** includendo sistemi di passaggio per la fauna ittica, misure per prevenire l'erosione delle rive, strategie di gestione dei sedimenti.
- **Sistemi di accumulo di energia** con tecnologie come batterie o sistemi di pompaggio-accumulo integrate negli impianti idroelettrici per immagazzinare l'energia quando è abbondante e rilasciarla quando è richiesta.
- **Innovazioni nel settore dei materiali** per la costruzione di turbine idroelettriche consentono di migliorare l'efficienza e la durata delle apparecchiature, riducendo al contempo i costi di manutenzione.
- **Innovazioni nella gestione e nel controllo** con IA con tecnologie di monitoraggio da remoto consentono una gestione più efficiente degli impianti idroelettrici, ottimizzando la produzione di energia in base alle condizioni idrologiche e alla domanda.
- **Piccole centrali idroelettriche modulari** consentono di installare sistemi idroelettrici su piccola scala, ideali per comunità locali o aziende agricole.

- **Innovazioni nelle dighe e nei sistemi di regolazione dell'acqua** intelligenti, con materiali più resistenti e tecnologie per la gestione delle acque.
- **Energie rinnovabili integrate** coniugano l'energia idroelettrica con altre fonti rinnovabili come l'energia solare attraverso la posa di pannelli solari su strutture galleggianti sulla superficie del corpo idrico dove l'assetto modulare è garantito non essendoci correnti marine. Il solare galleggiante può essere affiancato anche dalla produzione di energia eolica. Queste innovazioni rendono la diga una componente chiave nella transizione verso un mix energetico più sostenibile.

TECNOLOGIE PER LA RICARICA DELLE FALDE ACQUIFERE

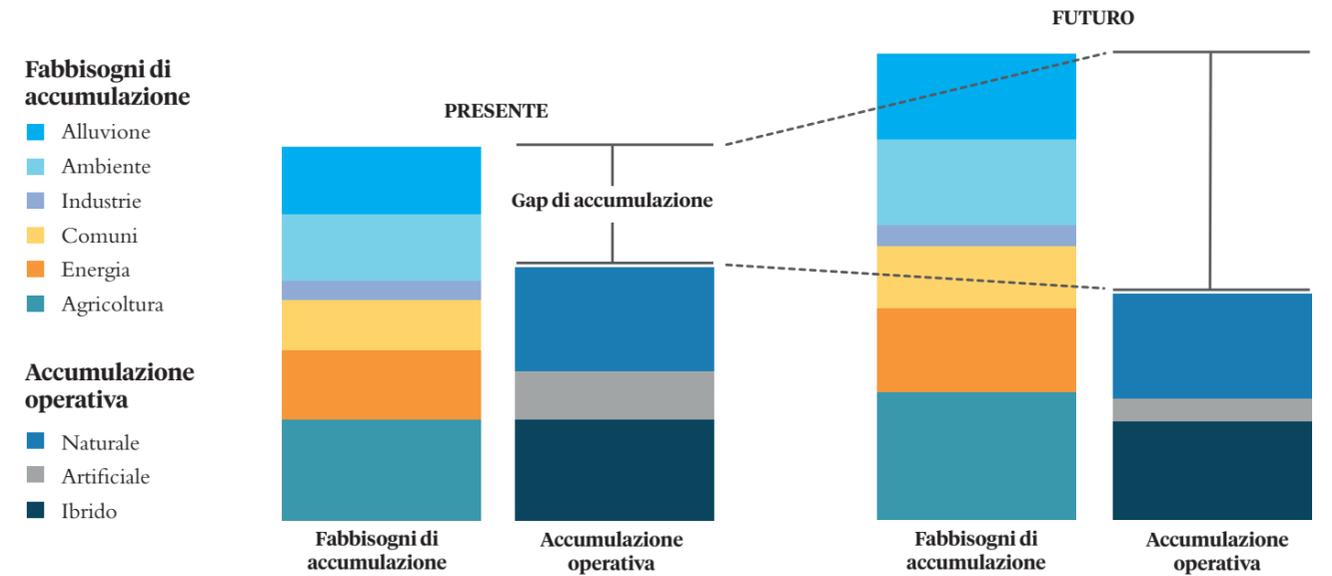
La Banca Mondiale rileva, negli ultimi 50 anni, la diminuzione dell'accumulazione complessiva di acqua in termini assoluti, e come questo gap non sia ancora percepito per la sottovalutazione degli effetti del cambiamento climatico anche sulle capacità di accumulo naturali e per la scarsa attenzione alla gestione delle infrastrutture esistenti e alla progettazione di nuove opere.

RICARICA ARTIFICIALE CONTROLLATA DELLA FALDA ACQUIFERA



Fonte: schema Comune di Suvereto, fiume Cornia

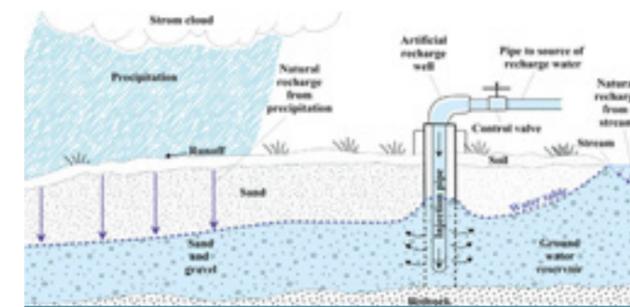
CAPACITÀ DI ACCUMULO DELL'ACQUA



Fonte: Adapted from GWP and IWMI 2021

La tecnica della ricarica artificiale della falda non è alternativa alla diga, piuttosto è una scelta complementare per alimentare con acqua di corsi d'acqua o reflua depurata le falde che hanno difficoltà a ricaricarsi naturalmente o che presentano inclusioni di cuneo salino che le rendono inservibili per gli usi agricoli. La modalità di ricarica artificiale della falda è sintetizzata in questa immagine.

RICARICA ARTIFICIALE DELLA FALDA



Fonte: Usgs - Science for a changing world

In linea generale, questa metodologia presenta un vantaggio in termini di bassi costi di investimento e l'assenza di evaporazione. Ha, come svantaggio, un minore capacità di accumulo rispetto ad un invaso e non può essere utilizzata come strumento di mitigazione delle piene e come generatore di energia. È però una tecnologia interessante, utile ad aumentare in determinati luoghi la disponibilità di accumulo di acqua ma deve essere inserita in una programmazione più ampia dove sono disponibili diverse alternative. Il primo problema da affrontare per la ricarica artificiale della falda è quello relativo all'origine dell'acqua e della sua qualità. La tecnologia di acqua di falda, al fine di assicurare un livello di qualità al suo utilizzo, deve essere sottoposta ad un pretrattamento, a sistemi di filtrazione e di post trattamento.

In Italia recentemente è stato realizzato un impianto di ricarica controllata della falda in Toscana, a Suvereto, in Val di Cornia. Si tratta di un modello a "bacino di infiltrazione" realizzato in un'area ex sito di escavazione di ghiaie. Il bacino di ricarica è diviso in due aree: una vasca di sedimentazione con fondo a bassa permeabilità, con il compito di intercettare e far sedimentare il carico solido in arrivo, e una di infiltrazione, costituita in prevalenza da sedimenti ghiaiosi. L'impianto è monitorato attraverso una



Impianto di ricarica controllata della falda nel Comune di Suvereto, in provincia di Livorno

rete di piezometri e sensori ad alta frequenza per la misurazione del livello piezometrico nella falda, del livello idrometrico del fiume Cornia e dello stato chimico delle acque superficiali e sotterranee. Il funzionamento e il monitoraggio sono gestiti con un sistema ad elevata tecnologia di acquisizione e analisi dei dati con trasmissione remota. Con costi di impianto relativamente esigui (300mila euro) aumenta la disponibilità dell'acqua di falda per il sistema locale di circa 800mila m³ in media annuale, come rileva la Regione Toscana.

Le tecnologie applicate a questo metodo sono in tre aree di intervento:

- monitoraggio strutturale in tempo reale della qualità dell'acqua, con procedure per l'analisi chimica, fisica, biologia e microbiologica dell'acqua. Con tecniche di monitoraggio continuo con sistemi automatizzati di campionamento e analisi, con sensori a immersione continua che misurano costantemente parametri chiave dell'acqua;
- tecnologie per la conoscenza idrogeologica dei terreni, dei fiumi e della struttura delle falde e del loro funzionamento dinamico;
- gestione della falda che deve essere sottoposta a controlli per determinarne la sostenibilità di medio e lungo periodo e delle infrastrutture di collegamento al corpo idrico dove origina la risorsa d'ingresso.

AVANZA SULLE COSTE ITALIANE IL CUNEO SALINO

Cos'è il cuneo salino? È il risultato dell'infiltrazione di acqua marina verso l'entroterra attraverso il sottosuolo con l'incontro-scontro con le dolci falde costiere. In condizioni ottimali, si crea una sorta di equilibrio messicano senza vincitori né vinti. L'acqua di mare, più densa, resta confinata in basso dalla pressione esercitata dalle acque dolci che essendo più leggere e meno dense del mare - 1 g/cm³ contro i 1,025 g/cm³ -, "galleggiano" sopra le acque salate. Ma è soprattutto nei periodi secchi che l'acqua di mare trova meno pressione a contenerla e avanza risalendo verso l'interno incuneandosi ovunque trovi spazi. L'acqua salata risalendo anche la falda per diversi chilometri, azzerando l'acqua per l'irrigazione e rischia di contaminare con quantità di sali anche i terreni coltivati ostacolando la crescita delle piante.

Lo scenario climatico proietta sulla penisola, non solo al Sud e sulle isole, l'aumento di aree in aridità per effetti di ondate di calore, riduzione di giornate di precipitazioni e carenza di acqua lungo le aree costiere durante eventi di siccità con una media di persistenza nelle zone del Sud da 40 a 150 giorni l'anno, con l'aumento del rischio per l'aumento del livello delle acque marine e lo sfruttamento insostenibile delle falde idriche costiere e la loro mancata protezione. La contaminazione delle falde dolci sotterranee è già un problema serio per circa il 25% delle terre coltivate lungo le coste mediterranee,

condizionate dalla salinizzazione con perdita di sostanza organica dei suoli per l'avanzata del cuneo salino

La penetrazione della salinità è un problema anche per le acque fluviali in risalita lungo il corso dalle foci nei periodi di siccità. È accaduto al Po, sia nella siccità del 2017 quando lungo il ramo di Pila il cuneo salino arrivò a 12 chilometri dalla foce, sia nella secca del 2000 quando risalì fino a 25 chilometri, e soprattutto nella lunga siccità del 2022-23 quando ha reso salmastri circa 40 chilometri dalla sua foce di Goro diventando un fiume salmastro e facendo sospendere i prelievi di acqua per l'irrigazione lungo il percorso. In prospettiva, è grave anche l'effetto intrusione del salmastro nelle falde freatiche lungocosta, che rende impossibili i prelievi irrigui dalle acque del sottosuolo, favorendo il progressivo inaridimento dei terreni. Sappiamo bene che l'acqua notevolmente salata non consente forme di vita, fatta eccezione per alcuni tipi di batteri, e la salinizzazione dei suoli impedisce la crescita di piante, causando la desertificazione, fenomeno da non confondere con la desertizzazione che richiama l'espansione dei deserti.

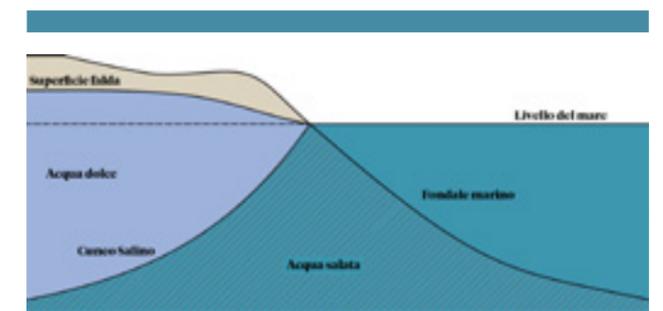
L'European Drought Observatory della Commissione Europea, ²mostra l'Italia come uno dei Paesi front line nel bacino del Mediterraneo per l'avanzata della desertificazione, con perdite di terreni agricoli costanti e l'ISPRA rileva un rischio di aridità su circa il 28% dei nostri territori, con processi di inaridimento già in atto con consistenti riduzioni di produttività agricola, perdita di biodiversità di ecosistemi naturali, aumento dei fattori di disturbo biotici come attacchi batterici e parassitari, e abiotici come siccità e incendi sempre più difficili da contrastare. L'intrusione salina, in prossimità delle coste trasforma le falde dolci in sorgenti salmastre, non più utilizzabili nemmeno per scopi industriali e urbani. La salinizzazione minaccia i suoli e l'ambiente e ogni anno a livello mondiale rende improduttivi circa 1,5 milioni di ettari di terreni agricoli o coltivabili. In Italia colpisce quasi ogni regione affacciata sul mare.

L'ISPRA ha censito il 28% del territorio italiano a rischio desertificazione, con circa 4500 km² di suolo che risultano desertificati e salinizzati. Ma l'aridità dei suoli italiani aumenta costantemente almeno dal 1930, l'anno dell'inizio dei campionamenti, con un balzo dal 1990 ad oggi in estensione e intensità. Le cartografie del rischio e l'analisi delle serie storiche accendono un serio SOS su circa il 70% della superficie della Sicilia che presenta un grado medio-alto di vulnerabilità, seguono Molise

(58%), Puglia (57%) e Basilicata (55%). Sei regioni - Sardegna, Marche, Emilia Romagna, Umbria, Abruzzo e Campania - presentano una percentuale di territorio a rischio fra il 30% e il 50%, e sette regioni - Calabria, Toscana, Friuli Venezia Giulia, Lazio, Lombardia, Veneto e Piemonte - tra il 10 e il 25%, e solo in tre regioni - Liguria, Valle d'Aosta e Trentino Alto Adige - le percentuali sono contenute fra il 2% e il 6%, ma sono in crescita i valori più elevati. L'acqua salata che percola nell'entroterra e filtra fino al livello della falda acquifera dolce trasformandola in salmastra o salata, ha già provocato l'abbandono di terre coltivate al Sud e Isole, e sta mettendo a rischio le falde dolci di aree agricole anche della costa laziale, della Maremma Toscana, dell'alto Adriatico in particolare tra Padova e Venezia.

I Consorzi di bonifica dell'ANBI che verificano sul campo, su dati CNR, proiettano l'allarme rosso sui suoli agricoli costieri di quasi ogni regione con aree agricole o ex agricole tra Agrigento, Siracusa, Caltanissetta, Enna, Catania, Reggio Calabria, Potenza, Bari, Foggia, Sassari. In altre zone segnalano l'inizio della prima fase dell'inaridimento con l'abbassamento del livello delle falde dolci costiere sotto il livello del mare, l'esaurimento di pozzi ormai abbandonati e di molte riserve acquifere oggi salmastre anche per l'eccessivo emungimento. L'Italia fa i conti anche con i pozzi utilizzati per l'idropotabile da dove oggi negli acquedotti si pompa acqua salata. È il caso di Andora, sulla riviera ligure di Ponente in provincia di Savona, dove dai rubinetti da un anno esce acqua salata per falde diventate marine da cui attingevano 3.000 m³ di acqua. La città turistica e balneare nell'estate 2023 ha subito il crollo del turismo alla vista delle autobotti, ma l'acqua salata corrode anche tubi e lavatrici e lavastoviglie e Rivieracqua, il consorzio idrico della zona, progetta il rifacimento dell'acquedotto e di un dissalatore. Non è un caso isolato.

CUNEO SALINO



Fonte: Jooja, CC BY-SA 4.0 - Via Wikimedia Commons

² <https://edo.jrc.ec.europa.eu>

AREE SOGGETTE A DESERTIFICAZIONE



Fonte: ISPRA

TECNOLOGIE PER LE ACQUE SOTTERRANEE

- **Monitoraggio delle acque sotterranee** con l'installazione di pozzi di monitoraggio e raccolta di dati sui livelli, i movimenti e la qualità dell'acqua sotterranea, essenziali per comprendere il comportamento dell'acquifero e le tendenze nel tempo.
- **Modellazione idrogeologica** con l'utilizzo di modellistica computerizzata per simulare il flusso sotterraneo e predire gli effetti delle variazioni in condizioni di prelievo idrico o variazioni climatiche.
- **Misurazione della qualità dell'acqua** con sensori e dispositivi di monitoraggio per misurare la qualità dell'acqua sotterranea e eventuali rischi di contaminazione da inquinanti.
- **Tecnologie di disinfezione e trattamento** per rimuovere gli inquinanti con il trattamento con carbone attivo, l'ossidazione chimica, la rimozione mediante membrane e altro.

- **Pompe di estrazione** utilizzate per prelevare acqua dalle falde acquifere. La gestione e la regolazione delle pompe è importante per evitare il sovrasfruttamento delle risorse sotterranee.
- **Gestione delle acque sotterranee** hanno un ruolo fondamentale nella regolamentazione e nella pianificazione dell'uso delle risorse idriche sotterranee, e includono analisi di quote di prelievo, limiti di contaminazione e piani complessivi di gestione.

TECNOLOGIE PER LA RICARICA CONTROLLATA DELLE FALDE

- **Infiltrazione superficiale** con la creazione di bacini di infiltrazione o di invaso che catturano acque piovane o flussi di superficie con sistemi di penetrazione controllata nel terreno.



- **Pozzi di infiltrazione** sono scavati nel terreno e consentono l'infiltrazione diretta dell'acqua nell'acquifero sottostante. Sono riempiti con acqua trattata o depurata, che filtra naturalmente per ricaricare l'acquifero.
- **Barriere sotterranee di iniezione** realizzate utilizzando pozzi o trincee attraverso le quali l'acqua viene iniettata direttamente nell'acquifero. Questo metodo può essere utilizzato per trattare e iniettare acqua da fonti esterne.
- **Recupero e iniezioni di acque reflue** per la "ricarica indiretta" delle falde, riutilizzando l'acqua trattata per proteggere le falde acquifere
- **Tecniche di immagazzinamento sotterraneo** in serbatoi o cisterne prima di essere gradualmente rilasciate nell'acquifero attraverso pozzi di infiltrazione in modo controllato.

- **Trattamenti nell'acquifero** con l'acqua trattata attraverso processi di ossidazione chimica o biologica per rimuovere gli inquinanti
- **La gestione delle acque sotterranee:** con tecnologie di monitoraggio delle falde acquifere per prevenire il loro esaurimento e la contaminazione, e per sistemi di pompaggio controllato.
- **La ricarica artificiale delle falde acquifere** è l'ultima frontiera delle tecnologie per reintrodurre acqua nelle falde acquifere sotterranee in sofferenza, al fine di aumentare la quantità della risorsa disponibile e contrastare la diminuzione dei livelli causata da prelievi eccessivi o da siccità e desertificazione costiera in corso.

La tecno-agricoltura

L'agricoltura utilizza i maggiori volumi di acqua: su 26,6 miliardi di m³ all'anno di acqua utilizzata in Italia, il 54,5%, cioè 14,5 miliardi di m³, defluisce verso l'irrigazione e la zootecnia, in particolare nei mesi estivi quando l'evapotraspirazione supera i flussi delle precipitazioni. L'agricoltura 4.0 offre molteplici applicazioni: strumenti di sensoristica a terra o di rilevazione dall'alto con droni e satelliti, simulazioni e ottimizzazioni di uso della risorsa idrica attraverso modelli computazionali e di IA, controlli delle tipologie colturali e dell'uso dei fertilizzanti. Il contadino "in camice bianco" dispone e disporrà in futuro di un set di informazioni utili ad adottare modelli ottimizzanti che risparmiano risorse, diminuiscono l'uso di fertilizzanti che spesso finiscono per inquinare corsi d'acqua e laghi, aumentando la quantità e la qualità dei raccolti.

È la sensoristica di ultima generazione che oggi forma e informa gli agricoltori mettendoli in grado di sapere in quali zone dei campi, in quali quantità e quando somministrare acqua, migliorando le rese e le caratteristiche organolettiche, poiché si evitano alle coltivazioni gli stress da carenza o sovrabbondanza di acqua. Le tecnologie indicano l'effettiva necessità idrica, i sensori meteo-climatici inviano dati di evapotraspirazione segnalando i fabbisogni, rilevano in tempo reale umidità e contenuto di acqua nel primo strato dei terreni, interagiscono con le informazioni da satellite che invia immagini geo-riferite e analisi visive della condizione delle colture. E nell'irrigazione agricola "di precisione", le analisi previsionali con gli algoritmi dell'IA indicano sui display, ad esempio, qual è il momento migliore per

irrigare, dove irrigare e quanta acqua utilizzare sulla base delle reali esigenze delle colture, calcolando umidità, temperatura, conducibilità e ogni altro parametro, e ottimizzando l'uso di acqua. Con l'"*irrigazione a goccia*" si somministra acqua direttamente alle radici delle piante, riducendo l'evaporazione e la dispersione, rilasciandola attraverso tubi porosi o gocciolanti con uscite regolabili. Nell'"*irrigazione a goccia sub-superficiale*", le gocce in uscita sono posizionate sotto la superficie del terreno; nell'"*irrigazione a micro-aspersione*", piccoli getti d'acqua vengono spruzzati sopra l'area radicale delle piante, nell'"*irrigazione a controllo del suolo*" è il monitoraggio del contenuto di umidità del terreno che la attiva quando il livello di umidità scende sotto la soglia stabilita.

LE TECNOLOGIE PER L'IRRIGAZIONE

(con il Contributo di Raffaella Zucaro e Francesco Cavazza del CER - Canale Emiliano Romagnolo)

In Italia la superficie agricola predisposta per l'irrigazione complessivamente è pari a 4,123 milioni di ettari sul totale nazionale di 12,5 milioni di ettari di terreni agricoli (paria al 33%) con 1,133 milioni di aziende. I volumi di acqua irrigua sono prelevati, in maniera discontinua, da 708,4 mila aziende. La produzione agricola è uno spazio interessante per le tecnologie per:

- usi efficienti nell'irrigazione;
- possibilità di riutilizzo di acqua non convenzionale come l'acqua reflua recuperata e l'acqua desalinizzata;
- innovazioni *nature-based* per modelli di coltivazione e tipologie colturali meno idroesigenti.

TECNOLOGIE PER L'USO IRRIGUO EFFICIENTE E EFFICACE

- L'**irrigazione a goccia** utilizza tubi porosi, tubi gocciolanti o emitters a goccia per distribuire l'acqua direttamente alla radice delle piante. Le uscite possono essere regolate per erogare quantità specifiche di acqua, ottimizzando l'irrigazione.
- L'**irrigazione a micro-aspersione** che prevede l'uso di piccoli getti d'acqua che vengono spruzzati sopra l'area radicale delle piante. Anche in questo caso, l'acqua viene fornita direttamente alle piante, riducendo lo spreco.
- L'**irrigazione a goccia sub-superficiale** che posiziona le uscite a goccia sotto la superficie del terreno, riducendo al minimo le perdite per evaporazione e aumentando l'efficienza dell'irrigazione.



- L'**irrigazione a controllo del suolo** che coniuga l'efficienza dell'irrigazione all'efficacia dell'acqua utilizzata, basata sul monitoraggio del contenuto di umidità del suolo tramite sensori elettronici, tramite droni o attraverso "letture della Terra" da satelliti. L'irrigazione viene attivata quando il livello di umidità scende al di sotto di una soglia predefinita. La conoscenza in tempo reale del suolo dà la possibilità all'agricoltore, coadiuvato da tecnologie di monitoraggio, calcolo e modelli decisionali, di trattare il suolo e le piante da coltivare con vantaggi significativi dal punto di vista colturale e quindi di risultato economico. A fianco del monitoraggio del sistema irriguo composto da acqua-pianta-suolo-atmosfera, attraverso sistemi di telecontrollo da satellite o tramite sensoristica sul campo, sono fondamentali i *sistemi di supporto alle decisioni*. Questi software integrano i dati raccolti per redigere un modello di bilancio irriguo e, di conseguenza suggerire all'agricoltore il quantitativo di acqua ottimale per le sue esigenze. Non consentono solo di ottenere un risparmio di acqua, ma di migliorare la competitività delle aziende agricole ottimizzando le produzioni da un punto di vista quali-quantitativo. Inoltre, ai risparmi idrici sono sempre associate riduzioni nei costi di produzione legati a manodopera e energia. Tra i DSS più diffusi in ambito irriguo, a livello nazionale è utile citare IRRIFRAME, il sistema di supporto alle decisioni dell'Ass. Naz. Bonifiche Irrigazioni, il cui sviluppo e coordinamento tecnico-scientifico è affidato al Consorzio di bonifica per il Canale Emiliano Romagnolo.

MENO ACQUA AUMENTANDO LA PRODUZIONE AGRICOLA

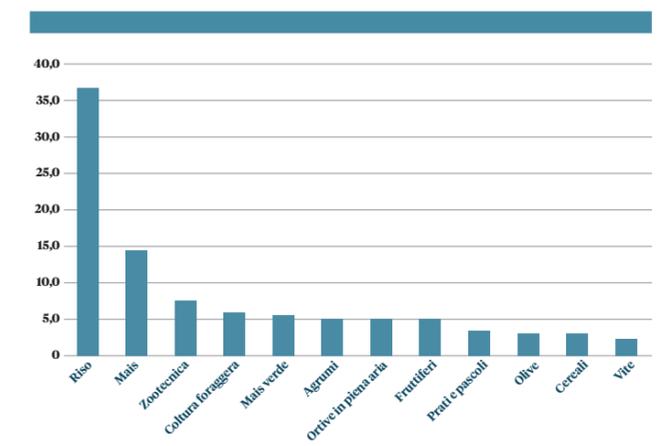
Si può migliorare la produttività dei suoli, e in questo modo anche la sostenibilità di lungo periodo, adottando o riadottando alcune pratiche *nature-based* sostenendone alcune come il "*no tillage*" (nessuna lavorazione del suolo) o il "*minimo lavoro del suolo*" per ridurre l'erosione, migliorare la struttura del suolo e preservare la materia organica. Inoltre, si possono utilizzare le **Coperture Vegetali**, come erba o altre piante, per proteggere il suolo dall'erosione e migliorarne la qualità, oppure l'**Agroforesteria** e i **Sistemi Agroforestali** che integrano alberi o arbusti con colture agricole per migliorare la biodiversità, la fertilità del suolo e la conservazione dell'acqua. Si tratta di pratiche ben conosciute dagli agricoltori e, con l'utilizzo di tecnologie, possono contribuire da una l'agricoltura più sostenibile.

Negli ultimi anni inizia a dare risultati la **Coltivazione Fuori Suolo**, si tratta di Sistemi di coltivazione, come l'**Idroponica** o l'**Aeroponica**, che riducono notevolmente i consumi d'acqua. Per piccole aree c'è l'**aridocoltura**, una tra le pratiche colturali più antiche che può trovare applicazioni oggi in particolari territori con semi-aridità strutturali. Fra le tecniche del futuro ci sono:

- L'**irrigazione aerea**, con droni che nebulizzano con precisione l'acqua sulle colture;
- L'**irrigazione olografica** con Immagini 3D che permette di monitorare le esigenze delle piante;
- L'**irrigazione a onde sonore** ad alta frequenza che crea microfessure nel terreno permettendo all'acqua di raggiungere le radici delle piante;
- L'**irrigazione a vapore** dove l'acqua è fornita alle piante sotto forma di vapore, massimizzando l'efficienza, soprattutto nelle serre;
- L'**utilizzo di colture meno idro-esigenti** per adattare tipologie colturali alla natura dei luoghi e a previsioni future di siccità;
- **tecnologie di modifica anche genetica delle piante**, al fine di sviluppare piante resistenti alla siccità o che utilizzano normalmente meno acqua, o per produrre alimenti.

UTILIZZO DELL'ACQUA IRRIGUA PER COLTURA

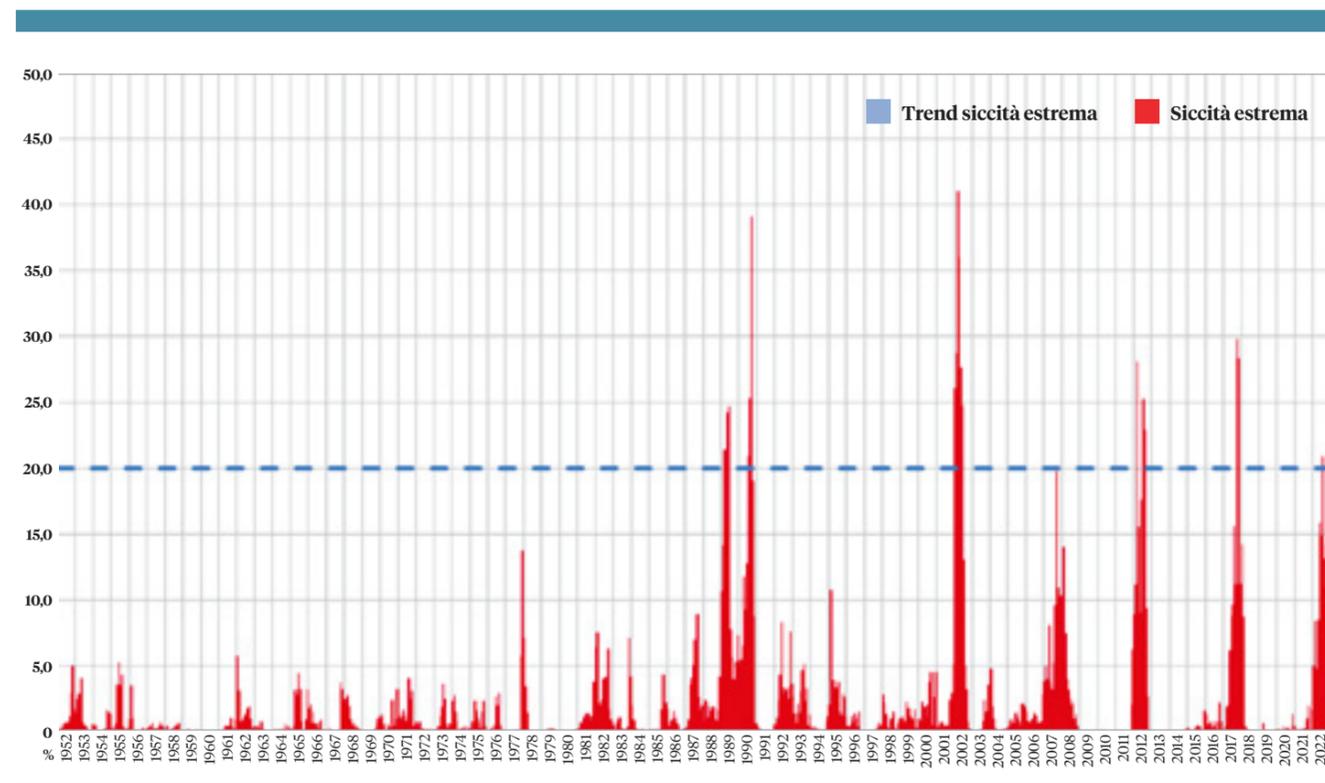
Valori percentuali



Elaborazioni Fondazione Earth Water Agenda



PERCENTUALE DI TERRITORIO NAZIONALE SOGGETTO A CONDIZIONI DI SICCIÀ ESTREMA



Fonte: MDPI

LO STRESS IDRICO E LA SICCIÀ

Anche se l'Italia, come la quasi totalità dell'Europa, non è un'area a siccità strutturale, la variabilità delle precipitazioni e l'aumento della temperatura che favorisce l'evapotraspirazione proprio nella stagione di maggiore deficit fra domanda e offerta di risorsa idrica sia per fini antropici che ecosistemici, e l'ineadeguatezza delle infrastrutture idriche o addirittura la loro mancanza, provocano siccità ricorrenti.

Tra le analisi della "Conferenza Nazionale sulle Acque" 1968-71, c'è lo studio sulla siccità indicata come "elemento caratteristico del regime pluviometrico nazionale", con i suoi effetti sull'ambiente naturale, sulle portate dei corsi d'acqua e ripercussioni sulle attività agricole, turistiche e industriali. Sono stati individuati lunghi periodi senza pioggia che colpivano quasi esclusivamente l'Italia meridionale e le isole, con la gran parte della Puglia, della Calabria ionica, della Sicilia sud-orientale e della Sardegna costiera dove le fasi di siccità superavano i 120 giorni, in qualche caso arrivavano a 150 giorni consecutivi, in Sardegna talvolta a 180 giorni intorno ai golfi dell'Asinara, Orosei, Oristano e Cagliari. I periodi più brevi, inferiori a 40 giorni consecutivi senza pioggia, interessavano solo due ristrette aree, una nell'Appennino umbro-marchigiano e l'altra tra la Lunigiana e l'Appennino Ligure. Gran parte della pianura padana, delle Alpi e della dorsale appenninica registravano periodi massimi senza pioggia compresi tra 40 e 60 giorni. Nell'Italia

Centrale le siccità non erano mai preoccupanti e non superavano i 60-80 giorni, in particolare lungo la fascia costiera tra il sud della Toscana e il nord del Lazio. Emergeva un'Italia dove i mancati cumulati di piogge di una annata venivano sempre "coperti" dalle copiose piogge delle annate successive o precedenti che comunque garantivano l'equilibrio idrologico nazionale quasi ovunque. Ma erano le condizioni fatiscenti o la mancanza di adeguate infrastrutture idriche, a partire dagli acquedotti, a creare situazioni di emergenza anche drammatiche. Una lezione che non abbiamo ancora imparato.



GLI EPISODI DI GRAVI SICCIITÀ IN ITALIA NEGLI ULTIMI 100 ANNI

1921	Dopo la Prima guerra mondiale fu uno dei peggiori anni secchi, con il livello delle precipitazioni crollato del 40% e scarse piogge fino all'inizio del 1922.
1945	La siccità fu ancora peggiore con la terra inaridita dai giorni della Liberazione dal nazifascismo a fine agosto.
1954	Da maggio a settembre su Calabria, Sicilia e Sardegna.
1959	Due episodi: il primonella stagione estiva con l'assenza di pioggia per più di 100 giorni in Sardegna, alta Pianura Padana, bacino dell'Adige, Piemonte e Liguria; il secondo a fine inverno in Veneto, Salento e sul versante adriatico dell'Appennino settentrionale.
1962	Sull'intera penisola tra l'estate e l'autunno, per oltre 100 giorni, e in particolare sulla fascia costiera tirrenica, in Sardegna e soprattutto in Sicilia con 200 giorni senza piogge in alcune aree.
1976	Nel primo semestre dell'anno in Piemonte, Lombardia, Alpi centrali. A Milano e Como furono registrati appena 200 mm di piogge in 6 mesi, il valore più basso degli ultimi due secoli.
1980-1981	106 giorni a secco, dal 26 novembre al 13 marzo, in Lombardia, con non più di 20 mm di pioggia nell'inverno siccitoso per tutto il Nord-Ovest, ma non per il resto d'Italia.
1988-1989	Siccità intensa tra settembre e marzo con durata ed estensione come non avveniva da 250 anni e totale assenza di neve.
1989-1990	Da settembra gennaio con il 30-50% del totale delle piogge medie sull'intera Penisola; scattarono razionamenti dell'acqua potabile in molte città.
1994-1995	Dopo l'alluvione del Tanaro del 5 e 6 novembre 1994 in Piemonte, le scarse o assenti precipitazioni sulla Pianura Padana fino a fine febbraio provocarono l'emergenza siccità. Se nell'ultimo mezzo secolo del Novecento l'Italia aveva subito 8 gravi siccità, ormai siamo al raddoppio del trend. In poco più di due decenni a partire dal 2000, sono stati 7 i periodi di siccità intense.
2000	Colpisce soprattutto il Nord nei primi 70 giorni dell'anno, con tutto l'arco alpino senza neve, e danno ingenti anche nel settore turistico.
2001	Assenza di precipitazioni in Sicilia e gran parte del Sud dall'estate all'inizio dell'autunno. A Palermo da giugno a ottobre caddero appena 26 mm di pioggia e da dicembre la grave siccità colpì le Regioni del Nord-Ovest.
2002	Da maggio in Basilicata, Puglia, Sardegna e Sicilia.
2003	Da maggio a settembre in varie aree della Penisola.
2012	Da giugno a ottobre in Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Emilia-Romagna, Friuli Venezia Giulia, Lazio, Lombardia, Marche, Molise, Piemonte, Puglia, Sardegna, Sicilia, Toscana, Trentino Alto Adige, Umbria, Valle d'Aosta, Veneto, con danni accertati per 1,19 miliardi di euro.
2017	Tra primavera ed estate in Abruzzo, Calabria, Campania, Emilia-Romagna, Lazio, Lombardia, Marche, Piemonte, Puglia, Sardegna, Sicilia, Toscana, Trentino Alto Adige, Umbria, con danni accertati per 2,3 miliardi di euro.
2019	Nel Nord la situazione era peggiore del 2017 sia per gli approvvigionamenti civili nei centri urbani sia per l'agricoltura con danni per 2 miliardi di euro calcolati da Coldiretti, con precipitazioni dimezzate che lasciarono a secco fiumi, laghi, invasi, terreni e senza neve le montagne.
2022-2023	Il primo biennio siccitoso della nostra storia delle rilevazioni con l'assenza di neve invernale e di piogge assenti dall'8 dicembre 2021, che provocarono emergenze dalla primavera 2022 a fine febbraio 2023 con 1.703 Comuni colpiti tra Piemonte, Friuli Venezia Giulia, Valle d'Aosta, Veneto, Lombardia, Emilia-Romagna, Toscana, Lazio, Marche, Umbria, Puglia e danni per 6 miliardi in agricoltura, 5 miliardi per perdite nell'idroelettrico, corca 1 miliardo per la gestione delle emergenze per complessivi 12 miliardi di euro.

Come dimostra la tabella, se dal 1954 al 1995 l'Italia aveva subito 8 gravi siccità, - 1954, 1959, 1962, 1976, 1980-81, 1988-89, 1989-90, 1994-95 -, negli ultimi 23 anni gli intervalli tra le fasi siccitose si sono dimezzati e sono state ben 9: 2000, 2001, 2002, 2003, 2006, 2012, 2017, 2019 e il 2022-2023. Il 2022 risulta in assoluto come l'anno più secco, quello che ha fatto segnare il minimo storico delle precipitazioni con circa il 50% in meno di piogge e neve, e i più elevati valori di temperatura e dell'evapotraspirazione che ha raggiunto il 70% sulla media storica del 53%.

L'analisi scientifica dell'ISPRA³ della siccità 2022-23 indica riduzioni di precipitazioni complessive del 24%, con vaste porzioni di territorio con deficit intorno e oltre il 50% e un ridottissimo potenziale idrico stoccato sotto forma di neve nell'arco alpino ed appenninico. Mai, come negli ultimi 65 anni, i fiumi sono stati quasi prosciugati in molti tratti. A partire dal Po, con scarti di portata rispetto alla media storica negli ultimi 65 anni, come calcola l'Autorità di distretto del Po⁴. Nei suoi 652 km di percorso il nostro fiume più lungo che passa dalla minima portata di 270 m³/s alla media portata di 1540 m³/s fino alla massima di 13.000 m³/s durante le devastanti alluvioni, ha avuto portate medie 2022 nell'attraversamento di Torino di appena 30 m³/s, ad Alessandria 152 m³/s. Non era mai stato visto con lunghi tratti sabbiosi e fangosi, come altri corsi d'acqua. I grandi laghi avevano percentuali di riempimento al limite.

Il deficit nel bacino del Po è stato del 36%, e ha colpito almeno un terzo dei 3.210 comuni con 16 milioni complessivi di abitanti, e circa metà delle industrie e oltre metà della produzione agricola e del nostro patrimonio zootecnico che insieme valgono il 40% del Pil nazionale, con il crollo dell'idro-energia. Nel Distretto idrografico delle Alpi Orientali il calo è stato del 28%. Notevoli anche i deficit nei distretti idrografici dell'Appennino Settentrionale e Centrale con valori medi di meno 21% e meno 20%, e punte di meno 40%. Nel Distretto dell'Appennino Meridionale, invece, il deficit è stato più contenuto, a meno 9%, con la Sicilia a meno 26% con punte a meno 50% nella zona orientale, e in Sardegna meno 27%. Se nel 2021 si sono contati 140 giorni consecutivi senza pioggia nella piana di Catania, è oggi l'intera Italia che vede aumentare i periodi siccitosi passati in media da 40 a oltre 150 giorni l'anno.

IL COSTO DELLE SICCIITÀ: DAL 2000 OLTRE 30 MILIARDI

Il settore agricolo ha rilevato danni per la minore produzione o la perdita di raccolti, il depauperamento del suolo, i disagi e razionamento dell'acqua ad uso civile, il crollo della produzione idroelettrica che viene interrotta per mancanza o carenza di risorsa e per la competitività con gli altri settori utilizzatori che per legge hanno la precedenza come l'idropotabile - nel solo 2022 il settore idroelettrico ha registrato un calo produttivo del valore di 5 miliardi di euro - e le perdite dell'ecosistema con

PRECIPITAZIONE ANNUA DEL 2022 IN MM E DEFICIT PERCENTUALE RISPETTO ALLA MEDIA DI LUNGO PERIODO 1951-2022 E ALLA MEDIA 1991-2022 NEI DISTRETTI IDROGRAFICI E IN ITALIA

DISTRETTO IDROGRAFICO	2022	Media LTAA	DEFICIT %	Media 1991-2020	Deficit %
Alpi orientali	862,1	1.198,2	-28,1	1.237,2	-30,3
Appennino centrale	650,2	1.015,7	-36	1.015,2	-36
Appennino meridionale	821,5	1.036,1	-20,7	1.028	-20,1
Appennino settentrionale	754,7	943,9	-20	915,5	-17,6
Fiume Po	830,3	910,8	-8,8	892,7	-7
Sardegna	510,7	699,8	-27	664,6	-23,2
Sicilia	498,5	668,2	-25,7	687,6	-27,8
TOTALE	719,1	949,9	-24,3	944,4	-23,9

Fonte: ISPRA, 2023

³ https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/siccitas/index.html

⁴ <https://www.adbpo.it>



servizi prodotti per la qualità della vita delle comunità. Fiumi e laghi senza o con scarsa acqua, boschi e foreste che soffrono, verde pubblico che ingiallisce e secca, paesaggi che si deteriorano, sono esempi visibili dei danni prodotti dalla siccità e per l'Italia prodotti dalla **incapacità del sistema politico di avviare un piano per le infrastrutture** che consentano di sfruttare, quando ce ne è necessità, l'enorme volume di precipitazioni disponibili nella stagione "bagnata".

Le perdite economiche delle siccità sono dunque elevate. Dal 2000 i risarcimenti e la spesa in emergenza sono calcolati in una media compresa tra circa 0,5 miliardi di euro dell'evento 2000 e i circa 12 complessivi stimati per la siccità 2022-23 dall'agricolo-alimentare all'industria, alla produzione energetica idroelettrica, dal servizio idrico integrato alle ordinanze di Protezione Civile in emergenza per autobotti, by-pass e collegamenti temporanei, serbatoi di accumulo temporanei, impianti di pompaggio supplementari, ricerca di nuovi pozzi e sorgenti. Il totale complessivo stimato di esborsi pubblici per stati di emergenza e da parte delle categorie colpite sono, pari a oltre 30 miliardi di euro complessivi negli ultimi 20 anni.

La nostra produzione agricola con eccellenze mondiali, ha bisogno di irrigazione. L'acqua che manca o scarseggia mette in crisi anche la zootecnia, le lavorazioni industriali, energia idroelettrica, e fa crollare parte del nostro PIL nazionale. Considerando tre diversi livelli di siccità del 2003, del 2006 e del 2011, rispettivamente annate *secca, estrema e moderata*, nella sola agricoltura ha fatto perdere lo 0,10% del PIL, con ripercussioni in settori collegati come l'industria alimentare e i servizi. Sono stime coerenti con le statistiche Coldiretti⁵ e ANBI⁶ sulle perdite a partire dal grano, dal pomodoro e dall'olio. Nel 2022, nonostante l'incremento di circa 10 mila ettari coltivati, la produzione di grano duro è infatti diminuita del 7,4%, quella di grano tenero del 9%, quella di pomodoro da industria - pelati, passate, polpa e concentrato - dell'11%, con un calo del 30% dell'olio e una vendemmia anch'essa in calo di produzione del 10%. Complessivamente, sono state calcolate perdite nelle sole campagne per 6 miliardi che generano flussi di risarcimenti clamorosi e si scaricano poi in parte sul mercato. Ma c'è anche da dire che delle 770 mila aziende agricole italiane, quelle tutelate da assicurazioni sono appena 74 mila, nemmeno il 10%.

⁵ <https://www.coldiretti.it/economia/siccita-a-rischio-1-3-del-made-in-italy-a-tavola-2>

⁶ <https://www.anbi.it>

Tecnologia	Capacità	I casi d'uso in agricoltura
IoT	I dispositivi IoT (sensori) raccolgono e inviano grandi quantità di dati in tempo reale al cloud o a un centro dati	Monitoraggio climatico, monitoraggio delle condizioni delle serre, monitoraggio delle colture, monitoraggio del bestiame, agricoltura di precisione, controllo attrezzature
Big Data	I dati raccolti vengono compilati e archiviati in vasti set di dati (Big Data) per essere ulteriormente analizzati ed estrarre informazioni utili	Gestione delle serre, gestione delle colture e del bestiame, gestione della catena di approvvigionamento e della logistica
Apprendimento automatico (Machine Learning)	Gli algoritmi di ML possono essere applicati per ottenere informazioni, fare previsioni e controllare i dispositivi	Miglioramento della qualità e della quantità del rendimento delle colture, malattie delle piante, classificazione e selezione di frutta e verdura, coltivazioni indoor, fenotipizzazione
Apprendimento profondo (Deep Learning)	Come sottoinsieme del ML, il DL è principalmente utilizzato per analizzare immagini estrarre caratteristiche o oggetti e imparare a differenziarli	Previsioni meteorologiche, rilevamento delle malattie delle piante, conteggio della frutta, classificazione del terreno, classificazione delle piante, identificazione delle erbe infestanti, classificazione del comportamento degli animali, monitoraggio della salute del bestiame
Intelligenza Artificiale	Utilizzata per gestire Big Data e derivare informazioni significative per migliorare la presa di decisioni	Ispezione del suolo, monitoraggio della salute delle piante, monitoraggio della salute del bestiame, selezione e classificazione delle colture, raccolta automatica
Visione Artificiale	Aiuta a rilevare automaticamente, analizzare e comprendere informazioni utili da un'immagine singola o da una sequenza di immagini	Miglioramento della qualità e della quantità del rendimento delle colture, malattie delle piante, classificazione e selezione di frutta e verdura, coltivazioni indoor, fenotipizzazione
RPA (Robot Process Automation)	Ottimizza compiti ripetitivi per la semina, l'irrigazione e la raccolta, programmando robot e veicoli autonomi guidati da sensori IoT	Monitoraggio della salute e della crescita delle colture, ottimizzazione dell'irrigazione, rilevamento delle infestazioni da parassiti, gestione della catena di approvvigionamento, controllo qualità

TECNO-IRRIGAZIONE

- **Tecnologie Internet of Things** con l'uso di sensori connessi alla rete e piattaforme IoT per permettere ai coltivatori di monitorare e controllare il complesso dei sistemi di irrigazione in tempo reale e da remoto.
- **Irrigazione a goccia** per il dosaggio controllato dell'acqua alla radice delle piante attraverso tubi porosi o gocciolanti, riducendo significativamente gli sprechi poiché l'acqua viene fornita direttamente alle piante.
- **Irrigazione a micro-aspersione** utilizza mini-dispositivi che inviano acqua in modo mirato sulla zona radicale delle piante.

- **Irrigazione a bassa pressione** riduce la pressione dell'acqua nei sistemi di irrigazione riducendo il consumo energetico, e migliorando l'efficienza irrigua.
- **Sensori di umidità del suolo** monitorano costantemente l'umidità del suolo e segnalano quando è necessario irrigare, permettendo la gestione di precisione del flusso di acqua evitando l'irrigazione sia eccessiva che insufficiente inviando segnali ai sistemi di irrigazione per attivarli o disattivarli o ridurli quando è necessario.
- **Sistemi di controllo automatico** per programmare tempi di irrigazione sulla base delle condizioni climatiche, tipologie di suolo ed esigenze delle piante, utilizzando sensori di rilevamento di umidità del suolo e evapotraspirazione, determinando quando e quanto irrigare.



- **Tele-irrigazione** che consente di controllare i sistemi irrigui da remoto attraverso dispositivi mobile e computer, con modifiche in tempo reale come risposte a condizioni meteo o esigenze delle colture.
- **Irrigazione con dati meteorologici** con sistemi che adattano l'irrigazione alle variazioni meteo per gestire i flussi sulla base delle condizioni atmosferiche.
- **Coperture del terreno** con uso di paglia o paccame, strato di materiale applicato sulla superficie del terreno per la conservazione dell'umidità del suolo, il miglioramento della fertilità, riducendo la necessità di irrigazione.
- **Applicazioni di precisione** con tecnologie GPS e GIS - Sistemi Informativi Geografici - per mappare con precisione le esigenze di irrigazione sulla base delle variabili nella topografia, composizione del suolo e condizioni climatiche.

- **Tecnologie di riciclo delle acque reflue** nei sistemi di irrigazione agricola riducendo consumi di acqua dolce.
- **Monitoraggi e reporting** con la raccolta e l'analisi dei dati sui flussi di acqua per valutare e ottimizzare l'efficienza del sistema di irrigazione.
- **Irrigazione a energia solare** con uso di pompe elettriche alimentate da pannelli fotovoltaici per ridurre i costi energetici e l'impatto ambientale.
- **Irrigazione desalinizzata** in aree costiere a forte carenza di acqua dolce e con rischi di desertificazione aiutano le tecnologie di desalinizzazione per l'uso irriguo.
- **Robot e droni** per la raccolta dati sulle condizioni delle colture e la più efficiente e mirata distribuzione dell'acqua.
- **Irrigazione di precisione** utilizzando mappe di precisione e GPS per distribuire l'acqua in modo mirato e sulla base delle esigenze delle diverse zone agricole, ottimizzando i consumi di acqua.
- **Coltivazione verticale e idroponica** consentono un controllo completo delle condizioni ambientali, inclusa l'irrigazione con risparmio di acqua.
- **Tecnologie di riuso delle acque reflue** provenienti dagli impianti di depurazione per l'irrigazione agricola attraverso reti dedicate.
- **Sistemi di conservazione dell'acqua** come serbatoi di raccolta dell'acqua piovana e sistemi di stoccaggio sotterranei, sono un supporto nelle fasi di siccità o quando l'acqua è scarsa.

L'inizio del nuovo capitolo sull'industria

L'UTILIZZO DI ACQUA NEL SETTORE INDUSTRIALE

L'Industria è un grande utilizzatore di acqua per supportare svariate funzioni nei processi produttivi e, nel suo complesso, preleva ogni anno circa 7,7 miliardi di m³ di acqua e ne utilizza 6,9 miliardi di m³.

I fabbisogni industriali di acqua cambiano col variare delle tipologie industriali. È imbarazzante la mancanza di sistemi di recupero di acqua piovana o di acqua di depurazione a fronte

degli elevatissimi consumi di ottima acqua di falda, in gran parte per utilizzi che spesso diventano anche sprechi: sanificazione degli impianti, cicli termici per il raffreddamento dei macchinari, lavaggio di locali, piazzali e automezzi. Il consumo di acqua nel settore vale circa il 20% del consumo totale, ed è in costante aumento, nonostante ci siano soluzioni a portata di mano per risparmiare, recuperare e riutilizzare acqua, anche con sinergie tra aziende. Da sempre, prelievi e consumi industriali sono fuori da qualsiasi controllo e regolazione soprattutto nei settori:

- **centrali termoelettriche** che utilizzano acqua per raffreddare i generatori di vapore, le turbine e le condotte di scarico;
- **tessile, tintoria, lavanderia** per i lavaggi, i candeggi e la tintura delle fibre;
- **cartiere** per la produzione di carta, dove si stima che per produrre un foglio A4 possano essere necessari anche 13 litri d'acqua mentre 1Kg di cellulosa può arrivare a richiedere fino a 400 litri d'acqua;
- **industria chimico farmaceutica** per applicazioni di processo nella solubilizzazione come fluido termovettore, nella distillazione, nella produzione di acidi o sali, nei lavaggi e le diluizioni, nella realizzazione di sciroppi o preparazioni iniettabili ecc.;

- **industria elettronica** per i **circuiti integrati** con acqua in condizioni di purezza per non compromettere il funzionamento dei circuiti;
- **industria alimentare** oltre l'allevamento e l'agricoltura, anche per la realizzazione di prodotti finiti, basta pensare a quanta acqua utilizziamo per cucinare, lavare verdure, pentole e stoviglie ecc.

Una delle principali applicazioni dell'acqua è nelle centrali termoelettriche, il maggiore utilizzatore di acqua con 1,6 miliardi di prelievo di m³ all'anno.

Il problema-acqua, nel settore industriale, è legato a due elementi: il primo riguarda il risparmio e l'efficienza nell'uso della risorsa e il mancato ricorso al riuso e al riciclo. Il secondo, riguarda la qualità della risorsa reimmessa nell'ambiente, contaminata nel processo produttivo. Sul primo problema, la funzione principale, ed essenziale in un moderno sistema industriale, è quello dell'utilizzo di acqua depurata, riducendo così la necessità di acqua di falda o di sorgente. Sono molte le tecnologie di raffreddamento ad alta efficienza e con meno consumo di acqua, come i *condensatori evaporativi* ad aria umida, i *condensatori ad acqua refrigerata*, i sistemi di ottimizzazione del raffreddamento, compresi l'isolamento termico delle tubazioni, la riduzione delle perdite e la regolazione dei flussi, e il recupero di calore che riduce il consumo di acqua e contribuisce al risparmio energetico complessivo dell'azienda.



PRINCIPALI UTILIZZATORI DI ACQUA NELL'INDUSTRIA

Milioni di m³

Settore	PRELIEVO	UTILIZZO
Centrali termoelettriche	1.600	1.400
Prodotti chimici	728	656
Prodotti in metallo	572	516
Gomma e materie plastiche	464	418
Prodotti alimentari	428	386
Prodotti tessili	372	335
Carta e prodotti di carta	236	213
TOTALE INDUSTRIA	7.700	6.900

Elaborazione Fondazione EWA su dati Istat

Esistono strumenti e accorgimenti per diminuire l'utilizzo di acqua, come ad esempio, nel lavaggio con sistemi ad alta pressione e basso flusso, l'uso di tecnologie a vapore, detergenti ad alta efficienza, i sistemi di trattamento, riciclo e riuso con tecnologie simili a quelle utilizzate per le acque reflue, ma mirate alle caratteristiche delle acque di scarico e alle esigenze di trattamento delle lavorazioni.

NUOVE RETI DI ACQUA DEPURATA

La prima e finora unica indagine a tappeto, coordinata nel lontano 1968 dall'allora Istituto di Ricerca sulle Acque del CNR, mostrava enormi prelievi di acqua dolce, proponendo: «... una più razionale localizzazione dei futuri insediamenti industriali con l'utilizzazione di acqua di qualità diverse (di mare e salmastre) ricorrendo a sistemi atti a ridurre l'impiego di acqua, limitando in particolare i fabbisogni di acqua dolce». L'acqua utilizzata, inoltre, senza aver subito alcun trattamento depurativo, veniva poi scaricata nei fiumi, nei laghi e in mare anche a temperature elevate e con inquinanti chimici, tra cui cadmio, mercurio, nichel, piombo, azoto e fosforo, pericolosi non solo per le specie acquatiche e i loro habitat ma anche per noi esseri umani. Dal 2010, in Italia, gli scarichi illegali da parte delle industrie sono iniziati progressivamente a diminuire, soprattutto i metalli pesanti, in particolare cadmio, mercurio, nichel e piombo, altamente tossici e con effetti cancerogeni. Altre sostanze nocive sono l'azoto e il fosforo che mettono in pericolo le specie acquatiche acidificando il loro habitat.

Purtroppo, questa pratica continua in parte ancora oggi mentre dovrebbe essere rigoroso il trattamento di depurazione all'interno delle aziende, evitando smaltimenti selvaggi. Quanto ai consumi, è sicuramente in atto anche la loro riduzione, dovuta

in parte al miglioramento delle tecnologie e in parte anche alla delocalizzazione all'estero di produzioni industriali idro-esigenti.

In Europa, le industrie sono obbligate per legge a ridurre progressivamente i quantitativi di agenti inquinanti che rilasciano nelle acque, ma non tutte lo fanno, e non per tutte le sostanze scatta l'obbligo di riduzione. Per la «European Environmental Agency», nel 2019 solo il 40% delle acque europee era in buono stato ecologico, e solo il 38% in buono stato chimico. Il 23 ottobre 2020, il Parlamento europeo ha introdotto la Direttiva 200/6/Ce, con un nuovo quadro di azioni per tutelare le acque che insieme alla Direttiva 2010/75/UE sulle emissioni industriali, si inserisce all'interno di un programma il cui obiettivo è di arginarne l'impatto negativo sull'ambiente.

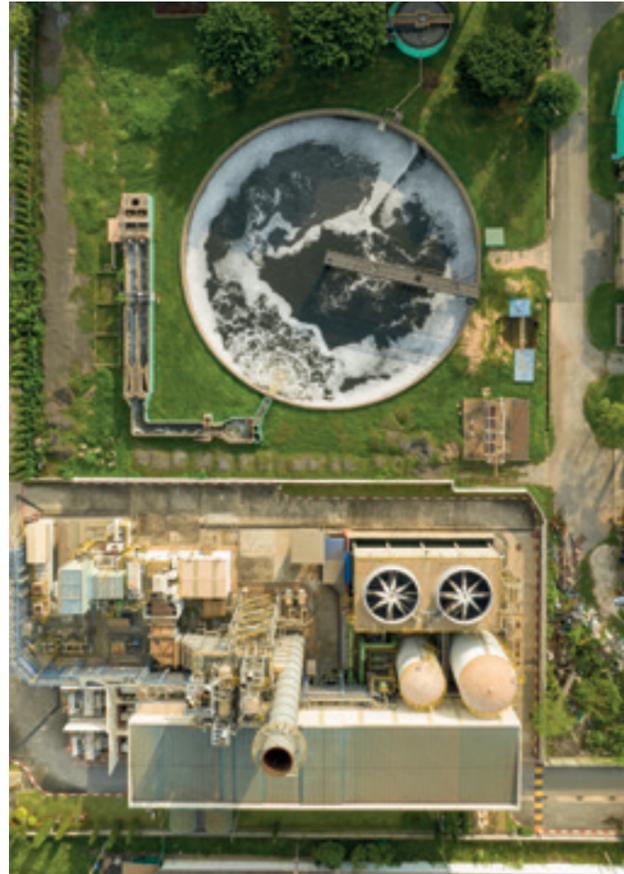
WATER USE INTENSITY INDICATOR: 13 LT DI ACQUA PER 1 EURO PRODOTTO

Esiste un indicatore dell'intensità dell'uso dell'acqua: il *Water Use Intensity Indicator* che segnala il volume di acqua necessario a generare una produzione nel settore manifatturiero, calcolato come rapporto tra la quantità d'acqua utilizzata in m³ e il valore aggiunto realizzato da ogni singolo settore. L'indicatore rivela che in Italia si utilizzano in media circa 13 litri di acqua per euro di valore aggiunto realizzato. Individua i più idro-esigenti nei settori dei prodotti chimici, tessile e carta, con indici rispettivamente di 49 litri, 37 e 36, seguono la gomma e la plastica e i minerali non metalliferi, rispettivamente con 29 e 22 litri.

Un altro dato interessante rilevato dall'Istat, è quello delle imprese con meno di 5 addetti che utilizzano, nella maggior parte dei casi, l'acqua della rete pubblica per uso civile per circa 195 mila m³, mentre le imprese medie e quelle grandi si auto-provvigionano, con utilizzi dell'acqua di acquedotti industriali laddove esistono, come nel distretto di Prato.

L'industria, insomma, nonostante ci siano soluzioni a portata di mano per risparmiare, recuperare e riutilizzare acqua, anche con sinergie tra aziende in aree industriali, restituisce sempre l'idea di essere del tutto disinteressata alla gestione complessiva della risorsa, e alle questioni poste dalla crisi climatica che richiedono strategie di pianificazione, recupero, regolazione, riuso e risparmio idrico, oltre a minor inquinamento. Tutti impegni anche per il mondo industriale.





TECNOLOGIE PER IL RAFFREDDAMENTO DEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI

- **Raffreddamento a secco** con l'utilizzo dell'aria anziché dell'acqua per rimuovere il calore dagli impianti attraverso i condensatori raffreddati ad aria che utilizzano ventilatori per farla passare attraverso tubi di scambio termico, e la "Torre di raffreddamento a secco" che utilizza grandi superfici per migliorare l'efficienza di scambio termico.
- **Raffreddamento ibrido** che combina il raffreddamento ad aria e ad acqua. Può funzionare in modalità secca, umida o una combinazione delle due, a seconda delle condizioni climatiche e della disponibilità di acqua. Questo approccio riduce anche il consumo energetico.
- **Torre di raffreddamento a circuito chiuso** riduce il consumo di acqua rispetto alle torri di raffreddamento a circuito aperto.

- **Ottimizzazione del ciclo termodinamico** riduce il fabbisogno complessivo di raffreddamento con cicli combinati e turbine ad alta efficienza.
- **Recupero del calore** da riutilizzare nei processi produttivi o per il riscaldamento degli ambienti, riducendo il carico sul sistema di raffreddamento.

TECNOLOGIE PER RISPARMIARE ACQUA PER PULIZIA DI MACCHINARI E AREE INDUSTRIALI

- **Sistema Clean-in-Place** consente la pulizia automatica delle superfici interne delle attrezzature senza la necessità di smontarle.
- **Sistemi di lavaggio a bassa pressione e ad alto volume** che riducono il consumo di acqua utilizzando ugelli che aumentano l'efficacia del lavaggio.
- **Lavaggio a secco o semisecco o con aria compressa** per rimuovere i residui o con **schiume e gel pulenti** che richiedono meno acqua.
- **Erogatori a risparmio idrico.**
- **Automazione dei processi di lavaggio** per garantire un uso preciso e ottimale dell'acqua, impostando cicli di lavaggio in base alle necessità specifiche di pulizia.
- **Additivi chimici con detergenti concentrati** che richiedono meno acqua o con **prodotti biodegradabili** che riducono l'impatto ambientale e possono essere più facilmente trattati e riutilizzati.

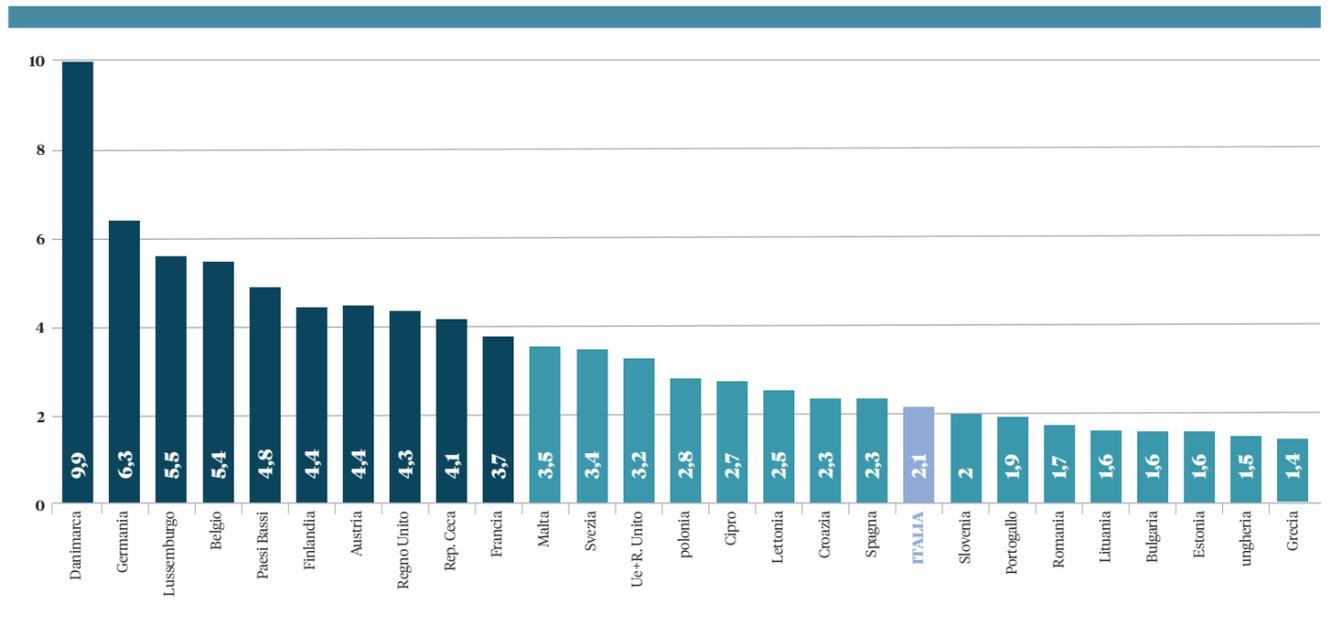
Servizio idrico integrato

Il sistema di gestione del servizio idrico integrato - dal prelievo al controllo e alla distribuzione di acqua potabile fino alla depurazione e al recupero dell'acqua reflua - ha il *gap* del livello di investimenti pubblici per le infrastrutture idriche tra i più bassi d'Europa e del mondo avanzato.

Negli ultimi 20 anni lo Stato ha investito tra l'1 e il 2% della spesa pubblica nazionale, percentuale minima confermata anche nel PNRR con investimenti pari a 4,3 miliardi di euro sul totale di 238 miliardi. La tariffa produce una media di investimenti per abitante all'anno pari a 67 euro, a fronte di valori

TARIFE A CONFRONTO IN EUROPA

Anno 2022. Valori in euro al m³



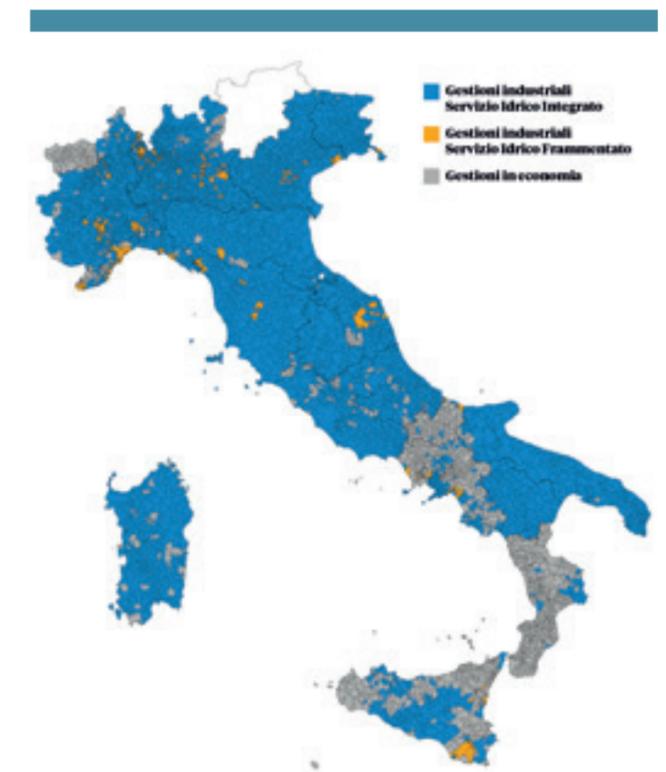
Fonte: elaborazione The European House

medi intorno a 120 euro nell'Europa più avanzata. Per 7,7 milioni di italiani, ancora con servizi "in economia" affidati agli enti locali soprattutto verso Sud, si investono tra 10 e 20 euro pro-capite all'anno. È chiaro che se perdurasse questa condizione, si produrrebbero condizioni di emergenza strutturali e livelli di servizi inaccettabili.

Sulle 1913 gestioni industriali a controllo pubblico del servizio idrico integrato, 1519 sono ancora servizi comunali, in larga parte del Sud, nonostante l'obbligo della legge Galli, varata nel 1996, della nascita di aziende idriche su scala ottimale. Sono 394 le aziende con imprinting industriale, società per azioni pubbliche o miste a maggioranza pubblica dove operano circa 29 mila addetti. Tra queste figurano le multiutility quotate

2.391 GESTORI DEL SERVIZIO IDRICO
1.997 SERVIZI COMUNALI
394 AZIENDE INDUSTRIALI
8 MULTIUTILITY QUOTATE IN BORSA

DISTRIBUZIONE TERRITORIALE DELLE TIPOLOGIE DI GESTIONE



Fonte: elaborazioni Utilitatis su dati gestori ed EGA



in borsa che operano con verifiche pubbliche di risultato - Acea, Hera, A2a e Iren le più grandi - aziende regionali come le toscane che hanno avviato processi di aggregazione tecnologica e finanziaria verso la multiutility, l'Acquedotto Pugliese, Abbanoa in Sardegna e altre. Dove mancano aziende efficienti restano condizioni che fanno vergognare.

L'ARERA⁷ ha favorito la crescita degli investimenti, aumentando l'affidabilità di tante aziende nell'accesso ai prestiti bancari. Se nel suo primo anno di regolazione, il 2012, il settore investiva complessivamente 1,3 miliardi di euro, oggi è balzato a circa 4 miliardi, pur con un livello medio-basso delle tariffe all'utenza. Ma oltre non si va, e il settore avrebbe bisogno di urgenti investimenti per complessivi 7 miliardi annui.

PRELIEVI DA RECORD UE: 419 LITRI A TESTA AL GIORNO, MA NE ARRIVANO 210

Siamo tre volte primi! Tra i 27 paesi dell'Unione Europea è l'Italia che preleva più acqua potabile di tutti. Ma siamo anche in testa perché ne perdiamo più di tutti nello scorrimento nei circa 400.000 km di rete idrica. E il nostro terzo record è quello di avere a disposizione la più diffusa rete di approvvigionamento idropotabile con circa 37.400 fonti localizzate. Nell'insieme, pur tra oscillazioni di portata dovute agli sbalzi climatici

o ai terremoti profondi che modificano gli acquiferi nei sottosuoli montani, vengono forniti ogni anno 9,1 miliardi di m³ di acqua prelevati, ma ne arrivano a destinazione solo 4,6 miliardi di m³. Disperdiamo, quindi, 3,4 miliardi di m³, tanta acqua potabile, rilevata dall'ISTAT e Utilitalia con Fondazione Utilitatis.

CHECK-UP ACQUEDOTTI E PERDITE. TUTTI I PROBLEMI DEL TUBO

Le reti di acquedotto del servizio idrico integrato, complessivamente, sono lunghe 393.360 km. Per l'83% sono reti di distribuzione e per il 17% sono condotte di adduzione. A queste, si aggiungono circa 50.000 km di allacci privati, quelli che dal bordo strada raggiungono gli edifici. Sono in gran parte infrastrutture colabrodo, con perdite clamorose del 42,5% di acqua potabile trasportata, una quantità che basterebbe a soddisfare gli utilizzi di 43,4 milioni di persone: quasi di una seconda Italia.

Perché perdono tanta preziosa acqua? Perché in gran parte sono risalenti ai nostri trisavoli, ai bisnonni e ai nonni, e in quota parte ai nostri genitori. Dallo screening della rete, emerge l'età di posa:

- **20%** entro i 30 anni;
- **22%** oltre 50 anni;
- **33%** 31-50 anni;
- **25%** oltre 80 anni.

I tempi di utilizzo ovviamente abbassano i limiti di resistenza strutturale. Nella gamma delle tipologie delle tubazioni, dai tubi di ghisa e acciaio a quelli plastici e in polietilene e polipropilene o PVC di ultima generazione, il deterioramento è sempre strettamente proporzionale all'età della posa e all'inizio dell'esercizio, alle variazioni di pressione esercitate dall'acqua nello scorrimento, alla corrosione esterna prodotta da particolari terreni, all'esposizione a vibrazioni e stress provocati nella condotta dal traffico in superficie e dalle variazioni climatiche gelo-calore, alle forti sollecitazioni dei movimenti e delle deformazioni del terreno esercitate sulla condotta, alla tipologia dei rivestimenti, al numero di rotture e riparazioni effettuate. Insomma, una tubazione interrata è costantemente sottoposta a



forzanti interne ed esterne, e per questo sono necessari costanti check-up oggi fortunatamente possibili con tecnologie digitali. Ma soprattutto, l'efficienza del tubo dell'acqua è strettamente dipendente dagli investimenti per le sostituzioni, le manutenzioni, le riparazioni. Una sintesi di prelievi, perdite e consumi di acqua potabile:

PRELEVATI
9,1 MILIARDI DI M³ ANNO

IMMESSI
8 MILIARDI DI M³ ANNO

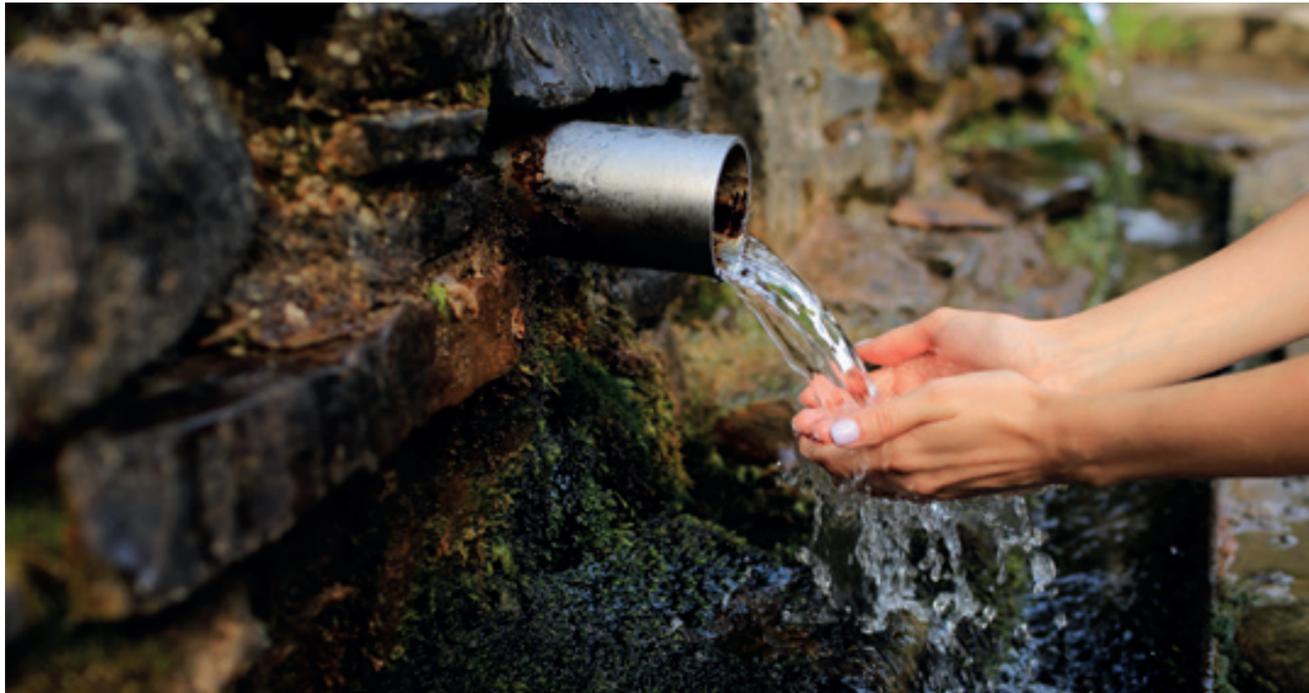
ARRIVANO AI RUBINETTI
4,6 MILIARDI DI M³ ANNO

PERDITE TOTALI
3,4 MILIARDI M³ ANNO

LE PERDITE COPRIREBBERO I FABBISOGNI DI
44 MILIONI DI ABITANTI

Si tratta di una dotazione molto abbondante, peccato che nello scorrimento delle reti, quasi un terzo si disperde nel terreno, in gran parte assorbito in falda. Negli ultimi anni sono state ridotte

⁷ Relazioni annuali dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA) con il Quadro strategico sulla gestione del servizio idrico integrato.



le perdite di rete, ma restano elevatissime: dal 44% del 2016 siamo al 42,4%. Nelle regioni del Sud sono al 47%, contro il 31% del Nord-Ovest, e aumenta vertiginosamente il numero di interruzioni del servizio tra Calabria e Sicilia dove servirebbero operatori con capacità progettuale, realizzativa, gestionale e di accesso a strumenti di finanza di progetto, ma in realtà l'assenza di azioni aumenta solo il *water service divide*.

PERFORMANCE TECNOLOGICHE. DA TECNO-DISTRETTUALIZZAZIONE A DEPURAZIONE

Le aziende più performanti hanno da tempo sviluppato percorsi di *digital transformation* con *cluster* tecnologici e sistemi intelligenti di gestione e monitoraggio, misura e telemisura, e applicazioni dell'IA che si traducono in buona manutenzione del patrimonio di infrastrutture, qualità dell'acqua distribuita, efficienza nella gestione. Lo dimostrano le tecnologie applicate, con l'affidabilità dei dati con IA a supporto dello sviluppo della modellistica idraulica attraverso la creazione di modelli digitali della rete, digitalizzazione del sottosuolo e delle infrastrutture anche attraverso dati satellitari. Esistono sistemi come *Supervisory Control and Data Acquisition*, con componenti software e hardware utilizzato per supervisionare e gestire infrastrutture monitorate in tempo reale a controllo locale e da remoto; *Turck Automation Suite*, la piattaforma che riunisce in un unico

software strumenti di configurazione e parametrizzazione dei sensori intelligenti con funzioni di gestione di rete con semplificazioni di processi di integrazione e interoperabilità delle diverse tecnologie utilizzate, dall'approvvigionamento alla domanda di acqua alle acque reflue con tecnologie di comunicazione Ethernet, GPS o GPRS.

La distrettualizzazione per aree omogenee di territorio urbano, attraverso la suddivisione della rete in distretti di distribuzione o zone idriche, è sempre più indispensabile per gestire sistemi di acquedotto sempre più complessi con:

- digitalizzazione e modellazione;
- applicazione di modelli idraulici alla rete;
- gestione digitale dei flussi di acqua;
- radiografia del sistema acquedottistico con l'isolamento di tratti di rete in caso di guasti;
- ricerca perdite anche con tecnologia radar da satellite e da aereo attraverso l'emissione di onde elettromagnetiche verso terra per individuare rotture di condotte e perdite attraverso l'umidità provocata nel terreno.

I **contatori intelligenti** in ambito *IoT* e *software* per servizi di assistenza all'utenza e sportelli on-line rafforzano le relazioni con i cittadini, favorendo comunicazioni trasparenti e immediate, semplificando le pratiche amministrative con App con messaggistica istantanea di avvisi di disservizi, bolletta web, autoletture. Aumentando il grado di consapevolezza sui consumi e rendendo più trasparente la qualità del servizio.

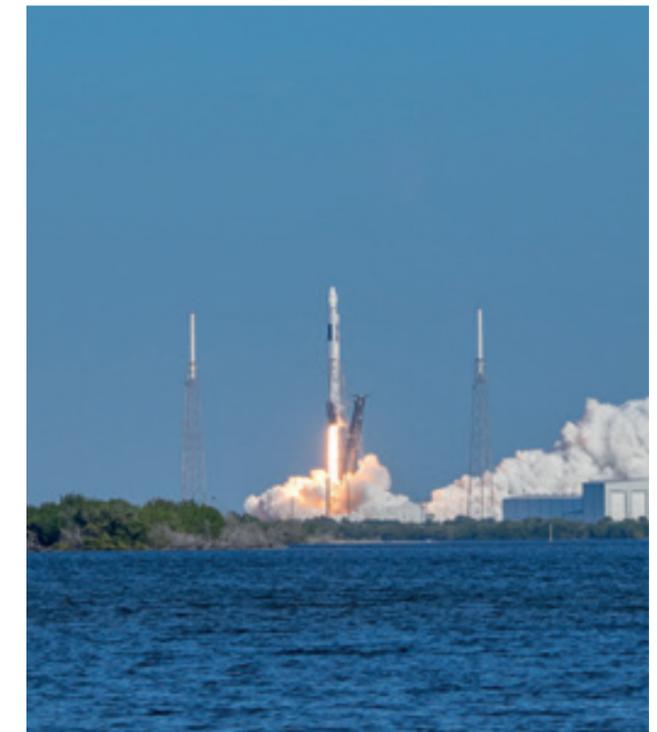
IL CONTROLLO DELLA POTABILITÀ

Sulla qualità dell'acqua distribuita, la nostra legislazione ha adottato parametri più rigorosi della Direttiva europea e dei limiti stabiliti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. L'eccellente qualità a monte dell'acqua destinata al consumo umano, aiuta. E la nostra acqua prelevata da fonti purissime, mantiene le caratteristiche organolettiche. Rigorose e costanti misure di controllo e trattamento garantiscono l'abbattimento di ogni possibile rischio. Solo il 31% delle acque distribuite subisce processi di potabilizzazione più avanzati, rispetto alla semplice disinfezione. L'introduzione dei filtri a carbone attivo granulare, ad esempio nella filiera di trattamento, ha ridotto la storica clorazione. In ogni istante, tutti i parametri più significativi - cloro, torbidità, pH -, sono sotto osservazione, e in media, sono circa 100.000 le analisi effettuate all'anno dal gestore di un acquedotto, alle quali di aggiungono ulteriori rigorosi controlli dei tecnici delle Aziende sanitarie locali con analisi chimico-fisiche e microbiologiche della qualità dell'acqua, effettuate anche nei laboratori interni alle aziende di alta qualificazione e nei laboratori esterni certificati che monitorano il trattamento dell'acqua prelevata con processi di filtrazione, disinfezione, clorazione, ozonizzazione, raggi ultravioletti, osmosi inversa, nanofiltrazione, e con sistemi di rilevamento precoce con monitoraggi continui dell'acqua attraverso sensori di qualità installati nelle reti per rilevare parametri come pH, temperatura, livelli di cloro e altro. La rete di istituzioni competenti sulla qualità dell'acqua coinvolge: Ministero della Salute, Istituto Superiore di Sanità, Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente, Aziende Sanitarie Locali, laboratori di analisi interni o esterni certificati. Nel nuovo decreto 18/2023, entrato in vigore il 21 marzo 2023, tra le novità più importanti c'è l'approccio basato sul rischio. Si passa cioè da un sistema di controllo basato unicamente sul rispetto di parametri di potabilità ad un approccio che tiene conto dei rischi potenziali lungo l'intero ciclo idrico. Inoltre, ci sono nuovi parametri di analisi per la ricerca di microinquinanti, e sono stati rivisti i valori limite per l'arsenico. Particolarmente sfidante risulta il controllo delle nanoplastiche, sempre

più rilevabili nelle acque di gran parte delle aree del mondo. I gestori devono predisporre e attuare piani di sicurezza, con misure di controllo e informazioni ai cittadini sulla qualità dell'acqua erogata.

L'ACQUA SPAZIALE. DAL SOTTOSUOLO ALLA LUNA E ANCHE SU MARTE

Lo sapevate che...le astronavi dirette verso la Luna o Marte potrebbero partire con a bordo stivata acqua italiana? Che la Smat di Torino è l'azienda idrica fornitrice di acqua per la Stazione Spaziale Internazionale in orbita terrestre bassa, e i nostri centri di ricerca sviluppano processi e tecnologie innovative anche per estrarre e purificare l'acqua prelevata da fonti extraterrestri, come il ghiaccio lunare o l'atmosfera marziana? Che la Thales Alenia Space Italia lavora ad un sistema di estrazione del ghiaccio lunare con un trapano robotico? Che Leonardo ha progettato un sistema di purificazione dell'acqua marziana con filtrazioni a membrana per rimuovere qualsiasi impurità? Che l'Università di Padova sviluppa un sistema di elettrolisi per produrre acqua dall'atmosfera marziana? Che alla Sapienza di Roma sono in corso ricerche per la produzione di acqua con la reazione esotermica di Sabatier, combinando cioè anidride carbonica e idrogeno per ottenerla?





L'astronauta Chris Hadfield - Fonte: ESA

Applicazioni e ricerche avanzate spaziali vedono l'Italia come uno degli avamposti nel mondo. Sappiamo bene che la produzione di acqua è fondamentale per la sopravvivenza umana e per l'autonomia e il prolungamento delle durate delle missioni spaziali. La disponibilità di acqua permette di poter immaginare la presenza sul suolo lunare, dove l'acqua è nel 3,5% della superficie ma come ghiaccio nelle aree polari a 180 gradi sotto lo zero, per dissetare i futuri colonizzatori, ma anche per produrre energia e propellente a idrogeno per potersi spostare sulla superficie lunare, avere luce nella lunga notte, e produrre carburante a idrogeno per alimentare i razzi per tornare sulla Terra o per immaginare il gran balzo verso l'esplorazione umana di altri pianeti, in particolare Marte andata e ritorno. Nella prospettiva della colonizzazione futura, sul Pianeta Rosso oggi stazionano il Perseverance telecomandato dalla NASA sbarcato il 9 febbraio 2021, e il rover cinese Zhurong sceso dalla rampa del lander della missione Tianwen-1 il 15 maggio 2021 che continuano ad esplorare, trivellare, a cercare con droni-elicotteri anche tracce di acqua, microorganismi e componenti chimiche.

La ricerca e lo sviluppo di tecnologie per la produzione di acqua spaziale sono in corso, ma intanto i progressi italiani sono promettenti. L'Agenzia Spaziale Italiana ha affidato al Politecnico di Milano l'analisi dei requisiti scientifici dell'estrazione del ghiaccio lunare e marziano, e con Canada e Giappone è partner della missione Nasa "Mars exploration ice mapper" per produrre la mappa del ghiaccio nel sottosuolo di Marte.

L'Italia può vantare la prima fornitura di acqua spaziale, dall'aprile del 2008, per gli astronauti e i cosmonauti sulla Stazione Spaziale Internazionale, prodotta dalla SMAT, la Società Metropolitana Acque di Torino, guidata da Paolo Romani, preparata nei laboratori del "Centro Ricerche per le missioni spaziali" da un'eccellenza mondiale. Sulla stazione orbitante l'acqua arriva con le attrezzature per conservarla e gestirla, dopo aver superato rigorosissimi test di campionatura, e soddisfatto tutte le esigenze sanitarie e di gestione tecnologica richieste dalle sezioni europee spaziali, dalla Nasa e dalla Russia. Ad ogni astronauta è stata garantita la "sua" acqua. Per gli americani leggera e poco mineralizzata e trattata con sali di iodio, per i russi più ricca di minerali e trattata con sali d'argento e fluoro, e per tutti la garanzia di tenere nel tempo le sue caratteristiche in condizioni di assenza di gravità, al riparo da contaminazioni batteriche. La SMAT, con Aerosekur, Thales Alenia Space e il Consiglio Nazionale delle Ricerche, per l'Agenzia Spaziale Europea studia i metodi più innovativi per la disinfezione e lo stoccaggio dell'acqua per voli spaziali di lunga durata, e fuori dall'orbita terrestre: i nuovi contenitori di stoccaggio e nuovi erogatori per l'equipaggio che tra una decina d'anni sarà lanciato alla conquista di Marte.

NEI 61 PIANI DI AMBITO ITALIANI 65 MILIARDI DI INVESTIMENTI

I 61 Piani di Ambito hanno in pancia investimenti non rinviabili nell'arco dei prossimi 30 anni, per un totale di 65 miliardi di euro. Di questi, stima l'ARERA, 10,3 miliardi sono il fabbisogno immediato al 2027, che richiederebbero investimenti pro-capite annui quasi raddoppiati, concentrati sul servizio di fognatura e depurazione, sulle nuove interconnessioni, sul potenziamento dei sistemi acquedottistici.

Gli Enti di Governo d'Ambito li indicano come «strategici» nei rispettivi atti di pianificazione. Il Piano per l'acqua - presentato nell'ultimo capitolo - porta l'investimento finanziario complessivo a 70 miliardi di euro in 10 anni, per l'adeguamento alle normative europee e nazionali delle reti idriche e fognarie e della depurazione, per tecnologie in impianti di potabilizzazione, sollevamento e distribuzione, per opere per l'accumulo di acqua e per il riuso delle acque reflue. Servirebbe un investimento aggiuntivo annuo extra tariffa di almeno 3 miliardi di euro. Per questo, è urgente il ritorno del sostegno della finanza pubblica in un settore ad alto valore aggiunto, tenendo conto che il settore idrico è e resterà fuori dal regime di concorrenza e dall'economia di mercato essendo in monopolio pubblico.

TECNOLOGIE ANTISISMICHE PER ACQUEDOTTI IN AREE SISMICHE

Campagne di diagnostica degli edifici, investimenti pubblico-privati per la cantieristica anche leggera con tecnologie e nanotecnologie non invasive per un programma diffuso di adeguamento sismico. Ecco cosa serve per le infrastrutture strategiche primarie. Le aziende di Utilitalia segnalano la gravità dell'esposizione delle infrastrutture all'intensità dei fenomeni sismici, sia per la natura franosa di molti terreni collinari e montuosi attraversati, sia per l'epoca di realizzazione delle infrastrutture, sia per la loro collocazione nelle aree più sismiche. Risalta l'assenza di obblighi e anche di indicazioni nei disciplinari delle costruzioni.

La «Disciplina delle costruzioni» dei lavori pubblici, su 140 articoli cita in passant il settore idrico nel solo articolo 1181 ma per misure di risparmio di acqua. Questa rimozione non è accettabile, le carenze normative, associate alle carenze di risorse per gli adeguamenti sismici, espongono opere strategiche di sicurezza nazionale al perenne rischio di collasso con disagi per cittadini e città che dopo un sisma per mesi restano in balia delle autobotti della Protezione Civile.

Tipologie di infrastrutture idriche a rischio terremoti

Le infrastrutture sopra il cosiddetto «piano di campagna» porzioni di superfici, di captazione non sotterranee, di raccolta e convogliamento di acque a servizi di pozzi, traverse e opere di derivazioni per acque fluenti, condotte di attraversamento, torri piezometriche, partitori, impianti di potabilizzazione, impianti di trattamento e depurazione, edifici a servizio, opere di accumulo con serbatoi pensili o con camere di manovra esterne, impianti di sollevamento e di pressurizzazione, sistemi tecnologici di controllo e telecontrollo.

Le costruzioni in gran parte o completamente sotterranee a partire dalle tubazioni che sono il principale patrimonio impiantistico pubblico gestito da un'azienda idrica. In caso di sisma, i danni sono sempre evidenti con frane e crolli di gallerie e lungo le linee di trasporto idrico con pozzi e tecnologie a servizio delle condotte.

Fonti idriche e impianti a rischio

- **pozzi**, per rischi di aumenti di torbidità, e fluttuazioni del livello dell'acqua di falda per aumenti o riduzioni fino a possibili crolli della portata.
- **sorgenti**, per variazioni di portata, intorbidimento e adirittura spostamenti.
- **invasi**, soprattutto con forti sismi di magnitudo superiore a 6, possono registrare fessurazioni o rotture alle infrastrutture come le «torri di presa».
- **impianti di trattamento** acque potabili e acque reflue, soggetti a rotture di componenti e danni agli edifici e alle vasche di trattamento.
- **serbatoi**, soprattutto di tipo pensile se non sono stati progettati con criteri antisismici, per rotture, crolli, danni alle travi e ai pilastri.
- **adduttrici e rete di distribuzione**, con riduzione o interruzione del servizio di fornitura d'acqua, fratturazioni e rotture delle tubazioni e sistemi di ancoraggio e giuntura. In galleria si possono rilevare crolli, deformazioni nelle pareti. Gli stessi rischi si rilevano per le reti di collettamento e trasporto fognario.



NELLE MARCHE È IN CANTIERE IL PRIMO ACQUEDOTTO ANTISISMICO

(in collaborazione con Massimo Tonelli e Carlo Ianni responsabili progetto acquedotto azienda CIIP Ascoli)

Nelle Marche è in corso d'opera il primo acquedotto anti-sismico italiano, l'Anello Acquedottistico Antisismico dei Sibillini», un progetto apripista in Italia, dal valore di circa 500 milioni di euro, per quasi 300 km di estensioni di reti tra completamenti di schemi e le prime interconnessioni tra sistemi idrici del centro-sud della regione. Servirà 134 comuni di 4 delle 5 province marchigiane - Sud di Ancona, Macerata, Fermo ed Ascoli Piceno -, coprendo una superficie di quasi 5mila km², con 778mila abitanti da servire, quasi metà popolazione regionale. Capofila, è l'azienda idrica CIIP di Ascoli, presieduta da Maddalena Ciancaleoni, che ha sostituito il «fondatore» che ha dato il via all'operazione, lo scomparso Pino Alati. Lo staff tecnico è di altissimo livello, coordinato dagli ingegneri Massimo Tonelli e Carlo Ianni, dal direttore generale Giovanni Celani, sta realizzando la prima svolta strutturale, tecnologica e anche culturale italiana, per un nuovo acquedotto, per la prima volta, molto più resistente alle scosse dello storico acquedotto del Pescara, fatto a pezzi in più riprese dai terremoti e anche nel cluster dei 4 forti terremoti del 2016-2017, è stato sempre ripristinato, come nel resto d'Italia, senza prevedere tecniche antisismiche.

L'opera impegna anche l'azienda idrica anconetana Acquambiente Marche, ed è stata finanziata inizialmente dalla norma sugli invasi e gli acquedotti in Legge di Bilancio 2018, a carico del Ministero delle Infrastrutture, proposta nel dopo terremoto del 2016 dall'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino centrale, e sostenuta dalla Protezione Civile, oggi presa in carico da Guido Castelli, Commissario straordinario per la ricostruzione delle aree colpite dal sisma 2016-17, già sindaco di Ascoli e tra i principali promotori del nuovo acquedotto e di una ricostruzione nella massima sicurezza multirischio, oggi possibile con risorse anche dal PNRR e dal «Fondo per l'avvio di opere indifferibili». Per la prima volta in Italia, la progettazione di una rete idrica in una zona sismica è sorretta dall'inserimento di materiali, di tecniche di costruzione e di tecnologie di monitoraggio che permetteranno di far fronte a eventi sismici in un territorio dove i terremoti hanno sempre provocato anche sconvolgimenti idrologici profondi, con scomparse e deviazioni di falde e drastiche riduzioni di portate dei corsi d'acqua sotterranei e superficiali - in alcuni casi, da 350 litri al secondo a zero -, e dove oggi la crisi climatica colpisce con portate invernali che sembrano quelle estive.

Tutta la nuova rete idrica sarà digitalizzata, e un sistema di controllo avanzato e a distanza permetterà il suo controllo attraverso piattaforme con sistemi informatici, sensori, topografica di precisione con laser scanner e georadar. Un bel messaggio per l'intero Paese.



ACEA RADDOPPIA CON IL PESCHIERA A PROVA DI TERREMOTO

Dopo l'epopea degli 11 acquedotti della Roma antica, solo nella seconda metà del Novecento, con l'acquedotto del Peschiera, Roma ha ritrovato l'acqua di un tempo con la portata dell'antica Urbe. Oggi è ACEA, guidata dall'Ad Fabrizio Palermo e dalla presidente Barbara Marinali, che assicura la rete di acquedotti tra le più complesse e interconnesse, gestita con le più moderne tecnologie. La Capitale può contare su 10 fonti: per l'85% sulle sorgenti del Peschiera, Le Capore, Acqua Marcia, Acqua Felice e Appio-alessandrino, e per il resto su 4 campi-pozzo a Pantano Borghese, Finocchio, Torre Angela e Torre Spaccata. Oltre il 70% dell'acqua potabile parte dalle perenni sorgenti naturali del Peschiera, alle falde carsiche del Monte Nuria, nel reatino, con un flusso di 9 m³ al secondo, ai quali si aggiungono i 4,7 m³ al secondo delle sorgenti gemelle di Le Capore, captate nei pressi di Frasso Sabino, facendo arrivare la portata complessiva a 13,5 metri cubi di cui 11,6 arrivano a Roma, dopo il rifornimento di altri comuni.

Il Peschiera è uno dei più ricchi «serbatoi naturali» d'acqua di sorgente del mondo, con una eccezionale qualità della risorsa prelevata da una cavità-serbatoio naturale nel cuore del massiccio calcareo, che assorbe pioggia e neve come un'enorme spugna. Nel cuore della montagna dell'acqua c'è l'enorme «Grotta Azzurra» che la raccoglie perché trasuda, cola dalle rocce, quasi zampilla dalle

pareti o viene drenata da labirinti di cunicoli che sono le vene blu del massiccio. L'acqua è a 9 gradi di temperatura, ed è talmente trasparente che la luce artificiale permette di ammirare il fondo dell'enorme piscina naturale a 15 metri di profondità. È da questi ambienti ipogei straordinariamente affascinanti che la prima acqua comincia a viaggiare verso Roma in condotte lunghe complessivamente circa 130 chilometri, che per il 90% del tragitto corrono in galleria, con un sistema di impianti e reti realizzato in circa mezzo secolo. L'idea del Peschiera, infatti, cominciò a circolare ai primi del Novecento negli uffici tecnici del Campidoglio al tempo del grande sindaco Ernesto Nathan. Era il 1908 quando fece avviare i primi studi e rilievi sulla sorgente reatina, tradotti poi nella formale richiesta di concessione presentata nel 1913 al Ministero dei Lavori pubblici. Passarono gli anni e, finalmente, nel 1926, arrivò la concessione, passarono altri e nel 1932 venne presentato il progetto definitivo e dopo altri tre il Governatorato di Roma finalmente avviò i cantieri del nuovo «Acquedotto Imperiale IX Maggio». L'esecuzione venne affidata all'azienda elettrica municipale, che sarebbe diventata nel 1937 Azienda Governatoriale Eletticità ed Acque», e nel 1945 «Azienda Comunale Eletticità ed Acque», ACEA.

Tecnici e operai si diedero da fare con le opere di captazione e con lo scavo del tunnel lungo 27 chilometri che conduceva l'acqua dalla sorgente alla nuova centrale idroelettrica di Salisano. L'8 maggio 1940, inaugurarono l'avvio dell'acquedotto, presente Mussolini circondato dalle massime cariche del regime fascista, ma i lavori furono sospesi per la guerra, e ripresero nel dopoguerra con la tragedia della strage di 43 operai morti schiacciati sotto i crolli di una galleria mentre lavoravano agli scavi del nuovo acquedotto di Roma.

Il 4 novembre del 1949 entrò in funzione il tronco inferiore, con la portata minima di 1,2 metri cubi al secondo e lo inaugurò il presidente della Repubblica, Luigi Einaudi, che avviò lo zampillo della fontana a Piazzale degli Eroi. Pochi giorni dopo, però, arrivò l'ordine di bloccare i cantieri per mancanza di finanziamenti che ripartirono solo nel 1954, con i fondi della «Legge per Roma», e nel 1957 la portata in città salì a 5,5 metri cubi al secondo. Vennero captate anche le sorgenti di Le Capore, per alimentare anche la centrale ad acqua fluente di Salisano, l'unica in Italia a produrre energia idroelettrica con acqua sorgente potabile, che copre il fabbisogno annuo di elettricità di 50.000 famiglie, dai salti di 250 metri del Peschiera e di 85 di Le Capore.



Salisano è lo snodo idraulico di arrivo dell'acqua dalla presa del Peschiera a quota 410 metri, da dove parte il ramo superiore che dopo quasi 27 chilometri in galleria la scarica nella centrale idroelettrica, scendendo a 210 metri di quota che si aggiunge a quella da Le Capore, che arriva dopo circa 7 chilometri in galleria. I 27 chilometri del ramo superiore, realizzati nel 1937 con tecnologie obsolete e non antisismiche, e in esercizio ininterrotto da oltre 80 anni in un'area sismica già provata dai grandi terremoti con gli ultimi nel 1979 e nel 2016-17, sono sotto osservazione. Il sistema di gallerie drenanti interne al versante montuoso è ispezionabile grazie al by-pass esterno realizzato da ACEA e sorvegliato con monitoraggi avanzati, nano-sismometrici e tenso-deformativi, gestiti h24, ma non senza causare la totale interruzione dei 9 mc/sec trasportati. In quel primo tratto in galleria non è possibile effettuare nemmeno interventi di manutenzione senza la totale interruzione del flusso idrico, che per l'area metropolitana di Roma non ha alternative, visto che serve 2,8 milioni di residenti. E questo impone il suo raddoppio e rafforzamento antisismico.

La realizzazione del «Nuovo Tronco Superiore Peschiera» per garantire la massima sicurezza del sistema acquedottistico, è la più importante opera idrica europea, e tra le più impegnative del mondo, dal costo complessivo di 1,4 miliardi di euro. I progettisti di ACEA, e il Commissario dell'opera, Massimo Sessa Presidente del Consiglio Superiore di Lavori Pubblici, lavorano ad una nuova infrastruttura in grado di trasferire 10 m³ al secondo dal Peschiera più 5 m³ da Le Capore, collegato al

sistema acquedottistico del Marcio, per portare l'acqua del Peschiera in circa 300 km di rete idrica, 1500 chilometri di reti di adduzione, 8.100 chilometri di reti di distribuzione e diramazione agli utenti, e ad alimentare la Fontana del Peschiera di Villa Borghese, la fontana del Sole di via Bravetta e di Santa Maria della Pietà.

Check-Up depurazione 2024

Ogni rete fognaria deve essere allacciata all'impianto di depurazione, la fase conclusiva del ciclo integrato dell'acqua che deve garantire l'eliminazione delle sostanze inquinanti per restituire all'ambiente naturale l'acqua utilizzata. Sono infrastrutture essenziali per la tutela della salute pubblica e la qualità degli ecosistemi e per il riutilizzo dell'acqua trattata con processi biologici, chimici e fisici, con rigorosi standard di qualità.

Le nostre reti fognarie per due terzi sono di tipologia «mista», cioè progettate per il collettamento degli scarichi domestici e delle acque meteoriche. Per il resto scaricano soprattutto le acque reflue domestiche cosiddette «acque nere», e per un 5% le «acque bianche» piovane. Nel 2020, l'ISTAT ha rilevato 18.042 depuratori in esercizio di varia tipologia per il trattamento delle acque reflue urbane: il 56,3% per il pre-trattamento in vasca settica tipo *imhoff* delle «acque nere», e il restante 43,7% per il trattamento secondario che rimuove biologicamente solidi sospesi e impurità. In Piemonte si concentra il maggior numero di impianti con il 22,0%, seguono l'Emilia-Romagna con

l'11,2%, l'Abruzzo con l'8,8% e la Lombardia con l'8,5%. Ma solo in Valle d'Aosta e nella Provincia autonoma di Bolzano, Emilia-Romagna e Umbria il servizio pubblico di depurazione è attivo in tutti i comuni. Il volume totale delle acque reflue confluite in tutti gli impianti in esercizio è di 9,2 miliardi di m³, molto più alto rispetto al volume complessivo dell'acqua potabile erogata agli utenti, ma in entrata arriva anche l'acqua da precipitazione, scaricata nella rete fognaria da infiltrazioni, collettamento di corsi d'acqua intombati e scarichi di origine industriale. In ogni caso, gli impianti sarebbero in grado di gestire complessivamente un carico massimo di inquinanti in ingresso pari a 107 milioni di abitanti equivalenti, e attualmente il carico organico all'ingresso è di 67 milioni di abitanti equivalenti. Il 94,4% è depurato con trattamento di tipo secondario o avanzato. Il 59% degli impianti è nelle regioni del Nord, con il maggior numero di impianti in Piemonte - 3.961 depuratori, Emilia-Romagna con 2.015, seguita dall'Abruzzo con 1.579 impianti. La Lombardia ha il maggior carico in entrata pari a 11,1 milioni di abitanti equivalenti, seguita dalla Campania con 6,7 milioni, e dal Piemonte con 5,6 milioni di abitanti equivalenti.

La nostra rete fognaria risulta di una lunghezza di circa 1 milione di km. L'ISTAT stima, nel suo ultimo rapporto che l'88,7% dei residenti in Italia siano allacciati alla rete fognaria pubblica, ma a prescindere dalla presenza o meno di impianti di trattamento e di depuratori. I residenti ancora non allacciati alla rete fognaria sono ben 6,7 milioni. Ovviamente, non sempre una rete fognaria comunale può essere estesa verso un casolare sparso in una zona montana, ma non è certo per questi casi isolati che il «caso italiano» sia diventato un «caso europeo».

TECNOLOGIE PER IL RIUSO DELL'ACQUA REFLUA

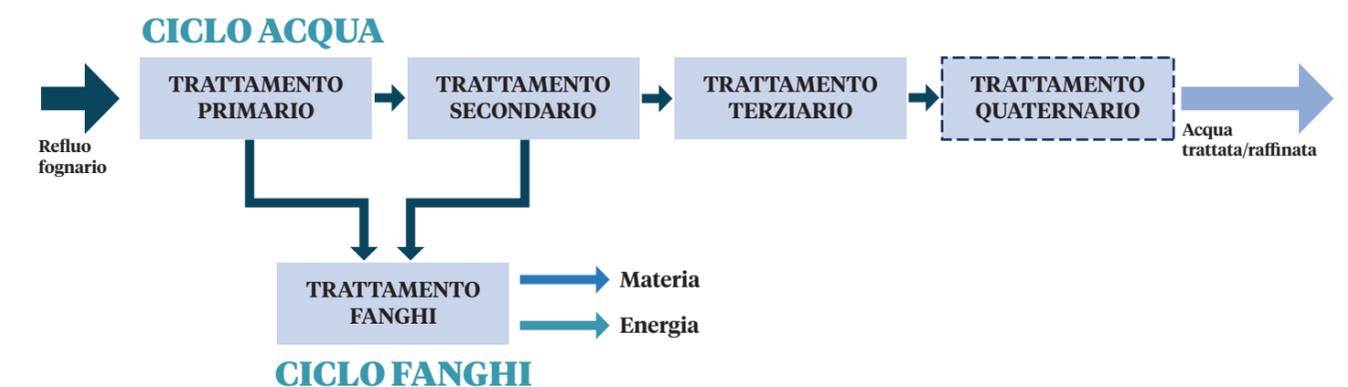
(con il contributo di Renato Drusiani Utilitalia)

In Italia, al netto di scarichi industriali e agricoli che non si collestano nel sistema fognario urbano, si producono annualmente 9 miliardi di m³ di acqua reflua urbana, in buona parte depurata ma scaricata nei fiumi o in mare. Il riuso di acque depurate, che generalmente su scala globale nei Paesi industrializzati e avanzati vale quote intorno al 13%, in Italia è intorno al 5%. L'Italia non è certo un Paese a scarsità endemica d'acqua, e il riuso per fini antropici non è, come in aree desertiche, la nostra fonte principale. Siamo però un Paese dove nei mesi di scarsità, generalmente estivi, il riuso dell'acqua reflua può avere un senso, ed è necessario a supporto dei diversi settori di utilizzo. Dove la depurazione è «più spinta» può rappresentare un valido contributo a fabbisogni oggi soddisfatti con sprechi di acqua di falda o del rubinetto.

LA FILIERA DEL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE

L'ISTAT ha rilevato 18.042 «depuratori» in esercizio in Italia per il trattamento delle acque reflue urbane, di varia tipologia ma soprattutto vasche di decantazione. Il livello di depurazione ottenibile è legato agli stadi di trattamento che possono essere impiegati e che si riassumono in quattro tipologie: **primario, secondario, terziario, quaternario**. A queste filiere di trattamento che compongono il ciclo acqua si aggiunge poi il ciclo fanghi che comprende tutta l'impiantistica destinata a separare e trattare la frazione solida del refluo in entrata che confluisce poi nei c.d. fanghi primari e secondari.

TRATTAMENTO DELLE ACQUE



La sequenza dei trattamenti per la depurazione

- **trattamento primario**, per la separazione dei solidi sospesi tramite sedimentazione.
- **trattamento secondario**, con processi biologici per convertire inquinanti organici disciolti e solidi in sospensione in prodotti come biossido di carbonio e fanghi.
- **trattamento terziario** per ridurre nutrienti e sostanze residue come le componenti microbiologiche.
- **trattamento quaternario** per rimuovere componenti come composti farmaceutici e altre molecole compresse.
- **trattamento per il riutilizzo a fini antropici** (agricoli e industriali) con osmosi inversa e altri sistemi mirati per specifici utilizzi.

La prima area di innovazione nei trattamenti, come per gli impianti di desalinizzazione, è quella delle membrane, necessarie sia nei processi di “osmosi inversa” sia nei più diffusi trattamenti di microfiltrazione. L'utilizzo di membrane ha vantaggi notevoli per la separazione dei composti senza modificarne la natura e senza introduzione di nuove sostanze, per il risparmio energetico in quanto non si utilizza calore, e per la flessibilità di applicazione in diverse tipologie di concentrazioni.



Un'altra area di innovazione è collegata all'economia circolare, ovvero al recupero di elementi riutilizzabili da sabbie e ghiaie reimpiegabili nell'edilizia, all'utilizzo di biotecnologie che trasformano il processo di depurazione in una sorta di bio-raffineria capace di recuperare sostanze che hanno valore sul mercato delle materie come cellulosa, fosforo e bio-plastiche. Dalla digestione anaerobica dei fanghi è possibile poi ricavare biogas, oltre a fertilizzanti e ammendanti da impiegarsi in agricoltura. Tutto questo, oltre ovviamente all'acqua trattata e affinata da destinare a fini irrigui o per impieghi ecologico-ambientali. Tra le più avanzate tecnologie ci sono l'ossidazione attraverso l'ozonizzazione, processi di fotocatalisi per rimuovere contaminanti persistenti, il trattamento a ultrasuoni per distruggere e disperdere particelle solide in pre-trattamento.

IL RISCALDAMENTO? ARRIVA DALLA FOGNA

Un'interessante prospettiva è quella del recupero del calore dal sistema fognario urbano per il riscaldamento degli ambienti, ed è tutta energia a basso costo. La temperatura delle acque reflue nelle migliaia di chilometri di scorrimento nelle condotte fognarie sotto le nostre città, mediamente ha un valore tra i 12° e i 16° C con tratti anche oltre i 20°C. Il sistema dei flussi delle acque nere di scarico è un grande scambiatore di calore sotterraneo, una fonte rinnovabile e diffusa che, attraverso tecnologie molto semplici come l'installazione di pompe di calore può essere tranquillamente sfruttato da edifici residenziali.



La tecnologia sostenibile è già utilizzata in Europa, a partire dalla Francia dove l'innovativa Degrés Bleus ideata dalla Lyonnais des Eaux, società controllata da Suez, dove tra piscine comunali e edifici riscaldati spicca l'Eliseo di Parigi, il palazzo Presidenziale che dal 2011 ha integrato il sistema di recupero di calore dalle fogne per ridurre del 63% i consumi energetici e l'impatto ambientale, riducendo di 206 tonnellate annue le proprie emissioni di CO₂. In Italia c'è un primo tentativo realizzato dalla società di ingegneria della Metropolitana Milanese che gestisce il servizio idrico del capoluogo lombardo, che ha installato il sistema di produzione di energia incanalando le acque reflue in uno scambiatore di calore composto da fasci di tubi dove l'acqua di scarico entra e fuoriesce producendo uno scambio termico per la sua distribuzione nel circuito di riscaldamento di un edificio. L'elemento scambiatore è una piastra d'acciaio collocata a sei metri di profondità, in modo da essere sempre ricoperta dall'acqua e attraversata da un fluido «termovettore» in grado di assorbire calore e scaldarsi cedendola a una pompa di calore che alza ulteriormente la temperatura e la restituisce al sistema di riscaldamento dell'edificio. Agisce come un pozzo termico da cui recuperare calore per riscaldare o raffreddare gli ambienti. Al depuratore di Nosedo, periferia Sud-Est di Milano, l'acqua depurata alimenta direttamente due pompe di calore da 200 kW di potenza, usate per riscaldare o rinfrescare gli uffici dell'impianto. ENEA e Università di Bologna hanno predisposto un progetto per utilizzare l'acqua di scarico

anche industriale per recuperare energia termica poiché l'acqua della doccia, dei lavaggi in lavatrice o in lavastoviglie viene scaricata in fogna a temperature elevate, come la gran parte delle acque industriali, ed è tutta energia termica che riduce l'impatto ambientale, i consumi energetici e i costi. Sono 40 i brevetti sulla depurazione delle acque reflue realizzati dalla ricerca pubblica e universitaria in Italia e ricavati dalla nuova piattaforma Knowledge Share, inaugurata nel 2023 che riporta gli “esiti”, in termini di Brevetti e di Spin off, generati dalla Ricerca Pubblica italiana.

124.000 EURO AL GIORNO DI MULTE UE.

7 MILIONI DI ITALIANI SENZA DEPURATORI

Per legge, e per buonsenso, ogni rete urbana deve essere allacciata all'impianto di depurazione per restituire acqua depurata all'ambiente a tutela della salute pubblica, della qualità degli ecosistemi e per riutilizzare l'acqua trattata con processi biologici, chimici e fisici, nel rispetto dei rigorosissimi standard di qualità. Ma sono intorno al 20% gli italiani con reti fognarie inadeguate e senza collettamento a depuratori. È un dato sconcertante nell'anno 2024. Pur avendo a disposizione una rete molto ramificata, realizzata con notevoli investimenti e gestita con tecnologie avanzate, una parte dell'Italia resta nel Medioevo. Si tratta di aree urbane perlopiù piccole e medie dove la destinazione finale degli scarichi inquinanti sono fiumi e torrenti, laghi e mare, come facevano gli antichi.

DISTRIBUZIONE TERRITORIALE E NAZIONALE DELLE PROCEDURE DI INFRAZIONE ATTIVE IN ITALIA E CARICO INQUINANTE GENERATO

C.G. espresso in abitanti equivalenti - 2023

MACROAREA	Causa C 251-17		Causa C 85-13		Causa C-668-19		PI 2017-2181		TOTALE	
	Numero	C.G.	Numero	C.G.	Numero	C.G.	Numero	C.G.	Numero	C.G.
NORD	4	338.831	6	250.433	73	1.429.000	73	4.724.991	156	6.743.255
CENTRO	0	2	105.230	67	4.451.854	28	174.325	97	4.731.409	257.558
SUD	70	5.656.540	6	121.232	465	32.964.581	136	4.364.851	677	43.107.204
ITALIA	74	5.995.371	14	476.895	605	38.845.435	237	9.264.167	930	54.581.868

Fonte: Elaborazione Utilitatis su dati MASE

L'ISTAT stima, nel suo ultimo rapporto, l'88,7% dei residenti in Italia allacciati alla rete fognaria pubblica, a prescindere dalla presenza o meno di depuratori. I residenti ancora non allacciati a un depuratore o alla rete fognaria ufficialmente sono ben 6,7 milioni. Questa condizione "medievale" - rilevano gli ultimi dati del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - riguarda 930 agglomerati in procedura di infrazione per un carico organico generato pari a circa 54 milioni di abitanti equivalenti. Sono circa 2.000 piccoli e medi comuni, compresi alcuni capoluoghi di provincia, dove ancora il carico inquinante non viene convogliato - parzialmente o totalmente - verso il depuratore, o addirittura in fognatura, provocando danni non solo ambientali ma anche all'immagine del nostro Paese. La rete fognaria è ancora completamente assente in 40 comuni, dove risiedono 386mila abitanti, lo 0,7% della popolazione, 25 dei quali sono in Sicilia. Smaltiscono le acque reflue ufficialmente con "sistemi autonomi di smaltimento reflui", ma in autonomia possono scaricare dove capita, con casi in cui la rete fognaria ci sarebbe ma non è in esercizio.

L'ISTAT paragona il totale dei liquami civili scaricati nei fiumi senza trattamento depurativo ad un flusso ininterrotto di un Paese con 41 milioni di abitanti! E non a caso l'Annuario dei dati ambientali dell'ISPRA rileva alti livelli di inquinamento nelle analisi realizzate dalle 21 ARPA, le Agenzie regionali e provinciali per la protezione dell'ambiente, sulle acque lacustri e fluviali, con residui di pesticidi, insetticidi ed erbicidi. Solo il 43% delle nostre acque superficiali sono definite in "buono o elevato stato ecologico", il resto è sotto l'obiettivo della qualità. Più grave è la condizione dei laghi: solo il 20% raggiunge gli standard di qualità, e nel 21% del campione totale la concentrazione di pesticidi supera i limiti consentiti.

Ma i ritardi nel corretto trattamento di tutte le nostre acque reflue, costano tanto alle casse pubbliche, comprese le pesanti sanzioni finanziarie europee. Ogni 24 ore, infatti, dal Ministero dell'Economia e delle Finanze è come se inviassero a Bruxelles un bonifico da 124.000 euro per pagare solo la prima sanzione comminata al nostro Paese per la prima condanna della Corte di giustizia dell'Unione europea andata a sentenza. Pagheremo fino a quando saranno allacciati a reti fognarie e a depuratori tutti gli scarichi civili urbani. Le procedure sono elencate sul sito del "Commissario Straordinario Unico per la Depurazione", istituito nel 2018 per accelerare gli investimenti necessari al superamento dei contenziosi comunitari, soprattutto al Sud. Il ritardo è soprattutto al Sud, dove lo Stato impegna ingenti risorse a fondo perduto, come anche quelle del PNRR, che restano però in gran parte non spese per mancanza di aziende idriche. Finora, abbiamo versato per sanzioni nel bilancio europeo circa 166 milioni di euro. Ma sono in arrivo altre multe per normative non attuate come la "Direttiva Quadro sulle Acque", approvata dal Parlamento e dal Consiglio europeo il 23 ottobre 2000, votata con entusiasmo anche dall'Italia che obbligava al raggiungimento e mantenimento del "buono stato ecologico" entro la data limite del 2015, poi prorogata al 2027.

Abbiamo sul groppone 4 procedure di infrazione per 5.995.371 abitanti equivalenti, per mancata o inadeguata attuazione degli obblighi di trattamento delle acque reflue urbane, anche in violazione della Direttiva 98/15/CE del 27 febbraio 1998 e del Regolamento 1882/2003 del Parlamento europeo e del Consiglio. La maggior parte delle procedure - per 677 agglomerati - è al Sud con il 73% degli agglomerati e il 79% del carico generato. In misura minore, casi di non conformità si registrano anche al Nord e al Centro.

Reti 4.0 del servizio idrico integrato

- **Tecnologie per la gestione delle reti con sistemi di controllo operativi** per garantire che l'acqua arrivi ai punti di utilizzo con meno perdite possibili e con la massima qualità, acquisendo dati da sensori e dispositivi remoti trasmessi a unità di controllo centrali con interfacce grafiche.
- **Tecnologie Intelligenti per la diagnostica di sistema** monitorando i sistemi idrici in real time con sensori e dispositivi di raccolta dati su temperatura, pressione, velocità, livelli di consumi e perdite.
- **Tecnologie per l'ottimizzazione della distribuzione di acqua** con algoritmi di IA monitorano variazioni di condizioni meteorologiche e della domanda, e fasi di siccità attraverso analisi di dati storici, condizioni meteorologiche, modelli di consumo e altre variabili, prevedendo la domanda e migliorando la pianificazione di prelievi e della distribuzione.
- **Tecnologie di monitoraggio in tempo reale** delle reti di distribuzione utilizzando sensori intelligenti e algoritmi per rilevare in modo precoce malfunzionamenti, eventuali contaminazioni, perdite attraverso analisi di pattern per ridurre gli sprechi, consentendo interventi rapidi.

- **Tecnologia per la manutenzione predittiva** utilizzando l'Apprendimento Automatico e l'analisi dei dati storici, con l'IA per prevedere quando componenti dell'acquedotto - condotte, pompe, valvole - potrebbero richiedere manutenzioni. Ciò consente interventi preventivi, riducendo i tempi di inattività e migliorando l'efficienza operativa complessiva.
- **Tecnologie per il rilevamento perdite** con l'IA attraverso analisi dei dati di pressione e flusso per identificare dispersioni lungo le reti.
- **Tecnologie di monitoraggio della qualità dell'acqua** con l'IA analizzando dati da sensori e test di laboratorio, identificando potenziali rischi, e consentendo risposte rapide a eventuali situazioni di emergenza.
- **Tecnologie per la risposta alle emergenze** con sistemi di IA fornendo schemi di intervento tempestivi agli operatori.
- **Tecnologie per la decentralizzazione e distrettualizzazione** dei sistemi idrici a rete per trasformarli in sistemi di approvvigionamento modulari delimitando "distretti di misura", porzioni di rete alle quali sono associate rilevazioni di portata e pressione dell'acqua.
- **Tecnologie per materiali** per migliorare l'efficienza e l'affidabilità delle componenti strutturali dei sistemi di approvvigionamento e distribuzione dell'acqua.





DISTRIBUZIONE

- **Le condotte** sono la componente principale dei sistemi di distribuzione a rete. Sono realizzate in diversi materiali, dai tubi di ghisa e acciaio a quelli plastici e in polietilene e polipropilene o PVC di ultima generazione, la cui scelta dipende dalle condizioni locali e dalle esigenze specifiche del sistema idrico. La distribuzione dell'acqua è fondamentale e sono state sviluppate tecnologie che migliorano i controlli, l'efficienza, la sostenibilità e l'affidabilità dei sistemi di distribuzione.
- **Reti intelligenti** o *Smart Grid*, applicate ai sistemi di distribuzione dell'acqua con la tecnologia *Internet of Things* per raccogliere dati e ottimizzare la distribuzione dell'acqua identificando perdite e guasti in modo tempestivo, creando interconnessioni con sensori di monitoraggio e analisi dati, ottimizzando la gestione e migliorando la resilienza del sistema.
- **Sensori intelligenti** all'interno della rete di distribuzione dell'acqua consentono di monitorare costantemente la qualità dell'acqua, la pressione, il flusso e le perdite. Questi dati possono essere utilizzati per il monitoraggio in tempo reale e la diagnosi dei problemi nella rete.
- **Analisi dei dati avanzata** con Big Data e Apprendimento Automatico, utilizzati per analizzare le informazioni provenienti dalla rete di distribuzione per anticipare i problemi, identificare i punti deboli e ottimizzare l'efficienza operativa.

- **Controllo da remoto e automazione** di valvole e altri dispositivi nella rete di distribuzione dell'acqua, consente monitoraggi più precisi e risposte rapide alle emergenze o ai cambiamenti nelle condizioni.
- **Tecnologie di rilevazione e riparazione perdite** nella rete di distribuzione dell'acqua con l'acustica di sorveglianza o monitoraggio acustico delle tubazioni, l'ispezione tramite droni o aerei.
- **Sistemi di trattamento decentralizzato** consentono di trattare l'acqua anche "sul posto" per gestire problematiche.
- **Sistemi di gestione intelligente della domanda** riducendo gli sprechi e migliorando l'efficienza operativa con la gestione in remoto delle valvole, l'ottimizzazione della pressione e la programmazione del flusso sulla base delle necessità.
- **Pompe e valvole** per calibrare la spinta dell'acqua attraverso le tubature superando differenze di quota e controllando il flusso e la pressione all'interno del sistema di distribuzione, e per isolare sezioni di rete per effettuare manutenzioni o ripristini.
- **Serbatoi di stoccaggio** per immagazzinare l'acqua potabile con sensoristica per gestire flussi costanti.
- **Strumentazione di monitoraggio e controllo** dai sensori di pressione ai flussimetri e ai sistemi di telemetria, per monitorare il funzionamento del sistema di distribuzione in tempo reale e rilevare eventuali anomalie o perdite.

- **Automazione:** i sistemi di distribuzione dell'acqua possono essere automatizzati per migliorare l'efficienza operativa. L'automazione può includere la gestione remota delle valvole, l'ottimizzazione della pressione dell'acqua e la programmazione del flusso in base alle richieste degli utenti.
- **Materiali innovativi:** la ricerca continua nell'ambito dei materiali porta allo sviluppo di tubazioni e componenti più resistenti, leggeri e duraturi per i sistemi di distribuzione dell'acqua, contribuendo a ridurre i costi di manutenzione e il rischio di perdite.
- **App per il monitoraggio e la gestione:** sono state create app e piattaforme online che permettono agli utenti di monitorare il proprio consumo d'acqua, ricevere notifiche sui consumi elevati e comunicare direttamente con i fornitori di acqua.

RISPARMIO IDRICO

Il risparmio idrico in ambito civile è fondamentale per ridurre gli sprechi d'acqua nelle abitazioni, negli edifici commerciali e nelle strutture pubbliche. Tecnologie e pratiche possono contribuire al risparmio idrico nelle attività quotidiane delle persone e negli utilizzi. Ecco alcune delle principali tecnologie:

- **Rubinetti e docce a basso flusso** utilizzano meno acqua senza compromettere la pressione o la qualità del flusso. I rubinetti a basso flusso e le teste delle docce possono ridurre notevolmente il consumo d'acqua nelle abitazioni.

- **Toilette a scarico ridotto** o a doppio scarico, utilizzano meno acqua per ogni sciacquone, riducendo così il consumo d'acqua nei bagni.
- **Sensori di movimento e di presenza** possono essere installati nei rubinetti, nelle docce e nei sistemi di irrigazione per attivare l'acqua solo quando è necessario.
- **Risparmio idrico nei giardini, prati e campi agricoli** con sistemi di irrigazione a goccia, sensori di umidità del suolo e programmi di irrigazione basati su dati meteorologici.
- **Sistemi di raccolta delle acque piovane** in serbatoi, utilizzabile per l'irrigazione o per scopi non potabili.
- **Rubinetti a chiusura automatica** superato il tempo preimpostato, prevenendo lo spreco d'acqua da rubinetti accidentalmente lasciati aperti.
- **Dispositivi di monitoraggio e controllo domestico** come smart home hub e dispositivi IoT che consentono di monitorare e controllare il consumo d'acqua in tempo reale tramite smartphone o computer.
- **Contatori d'acqua intelligenti** forniscono informazioni dettagliate sul consumo aiutando a identificare e risolvere potenziali problemi di perdite.



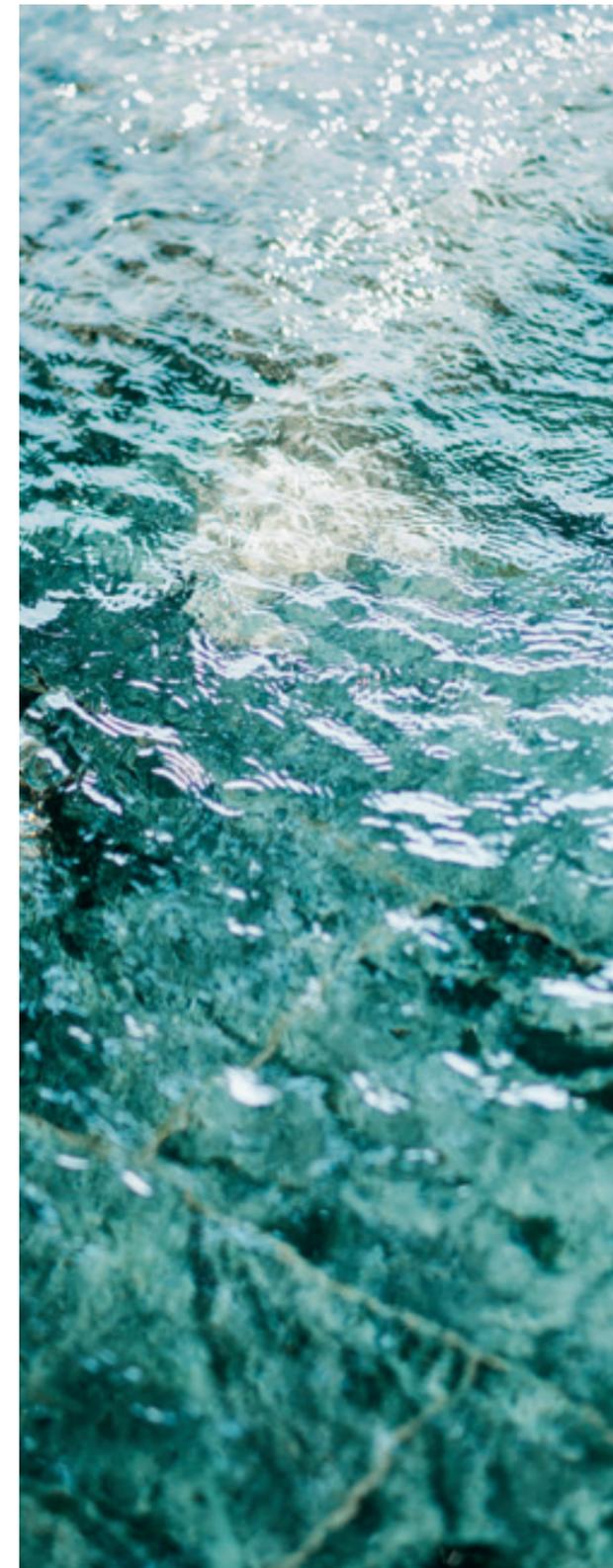
- **Isolamento termico delle tubature dell'acqua calda**, riduce la perdita di calore e permette all'acqua di raggiungere la temperatura desiderata più rapidamente, riducendo così il tempo di utilizzo e gli sprechi iniziali.
- **Elettrodomestici ad alta efficienza energetica** come lavatrici, lavastoviglie e scaldabagni ad alta efficienza energetica che utilizzano meno acqua rispetto ai loro predecessori.
- **Educational Technology** con app e dispositivi di insegnamento anche online, possono essere utilizzati per educare al risparmio idrico e promuovere comportamenti più responsabili.

DEPURAZIONE E RIUSO DELLE ACQUE REFLUE RIGENERATE

- **Tecnologie per il trattamento primario** per rimuovere solidi grossolani come sabbia e detriti attraverso processi di setacciatura e sedimentazione.

- **Tecnologie di trattamento biologico** con l'uso di batteri e microrganismi per decomporre i contaminanti organici nelle acque reflue industriali, con processi in reattori biologici a fanghi attivi o in letti di biodegradazione.
- **Tecnologie di filtrazione** attraverso letti di sabbia, filtri a carbone attivo o membrane per rimuovere impurità sospese e microbi.
- **Tecnologia di evaporazione** mediante riscaldamento per eliminare residui industriali e concentrazione di sali o solidi.
- **Tecnologie di distillazione** con il riscaldamento dell'acqua reflua per convertirla in vapore, seguita dalla sua condensazione per rimuovere impurità e sali.
- **Tecnologia di scambio ionico** con l'uso di resine scambiatrici di ioni per rimuovere ioni metallici pesanti o ioni inquinanti.
- **Tecnologia di ozonizzazione** con l'uso di ozono per ossidare e rimuovere contaminanti organici e batteri.

- **Trattamento avanzato** con processi tra i quali l'assorbimento su carbone attivo, fotocatalisi elettrochimica, filtrazione avanzata per migliorare ulteriormente la qualità dell'acqua trattata.
- **Sistemi di disinfezione** post-trattamento con uso di cloro, ozono o raggi UV.
- **Sistemi di controllo e monitoraggio** con sensori, analisi dei dati e automazione per monitorare in tempo reale i processi di trattamento.
- **Clorazione**: disinfezione dell'acqua con cloro o composti di cloro che eliminano batteri, virus e altri microrganismi patogeni.
- **Disinfezione ultravioletta UV**: luce ultravioletta per eliminare batteri, virus e altri microrganismi
- **Osmosi inversa** processo di separazione in cui l'acqua viene spinta attraverso una membrana semi-permeabile per rimuovere sali e contaminanti, utilizzata nella desalinizzazione dell'acqua di mare.
- **Coagulazione e flocculazione** con l'aggiunta di coagulanti aggregano particelle disperse facilitando la loro rimozione mediante sedimentazione o filtrazione.
- **Assorbimento** con sostanze chimiche come il carbone attivo o resine a scambio ionico, che rimuovono contaminanti organici e inorganici attraverso l'attrazione chimica.
- **Elettrodialisi** con membrane selettive per separare ioni e sostanze chimiche dall'acqua, utilizzata nella desalinizzazione e nella rimozione di sali dall'acqua.
- **Tecnologie avanzate di trattamento** come l'assorbimento su nanomateriali, fotocatalisi, filtrazione avanzata e uso di reattori a membrana.
- **Tecnologie per il riuso dell'acqua depurata** con reti dedicate per rifornire settori industriali, per il raffreddamento impianti o pulizia locali e piazzali e automezzi, e per usi urbani, innaffiamento parchi e giardini o pulizia strade e per l'irrigazione.



La Desalinizzazione

CAPACITÀ DI DESALIZZAZIONE NEL MONDO

La produzione di acqua desalata, come tutti i processi *science-based*, è spinta, da sempre, da nuove tecnologie e applicazioni. L'acqua prodotta per desalazione fa parte della "famiglia" delle acque non convenzionali, e utilizza come principale tecnologia il sistema di membrane, sempre più sofisticate, sottili, resistenti alla pressione e alla corrosione, e l'innovazione nell'applicazione dell'osmosi inversa. La desalazione delle acque marine o salmastre è in crescita grazie all'innovazione tecnologica che ha diminuito in maniera sostanziale i costi di produzione, e mitigato l'impatto ambientale degli scarichi di salamoia in mare. La desalazione ha tre sfide davanti a sé: l'energia, le membrane e lo scarico di salamoia.

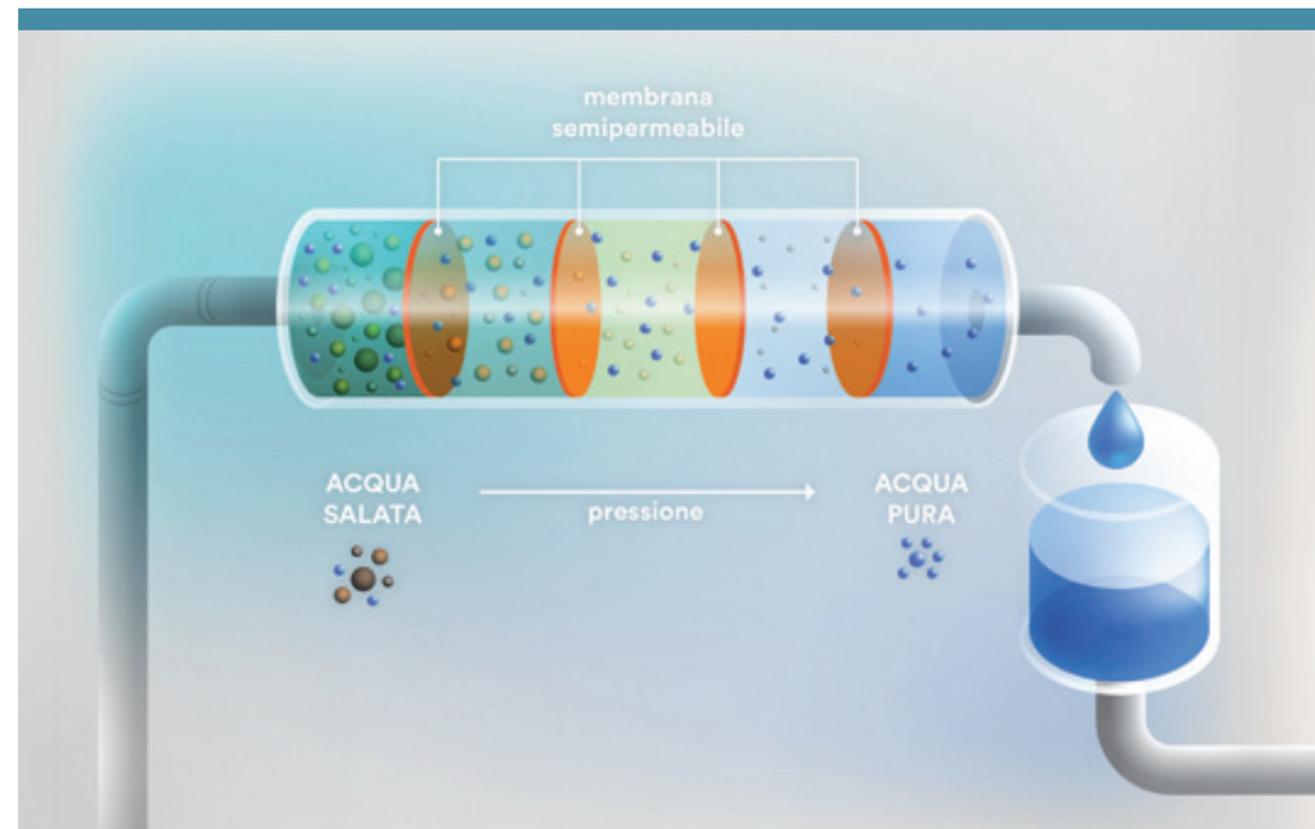
L'elevato consumo energetico sconta ancora una disponibilità di accumulatori non adeguata a supportare la tipologia della domanda di energia del sistema industriale e civile con energia

rinnovabile, ma sicuramente sta riducendo i costi. Le strade da percorrere sono due, oltre ovviamente all'innovazione che può portare alla minore richiesta di energia per unità prodotta: la disponibilità di potenza e di continuità dell'energia rinnovabile, e la riduzione di scala senza perdita di efficienza degli impianti. Il "piccolo è bello" anche negli impianti di desalazione? C'è chi dice che questo potrebbe essere il futuro.

Per quanto riguarda le membrane, sono in corso interessanti sperimentazioni con la tecnologia della stampa in 3d e 4d che sembrerebbe la più adeguata a raggiungere obiettivi di qualità.

Per la salamoia e il suo smaltimento, si affrontano due scuole di pensiero. La prima, nei paesi arabi e anche in Israele, non considera la salamoia un grosso problema, essendo acqua a contenuto salino più elevato, ma non inquinante, e la soluzione tecnologica sarebbe quella di installare impianti in aree marine con correnti naturali costanti, e di accumulare la salamoia nel sistema

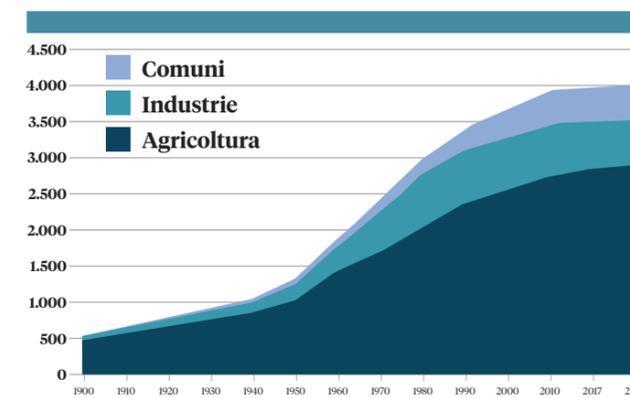
OSMOSI INVERSA



Elaborazione 3D: Newo



EVOLUZIONE DEI CONSUMI IDRICI GLOBALI TOTALI 1910-2018 (km³/anno)



Fonte: FAO

di sversamento a mare. La seconda scuola di pensiero considera la salamoia un problema perché può inquinare il mare con l'eccesso di salinità ma anche con residui chimici di lavorazione. In questo caso si prospettano soluzioni che vanno dal recupero delle sostanze chimiche, al riutilizzo della salamoia, alla sua depurazione pre-sversamento in mare. Il contributo della produzione di acqua dissalata è ancora relativamente basso.

CAPACITÀ DI DESALIZZAZIONE IN ITALIA

L'Italia ha pensato di fare a meno dei dissalatori, che oggi coprono appena l'1% del fabbisogno idrico del Paese. In Europa ci ha puntato la Spagna, oggi in testa per acqua dissalata con

2 miliardi e 171 milioni di m³ prodotti all'anno, e molto indietro seguono l'Italia con 287 milioni, Cipro con 256 milioni, Malta con 160 milioni e la Grecia con 96. Anche l'Inghilterra oggi, nonostante l'abbondanza di acqua, si è dotata di un dissalatore piazzato sul Tamigi verso la foce londinese che dissala l'acqua meno salata allo sbocco in mare, con una capacità produttiva di 55 milioni di m³ all'anno. Di fronte a gravi fenomeni di siccità, trasformare l'acqua del mare in acqua dolce, è una delle soluzioni proposte da amministrazioni locali in aree costiere. Abbiamo nel nostro Paese dissalatori costruiti dagli anni Novanta soprattutto a supporto di aree industriali e turistiche come a Gela, Trapani e Porto Empedocle, ormai abbandonati, e sulle piccole isole toscane e laziali, con strutture di piccole e medie dimensioni. La Sicilia ha la storia più lunga, risalente al primo dissalatore di Ustica, ultimato nel 1995, e oggi ha impianti sulle isole di Pantelleria, Lampedusa, Linosa e Vulcano con portate complessive di 460 m³ d'acqua all'ora. In Toscana gli impianti di dissalazione forniscono acqua potabile agli abitanti delle isole di Giannutri, Capraia e all'Isola del Giglio. Nel Lazio è in funzione a Ventotene ed è previsto, sull'isola di Ponza, un "dissalatore temporaneo" come quello collocato nella siccità 2022 tra Taglio di Po e Porto Tolle, in provincia di Rovigo, noleggiato dalla Spagna per fornire acqua a cinquemila abitanti del Polesine.

La legge con "Disposizioni per il recupero dei rifiuti in mare e nelle acque interne e per la promozione dell'economia circolare", cosiddetta "Salva Mare", entrata in vigore il 25 giugno 2022, permette la costruzione di dissalatori in assenza di alternative.

Per gli usi civili è l'Acquedotto Pugliese che farà di Taranto la prima grande città italiana dove il servizio idrico sarà integrato con la dissalazione. È in corso la progettazione del più grande dissalatore per usi civili, a *osmosi inversa*, che preleverà l'acqua alla foce del torrente salmastro Tara, per produrre l'equivalente del fabbisogno idrico giornaliero di 385.000 persone, quasi un quarto della popolazione dell'intera penisola salentina, con una potenzialità di 55.400 m³/giorno di acqua potabile. L'entrata in esercizio è prevista nel 2026. È un investimento di circa 100 milioni di euro. Nel progetto saranno sperimentate soluzioni sia per l'utilizzo della salamoia per la produzione nelle saline, sia per il recupero di minerali.

Altri dissalatori in fase di progettazione sono a Gela per 7.000 m³/giorno, a Brindisi per 9.300 m³/giorno, all'Elba per produrre 6900 m³/giorno, in Val di Cornia per 25 mila m³/giorno. Una piccola quota del nostro fabbisogno potrà essere coperta in zone costiere con carenze strutturali o stagionali di acqua. Insomma, di fronte ai rischi siccità e riduzioni di piovosità media in diverse aree dove sono in corso processi di desertificazione costiera, è opportuno cominciare ad investire anche in Italia nell'industria della dissalazione, inserendola all'interno della gamma di fonti del servizio idrico integrato e per gli utilizzi nei settori industriali e agricoli, mettendo a disposizione il nostro *know how*.

DESALINIZZAZIONE

- **Dissalatori evaporativi:** sfruttano l'evaporazione dell'acqua salata recuperando il vapore condensato in acqua pura, e lasciando i sali disciolti nella soluzione salina. Questa tipologia di dissalazione è la più antica, e viene utilizzata anche in aree particolarmente prive di acqua attraverso lo sfruttamento dell'umidità.
- **Dissalatori per scambio ionico:** utilizzano resine scambiatrici di ioni per rimuovere i sali dall'acqua. L'acqua, normalmente già dolce, viene fatta passare attraverso un letto di resine che catturano gli ioni di sodio e altri sali presenti nell'acqua. È una tecnologia adatta per applicazioni industriali.
- **Dissalatori a membrana e in particolare tecnologie a osmosi inversa:** utilizzano una membrana semipermeabile per separare il sale e altre impurità dall'acqua. È una tecnologia utile anche per la depurazione dell'acqua reflua o da scarto industriale. Tutto avviene in un processo di filtrazione dove

l'acqua salata viene spinta attraverso una membrana che trattiene i sali e permette il passaggio dell'acqua purificata.

- **Vapor Compression Distillation:** Il vapore generato dalla evaporazione dell'acqua salata viene compresso e raffreddato, aumentando la sua temperatura di ebollizione. Questo permette di separare il vapore dall'acqua salata e ottenere acqua dolce.
- **Membrane Distillation:** utilizza una membrana idrofoba che separa l'acqua salata dall'acqua dolce. Applicando calore alla membrana, il vapore acqueo l'attraversa lasciando indietro i sali e altre impurità.
- **Osmosi inversa:** è il metodo di desalinizzazione più comune ed efficace. Coinvolge il passaggio dell'acqua salata attraverso una membrana semipermeabile che trattiene il sale e le impurità mentre consente al solo solvente (acqua) di passare attraverso. Questa tecnologia richiede una pressione per forzare l'acqua attraverso la membrana e produrre acqua dolce.



- **Desalinizzazione a evaporazione flash:** in questo processo, l'acqua salata viene riscaldata e sottoposta a una pressione molto bassa, causando l'evaporazione istantanea dell'acqua dolce. L'acqua evaporata viene quindi raccolta e condensata in acqua dolce. Questo metodo è spesso utilizzato in combinazione con altre tecniche.
- **Multi-effetto distillazione a vapore (MED):** è un processo di distillazione che sfrutta più effetti di evaporazione a diverse temperature per migliorare l'efficienza energetica. L'acqua salata passa attraverso una serie di effetti di evaporazione, con il calore liberato in un effetto utilizzato per alimentare il successivo.
- **Desalinizzazione a pressione ionica:** sfrutta materiali a base di polimeri che attraggono specificamente gli ioni di sale e li separano dall'acqua. Questo metodo è ancora in fase di sviluppo, ma promette una maggiore efficienza e un minor impatto ambientale rispetto all'osmosi inversa.

- **Desalinizzazione a energia solare:** l'uso di energia solare per alimentare impianti di desalinizzazione è una soluzione sostenibile. I pannelli solari o i sistemi solari termici possono fornire l'energia necessaria per l'osmosi inversa o altri processi di desalinizzazione.
- **Desalinizzazione a energia geotermica:** in alcune regioni, l'energia geotermica proveniente da fonti termali o vulcaniche può essere utilizzata per il processo di desalinizzazione, riscaldando l'acqua salata e convertendola in vapore per la produzione di acqua dolce.
- **Desalinizzazione a energia cinetica:** l'energia cinetica delle correnti marine può essere sfruttata per alimentare sistemi di desalinizzazione, utilizzando turbine subacquee per pompare acqua salata attraverso sistemi di osmosi inversa.
- **Tecnologie CNR-Istituto Tecnologia delle Membrane** per ridurre consumo energetico, impatto ambientale e costi di produzione dell'acqua da desalinizzazione con "contattori a membrana" microporosa che consentono di recuperare acqua dolce dai concentrati prodotti durante il processo di osmosi inversa - tecnologia oggi dominante nella desalinizzazione - con impianti in grado di produrre fino a un milione di m³ di acqua al giorno.
- **Tecnologie del progetto europeo Medina** dell'Istituto di Tecnologia delle Membrane CNR, per il trattamento delle acque inquinate con una nuova membrana resa chimicamente selettiva per l'arsenico, in grado di abbattere la sua concentrazione nelle acque.
- **Tecnologie di ottimizzazione del processo di desalinizzazione con IA** che permette di analizzare in tempo reale i dati operativi dei sistemi compresi parametri di pressione, temperatura e salinità per massimizzare l'efficienza del processo di desalinizzazione.
- **Tecnologie per l'ottimizzazione energetica** con IA, utilizzata per ottimizzare i consumi dei processi di desalinizzazione analizzano i dati operativi e le previsioni meteorologiche, suggerisce i momenti migliori per avviare o fermare i processi sulla base delle esigenze di produzione d'acqua.
- **Tecnologie per l'adattamento alle variazioni ambientali** con IA, per adattare dinamicamente le operazioni di desalinizzazione in risposta a variazioni nelle condizioni ambientali come i cambiamenti della salinità dell'acqua di ingresso o le variazioni della temperatura dell'aria.



- **Tecnologie per il controllo predittivo** basate sull'IA per prevedere le variazioni nelle condizioni operative e adattare i parametri di processo migliorando la stabilità operativa e contribuendo a ridurre o evitare problemi.
- **Tecnologie per la manutenzione predittiva** con l'IA che può analizzare i dati provenienti dai sensori di monitoraggio delle attrezzature e prevedere quando le componenti del sistema potrebbero richiedere manutenzione, riducendo tempi di inattività e ottimizzando costi di manutenzione.
- **Tecnologie per l'analisi delle membrane e dei materiali con l'IA**, analizza dati di performance delle membrane e dei materiali utilizzati nei sistemi di desalinizzazione, ottimizza la selezione dei materiali, migliorando la durata delle membrane e riducendo i costi di manutenzione.
- **Tecnologie per il monitoraggio della qualità dell'acqua** prodotta con IA che aiuta a identificare anomalie o variazioni nel processo di desalinizzazione, garantendo gli standard di qualità richiesti.

RECUPERO E RIUSO DELLA SALAMOIA

La salamoia, che è una soluzione concentrata di sali e minerali prodotta come sottoprodotto durante il processo di desalinizzazione, può presentare sfide ambientali e richiedere soluzioni di gestione sostenibile. Ecco alcune idee su come la salamoia dei desalinizzatori potrebbe essere riciclata o gestita in modo sostenibile:

- **Produzione di energia:** la salamoia è una soluzione concentrata e può essere utilizzata per la produzione di energia. Alcuni impianti di desalinizzazione utilizzano la differenza di salinità tra l'acqua di mare e la salamoia per generare energia mediante celle elettrochimiche.
- **Agricoltura e irrigazione:** la salamoia può essere diluita e utilizzata per irrigare colture che tollerano una certa concentrazione di sali. Questo approccio richiede una gestione oculata per evitare danni alle piante a causa dell'elevata salinità.
- **Industria chimica:** alcuni componenti della salamoia possono essere recuperati e utilizzati nell'industria chimica. Ad esempio, il cloruro di sodio (sale da tavola) può essere separato e utilizzato in vari processi industriali.
- **Produzione di sale:** la salamoia può essere utilizzata per la produzione diretta di sale attraverso processi di cristallizzazione. Il sale ottenuto può essere commercializzato o utilizzato in diversi settori.
- **Allevamento di crostacei o pesci resistenti alla salinità:** la salamoia diluita può essere utilizzata in sistemi di acquacoltura per coltivare organismi marini che prosperano in ambienti salini. Ciò potrebbe includere alcune specie di crostacei o pesci che sono adattati a vivere in acque più salate.
- **Trattamento delle acque reflue:** la salamoia può essere mescolata con le acque reflue per contribuire al processo di trattamento. La presenza di sali può influenzare positivamente la coagulazione e la precipitazione dei solidi, migliorando così l'efficienza del trattamento delle acque reflue.
- **Produzione di materiali da costruzione:** alcuni componenti della salamoia, come il magnesio, possono essere utilizzati per la produzione di materiali da costruzione, come il magnesio solfato.
- **Tecnologie di cristallizzazione avanzate:** l'implementazione di tecnologie avanzate di cristallizzazione può consentire la separazione selettiva di diversi sali presenti nella salamoia, facilitando il recupero di singoli componenti.
- **Utilizzo nell'industria del freddo:** la salamoia a basse temperature può essere utilizzata nell'industria del freddo o come fluido di raffreddamento.

Nella tabella è presentata una sintesi delle soluzioni tecnologiche per la gestione della salamoia:

PANORAMICA DELLE PRINCIPALI SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER LA GESTIONE DELLE ACQUE REFLUE SALINE

CATEGORIA DI SOLUZIONI	SOTTOCATEGORIA	PRINCIPALI TIPI DI SOLUZIONI	DESCRIZIONE DELLE APPLICAZIONI (TECNOLOGICHE)	ASPETTI CRITICI E LETTERATURA
Rimedi basati sull'infrastruttura	Utilizzo per altri settori	Idroterapia	Utilizzo a scopo terapeutico e curativo (piscine di acqua salata)	Non elimina il problema dello smaltimento; opzione ancora da introdurre
		Applicazione a terra	Utilizzo per l'irrigazione salina; utilizzo per la rigenerazione delle zone umide costiere e interne	Salinizzazione del suolo nell'irrigazione come sfida; la rigenerazione delle zone umide non elimina la salamoia
		Assunzione sicura	Riduzione della velocità dell'acqua di alimentazione; aggiunta di barriere fisiche e sistemi di bypass per prevenire l'urto; scelta di aree idrologicamente attive (ma meno biologicamente produttive e a rischio) per l'aspirazione; prevenzione dell'erosione delle condotte	Ogni tecnologia/intervento di assunzione sicura dovrebbe essere valutato e testato a livello locale
	Smaltimento sicuro	Scarico zero-liquidi	Combinazione di diverse tecnologie caratterizzate come scarico minimo-liquidi (MLD), scarico zero-liquidi (ZLD o ZLQ) o dissalazione zero-liquidi mirante a eliminare la salamoia aumentando il tasso di recupero dell'alimentazione (ad esempio, vicino al 100%) e/o convertendo i rifiuti liquidi in prodotti solidi	Ci sono vari impianti sperimentali e metodi in base alla salamoia e alle condizioni locali, ma largamente considerata come una via futura per la dissalazione; processo complesso, intensivo in termini di energia ed emissioni, con ulteriori requisiti normativi necessari per tecnologie e utilizzi; eliminare la salamoia liquida è piuttosto un programma di ricerca o un obiettivo finale della dissalazione piuttosto che una tecnologia o un approccio concreto in sé
		Iniezione in superficie o in pozzo profondo	Scarico in acque superficiali, reti di fognature, formazioni rocciose o acque profonde	Inquinamento e distruzione di ecosistemi (vulnerabili); l'iniezione in pozzo profondo ha costi più elevati rispetto ad altri metodi e difficoltà nel prevenire perdite, filtrazioni e corrosione; vari svantaggi, ad esempio, dall'inibire la crescita batterica, aumentare la salinità o sovraccaricare le capacità degli impianti di trattamento delle acque reflue
		Scarico in zone specifiche (zone di scarico)	Scarico in zone regolamentate e specificate (ad esempio, aree più profonde con idrodinamica ad alta turbolenza)	Regolamentazioni severe come principio generale per qualsiasi strategia di scarico
Rimedi basati sulla salamoia	Riutilizzo e recupero	Sequestro di carbonio	Utilizzo di salamoia per la cattura, lo stoccaggio e l'utilizzo del CO ₂	Diverse tecnologie sono praticabili utilizzando adsorbenti e tecnologie di conversione del CO ₂ ; lo smaltimento del CO ₂ attraverso l'iniezione nelle falde acquifere può creare salamoia
		Recupero di minerali, sale e materiali preziosi	Varie (combinazioni di) tecnologie per il recupero di minerali, sale, metalli e altri materiali dalla salamoia	A seconda dei mercati del sale e del consumo, il recupero del sale può essere redditizio; le tecnologie per il recupero dei metalli sono ancora immature per le applicazioni su scala industriale; nessuna singola tecnologia autonomamente è la migliore per il recupero minerale (piuttosto una combinazione di tecnologie); nonostante molti esperimenti per estrarre materiali preziosi (ad esempio, magnesio, oro, uranio, bromo, potassio, cesio, rubidio e litio) dalla salamoia, i processi sono in gran parte non economici/commerciali al momento. Ulteriori ricerche sono necessarie sulla fattibilità economica, sui casi aziendali e gli impatti ambientali su ciascuna tecnologia di recupero
		Recupero energetico	Recupero di energia dalla salamoia; cioè, energia chimica risultante dal gradiente di salinità (Potenza del Gradiente di Salinità o SGP)	Molte delle tecnologie SGP rimangono costose, poco performanti e vulnerabili all'incrostazione delle membrane utilizzate; il recupero di energia è una opzione promettente ma ancora emergente

Segue

PANORAMICA DELLE PRINCIPALI SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER LA GESTIONE DELLA SALAMOIA

CATEGORIA DI SOLUZIONI	SOTTOCATEGORIA	PRINCIPALI TIPI DI SOLUZIONI	DESCRIZIONE DELLE APPLICAZIONI (TECNOLOGICHE)	ASPETTI CRITICI E LETTERATURA
Rimedi basati sulla salamoia	Trattamento prima dello scarico	Adsorbimento	Utilizzo di adsorbenti come modo per rimuovere sale, composti organici, metalli pesanti o altri inquinanti	Necessità di adsorbenti con un'elevata capacità di adsorbimento per garantire la fattibilità su larga scala; l'(bio) adsorbimento come un nuovo metodo di trattamento che richiede un elevato livello di selettività e sperimentazione con materiali utilizzati
		Stagni di evaporazione	Evaporazione della salamoia in stagni e raccolta del sale residuo	Tecnologia comune e accessibile, ma l'inquinamento delle acque sotterranee e la salinizzazione del suolo dovrebbero essere evitati; altre considerazioni includono le dimensioni dello stagno, la manutenzione, l'uso del suolo e il funzionamento continuo, mentre la tecnologia è piuttosto costosa (ad esempio, 10 USD per metro cubo) e operativa solo per basse capacità
		Disinfezione	Considerata come una fase di pre-trattamento mediante varie tecniche di disinfezione come la clorazione	I solventi clorurati influiscono negativamente sugli ecosistemi acquatici
		(Pre-)Diluzione	Miscelare la salamoia con acqua di mare o altri tipi di acqua e/o aumentare l'area di scarico per diffondere la salamoia in mare attraverso l'uso di multiple zone o processi di miscelazione (ad esempio, collegando diffusori a impianti di scarico esistenti o nuovi) e punti di scarico	Un approccio comune ed economicamente conveniente, ma richiede una pianificazione attenta e normative; la diluizione potrebbe ridurre l'inquinamento ma non riduce la salinizzazione o lo scarico di calore; la pre-diluzione (mescolanza con altre acque prima dello scarico) come una strategia tradizionale per minimizzare gli impatti della salamoia con l'uso di diffusori nello scarico sottomarino come la soluzione più ampiamente utilizzata grazie alla loro elevata capacità di diluizione, le soluzioni di pre-diluzione dovrebbero essere valutate in base ai costi di pompaggio
Interventi basati sugli impianti	Minimizzazione incrementale della salamoia	Approcci per aumentare il tasso di recupero; ad esempio, aggiornamento/incremento incrementale delle tecnologie di dissalazione	Nessuna tecnologia chiaramente autonoma per aumentare incrementalmente il tasso di recupero, mentre la maggior parte delle strategie di minimizzazione della salamoia richiede cambiamenti/investimenti in nuovi sistemi	
	Decremento incrementale di altre sostanze	Decremento incrementale di altre sostanze	Richiede materiali alternativi e il confronto degli impatti sulla qualità richiesta dell'acqua dissalata finale	

Fonte: Researchgate.net

DESALINIZZAZIONE SOTTOMARINA

L'utilizzo della pressione sottomarina nei processi di desalinizzazione è una prospettiva interessante, ma presenta alcune sfide tecniche e logistiche ma ci sono alcune idee e concetti che possono essere considerati:

- **Desalinizzazione sottomarina a osmosi inversa** con il posizionamento di impianti sul fondo del mare dove l'acqua verrebbe aspirata e spinta attraverso i sistemi di osmosi inversa sfruttando la pressione per il processo di filtrazione, riducendo la necessità di pompe di alta pressione in superficie.
- **Sfruttamento dell'energia delle correnti marine:** le correnti marine sono una fonte di energia cinetica che può essere sfruttata per generare elettricità. Questa energia potrebbe essere utilizzata per alimentare impianti di desalinizzazione sottomarini, riducendo così la necessità di trasportare energia da fonti esterne.

- **Turbine ad acqua di mare per generare energia:** l'utilizzo di turbine ad acqua di mare potrebbe essere considerato per generare energia meccanica direttamente dal flusso delle correnti marine. Questa energia potrebbe essere utilizzata per alimentare i processi di desalinizzazione sottomarini.
- **Tubi di scambio termico sommersi:** l'acqua di mare più profonda è generalmente più fredda rispetto a quella in superficie. Potrebbe essere possibile sfruttare la differenza di temperatura per migliorare l'efficienza di processi di desalinizzazione basati sul riscaldamento dell'acqua.
- **Innovazioni nei materiali delle membrane:** sviluppare membrane più resistenti e adatte all'ambiente marino potrebbe essere essenziale per implementare sistemi di desalinizzazione sottomarina.

- **Robustezza dei sistemi subacquei:** gli impianti subacquei devono essere progettati per resistere alle condizioni marine, comprese la pressione elevata e le variazioni di temperatura. Sviluppare materiali e tecnologie che possano sopportare tali condizioni è cruciale.

DESALINIZZAZIONE A ENERGIA RINNOVABILE

- **Alimentazione a energia solare:** l'uso dell'energia solare per alimentare i processi di desalinizzazione è una delle applicazioni più promettenti. L'energia solare è abbondante e gratuita e può essere catturata attraverso pannelli solari fotovoltaici o concentratori solari per generare elettricità. Questa energia può quindi alimentare il processo di desalinizzazione, riducendo i costi energetici associati.
- **Alimentazione a energia eolica:** è un'altra fonte rinnovabile utilizzata nei processi di desalinizzazione. Le turbine eoliche possono essere collocate nei pressi degli impianti di desalinizzazione per sfruttare la forza dei venti costieri e marini.

- **Alimentazione a energia geotermica:** in alcune regioni italiane può essere utilizzata per produrre energia elettrica a basso costo, da utilizzare anche per la desalinizzazione essendo particolarmente vantaggiosa in aree con presenza di risorse geotermiche significative.
- **Alimentazione dall'energia prodotta dalle onde e dalle maree:** con tecnologie di "cattura" dell'energia marina possono generare energia elettrica per i processi di desalinizzazione in aree costiere con onde e maree significative.
- **Alimentazione da combustibili biologici:** sono tecnologie sperimentali di uso di combustibili biologici derivati da biomasse o alghe, per generare energia termica o elettrica per processi di desalinizzazione.
- **Alimentazione da altre fonti e accumulo di energia:** con combinazione di diverse fonti rinnovabili con batterie di accumulo, per garantire una fornitura continua di energia per la desalinizzazione.



La gestione dell'acqua nelle città spugna

LE NUOVE AREE URBANE "INTELLIGENTI"

Reagire, sfidare il clima e le sue estati sempre più torride, o le precipitazioni sempre più estreme e concentrate con la gestione dell'acqua come elemento centrale della pianificazione urbanistica. Gli effetti del riscaldamento globale richiedono una svolta radicale, mettendo al centro il Piano Regolatore delle Acque, per adattarsi e diventare sempre più città-spugna. Cosa significa? Creare condizioni per poter assorbire il più possibile la «troppa acqua» degli eventi climatici più estremi, e di utilizzarla e riutilizzarla con intelligenza quando serve.

Quando, nel 2013, Yu Kongjian, docente di architettura del paesaggio all'Università di Pechino, lanciò il concetto-base della nuova urbanistica delle città-spugna, spiegò in poche parole la sfida: «Se non puoi vincere contro l'acqua, devi lasciarla proseguire». Non è facile in Italia farla scorrere o farla assorbire nei nostri centri urbani cementificati e impermeabilizzati con colate di asfalto e cemento sovrapposti alle superfici porose. Sappiamo però quali sono le aree flooding hotspots, quelle più esposte, abbiamo un quadro chiaro dell'esposizione al rischio, conosciamo dove è più probabile che l'acqua possa fare danni,

dilagando e distruggendo nel suo attraversamento urbano come dentro una pista da bob, condannando molti centri urbani all'allagamento con vittime e danni, angoscia e drammi replicati all'infinito. Non bastano più le finte rassicurazioni, gli impegni solenni subito rimangiati, le illusorie promesse, con le precipitazioni non si scherza, perché le nostre aree urbane sono sovraesposte e non hanno sistemi difensivi adeguati.

Se negli ecosistemi naturali le acque meteoriche filtrano lentamente nel sottosuolo, in ambiente urbano le superfici iper-impermeabilizzate ne impediscono l'assorbimento, e mostrano la sempre più ridotta capacità di ricezione e smaltimento dell'acqua nelle reti fognarie, sistemi complessi ma anch'essi tarati per l'assetto urbanistico del Novecento. Il drenaggio delle acque meteoriche è oggi un problema da risolvere. La nuova urbanistica è oggi in grado di offrire soluzioni per trattenere, conservare, far assorbire l'acqua piovana, riducendo il più possibile l'effetto-scivolamento su pavimentazioni impermeabili. La risposta agli eventi meteorologici sempre più dirompenti è nel saper trasformare il più possibile le nostre città in città spugna. Al cambiamento climatico si risponde con il cambiamento urbano! Con soluzioni strutturali e nature based, quelle alle quali deve pensare lo Stato e l'amministrazione comunale, e quelle applicabili anche a basso costo. È necessario pianificare attività



IMPATTO DELL'IMPERMEABILIZZAZIONE DOVUTA ALL'URBANIZZAZIONE SUL CICLO IDROLOGICO DELL'ACQUA



Fonte: Gestione sostenibile delle acque urbane. Manuale di drenaggio urbano - G. Gibelli, 2015

di de-pavimentazioni per aumentare i suoli-spugna non più impermeabilizzanti, per far ritornare tanti parcheggi e tante aree inutilmente cementificate alle loro funzioni di assorbimento di precipitazioni, spugnose, attività per immagazzinare, incanalare e far scorrere il più velocemente possibile fuori dall'area abitata l'acqua dei nubifragi, e attività per recuperarla per diversi gli utilizzi: irrigazione di parchi e giardini e aziende agricole urbane, ricarica di falde acquifere, altri riutilizzi. In Italia, in 32 comuni dell'hinterland di Milano, entro il 2030 dovrebbero essere spesi 50 milioni di euro per 90 progetti ingegneristici per aree-spugna con aumento di verde attraverso "tetti verdi" e giardini pensili, aree a giardino e parchi, e aree blu attraverso laghi, canali e specchi di acqua anche come aree di laminazione interne alla città. Importanti sono anche le opere per la permeabilità del suolo attraverso l'uso di pavimentazioni permeabili o de-pavimentazioni, ghiaia permeabile e superfici porose e di drenaggio sostenibile che evitano l'eccesso di scorrimento in strade e piazze delle città. È strategico prevedere anche sistemi artificiali di raccolta delle acque piovane, con immagazzinamento di acqua da riutilizzare per usi non potabili. La raccolta delle acque piovane è una soluzione chiave anche per attività ricreative e ludiche. Queste strutture e azioni per rendere operativa una "città spugna" richiedono tecnologie intelligenti come sensori per monitorare i livelli d'acqua, sistemi di controllo centralizzati e l'uso di dati in tempo reale per ottimizzare la gestione.

TECNOLOGIE PER LE CITTÀ SPUGNA

- **Reti di monitoraggio con sensori intelligenti** che possono essere utilizzati per raccogliere dati in tempo reale sulle condizioni meteorologiche, livelli d'acqua e l'efficacia delle

infrastrutture idriche e le Tecnologie Smart City che consentono una gestione più efficiente delle risorse idriche. Si parla di sistemi di gestione centralizzati, piattaforme IoT (Internet delle cose) e applicazioni mobili per il monitoraggio e la comunicazione.

- **Modellazione idrologica** che aiuta nella pianificazione urbana, nell'analisi del terreno e nella simulazione di scenari per ottimizzare la gestione delle acque.
- **Formazione e coinvolgimento dei cittadini**, attraverso l'utilizzo di tecnologie, per educare la comunità sull'importanza della gestione sostenibile delle acque e per informare e formare i cittadini sui comportamenti e sulle azioni "virtuose" che possono essere messi in campo nel momento in cui accadono eventi naturali critici a causa di intense precipitazioni.
- **Pianificazione partecipata** che non significa soltanto far partecipare i cittadini alla progettazione degli interventi di ristrutturazione e rigenerazione urbana ma anche fare in modo che i cittadini siano portatori attivi di dati e informazioni rilevanti sul funzionamento della città in particolare nei momenti di stress climatico attraverso il collazionamento e quindi la messa a disposizione di dati fondati sulla reale vita della comunità locale.
- **Materiali utilizzati** per la pavimentazione nelle città che a parità di consistenza e durezza rispetto all'asfaltatura presentano porosità e permeabilità rispetto all'acqua decisamente superiori.
- **Serbatoi sotterranei** con contenitori con tecnologie di "lettura digitale del sottoterra".

Azioni per le città spugna

- **tetti e pareti verdi**, con coperture di vegetazione che assorbono l'acqua piovana e contribuiscono a limitare le inondazioni, riducendo il deflusso e il sovraccarico degli impianti fognari e quindi anche l'inquinamento evitando sversamenti di reflui.
- **ripristino di aree golenali**, aumentando anche biodiversità dove la vegetazione trattiene e assorbe acqua, proteggendo le zone urbane.
- **separare il più possibile il deflusso dell'acqua piovana dal sistema fognario** che va tenuto sempre nella massima efficienza con ispezioni e pulizie per evitare intasamenti da detriti o radici di alberi e foglie o altro, e per evitare il sovraccarico delle acque meteoriche e il loro contributo alle inondazioni.
- **realizzare a monte delle aree urbane bacini idrici di laminazione delle acque** di piena dei fiumi e dei torrenti, con serbatoi di stoccaggio a cielo aperto periferici.
- **realizzare dentro le aree urbane** serbatoi interrati di stoccaggio di acqua piovana, piazze-acquatiche e giardini-spugna e sistemi di canali e stagni come aree drenanti per assorbire acqua durante gli eventi meteorologici, e sistemi frangi-piena che rallentano la velocità dell'acqua.
- **realizzare serbatoi sotto condomini e quartieri**, per lo stoccaggio di acqua piovana, riutilizzabile per vari usi.
- **diminuire l'impermeabilizzazione urbana** per favorire il drenaggio dell'acqua.
- **aumentare la permeabilità naturale del terreno** con pavimentazioni con materiali altamente porosi, sostituendo superfici impermeabili con erba e aree a giardino per aumentare l'assorbimento nel terreno e anche la vivibilità urbana.
- **migliorare il sistema di monitoraggio delle acque urbane e di allarme**, dando corrette informazioni e istruzioni ben comunicate con sistemi digitali e l'uso di tecnologie di Intelligenza Artificiale.

GESTIONE ACQUE PIOVANE IN AREA URBANA

- **Sistemi di gestione intelligenti delle acque piovane:** basati su sensori e tecnologia *IoT* per monitorare e gestire in tempo reale i flussi delle acque piovane, ottimizzando il loro smaltimento e utilizzo.
- **Sistemi di raccolta delle acque piovane:** questi sistemi catturano l'acqua piovana dalle superfici di raccolta, come tetti o pavimenti, e la dirigono verso un serbatoio di stoccaggio tramite condutture. I componenti di base includono grondaie, tubi di discesa delle acque piovane e un filtro per rimuovere detriti e foglie.
- **Serbatoi di stoccaggio:** immagazzinano l'acqua piovana raccolta per un uso futuro. Possono essere realizzati in vari materiali, tra cui polietilene, acciaio inossidabile o cemento. La capacità del serbatoio dipende dalle esigenze dell'utente e dalle dimensioni dell'area di raccolta. La costruzione di serbatoi sotterranei o sopraelevati per raccogliere l'acqua piovana è una pratica comune per la sua gestione. Possono essere utilizzati per scopi di irrigazione, raffreddamento e altri usi non potabili.
- **Filtri e dispositivi di pretrattamento:** per migliorare la qualità dell'acqua piovana, si utilizzano filtri e dispositivi di pretrattamento per rimuovere detriti, foglie, sedimenti e altri inquinanti solidi prima che entrino nel serbatoio di stoccaggio.
- **Sistemi di disinfezione:** l'acqua piovana raccolta può essere trattata con agenti disinfettanti, come il cloro o l'ozono, per uccidere batteri e virus prima dell'uso. Questo è particolarmente importante se l'acqua sarà utilizzata per scopi come l'irrigazione delle colture o il lavaggio di superfici.
- **Pompe e sistemi di distribuzione:** le pompe vengono utilizzate per prelevare l'acqua dal serbatoio di stoccaggio e distribuirla alle applicazioni desiderate, come sistemi di irrigazione, sistemi di raffreddamento o per il lavaggio di veicoli.
- **Sistemi di monitoraggio e controllo:** questi sistemi utilizzano sensori per monitorare il livello dell'acqua nei serbatoi, la sua qualità e le condizioni meteorologiche. Possono anche essere collegati a sistemi di controllo automatico per ottimizzarne l'uso.



- **Integrazione con edifici con tetti e pareti verdi:** nei progetti di edilizia sostenibile, le tecnologie di recupero delle acque piovane possono essere integrate con elementi architettonici come tetti verdi o pareti verdi, migliorando l'efficienza della loro raccolta e gestione. La copertura da vegetazione assorbe e ritarda il deflusso dell'acqua piovana, contribuendo a ridurre il carico sui sistemi di drenaggio.
- **Infiltrazione delle acque piovane:** questa tecnologia coinvolge la creazione di pavimenti permeabili, come strade e marciapiedi permeabili, che consentono all'acqua piovana di infiltrarsi nel terreno invece di scorrere via superficialmente. Ciò riduce il rischio di allagamenti e ricarica le falde acquifere locali.
- **Parchi e zone umide urbane:** la creazione di parchi e zone umide urbane può aiutare a assorbire l'acqua piovana in eccesso durante le piogge intense. Questi spazi verdi non solo migliorano la qualità dell'ambiente urbano ma agiscono anche come riserve d'acqua temporanee.
- **Sistemi di drenaggio sostenibile:** l'uso di sistemi di drenaggio sostenibile, come i bacini di infiltrazione, i bacini di detenzione e gli swale (fosse livellari), contribuisce a rallentare e gestire il flusso delle acque piovane, prevenendo allagamenti e proteggendo le risorse idriche.
- **Sistemi di gestione delle acque piovane intelligenti:** l'adozione di sistemi di gestione delle acque piovane basati su sensori e tecnologia *IoT* (Internet of Things) consente di monitorare e gestire in tempo reale il loro flusso, ottimizzando il loro smaltimento e utilizzo.
- **Riuso delle acque grigie:** il riuso delle acque grigie, che sono acque reflue domestiche trattate ma non potabili, può essere parte integrante di una città spugna. Queste acque possono essere utilizzate per scopi non potabili come il lavaggio delle strade o l'irrigazione.
- **Canali verdi:** i canali verdi sono corsi d'acqua o canali progettati per l'assorbimento e il trattamento delle acque piovane. Possono includere vegetazione, alberi o strutture di trattamento per migliorarne la qualità.
- **Sistemi di filtrazione naturale:** l'uso di piante e vegetazione come sistemi di filtrazione naturale nelle zone urbane può contribuire a migliorare la qualità delle acque e ridurre la quantità di inquinanti che raggiungono quelle superficiali.
- **Educazione e coinvolgimento della comunità:** educare i residenti e coinvolgerli attivamente nella gestione delle acque piovane è fondamentale per il successo di una città spugna. La sensibilizzazione della comunità sul risparmio idrico e sulla gestione sostenibile dell'acqua è cruciale.

La “manutenzione” dell’acqua

GLI OPERATORI GREEN DEI CONSORZI DI BONIFICA

Gli operatori dei Consorzi di bonifica dell’ANBI, essenziali nella gestione dei grandi e piccoli canali e delle opere irrigue, sarebbero sempre più da impegnare anche sul fronte della riduzione del rischio idrogeologico, della tenuta del reticolo di canalizzazioni montane e collinari per permettere uno scorrimento il più possibile controllato delle acque in area urbana, nella gestione di piccoli e medi invasi. La ritrovata ricchezza di biodiversità dell’Italia, con il raddoppio della superficie verde nell’immediato dopoguerra, con alberi e vegetazione di foreste e aree boscate e macchia mediterranea che occupano oggi un terzo del territorio italiano - 11.778.249 ettari su 30.133.800 –, con una forte espansione su aree un tempo coltivate in zone collinari e montane è un trend che continua soprattutto per la marginalizzazione e lo svuotamento delle aree interne, di piccoli centri montani e collinari. La naturalità, lo sappiamo, è un valore in sé, ma lasciar fare tutto alla Natura in tanti casi è semplicemente folle. La prevenzione, in un Paese come il nostro, non può che iniziare dalla corretta manutenzione della prima trincea: per trattenere e incanalare il più possibile l’acqua a monte delle aree urbane facendola scorrere in sicurezza, anche per ridurre gli incendi dolosi e colposi con una media di 106.894 ettari di verde bruciati all’anno.

Serve un’opera costante e ordinaria, non solo emergenziale, di salvaguardia idrogeologica, il lavoro prezioso lungo sponde fluviali e reti di fossi e canali. I consorzi di bonifica dell’ANBI operano su 19.230.649 ettari di estensione irrigua, il 67% della superficie nazionale delle aree agricole più produttive, tra i quali figurano anche i primi 161.411 ettari irrigati con acqua depurata. La gestione delle aree verdi e dell’irrigazione, le opere di ingegneria naturalistica, i bacini di laminazione, le barriere e paratie anche mobili, e la gestione dei canali si realizza attraverso modellazione tecnologica del terreno, rivestimento e protezione degli argini, sistemi di controllo del flusso di acqua. In questa attività si utilizzano moderni mezzi di scavo, nuovi materiali anche sintetici per rivestire le sponde come le geo-membrane, polimeri e calcestruzzi autoriparanti, e tecnologie per monitorare dati e manutenzione. La gestione delle bonifiche vede al centro l’utilizzo di pompe di tutte le tipologie. Da quelle centrifughe per aumentare la velocità dell’acqua e convertirla in pressione e per il pompaggio di grandi volumi a bassa o media pressione, alle pompe a

vite di Archimede ideali per il sollevamento di acqua con grandi portate utilizzate nei sistemi di drenaggio agricolo e nei canali di bonifica. Le pompe a pistoni sono adatte per alte pressioni e portate moderate, utilizzate in sistemi che richiedono precisione nel controllo del flusso e, infine, le pompe a elica utilizzate per spostare grandi volumi d’acqua nelle stazioni di pompaggio per il drenaggio delle piene. Tra gli elementi di novità, ci sono le pompe a risparmio energetico che, riducono i consumi e i costi operativi utilizzando motori a velocità variabile e materiali avanzati per migliorarne l’efficienza. La laminazione delle piene, vede la costruzione e gestione di invasi medi e piccoli con tecnologie avanzate di controllo e monitoraggio per rendere dinamica la gestione degli invasi e sapere quando e quanto accumulare e quando e quanto rilasciare acqua utilizzata per obiettivi multipli (irrigazione e laminazione).

Le infrastrutture idriche gestite dai consorzi di bonifica

- **231.044** km di canali di irrigazione e di drenaggio che trasportano acqua dalle fonti ai campi coltivati e la rimuovono quando è in eccesso, sia a cielo aperto che interrati.
- **914** serbatoi, vasche di compenso e bacini di stoccaggio di acqua dove farle confluire o assorbire se in eccesso, limitando il rischio di inondazioni e immagazzinando acqua piovana o proveniente da altre fonti per l’irrigazione nei periodi meno piovosi o siccitosi. Sono realizzati anche con tecniche di ingegneria verde, a basso impatto ambientale e utilizzando materiali naturali e locali.
- **576** sbarramenti fluviali irrigui.
- **54** grandi dighe per usi agricoli, riconvertite ad usi polivalenti: oltre l’irriguo, anche l’idropotabile e l’idroelettrico. La loro capacità di stoccaggio complessiva è di circa 980 milioni di m³.
- **960** pompe e impianti di sollevamento meccanico delle acque per l’irriguo e per la difesa idrogeologica, con una portata complessiva di 4.949 m³/sec, con 1.668 stazioni di pompaggio per usi irrigui.
- **22.839** briglie e sbarramenti per la laminazione delle piene, a servizio di un’area drenante di 9.592.611 ettari
- **16.686** km di sponde fluviali e marittime, con sistemi di misurazione per gestire l’acqua in modo efficiente, monitorando il suo utilizzo e pianificando i flussi.

L’Intelligenza Artificiale per il controllo dell’Italia fragile

(Con il contributo di Nicola Casagli, Università di Firenze)

I SISTEMI DI PREVISIONE

Sono sempre più sofisticati, consentono oggi analisi più accurate delle condizioni atmosferiche e delle precipitazioni e sono supportati, in termini di informazioni, da sistemi di monitoraggio idro-meteorologico che, attraverso sensori e reti di sensori, posizionati lungo fiumi e bacini. Monitorano in tempo reale parametri come le dinamiche del livello dell’acqua, della velocità della corrente, dei cumulati di pioggia. Questi dati forniscono informazioni essenziali per la previsione delle inondazioni attraverso la modellistica idrologica che simula il comportamento dei corsi d’acqua e la loro dinamica di fuoriuscita dagli alvei.

L’analisi meteorologica con l’Intelligenza Artificiale e Big Data, migliora la precisione delle previsioni del tempo, includendo informazioni storiche e dati in tempo reale da molte fonti, dalle stazioni meteorologiche alle immagini satellitari ai radar. DeepMind, la società di ricerca IA di Google, lavora al **GraphCast**, un nuovo modello per previsioni meteorologiche globali in grado di prevedere con 10 giorni di anticipo e un’accuratezza senza precedenti un evento, elaborando analisi in meno di un

minuto, pur tra risultati non ancora del tutto soddisfacenti, è promettente per una maggiore sicurezza dati e prevenzione nel campo delle previsioni di eventi calamitosi e dell’allertamento di medio periodo in *real time*.

Dall’area dei modelli previsivi a quella delle allerte precoci si arriva con la sperimentazione in corso in Italia del sistema di allarme di Protezione Civile **IT-Alert** che si fonda su un sistema di diffusione allarmi su telefonia mobile a tutti i soggetti presenti in quel momento su un’area a rischio evento calamitoso. A supporto di qualsiasi sistema di allerta precoce, sia di medio periodo che di *real time*, emerge la necessità di informazione e formazione sui rischi naturali che sono la base fondamentale per ridurre vittime e danni. L’allarme, che arriva come un qualsiasi altro messaggio in *real time*, deve essere compreso, e deve dar luogo ad una reazione veloce, quasi istintiva, di massima protezione possibile dall’evento annunciato, e deve far scattare la molla della prevenzione strutturale. Nel nostro Paese fortemente in ritardo, sono in corso anche sperimentazioni con Chatbot per veicolare, in termini comprensibili, le informazioni relative ai piani comunali di Protezione Civile.

Un altro elemento rilevante in tema di gestione dell’allarme in tempo reale è quello delle connessioni di telefonia mobile che mostrano due tipologie di criticità: la prima è strutturale, con vasti territori abitati collinari e montuosi, interni soprattutto, dove le connessioni sono assenti o molto deboli. La seconda è



acquisita e deriva dagli effetti di un evento calamitoso sul funzionamento del sistema delle connessioni che saltano nel corso delle alluvioni, con drammi per chi deve essere soccorso e resta isolato e per i soccorritori. In ambedue i casi, occorre sviluppare tecnologie in grado di coprire tutte le aree e in tutti i momenti, anche in caso di evento distruttivo delle infrastrutture di connessione, occorre cioè, poter utilizzare sistemi di comunicazione avanzati in grado di garantire la connettività in situazioni di emergenza, con reti radio, switchando connessioni su sistemi satellitari e comunicazioni mesh.

Un'altra area di sviluppo è quella delle tecnologie per sistemi di sorveglianza con droni e satelliti per monitorare le condizioni dei territori durante e post eventi, fornendo una visione d'insieme delle aree colpite utilizzate per valutare i danni e coordinare gli interventi di soccorso. A "terra" è sempre più utilizzata la robotica con la gamma di veicoli autonomi, robot e droni per ispezione e per gli aiuti alle popolazioni. In campo c'è l'ampia gamma di mezzi meccanici: le pompe idrauliche per drenare rapidamente l'acqua, escavatori e pale meccaniche per rimuovere detriti e costruire barriere protettive o creare canali di drenaggio temporanei e aprire vie di accesso bloccate, veicoli anfibi in grado di operare sia su terraferma che in acqua per raggiungere aree isolate e trasportare persone e materiali, autogrù e sollevatori nelle operazioni di ripristino, veicoli a cingoli o fuoristrada per terreni fangosi e sabbiosi e detritici. Sono mezzi meccanici che utilizzano non solo tecnologie tradizionali ma sempre più spesso sensori, servo-meccanismi e connessioni per la guida da remoto, autonoma, o da programma. Nel vasto campo dell'uso delle tecnologie per la prevenzione e la difesa dagli eventi alluvionali c'è la gestione intelligente delle dighe che includono la laminazione delle piene dei fiumi. L'uso di modelli di gestione avanzati sostenuti dall'IA e da altre tecnologie innovative sono determinanti nei sistemi di difesa fluviale come casse di espansione, difese arginali, canali scolmatori e altre opere strutturali che riducono le onde di piena e evitano esondazioni in aree urbane. Spesso dimenticata o lasciata ai margini dei finanziamenti, è la manutenzione ordinaria e straordinaria degli argini e del reticolo idraulico minore specie a ridosso di aree fortemente urbanizzate. Si tratta di interventi vitali, in gran parte realizzati dai Consorzi di Bonifica dell'ANBI con ripristini ambientali con piantumazione di vegetazione ripariale e creazione di zone umide per migliorare la stabilità delle rive e la qualità dell'ecosistema fluviale, la cura e manutenzione delle reti di drenaggio come griglie, tombini e condotte - competenze di

comuni e di aziende idriche -, per prevenire allagamenti e garantire il corretto deflusso delle acque piovane. Come opera "flessibile" ci sono le paratoie mobili, dispositivi progettati per protezioni temporanee contro le inondazioni realizzate oggi con materiali innovativi. Possono essere sollevate rapidamente e posizionate per bloccare l'accesso dell'acqua, anche da remoto e attraverso sistemi automatici legati a sensori distribuiti. E le arginature gonfiabili che possono essere montate in tempi brevi, per rafforzare la barriera arginale. Algoritmi di apprendimento automatico possono intercettare e identificare le modifiche nell'idrologia, topografia, condizioni strutturali di suolo e vegetazione. Strumenti satellitari e sensoristica hanno permesso il superamento delle statiche storiche "mappature" cartografiche, sostituite da cartografie dinamiche e aggiornate in real time, con modelli interpretativi della pericolosità idrogeologica e la localizzazione di aree soggette ad allagamenti, frane ed erosione costiera.

TECNOLOGIE CONTRO IL RISCHIO FRANA

- **Identificazione della pericolosità:** attraverso l'analisi di fattori geologici, topografici e climatici che contribuiscono all'innescamento delle frane.
- **Valutazione della pericolosità:** frequenza, intensità e magnitudo delle frane identificate e delle frane potenziali, un'analisi approfondita con metodi statistico-probabilistici delle condizioni geologiche e ambientali che possono scatenarle.
- **Inventario dei beni a rischio:** dettagliato inventario dei beni nell'area esposta alla pericolosità di frana che possono subire danni: strutture, infrastrutture, comunità, attività, risorse naturali, beni culturali e ambientali.
- **Valutazione della vulnerabilità degli elementi a rischio:** valutazione del grado di vulnerabilità strutturali, sociali ed economiche degli asset esposti oltreché della resilienza delle comunità.
- **Valutazione del rischio complessivo:** combinazione delle informazioni provenienti dalla valutazione della pericolosità, degli elementi a rischio e della vulnerabilità, con la quantificazione del danno atteso in termini economici e sociali.
- **Studi geologici** dei siti, caratterizzazione del terreno, rilevamento geologico-strutturale, stratigrafia, litologia e idrogeologia.

- **Studio storico** delle frane, dei meccanismi e dei fattori di innescamento e di propagazione.
- **Elaborazione di dati tele-rilevati** che permettono di identificare elementi precursori di frane, anche attraverso verifiche geologiche "sul campo".
- **Sistemi satellitari, a cui si affiancano anche i droni di nuova generazione** per la prevenzione e il monitoraggio delle frane, consentendo una valutazione a scala ampia con informazioni aggiornate sulla topografia e le deformazioni del terreno.
- **Tecnologia SAR - Synthetic Aperture Radar** grazie alla quale si ottengono immagini utilizzando radar a bordo di satelliti, di droni o di piattaforme basate a terra.
- **InSAR - Interferometric Synthetic Aperture Radar** per misurare spostamenti millimetrici del terreno.
- **Immagini ottiche ottenute dai satelliti, o da piattaforme aviotrasportate o basate a terra,** forniscono informazioni visive sulla topografia, l'uso del suolo e i cambiamenti nella vegetazione, e possono essere quindi efficacemente utilizzate per identificare segni precoci di movimenti del terreno permettendo di intercettare fenomeni franosi e valanghivi su versanti.
- **LIDAR, Laser Imaging Detection And Ranging** è la tecnologia di mappatura che utilizza la luce laser generando una precisissima mappa 3D dei terreni in frana con precisione sbalorditiva. Da aereo, da drone o da terra, possono essere utilizzate per ottenere molto rapidamente dati quantitativi ad altissima risoluzione sulla topografia, consentendo la creazione di modelli digitali del terreno e facilitando la rilevazione di cambiamenti.
- **Digital Elevation Model** aiutano a generare modelli di dinamiche nei territori più fragili.
- **Sistemi di monitoraggio termico** sia da satellite, sia da piattaforma aerea o terrestre, in grado di misurare la radiazione termica emessa dalla superficie terrestre. Variazioni nella temperatura possono indicare cambiamenti nel contenuto d'acqua del terreno, spesso associati a fenomeni di destabilizzazione dei versanti.
- **Global Navigation Satellite System**, da satelliti di posizionamento e di navigazione che monitorano le deformazioni in tempo reale, identificando eventuali accelerazioni.



- **Satelliti per l'Osservazione della Terra**, come i **Sentinel** del programma Copernicus dell'Ente Spaziale Europeo, che forniscono una copertura aggiornata e in *real time* con sensori ottici, termici e radar.
- **Georadar** consente rilievi tridimensionali del sottosuolo con onde elettromagnetiche ad alta frequenza per l'individuazione di cavità sotterranee e falde acquifere, e per monitoraggi di sottoservizi, rivestimenti di gallerie, acquedotti o anche argini fluviali, con piattaforme e sistemi informatici di tipo bidimensionale e tridimensionale *Laser Scanner* e *Georadar*, strumentazione topografica di precisione, macchine fotografiche digitali parametriche, droni elettrici radiocomandati.
- **Sensoristica basata a terra** indispensabile per la valutazione della pericolosità e del rischio di frana. Si tratta di sensori geotecnici come inclinometri, piezometri ed estensimetri, oltreché sensori termici, acustici e di deformazione delle strutture, che possono mandare dati ad elevatissima precisione in tempo reale. Essi possono costituire la base dei sistemi di allertamento rapido, capaci di rilevare i segni precursori.
- **Sistema di allertamento nazionale per il rischio idrogeologico** sviluppato dal Dipartimento Nazionale della Protezione Civile con modalità regionali, basati su mappe di criticità del suolo, valutazioni delle quantità di pioggia che in media, per ogni tipologia di terreno, porta allo sviluppo di movimenti franosi attraverso modelli statistici. Il modello viene calibrato sulla base del repertorio di frane storicamente avvenute e quindi dà come risultato dei livelli di allerta differenziati per le varie aree.



Modello Ispra per Osservazione di aree in frana e a rischio alluvioni

In Italia nelle aree urbanizzate a rischio elevato di alluvione risiedono circa 2,4 milioni di abitanti il 4,1% della popolazione e a livello medio altri 6,8 milioni di abitanti, circa l'11,5% della popolazione, senza considerare i terreni agricoli, le aree industriali, i beni culturali (quasi il 25% del totale) e le infrastrutture per la mobilità. Il cambiamento climatico incide profondamente sui rischi e sulle modalità di accadimento di eventi calamitosi. In primo luogo, aumentando la variabilità e la maggiore imprevedibilità dei fenomeni piovosi che tendono a non riprodurre soltanto il trend storico degli ultimi due o trecento anni ma tracciano anche nuovi trend certe volte inaspettati. Inoltre, si stanno realizzando in un contesto di clima mediterraneo nuovi modelli di precipitazione che assomigliano sempre di più a fenomeni di tipo tropicale (**i cosiddetti cicloni tropicali mediterranei o medicane**) o fenomeni ad alta intensità su spazi ristretti (**flash flood o "bombe d'acqua"**) che mettono a dura prova i territori colpiti.

IL MODELLO IDROGEO DI ISPRA



Dissesto idrogeologico: la Piattaforma nazionale IdroGEO

(a cura di Alessandro Trigila, Ispra)

La **Piattaforma nazionale IdroGEO** è una applicazione web open data, open source e multilingua, sviluppata da ISPRA, che consente, in modo semplice anche utilizzando uno smartphone, di visualizzare, interrogare, scaricare e condividere mappe e dati sul **dissesto idrogeologico in Italia**.

La Piattaforma IdroGEO è strutturata in due sezioni: nella sezione "Pericolosità e rischio", è possibile visualizzare i livelli di pericolosità e rischio per frane e alluvioni in una determinata zona o punto di interesse, con i relativi dati di contesto (popolazione residente, famiglie, edifici, imprese e beni culturali); nella sezione "Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia - IFFI", sono disponibili i dati relativi alle frane censite in Italia. Oltre alla navigazione sulla mappa (zoom, pan, gestione dei livelli informativi, ricerca di località o indirizzi), la piattaforma fornisce funzionalità di interrogazione dei dati, creazione di report e condivisione sui social media, fino alla possibilità di verificare la pericolosità in un punto di interesse o calcolare uno scenario con gli elementi esposti a frane e alluvioni su un poligono di interesse disegnato dall'utente.

La Piattaforma consente inoltre la visualizzazione dell'archivio multimediale di foto e video associati alle frane, la segnalazione di nuovi fenomeni sul territorio e la gestione e l'aggiornamento da remoto dei dati dell'Inventario da parte dei funzionari

delle strutture tecniche regionali IFFI, anche con la possibilità di acquisire e archiviare le informazioni durante i sopralluoghi mediante dispositivi *mobile*.

La Piattaforma è uno strumento di comunicazione e diffusione delle informazioni, a supporto delle decisioni nell'ambito delle politiche di mitigazione del rischio, della pianificazione territoriale, della progettazione preliminare delle infrastrutture, della programmazione degli interventi strutturali di difesa del suolo, della gestione delle emergenze idrogeologiche e delle valutazioni ambientali. IdroGEO ha l'obiettivo di coinvolgere e aumentare la resilienza delle comunità, favorendo una maggiore consapevolezza dei cittadini sui rischi che interessano il proprio territorio e decisioni informate su dove acquistare la propria casa o ubicare nuove attività economiche. Realizzata nell'ambito del PON Governance e Capacità istituzionale 2014-2020 - Progetto Statistiche ambientali per le politiche di coesione 2014-2020, la piattaforma IdroGEO è stata utilizzata da maggio 2020 ad oggi da oltre 164.000 utenti, con il 31% di traffico da smartphone e oltre 8,3 milioni di pagine visualizzate. Attualmente è in corso lo sviluppo di nuove funzionalità, nell'ambito dell'Infrastruttura di ricerca *Geosciences IR* finanziata dal PNRR MUR M4C2 Investimento 3.1, quali il visualizzatore 3D, le live webcam e la gestione e visualizzazione dei dati di monitoraggio delle frane acquisiti da sensori, gli itinerari e le storie sulle frane più significative del territorio nazionale.





I NUOVI PIANI DIGITALI COMUNALI DI PROTEZIONE CIVILE

È un obbligo per tutti i comuni redigere, pubblicare e diffondere il Piano di Protezione Civile, ed è uno degli atti più importanti approvati da tutti i consigli comunali. Eppure, molto raramente il faldone viene consultato e diffuso. Per sua natura, è un documento corposo, con quadri tecnici e allegati che contengono una enorme mole di dati e informazioni, quasi sempre con un linguaggio necessariamente tecnico-normativo. Nella strategia di prevenzione dei rischi naturali e nelle emergenze, i cittadini sono soggetti attivi della “protezione civile” locale. L’attività di informazione, formazione e di pratiche di protezione civile può essere oggi favorita dalla messa a punto di Chatbot in grado di “tradurre” la ricca mole di informazioni tecniche sulla rischiosità naturale che ci circonda e presente nei Piani Comunali di Protezione Civile, in un linguaggio alla portata di tutti. Le Chatbot possono diventare l’arena tecnologica su cui formare la cultura dell’*“io non rischio più”*. Per rendere i piani comunali di facile lettura, chiari e immediati nella conoscenza dei rischi, e con risposte per ogni domanda, è in corso di applicazione il modello proposto dalla Fondazione Earth Water Agenda con esperti di Protezione Civile, Università, Anci, co-progettato con i tecnici di Leonardo. Applica algoritmi di IA che permettono di far interagire i cittadini con Chatbot, ricevendo risposte esaurienti dai dati del Piano comunale, interfacciato e integrato con i supporti informativi della Protezione Civile nazionale, della piattaforma IdroGeo dell’ISPRA, del nuovo “Sistema avanzato ed integrato di monitoraggio e previsione del territorio” del Ministero dell’Ambiente, con dati CNR, ENEA, Centro Euromediterraneo sui Cambiamenti Climatici, e altri enti scientifici e degli stessi servizi tecnici comunali. Seleziona, processa e risponde con il linguaggio più chiaro possibile a quesiti su rischi di alluvioni, frane, terremoti,

eruzioni vulcaniche, bradisismo, mareggiate, siccità, incendi e altre emergenze. L’applicazione prevede un’interfaccia web e l’APP mobile su smartphone, e il piano in digitale dei modelli e simulazioni dei rischi su sistemi cartografici geo-referenziati, con *layer* sulla localizzazione dei rischi. Chiunque, attraverso un like o un vocale in feedback, può porre domande essenziali ricevendo risposte immediate sugli scenari di rischio presenti nella sua area urbana, sulla propria abitazione o sul suo luogo di lavoro, su quali misure attivare per proteggersi, a quali istituzioni rivolgersi, come accedere a bonus e sismabonus per aumentare la sicurezza della propria abitazione o per l’acquisto di dispositivi di difesa come barriere mobili. Il modello, presentato nel novembre 2023 all’annuale Earth Technology Expo alla Fortezza da Basso di Firenze sviluppa una informazione ai cittadini trasparente e partecipata, formazione, e azione nelle protezioni e nelle difese e, si spera, induce lo stimolo ad aumentare gli interventi strutturali di prevenzione. Il prototipo sarà sperimentato nelle Marche, ad Ascoli.

LE TECNOLOGIE PER LA GESTIONE DEI SOCCORSI

- **Tecnologie per sistemi di allarme precoce** con l’IA per identificare rapidamente possibili situazioni di emergenza, integrando le analisi dei dati provenienti da satelliti e droni in tempo reale con le verifiche “a terra”, per identificare rapidamente aree e situazioni di emergenza inviando *alert* alle comunità interessate, consentendo risposte tempestive. Algoritmi di apprendimento automatico possono identificare cambiamenti nella topografia, nelle condizioni del suolo o nella vegetazione, che potrebbero indicare un aumento del rischio di frane o alluvioni.
- **Tecnologie per l’analisi dei dati idrologici e modellazione idraulica del rischio** con l’IA, operando su dati provenienti da stazioni meteorologiche e sensori idrologici per valutare le portate dei corsi d’acqua, la saturazione del suolo, la tenuta dei sistemi di difesa e altri parametri chiave, ottimizzando i piani di gestione dei rischi idrogeologici delle Autorità di bacino distrettuali per l’individuazione istantanea di aree vulnerabili, e supportando la pianificazione sostenibile e la mitigazione dei rischi.
- **Mappatura delle aree a rischio con l’Intelligenza Geospaziale** e l’utilizzo di dati satellitari, sistemi di osservazione della Terra e GIS per identificare le aree più vulnerabili a catastrofi.

- **Analisi del rischio valutando con Big Data** grandi volumi di dati storici da fonti, per identificare i fattori di innesco catastrofici per stimare le aree a rischio, i danni potenziali e pianificare interventi preventivi mirati.
- **Monitoraggio catastrofi: l’Intelligenza Geospaziale** può essere utilizzata per monitorare l’evoluzione di una catastrofe in tempo reale, fornendo informazioni utili ai soccorritori e alle autorità competenti.
- **Tecnologie per la modellistica idraulica e le simulazioni con modelli di flusso** simulano comportamenti dei corsi d’acqua e del reticolo idraulico aiutando a prevedere, prevenire e gestire gli effetti.
- **Tecnologie per le analisi delle immagini** raccolti da droni e satelliti per valutare i danni causati da eventi come frane o alluvioni, utilizzate per coordinare le operazioni di soccorso e la più sicura ricostruzione post-evento di “somma urgenza”.
- **Tecnologie per la comunicazione e la Risposta Automatica in caso di eventi** con l’IA integrata nei sistemi di comunicazione di emergenza, per elaborare informazioni in tempo reale attivando risposte automatiche di protezione attraverso il sollevamento di dispositivi di sicurezza come le barriere mobili a difesa dalle alluvioni o dalle maree alla regolazione automatica dei sistemi di sicurezza delle infrastrutture idriche.
- **Tecnologie per il Supporto Decisionale** basati sull’IA ai sistemi gestiti dagli operatori della Protezione Civile, per valutare la gravità di eventi in tempo reale, la popolazione colpita e potenzialmente a rischio, a pianificare operazioni di soccorso, ricerca dispersi e evacuazione.
- **Valutazione dei danni** di una catastrofe attraverso l’analisi di immagini satellitari e aeree con l’Intelligenza Geospaziale e stime per le necessità di ricostruzione.
- **Supporti tecnologici operativi post-evento** per ricerca dispersi utilizzando connessioni satellitari, operazioni di evacuazione, supporto psicologico e sanitario alle popolazioni colpite con Chatbot e sistemi di IA
- **Sistemi di comunicazione in emergenza** nel corso degli eventi catastrofali, quando le infrastrutture di comunicazione tradizionali (tralicci e sistemi a terra) sono danneggiate o distrutte, con reti di comunicazione indipendenti e **connettività satellitare**.
- **Tracciamento squadre di soccorso** utilizzano dati di geolocalizzazione e sensori IoT, monitorano spostamenti e attività sul campo, coordinano al meglio gli interventi, ottimizzando l’allocazione delle risorse umane e per garantire la sicurezza dei soccorritori.
- **Ricerca e soccorso** con robot per cercare persone disperse sotto le macerie o in aree pericolose per gli esseri umani.
- **Monitoraggio delle infrastrutture** con sensori IoT, per verificare l’integrità di ponti, dighe, strade, centrali elettriche e impianti idrici e altro.
- **Ispezioni e primi interventi su infrastrutture con robot**, per verifiche e riparazioni di attraversamenti, linee elettriche, condotte idriche e altro.
- **Rimozione di detriti con robot** in aree colpite da catastrofi pericolose per i soccorritori.
- **Formazione dei soccorritori** con tecnologie immersive che permettono simulazioni realistiche di scenari di catastrofe.
- **Pianificazione di interventi con tecnologie immersive** creando modelli virtuali di effetti da catastrofe, al fine di pianificare gli interventi di soccorso e prima ricostruzione.
- **Ricerca e soccorso, rilevamento danni e consegna di materiale di primo soccorso** con droni in aree difficili da raggiungere a persone colpite da catastrofe.
- **Mappe di aree colpite in 3D** con droni.
- **Elaborazione dati in tempo reale con cloud computing** consentendo risposte più rapide ed efficaci in emergenze.
- **Condivisione sicura dei dati attraverso applicazioni web e smartphone con il cloud computing** in tempo reale con informazioni cruciali per soccorritori, popolazione, autorità e gestori di servizi pubblici primari.
- **Trasparenza e tracciabilità con blockchain** di assistenza finanziaria post-catastrofi e distribuzione di aiuti umanitari.
- **Identificazione sicura dei sopravvissuti a catastrofi con blockchain** con sistemi di identificazione digitale e per la gestione di richieste di risarcimento assicurativo parametrico, riducendo i tempi di elaborazione e garantendo processi trasparenti ed efficienti.
- **Combattere hacker e disinformazione** con la tracciabilità delle informazioni sulla **blockchain** che aiuta a identificare fonti di disinformazione durante le emergenze.

5.

Un piano nazionale integrato per la sicurezza idrica e idrogeologica

PIANO NAZIONALE PER LA SICUREZZA IDRICA E IDROGEOLOGICA

SETTORI DI INTERVENTO	Importo decennale (miliardi di euro)	Media annuale (miliardi di euro)	Valore %
Servizio idrico integrato (60% garantito da tariffa)	70	7	39,7
Manutenzioni di briglie, idrovore, reti e canali irrigui dei Consorzi di Bonifica	8	0,8	4,5
20 nuove dighe e 5000 piccoli invasi	18	1,8	10,2
Disinterramento dighe	10	1	5,7
Infrastrutture per il riuso di acque reflue rigenerate	6	0,6	3,4
Impianti di desalinizzazione	2,5	0,25	1,4
Impianti per la ricarica falde	1,5	0,15	0,8
Infrastrutture per le città-spugna	4	0,4	2,3
Efficienza e aumento di produzione idroelettrica	10	1	5,7
Sistemi di recupero di acqua e tecnologie per l'efficienza idrica in agricoltura e industria	6	0,6	3,4
Sistemi e tecnologie per monitoraggi, ricerca e sperimentazioni	2	0,2	1,1
Totale gestione Acqua	138	13,8	78,2
Opere e interventi strutturali per la difesa dal dissesto idrogeologico	25	2,5	14,2
Tecnologia, Monitoraggi e Ricerca	1,5	0,15	0,8
Manutenzione del reticolo fluviale e dei versanti collinari e montuosi	7	0,7	4,0
Investimenti della Protezione Civile	5	0,5	2,8
Totale gestione Dissesto Idrogeologico	38,5	3,85	21,8
Totale generale piano acqua	176,5	17,65	100,0

Elaborazioni Fondazione Earth Water Agenda

Perché serve ed è urgente un piano per l'acqua?

17,7 MILIARDI ALL'ANNO PER SALVARE L'ACQUA

Il Piano per l'acqua, lo sappiamo, è l'araba fenice che riappare sempre quando pezzi d'Italia sono in modalità emergenza idrica. Passata l'emergenza, evapora. Non viene però considerato come priorità nazionale. Per un piano per l'acqua non si trovano mai risorse, a differenza dei lavori «di facciata» con la mega-spesa complessiva che avrebbe impegnato in soli tre anni circa 190 miliardi di euro di fondi pubblici per finanziare il superbonus 110% e gli altri bonus edilizi.

Ecco perché presentiamo una possibile pianificazione della sicurezza idrica e idrogeologica in Italia, con azioni, opere e interventi finanziari e legislativi nell'arco di una decina di anni, per poi continuare ancora con gettiti finanziari stabili e adeguati ai fabbisogni. Abbiamo aggiunto un altro tassello al primo report sulla «Water Economy in Italy», realizzato nel 2023 per l'Osservatorio PROGER sulle Infrastrutture del futuro, e presentato insieme all'associazione Italiadecide al Senato della Repubblica il 21 marzo, in occasione della giornata mondiale dell'acqua. Non si tratta di cifre a caso, ma di un piano finanziario alla nostra portata, che parte dall'analisi delle criticità dei singoli settori di utilizzo dell'acqua e di difesa dalla "troppa acqua" e "poca acqua", dall'urgenza di un restyling legislativo della Legge Galli e di nuove norme per una regolazione complessiva dei prelievi e degli utilizzi, del superamento di clamorosi ritardi e dell'eccessiva frammentazione delle competenze che impediscono l'integrazione e il fare sistema tra settori che



utilizzano le stesse fonti di risorsa. La necessità è quella di aprire una nuova fase di investimenti, in particolare in tecnologie e nuove applicazioni, facendo necessariamente rientrare l'acqua soprattutto nei bilanci pubblici, per rendere costanti le manutenzioni, aumentare l'efficienza di sistemi di accumulo, sostenere la digitalizzazione e le tecnologie nelle gestioni, aprendo al riuso dell'acqua depurata, difendendo le comunità con il modello «città-spugna».

Non abbiamo sparato cifre a caso. Ne girano fin troppe, e con impegni che poi restano nel libro dei sogni. L'acqua, ricordiamocelo, è strettamente dipendente dalla qualità e dalla funzionalità delle sue tecnologie e infrastrutture, e queste a loro volta sono strettamente dipendenti dal livello degli investimenti. E la prima necessità è di programmare da subito investimenti di lungo periodo. Il calcolo degli importi finanziari per settore, valutato sulla base dello stato delle tecnologie e delle infrastrutture e degli investimenti programmati e verificando anche quanto si investe negli altri paesi avanzati simili al nostro, ci porta a valutare la necessità di un gettito finanziario annuo nazionale di almeno 17,7 miliardi di euro, da inserire stabilmente nei bilanci dello Stato centrale, in quota parte delle

Regioni e dei Comuni, e dei soggetti gestori della risorsa. Sono troppi? Sono pochi? Per noi è questo il volume degli investimenti in grado di dare stabilità e sicurezza idrica al Paese, e di restituire all'acqua finalmente il rilievo pubblico e politico che merita come elemento strategico e infrastrutturale per la crescita complessiva, anche economica e tecnologica dell'intero sistema nazionale.

IL FABBISOGNO CENSITO DAL MIT

12 MILIARDI PER 521 OPERE IDRICHE

È il primo elenco di opere del bando lanciato nel 2022 dal Ministero delle Infrastrutture. Sono disponibili 900 milioni di euro del PNRR più altri 50 per le progettazioni. Si tratta di opere per l'accumulo, trasporto e distribuzione di risorsa idrica. La regione più beneficiata è la Basilicata con 113,7 milioni, seguita da Sicilia con 92, Lombardia con 77,8 e Veneto con 69,5 milioni.

Appendice

Gestione WasteWater Made in Italy

Brevetti per trattamenti acque reflue

È una selezione di brevetti per la "Gestione della WasteWater" tratta da Knowledge Share che è un progetto congiunto del Ministero delle Imprese e del Made In Italy - Ufficio Brevetti e Marchi (MIMIT - UIBM), Associazione Netval e Politecnico di Torino, che vuole rappresentare per le imprese italiane il punto d'incontro con la conoscenza sviluppata dalla ricerca universitaria e dei Centri di Ricerca. Ad oggi è la più grande piattaforma a livello nazionale dedicata alla valorizzazione della ricerca pubblica e fornisce uno strumento di interazione tra ricerca, imprese e investitori. La piattaforma, lanciata a gennaio 2024, è finanziata da PNRR ed è riconosciuta tra le best practices dall'Unione Europea.

AGRITECH & FOODTECH

- Impianto per trattare reflui organici fluidi contenenti elevate quantità di azoto ammoniacale mediante scambio cationico.
- Metodo per il trattamento di reflui liquidi per ridurre la concentrazione di azoto ammoniacale e realizzare un ammendante-fertilizzante.
- *Metal-organic frameworks* per la decontaminazione delle acque con la cattura simultanea di contaminanti inorganici e organici.
- Gestione automatizzata delle acque reflue a costi contenuti con processi di completa rimozione dell'azoto delle acque reflue.
- Metodo per il contestuale trattamento di acque inquinate e la generazione di energia elettrica tramite processi di elettrodialisi inversa.



ENERGIA & SISTEMI DI ALIMENTAZIONE

- Produrre acqua dall'aria con l'energia solare.
- Dispositivo che produce acqua dall'aria con un ciclo termodinamico che combina l'utilizzo di materiali adsorbenti con calore a bassa temperatura.
- Filtro per la rimozione di metalli pesanti.
- Metodologia per riconvertire prodotti di scarto dell'industria agro-alimentare per generare filtri di abbattimento a basso costo per utenze domestiche.
- Trattamento di reflui zootecnici ad alto contenuto di azoto e recupero e riutilizzo di azoto come fertilizzante biologico.
- Cartuccia di miscelazione per rubinetti per l'erogazione di acqua fredda, calda e miscelata.
- Cartuccia di miscelazione per regolare portata e temperatura di uscita dell'acqua da un rubinetto di una cucina.
- Flocchi polimerici per la rimozione di cationi, anioni e composti lipofili da fluidi.
- Sintesi di flocchi polimerici funzionali all'uso nella rimozione di inquinanti da fluidi contaminati.



AMBIENTE & SOSTENIBILITÀ

- Metodo per la rimozione del boro da matrici liquide (acque o reflui) mediante un processo di precipitazione chimico-fisica.
- Prodotto per inertizzare rifiuti liquidi. Il consolidamento del materiale non prevede pretrattamenti del rifiuto liquido ed è realizzato a freddo in poche ore e a temperatura ambiente.
- Processo per il trattamento delle acque derivanti dalla molitura delle olive che permette la produzione di una miscela ricca di idrogeno e metano.
- Ozonazione di acque reflue cariche di ammonio trattate di origine industriale con elevate concentrazioni di ammonio.
- Optimizing nanoremediation, metodo per migliorare gli interventi di bonifica in falde contaminate tramite l'iniezione di sospensioni di particelle reattive.
- Recupero efficiente e selettivo del palladio da soluzioni derivanti da rifiuti Hi-Tech o da acque di scarico di processi industriali.
- Riutilizzo reflui lavastoviglie per produrre vegetali. Refluo della lavastoviglie, rigenerato tramite un biofiltro, alimenta la crescita delle piante grazie al suo alto contenuto di nutrienti.
- Pompa per il filtraggio di fluidi con scambiatore a valvola rotante.

- Dispositivo ad alta pressione con recupero di energia che consente la realizzazione di impianti trattamento acqua a basso consumo energetico.
- Mitigazione dell'inquinamento da microplastiche in mare grazie al contributo fornito dall'intera flotta navale e dal settore offshore.
- Microorganismi e disinquinamento ambientale. Microorganismi marini per il biorisanamento di ambienti contaminati da composti organici (idrocarburi policiclici aromatici e bisfenolo).
- Sistema in grado di trattenere particelle micrometriche nella lavatrice o in altri apparecchi che rilasciano residui troppo fini per essere intercettati.
- Trattamento delle acque reflue con larve di mosca soldato nera, con recupero di risorse dalla biomassa larvale prodotta.
- Decontaminazione delle acque tramite plasma atmosferico. Configurazione innovativa degli elettrodi di un reattore al plasma atmosferico per il trattamento delle acque.
- Processo di produzione di schiume siliconiche, oleofile ed idrofobe, comprendenti nanotubi di carbonio per il trattamento di acque contaminate da olii.

- Metodo per la rimozione del boro da acque naturali e da reflui urbani ed industriali tramite meccanismi di immobilizzazione-precipitazione.
- Membrana a matrice mista per la decontaminazione delle acque da metalli inquinanti, mediante adsorbimento chimico e/o elettrostatico.

CHIMICA & NUOVI MATERIALI

- Nanoparticelle bimetalliche per la bonifica.
- Metodo per la sintesi di nanomateriali bimetallici zerovalenti tramite l'impiego di riducenti non tossici ed economici.
- Sensore elettrochimico, che impiega polimeri a stampo molecolare al fine di identificare inquinanti ambientali della famiglia PFAs.
- Processo innovativo chimico-fisico-biotecnologico per la bonifica di acque di falda contaminate da solventi clorurati, nitrati e solfati.
- Resine polimeriche per la rimozione di contaminanti tossici
- Nuovo materiale assorbente con ottime proprietà sequestranti per l'Arsenico, per la purificazione delle acque da contaminanti tossici.

- TRIX, blocco pulsanti temporizzato, in grado di ridurre il flusso d'acqua sprecato da 3 a 10 secondi; buono per la gestione dell'acqua.
- Sistema fotocatalitico modulare.
- Sistema stand-alone che utilizza l'energia solare per il trattamento delle acque reflue e la contemporanea produzione di idrogeno.
- Schiume ceramiche fotocatalitiche per la rimozione di microinquinanti.
- Reattore prototipo con foto catalizzatore a base di ossido di ferro e lantanio per la degradazione di microinquinanti negli effluenti acquosi.
- Membrana nanostrutturata per il trattamento delle acque reflue in grado di prevenire la crescita di microrganismi sulla propria superficie.
- Produzione in modalità continua di membrane di tipo polimerico organico per la decontaminazione e/o potabilizzazione delle acque.
- Dispositivo di filtrazione a cartuccia, con l'obiettivo di superare i principali svantaggi presentati dai dispositivi convenzionali.

Bibliografia Generale

Allianz – *Gestione sostenibile dell'acqua: L'importanza delle tecnologie digitali per il futuro Gestione risorse idriche e obiettivi di sviluppo sostenibile ONU*, 2023
https://www.allianz-trade.com/it_IT/news-e-approfondimenti/trade-magazine/business-trends/green-economy/tecnologie-digitali-per-la-gestione-sostenibile-dellacqua.html

Aspen Institute Italia - *Il ruolo dell'alta tecnologia in Italia: quali opportunità dalle sfide future?*, 2023
https://www.aspeninstitute.it/wp-content/uploads/2023/11/ASPEN_Ricerca-Alta-tecnologia_271123.pdf

Brocca L. et al - *A Digital Twin of the terrestrial water cycle: a glimpse into the future through high-resolution Earth observations*, *Frontiers in Science* 2024
https://www.frontiersin.org/journals/science/articles/10.3389/fsci.2023.1190191/full?utm_source=facebook&utm_medium=cpc&utm_campaign=imp_fsci_03-24_fsci_en_n_pcit_oth&fbclid=IwAR0qmiNrB5z2hLVcQLs19rCarZWVfXwSPfFwXPk3n-co0SnHnUp8ma70s0

Burdett E. et al - *Innovation and Adaptation in the Climate Crisis: Technology for the New Normal*, *World Economic Forum* 2024
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Innovation_and_Adaptation_in_the_Climate_Crisis_2024.pdf

Comune di Bologna - *Linee guida sull'adozione di tecniche di drenaggio urbano sostenibile per una città più resiliente ai cambiamenti climatici*, 2018
https://www.comune.bologna.it/myportal/C_A944/api/content/download?id=6328303072e6b400994c57c0

CORDIS Results Pack - *L'innovazione idrica. Una raccolta tematica di risultati dei progetti di ricerca e innovazione finanziati dall'UE*, 2022
https://publications.europa.eu/resource/cellar/58c6d542-40b7-11ea-9099-01aa75e-d71a1.0003.03/DOC_1

D'Angelis E., Grassi M. - *Water economy in Italy*, *Proger* 2023
<https://www.proger.it/water-economy-in-italy/>

Farah Ejaz Ahmed et al - *Barriers to Innovation in Water Treatment*, *Researchgate.net*, 2023
https://www.researchgate.net/publication/368583686_Barriers_to_Innovation_in_Water_Treatment

Farhan A. - *The Impact of Artificial Intelligence on Chatbot Technology: A Study on the Current Advancements and Leading Innovations*, *ResearchGate* 2023
https://www.researchgate.net/publication/373138851_The_Impact_of_Artificial_Intelligence_on_Chatbot_Technology_A_Study_on_the_Current_Advancements_and_Leading_Innovations

Hintze A. - *Understanding the Four Types of Artificial Intelligence*, *Government technology* 2016
<https://www.govtech.com/computing/understanding-the-four-types-of-artificial-intelligence.html#:~:text=There%20are%20four%20types%20of,%20mind%20and%20self%20awareness.>

Lam R. et al - *GraphCast: Learning skillful medium-range global weather forecasting*, *ar5iv* 2024
<https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2212.12794>

Lifegate - *8 innovazioni per risolvere i problemi di gestione dell'acqua, una risorsa sempre più preziosa*, 2023
<https://www.lifegate.it/8-innovazioni-startup-gestione-acqua>

NETWORK DIGITAL 360, *Sensori: cosa sono e loro applicazioni attuali*, 2020
<https://www.internet4things.it/iot-library/sensori-cosa-sono-e-loro-applicazioni-attuali/>

OECD - *Financing a Water Secure Future*, 2022
<https://www.oecd.org/environment/financing-a-water-secure-future-a2ecb261-en.htm>

OECD - *Implementing Water Economics in the EU Water Framework Directive*, 2023
<https://www.oecd.org/environment/implementing-water-economics-in-the-eu-water-framework-directive-d6abda81-en.htm>

Metolo A.F. - *AI in conservation: Where we came from and where we are heading*, *World Economic Forum* 2024
https://www.weforum.org/agenda/2024/03/ai-in-conservation-where-we-came-from-and-where-we-are-heading/?utm_campaign=scinews_sustainability_article_citn&utm_medium=social_corp&utm_source=facebook&fbclid=IwAR2lzJlx04FS-DF1RjLQT-mG8M8w2hNH-fSuaheBGMA-ezpWjQxGnEyR-5Ks

Shaikh Khatibi F - *Can public awareness, knowledge and engagement improve climate change adaptation policies?* 2021
<https://link.springer.com/article/10.1007/s43621-021-00024-z#Tab6>

StartUs Insights - *Top 8 Water Management Trends & Innovations in 2024*, 2023
<https://www.startus-insights.com/innovators-guide/water-management-trends/#digital-water-management>

UN - *Progress on Integrated Water Resources Management* - 2021 Update
<https://www.unwater.org/publications/progress-integrated-water-resources-management-2021-update>

UN - *Il valore dell'acqua*, 2021
<https://www.risorsa-acqua.it/PDF/375975ita%202.pdf>

UN - *Blueprint for Acceleration: Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report on Water and Sanitation*, 2023
https://www.unwater.org/sites/default/files/2023-08/UN-Water_SDG6_SynthesisReport_2023.pdf

UNESCO - *The United Nations World Water Development Report 2024: water for prosperity and peace; facts, figures and action examples*, 2024
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388952?posInSet=3&queryId=d25cb-0b2-92cb-4834-b713-406bb663712>

Water Europe, *Opportunity for Hybrid Grey and Green infrastructure in water management. Challenge and way forward.* 2023
https://watereurope.eu/wp-content/uploads/HGGI-Publication_online.pdf.

Water Utility Network, *Navigating Waters: Emerging Trends and Challenges in the Water Utility Industry for 2024*,
<https://waterutility.net/nav/>

World Bank - *Scaling Up, Finance for Water*, 2023
<https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/4d5a-855a-5357-4a4b-a3ba-5a8a90558615/content>

Zhao Q. et al - *An Overview of the Applications of Earth Observation Satellite Data: Impacts and Future Trends*, Research Gate 2022,
https://www.researchgate.net/publication/359946271_An_Overview_of_the_Applications_of_Earth_Observation_Satellite_Data_Impacts_and_Future_Trends

DISSALAZIONE

Al-Saidi M. et al - *Governing desalination managing the brine. A review and systematization of regulatory and socio-technical issues*, Water Resources Industry Elsevier 2023
https://www.researchgate.net/publication/373526358_Governing_desalination_managing_the_brine_A_review_and_systematization_of_regulatory_and_socio-technical_issues

Eke J. - *The global status of desalination: An assessment of current desalination technologies, plants and capacity*, ScienceDirect 2020
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916420313114>

Kariman H. et al - *Small scale desalination technologies: A comprehensive review*, ScienceDirect Elsevier, 2023
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916423006173>

LSWN - *L'osmosi, dal principio fisico alle applicazioni*, 2018
<https://lswn.it/chimica/losmosi-dal-principio-fisico-alle-applicazioni/>

Jones E. et al - The state of desalination and brine production: A global outlook, ScienceDirect elsevier 2019
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718349167>

Montazeri Seyed M. et al - *Hydrate based desalination for sustainable water treatment: A review*, ScienceDirect Elsevier 2022
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916422003101#pre-view-section-introduction>

Salinas-Rodriguez S.G. et al - *Introduction to desalination*, 2021
https://www.researchgate.net/publication/351606478_Introduction_to_desalination

Technology Review - *Desalination in Spain. News technologies in Spain.* 2017
<https://vdocuments.mx/desalination-in-spain.html?page=5>

United Nations University - *UN Warns of Rising Levels of Toxic Brine as Desalination Plants Meet Growing Water Needs*, 2020
<https://inweh.unu.edu/un-warns-of-rising-levels-of-toxic-brine-as-desalination-plants-meet-growing-water-needs/>

Yusuf A. et al - *A review of emerging trends in membrane science and technology for sustainable water treatment*, Journal of Cleaner Production Elsevier 2020
<https://sci-hub.se/10.1016/j.jclepro.2020.121867>

Webuild - *Dissalatori a impatto zero: in Arabia il primo impianto*, 2022
<https://www.webuildgroup.com/it/discovery/articoli/dissalatori-impatto-zero-ara-bia-il-primo-impianto/>

Zheng J. et al - *Progress and trends in hydrate based desalination (HBD) technology: A review*, ScienceDirect Elsevier, 2022
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1004954118309522>

AGRICOLTURA

Beluhova-Uzunova R. - Agriculture4.0-Concepts, Technologies and prospects, ResearchGate 2022
https://www.researchgate.net/publication/362469314_AGRICULTURE_40_CONCEPTS_TECHNOLOGIES_AND_PROSPECTS

FAO - Guidance on realizing realwater savings with crop water productivity interventions, 2021
<https://www.futurewater.nl/wp-content/uploads/2021/04/cb3844en.pdf>

Feng Y. - *Modeling reference evapotranspiration using extreme learning machine and generalized regression neural network only with temperature data*, Computer and electronics in agriculture, Elsevier 2017
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169916306275>

Gulteking R. - *Future Agricultural Irrigation Technologies and Water Management*, ResearchGate 2023
https://www.researchgate.net/publication/374899519_Future_Agricultural_Irrigation_Technologies_and_Water_Management

Letterio T. et al - *Irrigazione, le tecnologie per un uso efficiente dell'acqua*, TERRAEVITA 2023
<https://terraevita.edagricole.it/nova/nova-irrigazione/irrigazione-tecnologie-per-uso-eficiente-acqua/>

Liu Y. et al - *From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: CurrentStatus, Enabling Technologies, and Research Challenges*, ResearchGate 2022
https://www.researchgate.net/publication/342368607_From_Industry_40_to_Agriculture_40_Current_Status_Enabling_Technologies_and_Research_Challenges

Dong Y. - *Irrigation Scheduling Methods: Overview and Recent Advances*, OPEN ACCESS PEER-REVIEWED CHAPTER 2022 from **Sultan M et al**, *Irrigation and Drainage- Recent Advances* , Intechopen 2023
<https://www.intechopen.com/chapters/83834>

Durgun M. et al - *Irrigation 4.0: System Architecture and Application*, ResearchGate 2024
https://www.researchgate.net/publication/377223104_Irrigation_40_System_Architecture_and_Application

EU - *Irrigation in EU agriculture*, 2019
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/644216/EPRS_BRI\(2019\)644216_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/644216/EPRS_BRI(2019)644216_EN.pdf)

Kaune A. et al - *REWAS REal WAter Savings tool: Technical document*, FAO 2020
https://www.futurewater.nl/wp-content/uploads/2020/06/FAO_REWAS_v08.pdf

Marquez J. et al - *Multistage Stochastic Programming to Support Water Allocation Decision-Making Process in Agriculture: A Literature Review*, MDPI 2022
<file:///C:/Users/Utente/Downloads/chemproc-10-00026.pdf>

Nabhan G. P. - *An Aridamerican model for agriculture in a hotter, water scarce world*, New Phytologist Foundation 2020
<https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ppp3.10129>

Oliveira da Silva A. et al - *Irrigation in the age of agriculture 4.0: management, monitoring and precision*, ResearchGate 2020
https://www.researchgate.net/publication/348776299_Irrigation_in_the_age_of_agriculture_40_management_monitoring_and_precision

Wang W. et al - *Web-based decision support system for canal irrigation management*, Science Direct Elsevier 2019
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169917310931>

ACQUEDOTTI

Agenda Digitale - *Sensori e reti idriche. Reti idriche smart e digitali grazie al PNRR: strumenti e tecnologie che servono*, 2021
<https://www.agendadigitale.eu/procurement/il-pnrr-e-la-digital-transformation-nelle-reti-idriche-strumenti-e-tecnologie-che-servono/>

Utilitatis - *Blue Book 2024*, 2024
<https://www.utilitatis.org/my-product/blue-book-2024/>

Daniel I. et al - *A survey of water utilities' digital transformation: drivers, impacts, and enabling technologies*, NPJ clean water 2023
<https://www.nature.com/articles/s41545-023-00265-7>

Kyrii S. et al - *State of the Art of Microplastic and Nanoplastic Pollution: Origin and Removal Methods*, Research Gate 2023
https://www.researchgate.net/publication/369575602_State_of_the_Art_of_Microplastic_and_Nanoplastic_Pollution_Origin_and_Removal_Methods

ENEA - *Il controllo dei trialometani nei sistemi acquedottistici*, 2023
<https://www.eai.enea.it/archivio/sos-acqua/il-controllo-dei-trialometani-nei-sistemi-acquedottistici.html>

EU - *Reference document Good Practices on Leakage Management WFD CISWG PoM*, 2015
https://circabc.europa.eu/sd/a/1ddfba34-e1ce-4888-b031-6c559cb28e47/Good%20Practices%20on%20Leakage%20Management%20-%20Main%20Report_Final.pdf

EU - *Digitalisation in the water sector recommendations for policy developments at EU Level*, 2022
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/6eb-837b2-54df-11ed-92ed-01aa75ed71a1>

Fraunhofer igb - Water 4.0 - *The digitization of the water industry*, 2023
<https://www.igb.fraunhofer.de/en/research/water-technologies/water-management/digitization.html>

Hussain T. et al - *Water and Wastewater Treatment through Ozone-based technologies*, Reserch Gate 2021
https://www.researchgate.net/publication/354762738_Water_and_Wastewater_Treatment_through_Ozone-based_technologies

Innovation post - *Come migliorare l'efficienza degli acquedotti sfruttando le tecnologie digitali*, 2022
<https://www.innovationpost.it/network/come-migliorare-lefficienza-degli-acquedotti-sfruttando-le-tecnologie-digitali/>

Laboratorio REF - *La-digitalizzazione-del-settore-idrico-in-italia*, 2021
<https://laboratorioref.it/acqua-4-0-la-digitalizzazione-del-settore-idrico-in-italia/>

Quaranta E. et al - Digitalisation of the European Water Sector to Foster the Green and Digital Transitions, MPDI 2023
<https://www.mdpi.com/2073-4441/15/15/2785>

REALPARS video - What is Scada? 2019
<https://it.video.search.yahoo.com/search/video?fr=mcafee&ei=UTF-8&p=scada+e+pl-c&type=E210IT850G0#id=1&vid=dc8d0976453f483f5f1a62c2f24cec3c&action=click>

Water Europe - *Digitalization & Water Start with digital water and end with a water-smart digital sector*, 2021
<https://watereurope.eu/wp-content/uploads/WE-Position-Paper-Digitalization-and-Water.pdf>

Water Europe - *Digital Water Artificial Intelligence Solutions for the Water Sector*, 2020
https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2020/08/IWA_2020_Artificial_Intelligence_SCREEN.pdf

Water Europe - *The Value Of Water Towards a Water-Smart Society*, 2022
https://watereurope.eu/wp-content/uploads/WE-Water-Vision-2023_online.pdf

DEPURAZIONE

Brade S. et al - *Lifecycle Design of Disruptive SCADA Systems for Waste-Water Treatment Installations*, MDPI 2021
<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/4950>

ENEA - *Il recupero del calore dalle acque reflue*, 2021
https://www2.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/adp-mise-enea-2019-2021/efficienza-energetica-dei-prodotti-e-dei-processi-industriali/report-rds_ptr_2020_097.pdf

EU - *Urban wastewater treatment Updating EU rules*, 2023
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/739370/EPRS_BRI\(2023\)739370_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/739370/EPRS_BRI(2023)739370_EN.pdf)

Il Sussidiario - *Spagna: un modello di riciclo delle acque reflue/ “300mila metri cubi al giorno”*, 2023
<https://www.ilsussidiario.net/news/spagna-un-modello-di-riciclo-delle-acque-reflue-300mila-metri-cubi-al-giorno/2560302/>

Mase - *Resoconto Giornata Informativa C/O Mase_ 15 Dicembre 2023 “Depurazione E Riutilizzo Delle Acque Reflue Affinate”*. 2023
https://www.mase.gov.it/sites/default/files/Archivio_Energia/Archivio_Normativa/depurazione_e_riutilizzo_acque_reflue_affinate_resoconto_evento_2023-12-15.pdf

NUWater - *Come il trattamento delle acque reflue sta rivoluzionando la sostenibilità*, 2023
<https://nuwater.com/it/come-il-trattamento-delle-acque-reflue-sta-rivoluzionando-la-sostenibilit%C3%A0/>

UN - *Progress on Wastewater Treatment*, 2021
https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2021/09/SDG6_Indicator_Report_631_Progress-on-Wastewater-Treatment_2021_EN.pdf

Van der Bruggen B. - *Sustainable implementation of innovative technologies for water purification*, 2021
<https://www.nature.com/articles/s41570-021-00264-7>

World Bank - *Wastewater? From Waste to Resource*, 2020
<https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/wastewater-initiative>

RICARICA FALDE E SERVIZI ECOSISTEMICI

Greenhalgh S. et al. - *Using ecosystem services to underpin cost-benefit analysis: Is it a way to protect finite soil resources?*, ResearchScience 2017
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212041616304715>

Hejnowicz A. P. et al - *The Value Landscape in Ecosystem Services: Value, Value Wherefore Art Thou Value?*, MDPI Sustainability 2017
<https://www.mdpi.com/2071-1050/9/5/850#B79-sustainability-09-00850>

Millennium Ecosystem assessmenT (MEA) - *Ecosystems AND HUMAN WELL-BEING, Opportunities and Challenges for Business and Industry, 2005*
https://www.unioviado.es/ranadon/Ricardo_Anadon/docencia/DoctoradoEconomia/Millennium%20Eco%20Assesment%2005%20Oppor%20Business%20Industry.pdf

National Academies - *Groundwater recharge using waters of impaired quality*, 1994
<https://nap.nationalacademies.org/catalog/4780/ground-water-recharge-using-waters-of-impaired-quality>

Rossetto R. et al - *How to restore an overexploited aquifer... hints and insights from coastal Tuscany (Italy)*, ResearchGate, 2021
https://www.researchgate.net/publication/356727050_How_to_restore_an_overexploited_aquifer_hints_and_insights_from_coastal_Tuscany_Italy

UN - *System of Environmental Economic Account*, 2021
<https://seea.un.org/ecosystem-accounting>

Wagas M. S. - *Rainwater Harvesting: A Sustainable Water Management Option for Irrigation of Public Parks*, MDPI 2022
<https://www.mdpi.com/2673-4931/23/1/9>

World Bank - *What The Future has in Store*, 2023
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099203002012336127/pdf/P17306707e3738005097d40c613eba86bb0.pdf>

DIGHE

Adamo N. et al - *Dam Safety: Sediments and Debris Problems*, ResearchGate 2020
https://www.researchgate.net/publication/344426493_Dam_Safety_Sediments_and_Debris_Problems

Bachiller A.R. et al - *Specific sediment yield model for reservoirs with medium-sized basins in Spain: An empirical and statistical approach*, Science of Total Environment 2019
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719320406>

Bizzini F. et al - *IL PROBLEMA DELL'INTERRIMENTO DEI SERBATOI ITALIANI*, ITCOLD 2010
<https://www.itcold.it/wpsysfiles/wp-content/uploads/2016/07/RAPPFIN2010LaBarbera.pdf>

Fripp J. et al - *Sedimentation and Small Dams*, ResearchGate 2020
https://www.researchgate.net/publication/341382531_Sedimentation_and_Small_Dams

Fumanti F. e L. Serva - *L'interrimento degli invasi: cause, effetti e rimedi*, ASTROLABIO 2024
<https://astrolabio.amicidellaterra.it/node/688>

Gager J. et al - *What are the latest innovations and technologies in dam engineering and hydro-power?*, 2024
<https://www.linkedin.com/advice/1/what-latest-innovations-technologies-dam-engineering#floating-solar-panels>

ITCOLD - *World Register of Dams*, 2024
https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/classification-by-type

Patro E.R. et al - *Assessment of current reservoir sedimentation rate and storage capacity loss: An Italian overview*, Journal Environmental Mangement 2022
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722013998>

Pradeep Perera E. et al - *Present and Future Losses of Storage in Large Reservoirs Due to Sedimentation: A Country-Wise Global Assessment*, MPDI Sustainability 2023
<https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/219>

Rivista Energia (Redazione) - *Solare: moduli su bacini idroelettrici per ridurre l'occupazione di suolo*, 2019
<https://www.rivistaenergia.it/2019/01/solare-moduli-su-bacini-idroelettrici-per-ridurre-l'occupazione-di-suolo/>

ALLUVIONI E FRANE

Casagli N. et al - *Advanced Technologies for Landslides - ATLaS (WCoE 2020-2023)*, sta in *Progress in Landslides Research and Technology* (<https://www.springer.com/series/16796>), 2024
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-16898-7_19

CRESME - *Lo Stato di Rischio del Territorio Italiano*, Ance e Cresme 2023
https://ance.it/wp-content/uploads/allegati/Rapporto_Ance_Cresme_2023.pdf

D'Angelis E. e Grassi M. - *Storia d'Italia e delle catastrofi dalle emergenze a Italiasicura. Clima, alluvioni, frane, terremoti, eruzioni, maremoti, incendi, epidemie*, Polistampa, Firenze 2020
<https://www.ibs.it/storia-d-italia-delle-catastrofi-libro-erasmo-d-angelis-mauro-grassi/e/9788859621140>

Jones A. et al - *AI for climate impacts: applications in flood risk*, npj Climate and Atmospheric Science 2023
<https://www.nature.com/articles/s41612-023-00388-1>

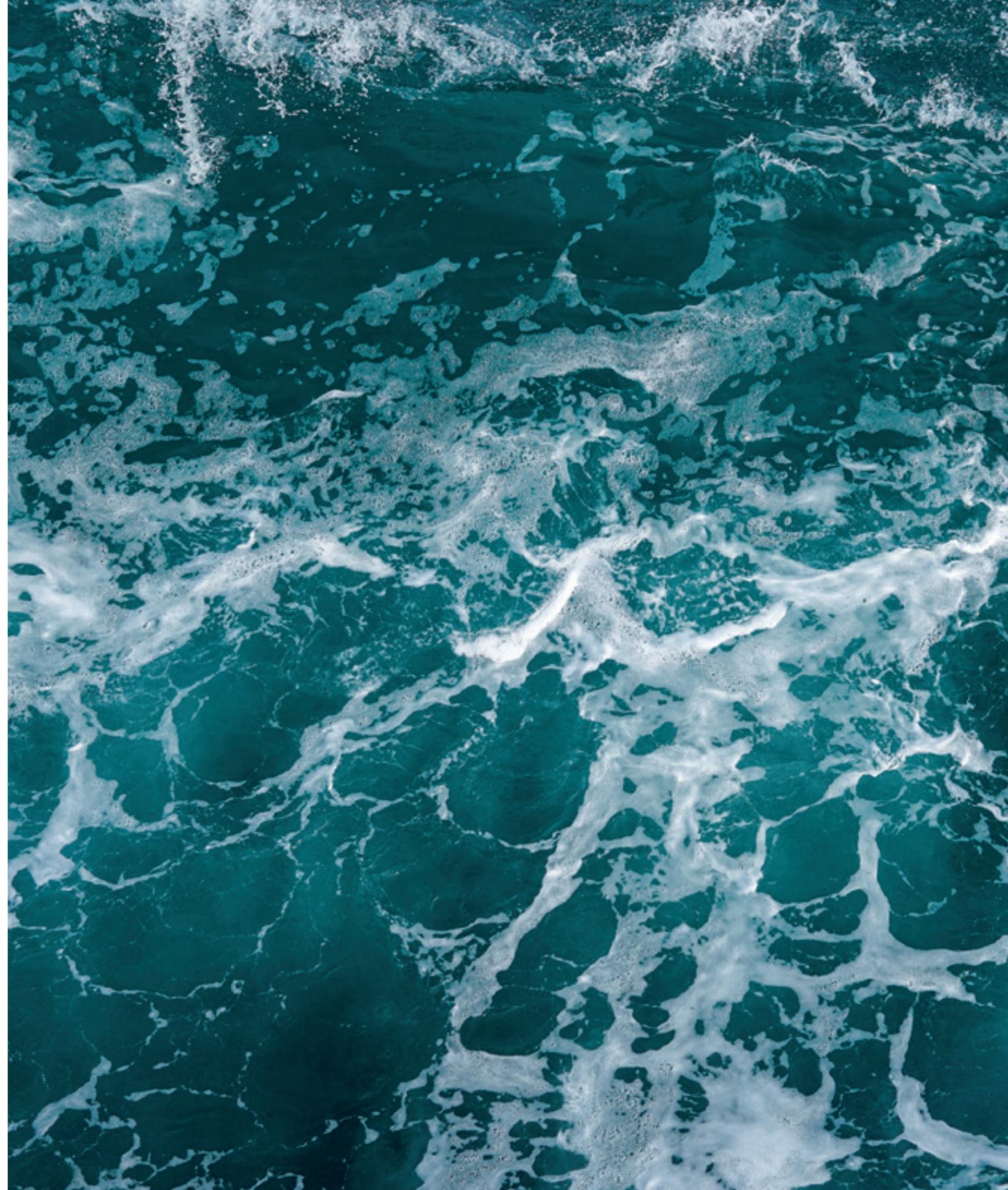
EU - *Current practice in flood risk management in the European Union*, 2021
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/21d8c5c2-2199-11ec-bd8e-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-232431484>

EU Cordis - *High-tech solutions for flood protection*, 2013
<https://cordis.europa.eu/article/id/158598-hightech-solutions-for-flood-protection>

UN - *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*, Report 2022
<https://www.undrr.org/media/87329/download?startDownload=true>

World Bank - *An-epic-response-innovative-governance-for-flood-and-drought-risk-management*, 2021
<https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/an-epic-response-innovative-governance-for-flood-and-drought-risk-management>

World Bank - *Global Landslide Hazard Map*, 2023
<https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0037584>





PROGER

Proger S.p.A.

Via Valadier, 42 - 00193 Roma

www.proger.it

Finito di stampare nel Giugno 2024

