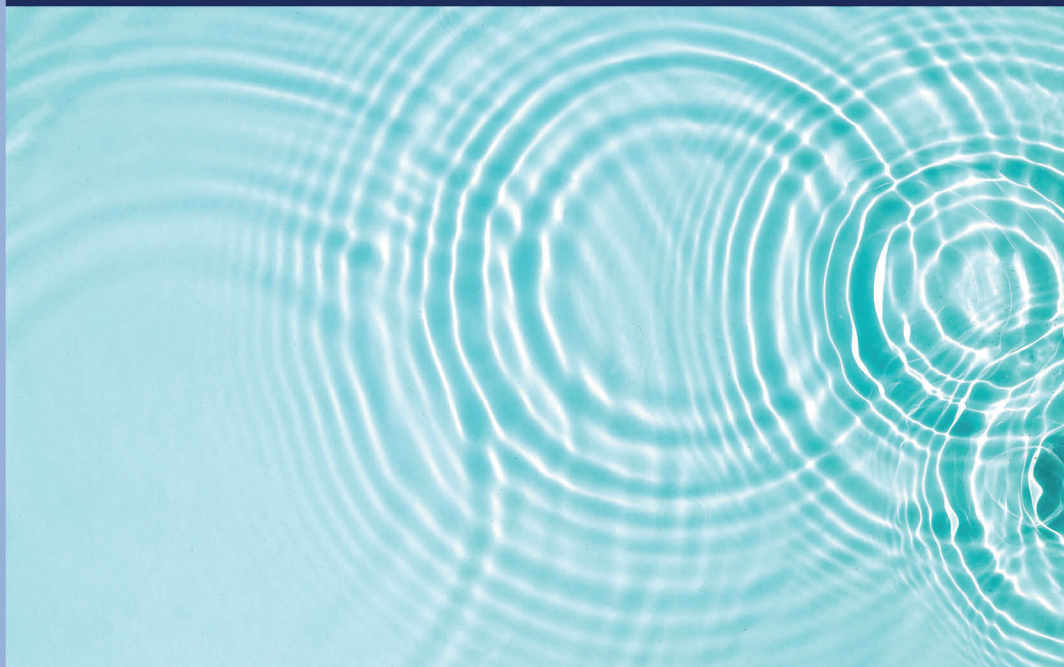


Produzione dell'energia ed efficienza idrica

a cura di Luca Vespignani



Giappichelli

Produzione dell'energia ed efficienza idrica



Produzione dell'energia ed efficienza idrica

a cura di Luca Vespignani



Giappichelli

© Copyright 2026 – G. GIAPPICHELLI EDITORE – TORINO

VIA PO, 21 - TEL. 011-81.53.111

<http://www.giappichelli.it>

ISBN/EAN 979-12-211-1803-2

ISBN/EAN 979-12-211-8342-9 (ebook-pdf)

ISBN/EAN 979-12-211-6698-9 (ebook-epub)

Volume finanziato nell'ambito del progetto di ricerca "Incentivizing water efficiency in industrial energy production systems: legal and engineering profiles" (cod. Progetto 2022TSYM3T - CUP E53D23006930006) - PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) - Missione 4 - Componente 2. Dalla Ricerca all'Impresa - Investimento 1.1 Fondo per il Programma Nazionale della Ricerca (PNR) e Progetti di Ricerca di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN)", finanziato dall'Unione europea - NextGenerationEU - rif. D.D. N. n. 104 del 02/02/2022.



G. Giappichelli Editore



Questo libro è stato stampato su carta certificata, riciclabile al 100%



Stampa: LegoDigit s.r.l. - Lavis (TN)

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941, n. 633.

Le fotocopie effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi, Centro Licenze e Autorizzazioni per le Riproduzioni Editoriali, Corso di Porta Romana 108, 20122 Milano, e-mail autorizzazioni@clearedi.org e sito web www.clearedi.org.

Indice

	<i>pag.</i>
Prefazione	XIII
Gli Autori	XV

L'ambiente entra in Costituzione: tutto cambia perché nulla cambi?

Luca Vespignani	1
1. Dal paesaggio all'ambiente passando per il diritto alla salute	1
2. La revisione del 2022 tra bilancio e programma	6
3. Problemi di <i>drafting</i>	11
4. Un nuovo slancio per la programmazione economica?	14
5. L'interesse delle future generazioni come orizzonte della riforma	17
6. Dalle parole ai fatti: le nuove norme alla prova della giurisprudenza costituzionale	23

Copre i due terzi del Globo? Una ricostruzione delle disposizioni costituzionali a tutela dell'acqua nei vari Paesi

Pietro Ferretti	29
1. Il bene acqua e la Costituzione	29
2. Analisi comparata delle disposizioni costituzionali: premessa	31
2.1. Europa	32

	<i>pag.</i>
2.2. America Latina	36
2.3. Asia e Oceania	39
2.4. Africa	42
3. Il contesto italiano	45
4. Riflessioni finali	49

IA vs acqua: la battaglia invisibile per le risorse e il ruolo del diritto

Valentina Cavani	51
------------------	----

1. L'intelligenza artificiale come <i>pharmakon</i> ambientale	51
2. L'infrastruttura invisibile: i <i>data center</i> come cuore materiale dell'IA	57
3. L'opacità strutturale: la mancanza di trasparenza sull'impatto idrico dell'IA	60
4. La dinamica squilibrata tra i centri dati IA e le comunità circostanti	64
5. Regolamentazione europea dei <i>data center</i> tra sostenibilità ambientale e sviluppo digitale	69
6. Efficienza idrica dei <i>data center</i> e il paradosso degli effetti di rimbalzo	72
7. L'AI Act e la tutela ambientale: un'occasione mancata?	74
8. La trasparenza ambientale come strategia regolativa: un passo necessario, ma non sufficiente	77
9. L'intelligenza artificiale alla prova dei principi di diritto ambientale	80
10. Gli Stati Uniti tra <i>laissez-faire</i> e nuove sfide ambientali	83
11. Conclusioni	85

Il recupero e il riutilizzo delle acque come risorsa idrica alternativa

Matteo Caldironi, Eleonora Malavasi	89
-------------------------------------	----

1. La politica dell'Unione Europea sulla tutela della risorsa idrica	89
--	----

	<i>pag.</i>
1.1. Il quadro normativo europeo	92
1.1.1. Direttiva quadro sulle acque e direttive specifiche in materia di acque	93
1.2. Indicazioni sul riutilizzo nelle direttive europee in materia di tutela delle acque	99
1.2.1. Il riutilizzo nella direttiva 91/271/Cee	100
1.2.2. Il riutilizzo nella direttiva 2000/60/Ce	101
1.2.3. Il riutilizzo nel regolamento 2020/741/Ue	102
1.2.4. Il riutilizzo nella direttiva 2024/3019/Ue	107
1.3. Il riutilizzo delle acque nella normativa tecnica di settore: le <i>Best Available Techniques</i> (“BAT”)	109
1.3.1. <i>Bat, Bref, Bat conclusions</i> e condizioni autorizzative: cenni generali	109
1.3.2. Il riutilizzo delle acque reflue nelle <i>Bat conclusions</i>	111
2. La normativa nazionale in tema di riutilizzo delle acque	116
2.1. La legge Galli (n. 36 del 1994) e il Testo Unico sulle Acque (d.lgs. n. 152 del 1999): prime disposizioni in tema di riutilizzo	118
2.2. Il decreto ministeriale n. 185 del 2003: il regolamento recante le prime norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue	119
2.3. Il riutilizzo nel d.lgs. n. 152 del 2006	121
2.4. Il d.l. n. 39 del 2003: il “decreto siccità”	122
2.5. La proposta di decreto sul riutilizzo delle acque reflue	123
3. La normativa regionale in tema di riutilizzo delle acque	125
3.1. Regione Veneto	126
3.2. Provincia Autonoma di Bolzano	127
3.3. Regione Liguria	128
3.4. Regione Emilia-Romagna	128
3.5. Regione Toscana	129
3.6. Regione Puglia	129
3.7. Regione Sardegna	130
4. Conclusioni e riflessioni <i>de jure condendo</i>	130

pag.

Produzione di energia e tutela della risorsa idrica: stato dell'arte e prospettive tecnologiche

Benedetta Scalzotto 135

- 1. Premessa 135
- 2. Impianti termoelettrici 137
- 3. Energia idroelettrica 144
- 4. Energia solare e impianti fotovoltaici 147
- 5. Impianti agrivoltaici 150
- 6. Impianti fotovoltaici galleggianti 153
 - 6.1. Canali solari 154
- 7. Energia eolica 156
- 8. Conclusioni 157

Sviluppo di un Indice di Circolarità dell'acqua per gli impianti termoelettrici

Roberto Raga, Benedetta Scalzotto, Anna Stoppato 159

- 1. Premessa 159
- 2. Introduzione 160
 - 2.1. L'acqua nella produzione di energia 163
 - 2.1.1. Prelievo e consumo di acqua dolce 165
 - 2.1.2. Qualità delle acque reflue e principali inquinanti 167
 - 2.1.3. Inquinamento termico dei sistemi energetici 170
 - 2.2. Sistemi di raffreddamento 171
 - 2.2.1. Raffreddamento ad aria 171
 - 2.2.2. Raffreddamento ad acqua in un circuito aperto 172
 - 2.2.3. Raffreddamento ad acqua in un circuito chiuso 174
 - 2.2.4. Raffreddamento in un circuito ibrido 175
 - 2.3. *Water-Energy Nexus* negli impianti termoelettrici italiani 177
- 3. Metodologia 177
 - 3.1. Definizione preliminare dei fattori e dei sottofattori-chiave 179

	<i>pag.</i>
3.1.1. Gestione degli input idrici (<i>Water input management</i>)	180
3.1.2. Efficienza nell'uso dell'acqua (<i>Water use efficiency</i>)	182
3.1.3. Riutilizzo e riciclo dell'acqua (<i>Water reuse and recycling</i>)	183
3.1.4. Qualità degli effluenti e degli scarichi (<i>Effluent and discharge quality</i>)	184
3.1.5. Tecnologia e innovazione (<i>Technology and innovation</i>)	185
3.1.6. Governance e strategia (<i>Governance and strategy</i>)	186
3.1.7. Rischio e resilienza (<i>Risk and resilience</i>)	188
3.1.8. Sintesi e definizione finale dei fattori e dei sottofattori-chiave	189
3.2. Raccolta e selezione dei dati	191
3.3. Costruzione dell'indice: approccio multicriterio e descrittori di performance	196
3.3.1. Descrittori di performance	198
3.3.1.1. Prelievo totale di acqua dolce per MWh prodotto	198
3.3.1.2. Tipo di acqua impiegata	199
3.3.1.3. Consumo di acqua per MWh prodotto	201
3.3.1.4. Tasso di riuso interno dell'acqua trattata	201
3.3.1.5. Tasso di consumo dell'acqua	201
3.3.1.6. Gestione dello scarico termico	202
3.3.1.7. Inquinanti negli effluenti	203
3.4. Funzioni di utilità	203
3.5. Metodologia di attribuzione dei pesi	211
4. Risultati	213
5. Conclusioni	219

Prefazione

Il presente volumetto costituisce uno dei punti di arrivo del PRIN «l'incentivazione dell'efficienza idrica nei processi di produzione dell'energia: profili giuridici e ingegneristici» del quale sono stato *Principal Investigator*. Un progetto che ha rappresentato un'occasione molto stimolante di collaborazione interdisciplinare coi colleghi del Dipartimento di Ingegneria industriale e del Dipartimento di Ingegneria civile edile ed ambientale dell'Università di Padova su un tema di grande interesse, anche in considerazione dell'urgenza acquisita dalle problematiche ambientali nel nuovo millennio.

Su tale sfondo, i contributi provenienti dal versante giuridico si propongono, nel loro complesso, di delineare il quadro normativo di riferimento, a cominciare dal livello costituzionale, interessato nel 2022 da una riforma con la quale la tutela dell'ambiente, già da qualche decennio ricavata in via interpretativa dalla giurisprudenza, è stata sancita attraverso l'integrazione degli artt. 9 e 41 Cost. Con un discorso che si estende pure al campo delle risorse idriche in via interpretativa nonostante esse non siano tuttora menzionate espressamente, a differenza di quanto accade in altre Carte costituzionali, come attesta l'analisi comparata condotta da Pietro Ferretti.

Dopodiché, Valentina Cavani ripercorre nelle sue linee fondamentali l'esperienza delle apparecchiature elettroniche a supporto dell'IA ponendo l'accento sul consumo di acqua necessario per il loro raffreddamento, per cui l'attività di gestione delle stesse e di erogazione dei relativi servizi può essere considerata un utile termine di paragone rispetto a quanto accade nel settore oggetto della nostra indagine. Infine, Matteo Caldironi ed Eleonora Malavasi procedono ad una esaustiva ricostruzione della disciplina più specifica sul recupero e sul riutilizzo dell'acqua proveniente sia dalle istituzioni europee, sia dal legislatore

italiano nelle sue differenti dimensioni nazionale e regionale, in modo da fornire un puntuale riscontro circa le regole applicabili ai processi presi in considerazione nei due successivi interventi di matrice tecnica.

Nel primo, Benedetta Scalzotto ricostruisce lo stato dell'arte circa l'impiego di risorse idriche nei principali metodi per la produzione di energia prendendo in considerazione anche le tecnologie emergenti e specialmente quelle relative alle fonti rinnovabili. In particolare, Scalzotto pone l'accento sull'importanza assunta nel qualificare l'impronta idrica ed ambientale dei processi produttivi in questione da strumenti come l'Indice all'elaborazione del quale è dedicata la relazione posta a chiusura del libro. Relazione che ha preso in esame ventiquattro centrali termoelettriche valutandole sulla base di una serie di indicatori in modo da arrivare all'esito di un'articolata analisi a formulare una graduatoria tra le stesse sotto il profilo della circolarità idrica.

Come emerge pure da questo sintetico sguardo d'insieme su alcuni dei risultati raggiunti, la ricerca mostra numerosi profili molto rilevanti, che sicuramente troveranno in futuro ulteriori occasioni di approfondimento, auspicabilmente in un'ottica integrata tra discipline per certi versi distanti ma ormai inevitabilmente interconnesse di fronte alla complessità delle società contemporanee. Sicché l'auspicio è che *sit finis libri, non finis quaerendi*.

Luca Vespignani
Università di Modena e Reggio Emilia

Gli Autori

MATTEO CALDIRONI: *Assegnista di ricerca – Università di Modena e Reggio Emilia*

VALENTINA CAVANI: *Assegnista di ricerca – Università di Modena e Reggio Emilia*

PIETRO FERRETTI: *Dottore di ricerca – Università di Parma*

ELEONORA MALAVASI: *Avvocato*

ROBERTO RAGA: *Professore associato – Università di Padova*

BENEDETTA SCALZOTTO: *Dottoranda – Università di Padova*

ANNA STOPPATO: *Professoressa associata – Università di Padova*

LUCA VESPIGNANI: *Professore associato – Università di Modena e Reggio Emilia*

L'ambiente entra in Costituzione: tutto cambia perché nulla cambi?

Luca Vespignani

Sommario: 1. Dal paesaggio all'ambiente passando per il diritto alla salute. – 2. La revisione del 2022 tra bilancio e programma. – 3. Problemi di *drafting*. – 4. Un nuovo slancio per la programmazione economica? – 5. L'interesse delle future generazioni come orizzonte della riforma. – 6. Dalle parole ai fatti: le nuove norme alla prova della giurisprudenza costituzionale.

1. Dal paesaggio all'ambiente passando per il diritto alla salute

Come noto, in origine la Costituzione italiana non conteneva un esplicito riferimento alla protezione dell'ambiente, che è stata progressivamente ricavata in via interpretativa a partire dalla previsione sulla tutela del paesaggio dell'art. 9 Cost.¹ e da quella sul diritto alla salute dell'art. 32 Cost. In tal senso, un ruolo determinante è stato svolto dalla giurisprudenza, segnatamente prima dalla Corte di cassazione e poi, in

¹ Il riferimento è alla tesi di A. PREDIERI, *Significato della norma costituzionale sulla tutela del paesaggio*, in *Studi per il ventesimo anniversario dell'Assemblea costituente*, Firenze, Vallecchi, 1969, 387, secondo il quale il paesaggio diviene «la forma del paese, creata dall'azione cosciente e sistematica della comunità umana che vi si è insediata» (v. anche ID., *Paesaggio*, in *Enc. dir.*, XXXI, Milano, Giuffrè, 1981, 504-505). Anche se, più di recente, si è osservato che «ambiente e paesaggio possono entrare in contrasto, come è spesso accaduto in ambito di impianti di energia rinnovabile» (L. CUOCOLO, *Dallo Stato liberale allo "Stato ambientale". La protezione dell'ambiente nel diritto costituzionale comparato*, in *DPCE online*, n. 2/2022, 1076).

prevalenza, dalla Corte costituzionale a partire dagli anni Ottanta. Più nel dettaglio, la Suprema corte, con la sentenza n. 5172 del 1979 ha riconosciuto l'esistenza di un diritto alla salubrità dell'ambiente nel perimetro del diritto alla salute garantito dall'art. 32 Cost. E successivamente il Giudice delle leggi ha fatto propria questa impostazione nella sentenza n. 210 del 1987, nella quale si afferma che «va riconosciuto lo sforzo in atto di dare un riconoscimento specifico alla salvaguardia dell'ambiente come diritto fondamentale della persona ed interesse fondamentale della collettività e di creare istituti giuridici per la sua protezione»². Tuttavia, questo orientamento incentrato sul riconoscimento di una vera e propria situazione giuridica soggettiva è risultato del tutto isolato ed ha prevalso un approccio volto a considerare l'ambiente nei termini di un valore che l'ordinamento è chiamato a garantire³. Il che è stato peraltro ritenuto opportuno nella misura in cui «il rimando alla categoria dei valori costituzionali ben si attaglia alla complessità e alla

² Sentenza n. 210 del 1987, punto 4.2 del considerato in diritto.

³ Come peraltro già sancito dalla precedente sentenza n. 167 del 1987, dove si afferma che «il patrimonio paesaggistico e ambientale costituisce eminente valore cui la Costituzione ha conferito spiccato rilievo (art. 9, secondo comma), imponendo alla Repubblica – a livello di tutti i soggetti che vi operano e nell'ambito delle rispettive competenze istituzionali – di perseguirne il fine precipuo di tutela (sentenza n. 94 del 1985)». E negli stessi termini si esprime anche la sentenza n. 641 del 1987, sostenendo che «l'ambiente è protetto come elemento determinativo della qualità della vita. La sua protezione non persegue astratte finalità naturalistiche o estetizzanti, ma esprime l'esigenza di un habitat naturale nel quale l'uomo vive ed agisce e che è necessario alla collettività e, per essa, ai cittadini, secondo valori largamente sentiti; è imposta anzitutto da precetti costituzionali (artt. 9 e 32 Cost.), per cui esso assurge a valore primario ed assoluto» (punto 2.2 del considerato in diritto). Il che peraltro si ripercuote pure sul piano del ruolo dei vari attori istituzionali nella misura in cui «il compito di assicurare una buona ed efficace tutela dell'ambiente, in prima battuta, non spetta al giudice (cui è fisiologicamente affidata la garanzia di effettività e di tutela in concreto dei diritti e delle situazioni soggettive), bensì ai legislatori e alle amministrazioni pubbliche» (M. CECCHETTI, *La revisione degli articoli 9 e 41 della Costituzione e il valore costituzionale dell'ambiente: tra rischi scongiurati, qualche virtuosità (anche) innovativa e molte lacune*, in *Forum di Quaderni costituzionali*, n. 3/2021, 287). Cfr. altresì ID., *Il "posto" della tutela ecologica nella Costituzione: tra revisione costituzionale e principi supremi*, in L. CASSETTI, F. FABRIZZI, A. MORRONE, F. SAVASTANO, A. STERPA (a cura di), *Scritti in memoria di Beniamino Caravita di Toritto*, I, Napoli, Editoriale Scientifica, 2024, 95.

multiformità strutturale dell'oggetto di tutela, rappresentando una strada pressoché obbligata per la giurisprudenza costituzionale, considerate le note difficoltà nella determinazione di una precisa e rigorosa definizione normativa»⁴.

In parallelo, la problematica ambientale è stata oggetto di ampia attenzione a livello internazionale ed eurounitario⁵, con importanti ricadute in Italia pure in virtù dell'introduzione, in occasione della riforma

⁴ M. GRECO, *La dimensione costituzionale dell'ambiente. Fondamento, limiti e prospettive di riforma*, in *Quad. cost.*, n. 2/2021, 287. Sull'impossibilità di una definizione unitaria di ambiente e di una sua necessaria scomposizione in differenti significati giuridici v. M.S. GIANNINI, «Ambiente»: *saggio sui diversi suoi aspetti giuridici*, in *Riv. trim. dir. pubbl.*, 1973, 23, il quale distingue «1) l'ambiente a cui fanno riferimento e la normativa e il movimento di idee relativi al paesaggio; 2) l'ambiente a cui fanno riferimento la normativa e il movimento di idee relativi alla difesa del suolo, dell'aria, dell'acqua; 3) l'ambiente a cui si fa riferimento nella normativa e negli studi dell'urbanistica»; per una ricostruzione unitaria cfr. invece A. POSTIGLIONE, *Ambiente: suo significato giuridico unitario*, in *Riv. trim. dir. pubbl.*, 1985, 32 ss.; B. CARAVITA, *Diritto pubblico dell'ambiente*, Bologna, il Mulino, 1990 e, più di recente, B. CARAVITA, A. MORRONE, *Ambiente e Costituzione*, in B. CARAVITA, L. CASSETTI, A. MORRONE (a cura di), *Diritto dell'ambiente*, Bologna, il Mulino, 2016, 31: «ambiente allora diviene equilibrio ecologico, di volta in volta, della biosfera o dei singoli ecosistemi di riferimento» e la sua tutela va intesa come «tutela dell'equilibrio ecologico della biosfera o degli ecosistemi considerati». Cfr. anche S. GRASSI, *Ambiente e Costituzione*, in *Riv. quad. dir. amb.*, n. 3/2017, 7-8, per il quale «sicuramente alcune definizioni o sono troppo ampie (tutto ciò che circonda l'uomo) o troppo dettagliate (con elencazioni articolate delle risorse naturali (beni abiotici e biotici, ma anche bellezze naturali e paesistiche, ecc.) o troppo generiche (come la definizione degli obiettivi di elevata tutela dell'ambiente e della qualità della vita). In realtà, la dimensione giuridica dell'ambiente assume un rilievo autonomo nel momento in cui si individua, come oggetto della tutela, l'insieme delle risorse e il loro equilibrio (mutuando la definizione di ambiente – come ha suggerito Caravita – dalle scienze ecologiche, che costringono ad una visione olistica dei sistemi naturali e del loro equilibrio)». Per una suggestione circa la «dilatazione semantica del termine *ambiente* dalla biosfera all'intera infosfera», intesa come «l'*ambiente*, misto (digitale e analogico), all'interno del quale conduciamo le nostre esistenze», si veda infine A. RIVIEZZO, *Diritto costituzionale dell'ambiente e natura umana*, in *Quad. cost.*, n. 2/2021, 317.

⁵ Sul tema la letteratura è vastissima. Per alcuni spunti sui principali passaggi che hanno segnato l'evoluzione della normativa nel contesto internazionale ed europeo, cfr. S. GRASSI, *Ambiente e Costituzione*, cit., 14 ss. e M. CECCHETTI, *La revisione degli articoli 9 e 41 della Costituzione e il valore costituzionale dell'ambiente*, cit., 289 ss.

del titolo V della Carta costituzionale realizzata nel 2001, del nuovo primo comma dell'art. 117 Cost., ai sensi del quale «La potestà legislativa è esercitata dallo Stato e dalle Regioni nel rispetto della Costituzione, nonché dei vincoli derivanti dall'ordinamento comunitario e dagli obblighi internazionali». Dopodiché, un ulteriore passaggio nel consolidamento della cultura ambientalista in ambito costituzionale è stato compiuto – sempre nel quadro della revisione del 2001 – con la previsione, nella lett. s) del secondo comma del nuovo art. 117 Cost., di una competenza legislativa esclusiva dello Stato nella materia della «tutela dell'ambiente, dell'ecosistema e dei beni culturali» e nel terzo comma di una competenza concorrente del legislatore statale e di quello regionale nella «valorizzazione dei beni culturali ed ambientali», sulle quali – ancora una volta – utili indicazioni provengono dalla giurisprudenza costituzionale.

In particolare, i giudici di palazzo della Consulta in un primo momento hanno confermato il proprio orientamento precedente alla revisione sostenendo che non si possa parlare per la 'tutela dell'ambiente' di materia in un'accezione tecnica «dal momento che non sembra configurabile come sfera di competenza statale rigorosamente circoscritta e delimitata, giacché, al contrario, essa investe e si intreccia inestricabilmente con altri interessi e competenze». Per cui si conferma l'inquadramento dell'ambiente «come “valore” costituzionalmente protetto, che, in quanto tale, delinea una sorta di materia “trasversale”, in ordine alla quale si manifestano competenze diverse, che ben possono essere regionali, spettando allo Stato le determinazioni che rispondono ad esigenze meritevoli di disciplina uniforme sull'intero territorio nazionale»⁶. Salvo però arrivare qualche anno dopo a definire l'ambiente nei termini non più di un'idea astratta ma «di un bene della vita, materiale e complesso, la cui disciplina comprende anche la tutela e la salvaguardia delle qualità e degli equilibri delle sue singole componenti»⁷, con un cambio di rotta almeno parziale probabilmente determinato dall'intento della Corte di scongiurare, attraverso il rafforzamento del livello statale, «il pericolo di una parcellizzazione territoriale della tutela

⁶ Sentenza n. 407 del 2002, punto 33.2 del considerato in diritto.

⁷ Sentenza n. 378 del 2007, punto 4 del considerato in diritto.

derivante dal riconoscimento, da essa stessa compiuto, della legittimità degli interventi regionali»⁸.

Rispetto al quadro fin qui delineato, essenzialmente incentrato sul dato acquisito della primarietà dell'ambiente (sia pure con le precisazioni relative alla sua esplicita indicazione quale ambito di competenza esclusiva dello Stato), interviene la sentenza n. 85 del 2013 sul caso Ilva, nella quale esso viene in qualche misura ridimensionato nell'ottica di un suo bilanciamento con altre istanze costituzionalmente rilevanti. Precisamente, nella specie a venire in considerazione è il diritto al lavoro sancito dall'art. 4 Cost., da cui si ricava la necessità di tutelare, nei limiti del possibile, i livelli occupazionali a fronte del sequestro preventivo dello stabilimento disposto dall'autorità giudiziaria a causa della sua pericolosità ambientale. Infatti, «tutti i diritti fondamentali tutelati dalla Costituzione si trovano in rapporto di integrazione reciproca e non è possibile pertanto individuare uno di essi che abbia la prevalenza assoluta sugli altri. La tutela deve essere sempre “sistemica e non frazionata in una serie di norme non coordinate ed in potenziale conflitto tra loro” (sentenza n. 264 del 2012). Se così non fosse, si verificherebbe l'illimitata espansione di uno dei diritti, che diverrebbe “tiranno” nei confronti delle altre situazioni giuridiche costituzionalmente riconosciute e protette, che costituiscono, nel loro insieme, espressione della dignità della persona»⁹.

⁸ R. BIFULCO, *Una rassegna della giurisprudenza costituzionale in materia di tutela dell'ambiente*, in *Corti supreme e salute*, n. 2/2019, 309. In tal senso, «il riconoscimento dell'esistenza di un “bene immateriale unitario” non è fine a se stesso, ma funzionale all'affermazione della esigenza sempre più avvertita della uniformità della tutela, uniformità che solo lo Stato può garantire, senza peraltro escludere che anche altre istituzioni potessero e dovessero farsi carico degli indubbi interessi delle comunità che direttamente fruiscono del bene» (sentenza n. 126 del 2016, punto 5.1. del considerato in diritto). Sul punto, specialmente sull'utilizzo della tutela dell'ambiente come “materia trasversale” per attrarre competenze legislative in capo allo Stato, v. anche A. MORRONE, *La legge statale e regionale nel 75° della Costituzione*, in M. VOLPI (a cura di), *I rapporti tra Stato e Regioni nella pandemia e le prospettive dello Stato regionale*, Bologna, il Mulino, 2024, 81-160, spec. 127 ss.

⁹ Sentenza n. 85 del 2013, punto 9 del considerato in diritto. Lo stesso schema di ragionamento viene peraltro riproposto anche nella seconda sentenza sull'Ilva (n. 58 del 2018) ma con esiti opposti dal momento che, se nel 2013 la Corte si era pronunciata per la legittimità del punto di equilibrio individuato nella disciplina impugnata,

2. La revisione del 2022 tra bilancio e programma

Quello brevemente tratteggiato nel paragrafo precedente è il contesto nel quale la revisione del 2022 interviene sugli artt. 9 e 41 Cost. Più nel dettaglio, nel primo si inserisce un terzo comma per affermare che la Repubblica «tutela l'ambiente, la biodiversità e gli ecosistemi, anche nell'interesse delle future generazioni. La legge dello Stato disciplina i modi e le forme di tutela degli animali». Circa l'art. 41 Cost., invece, si interviene sul secondo comma per specificare che l'attività economica, oltre ai limiti già previsti, non può svolgersi in modo da recare danno alla salute e all'ambiente e sul terzo comma per aggiungere i fini ambientali ai fini sociali verso i quali essa può essere indirizzata e coordinata dalla legge attraverso i programmi e i controlli opportuni.

La riforma ha sollevato reazioni contrastanti nella dottrina e si è addirittura messa in dubbio¹⁰, per quanto concerne l'aggiunta effettuata nell'art. 9 Cost., la praticabilità di un intervento sui principi fondamentali della Costituzione stante la giurisprudenza costituzionale per cui «la Costituzione italiana contiene alcuni principi supremi che non possono essere sovvertiti o modificati nel loro contenuto essenziale neppure da leggi di revisione costituzionale o da altre leggi costituzionali. Tali sono tanto i principi che la stessa Costituzione esplicitamente prevede come limiti assoluti al potere di revisione costituzionale, quale la forma repubblicana (art. 139 Cost.), quanto i principi che, pur non essendo espressamente menzionati fra quelli non assoggettabili al procedimento

nel 2018 afferma che «il legislatore non ha rispettato l'esigenza di bilanciare in modo ragionevole e proporzionato tutti gli interessi costituzionali rilevanti, incorrendo in un vizio di illegittimità costituzionale per non aver tenuto in adeguata considerazione le esigenze di tutela della salute, sicurezza e incolumità dei lavoratori, a fronte di situazioni che espongono questi ultimi a rischio della stessa vita» (punto 3.2 del considerato in diritto).

¹⁰ T.E. FROSINI, *La Costituzione in senso ambientale. Una critica*, in *federalismi.it*, 23 giugno 2021, 2, il quale sostiene che «con la modifica dell'art. 9 si sfata quello che era considerato un tabù costituzionale, e cioè che non si modificano i principi supremi. [...] Se non si volessero ritenere supremi i principi fondamentali, espressamente previsti come tali dalla costituzione, allora sarebbero privati di una precisa codificazione costituzionale e quindi andrebbero ritenuti quali meta norme, ovvero meta principi e come tali non potrebbero assurgere a parametro costituzionale».

di revisione costituzionale, appartengono all'essenza dei valori supremi sui quali si fonda la Costituzione italiana»¹¹. Tuttavia, sembra in proposito convincente la replica che «deve considerarsi decisamente erronea una qualunque operazione di assimilazione volta a far coincidere, *sic et simpliciter*, le disposizioni sui “principi fondamentali” di cui agli artt. 1-12 della Costituzione con i “principi supremi” evocati nella richiamata pronuncia dal Giudice delle leggi»¹². Tutto ciò tenuto conto che non si avrebbe comunque, nel caso di specie, «quell'effetto di “sovertimento” dei suddetti principi, ovvero di “modifica del loro contenuto essenziale”, cui il Giudice costituzionale ha espressamente riferito il limite al potere di revisione»¹³.

Un altro punto che è stato oggetto di dibattito riguarda la portata dell'intervento riformatore, relativamente al quale ci si è chiesti se esso rientri nella categoria delle riforme bilancio, consistenti essenzialmente

¹¹ Sentenza n. 1146 del 1988, punto 2.1 del considerato in diritto.

¹² M. CECCHETTI, *La revisione*, cit., 308.

¹³ *Ivi*, 309. Inoltre, si osserva che «la legge costituzionale in commento interviene sull'art. 9 Cost. *in bonam partem*, ovvero in senso rafforzativo del riconoscimento e della garanzia dei beni costituzionali ai quali è dedicata la disposizione». E sebbene ciò non esima «dal fare una valutazione sulla legittimità dell'intervento di revisione dal punto di vista logico-sistematico», si esclude questo rischio relativamente alla legge cost. n. 1/2022 «per l'accortezza del legislatore costituzionale che ha positivamente espressamente dei principi già chiaramente emersi nella giurisprudenza costituzionale, sulla base di una interpretazione evolutiva della carta costituzionale» (F. PASTORE, *Storia di un lungo e non del tutto compiuto percorso: costituzione e ambiente in una prospettiva diacronica*, in *Dir. pubbl. eu.*, n. 1/2024, 153). Cfr., sulla medesima linea, R. BIFULCO, *Prmissime riflessioni intorno alla l. cost. 1/2022 in materia di tutela dell'ambiente*, in *federalismi.it*, 6 aprile 2022, 3). Contro l'argomento per cui sarebbero comunque ammissibili le modifiche migliorative si veda invece C. DE FIORES, *Le insidie di una revisione pleonastica. Brevi note su ambiente e Costituzione*, in *Costituzionalismo.it*, n. 3/2021, 151, il quale rileva che «la distinzione tra revisioni progressive e revisioni restauratrici dei principi supremi, seppure chiara in astratto, appare foriera di non poche incognite sul piano costituzionale. Sia in ragione delle inevitabili ripercussioni che la modifica costituzionale di una norma di principio è destinata a innescare sugli altri principi e, quindi, sul testo costituzionale nel suo complesso. Sia perché la selezione dei criteri di distinzione adottabili, per discernere gli emendamenti peggiorativi da quelli migliorativi della Costituzione, è destinata ad essere filtrata, o meglio soggiogata, da valutazioni di tipo politico aventi ad oggetto le modifiche contingenti da apportare al testo».

nel consolidamento a livello costituzionale di risultati normativi già conseguiti sul piano legislativo o giurisprudenziale, ovvero in quella delle riforme programma, in quanto tali proiettate ad introdurre una modifica della disciplina vigente ¹⁴.

Nella prima prospettiva, si è sostenuto che si tratterebbe di «una revisione superflua, non finalizzata a introdurre in Costituzione *ius novum* (in coerenza con le finalità sottese all'art. 138 Cost.), ma protesa esclusivamente a offrire una sanzione formale a innovazioni normative già consolidate nell'ordinamento» ¹⁵. Mentre sarebbe stato necessario piuttosto rivolgere l'attenzione sulla legislazione ordinaria perché «ciò di cui il Paese aveva bisogno non era [...] una revisione dei principi costituzionali, ma semmai una coerente e dettagliata riforma legislativa diretta a “individuare le modalità con le quali inserire la valutazione degli interessi ambientali nella programmazione di tutte le altre attività pubbliche e di tutti i programmi economici e sociali che vengono proposti e approvati nel circuito decisionale Parlamento/Governo”» ¹⁶.

In senso contrario si è però obiettato in via generale che, «in tanto il legislatore adotta un certo atto normativo, *a fortiori* se di rango

¹⁴ «Evidenti le “utilità”, ovviamente diverse, che scaturiscono da ciascuno dei due tipi di revisione: se quella del secondo tipo è facilmente identificabile nello stesso carattere – per definizione innovativo – dei contenuti normativi introdotti, dichiaratamente proiettati nel futuro, anche quella del primo tipo è in grado di assumere un rilievo tutt'altro che trascurabile, se solo si considera che essa, tramite il consolidamento formale di approdi già maturati in via interpretativa, conferisce a questi ultimi la “certezza” di un riferimento testuale idoneo a costituire per l'interprete, al tempo stesso, limite contro eventuali “arretramenti” e fonte di possibili nuovi sviluppi evolutivi» (M. CECCHETTI, *La revisione*, cit., 298).

¹⁵ C. DE FIORES, *op. cit.*, 149. Il riferimento è a S. GRASSI, *Ambiente e Costituzione*, cit., 29.

¹⁶ *Ivi*, 152. Sulla medesima linea cfr. G. DI PLINIO, *L'insostenibile evanescenza della costituzionalizzazione dell'ambiente*, in *federalismi.it*, 1° luglio 2021, 7-8, il quale ritiene che l'ambiente debba essere inevitabilmente «bilanciato con la costituzione economica [...]». Quello è almeno fino a quando esisteranno il capitalismo, Stati nazionali in competizione regolatoria, e gli altri otto o più miliardi di ragioni di cui dicevo sopra l'unico possibile e concreto “posto costituzionale” dell'ambiente, e tale rimarrà, dovunque tu lo metta tra le pieghe della Carta Costituzionale italiana o di qualsiasi altra costituzione al mondo. Vale la pena scardinare le porte del nucleo della Parte prima, per questo?».

costituzionale, in quanto vuole modificare l'ordinamento giuridico per come esso è»¹⁷. Più in particolare, si osserva che «la tesi della superfluità della revisione costituzionale fondata sull'argomento per cui il contenuto essenziale della revisione già starebbe nella giurisprudenza costituzionale è indice di un atteggiamento troppo succube nei confronti della giurisprudenza costituzionale, che, tra l'altro, proprio in quanto 'giurisprudenza', sopporta dei limiti intrinseci (vincolo del caso concreto, contraddittorietà dei giudicati, ecc.)»¹⁸. Viceversa, «l'intervento del legislatore costituzionale, se ben ponderato ed in quanto espressione della sovranità popolare, è in grado di esercitare una pressione sul legislatore ordinario e sulla giurisprudenza capace di provocare nuovi bilanciamenti»¹⁹. E se all'intervento sull'art. 9 Cost. si riconosce una valenza maggiormente ricognitiva²⁰, un impatto più significativo

¹⁷ M. BENVENUTI, *La revisione dell'articolo 41, commi 2 e 3, della costituzione, i suoi destinatari e i suoi interpreti*, in *Rivista AIC*, n. 2/2023, 66-67. Su posizioni analoghe cfr. A. MORRONE, *La Costituzione del lavoro e dell'ambiente. Per un nuovo contratto sociale*, in *Giornale di diritto del lavoro e di relazioni industriali*, n. 176/2022, 527: «per quanto si ritenga che il testo della l. cost. 1/2022 possa rappresentare la sintesi codificata di principi emersi nell'esperienza del diritto vivente, non si può risolvere la novella solo in questo. Io penso che essa abbia il medesimo "valore performativo-trasformativo" della Costituzione scritta cui accede. L'obiettivo della costituzionalizzazione della tutela ambientale è modificare la realtà, conferendo ad essa un ordine normativo diverso e nuovo, non la sua mera recezione sul piano formale».

¹⁸ R. BIFULCO, *Prmissime riflessioni intorno alla l. cost. 1/2022*, cit., 2.

¹⁹ *Ivi*, 3. Con specifico riferimento al ruolo del giudice costituzionale si rileva che «se non si vuole lasciare l'operato dei legislatori alla sola garanzia del sindacato giurisdizionale di non manifesta irragionevolezza, è necessario (e non solo opportuno) che le scelte legislative risultino *quodammodo* orientate, guidate, limitate e vincolate da norme di rango sovraordinato in grado di costituire altrettanti presidi di legalità/legittimità (ma, ovviamente e prima di tutto, di efficacia e garanzia "in positivo" del corretto perseguimento degli obiettivi della tutela ambientale) sui quali poter misurare – ed eventualmente sanzionare – in sede giudiziale la validità (in senso propriamente "tecnico-giuridico") di quelle scelte» (M. CECCHETTI, *La revisione*, cit., 288-289). Al riguardo cfr. altresì A. LAMBERTI, *Ambiente, sostenibilità e principi costituzionali: questioni aperte e prospettive alla luce della legge cost. 1/2022*, in *Nomos*, n. 3/2022, 5, il quale pone l'accento anche sulla circostanza che l'espressa positivizzazione costituzionale configura «un (nuovo) "controlimito" rispetto al diritto di derivazione sovranazionale ed internazionale».

²⁰ Ma con la precisazione che «ogni testo costituzionale che parte come "riflessivo", come una sorta di specchio del diritto materiale e vivente, tende (e deve) inevitabilmente

viene attribuito a quelli sui commi 2 e 3 dell'art. 41 Cost., ai quali ci si riferisce nei termini di «una vera e propria rivoluzione destinata a modificare la Costituzione economica del nostro Paese. In questo caso più che di una “riforma bilancio” si dovrebbe parlare di vera e propria “revisione programma” in quanto il legislatore costituzionale sembra aver spostato decisamente il sempre oscillante pendolo tra autorità e libertà a favore della prima. Si evidenzia, infatti, da una parte, il deciso ampliamento del perimetro dei limiti apponibili all'iniziativa economica privata (secondo comma) e, dall'altra, mediante l'aggiunta dei fini ambientali a quelli sociali a cui può essere indirizzata e coordinata dalla legge l'iniziativa economica privata (terzo comma) si costruiscono le basi costituzionali per un non scontato ritorno della politica e della programmazione industriale nel nostro Paese»²¹.

diventare nel tempo anche “conformativo” della realtà come dimostra, ad esempio, la vicenda dell'inserimento del principio di pareggio di bilancio nella nostra Costituzione che oggi orienta specificamente l'azione dei pubblici poteri. L'inserimento di un nuovo principio si può vedere, quindi, come il precipitato del diritto vivente consolidato nel passato ma anche, e diremmo soprattutto, come un punto di partenza per elaborazioni future. La positivizzazione appare, dunque, avere un valore di per sé, tanto più se riferita a principi costituzionali. In secondo luogo, si riscontra in relazione all'art. 9 il fisiologico percorso dell'emersione delle regole: l'evoluzione stessa del diritto ambientale dimostra che normalmente la giurisprudenza arriva per prima e solo in un secondo momento si pronuncia il legislatore dei vari livelli (inizialmente con norme solo programmatiche e poi con regole sempre più concrete e vincolanti)» (F. DE LEONARDIS, *La riforma “bilancio” dell'art. 9 Cost. e la riforma “programma” dell'art. 41 Cost. nella legge costituzionale n. 1/2022: suggestioni a prima lettura*, in *ApertaContrada*, 28 febbraio 2022, 6-7).

²¹ *Ivi*, 11. Così anche M. BENVENUTI, *op. cit.*, 67-68, secondo il quale «è fuori di dubbio che prima la salute e poi l'ambiente, già in anni da noi lontani, siano stati ascritti dalla Corte costituzionale all'art. 41, co. 2, Cost. e siano stati da essa generalmente (anche se non sempre espressamente) estratti dal sintagma “utilità sociale”. Tuttavia, la loro esplicitazione all'interno di tale disposizione costituzionale significa effettivamente “collocare nel posto giusto una causa giusta”. Ora, infatti, la salute e l'ambiente: a) vengono elevati a beni costituzionalmente enunciati e non più solamente riferibili sul piano ermeneutico ad un concetto pluricomprendivo, qual è quello di “utilità sociale” [...]; b) devono essere finalmente considerati come distinti, una volta testualmente affiancati, sciogliendo così una legatura genetica, ma non per questo connaturale che affonda le proprie radici nella riconduzione giurisprudenziale del diritto ad un ambiente salubre al diritto alla salute ex art. 32, co. 1, Cost.; e c) risultano maggiormente protetti rispetto a un *revirement* giurisprudenziale [...]. In ogni caso, rappresenta certamente un

3. Problemi di *drafting*

In un simile scenario, sono stati evidenziati una serie di problemi di taglio più strettamente interpretativo concernenti la formulazione delle previsioni inserite nel testo degli articoli riformati.

Innanzitutto, si mette in dubbio l'opportunità di far seguire, nell'art. 9, comma 3, Cost., al termine 'ambiente' i termini 'biodiversità' ed 'ecosistemi', ritenendo che il primo abbia una portata semantica tale da ricomprendere gli altri due, «per cui menzionarli tutti appare paradossalmente riduttivo piuttosto che esplicativo»²². Con la conseguenza che l'elenco in questione sarebbe «fuorviante, poco chiaro e foriero di numerosi possibili conflitti in merito ad una possibile interpretazione costituzionalmente orientata. Il problema è che spesso quando si dice troppo, in realtà non si dice nulla»²³. Dall'altro lato, sebbene si riconosca la natura onnicomprensiva del concetto di 'ambiente', nel contempo se ne mette in luce il carattere «ontologicamente polimorfo, polisenso e multidimensionale» nella misura in cui «in esso si possono (e si debbono) distinguere profili, aspetti, punti di vista e, in definitiva, "oggetti" plurimi e diversi, tutti parimenti da considerare e da sottoporre, con adeguata ponderazione, a specifica cura, salvaguardia e valorizzazione, nella doverosa consapevolezza non solo della ineliminabile complessità di cui farsi carico ma anche delle potenziali conflittualità

notevole *quid novi* rispetto alla stessa giurisprudenza costituzionale l'individuazione di fini (anche) ambientali correlati alla funzione di indirizzo e coordinamento, a cui l'attività economica pubblica e privata soggiace».

²² F. RESCIGNO, *Quale riforma per l'articolo 9*, in *federalismi.it*, 23 giugno 2021, 4.

²³ *Ibidem*. Così anche T.E. FROSINI, *op. cit.*, 3, prevede che, quando sarà chiamata «a pronunciarsi sull'eventuale vizio di costituzionalità di leggi che violano "l'ecosistema" e la "biodiversità"» la Corte costituzionale «si dovrà rivolgere a un *expertise* per farsi dire il senso e il significato di queste formule». In proposito, cfr. altresì L. CUOCOLO, *op. cit.*, 1079, quando afferma che «la scelta di distinguere ambiente, biodiversità ed ecosistemi porta con sé non pochi aspetti delicati. Se, infatti, da un lato, ha il pregio di dettagliare gli ambiti della tutela costituzionale, dall'altro lato ha il difetto di svuotare in parte il significato della parola "ambiente", che potrebbe essere validamente considerata una clausola catch-all, in grado di tenere in sé tutti i profili legati alla tutela ambientale, esattamente come i concetti di paesaggio e di salute, di cui si è detto in precedenza».

(assolutamente fisiologiche) che possono sorgere tra istanze diverse – e, talora, addirittura contrapposte – all’interno del “macro-obiettivo” della tutela ambientale». Sicché, si giudica positivamente la scelta di «declinarne le principali componenti»²⁴.

Soprattutto, lascia perplessi il fatto che non ci si sia posti il problema di coordinare la formula dell’art. 9 Cost. con quella dell’art. 117, comma 2, lett. s) risultante dalla riforma del titolo V operata nel 2001 e specialmente con quella dell’art. 41, comma 2, Cost., stante la contestualità degli interventi su entrambe le disposizioni.

Nel primo caso, si attribuisce in esclusiva al legislatore statale, accanto all’«ambiente» (ed ai «beni culturali»), la materia dell’«ecosistema» al singolare e non al plurale come nel nuovo terzo comma dell’art. 9, con una scelta giudicata positivamente in quanto si richiamerebbe così «il concetto di equilibrio ecologico in relazione al quale non è un solo ecosistema che interagisce ma una pluralità di essi», ritenendo perciò che sarebbe stato opportuno uniformare in questo senso le due previsioni²⁵. Inoltre, si segnala la mancata menzione della biodiversità in sede di riparto della competenza legislativa e, nonostante si riconosca che «il riferimento ad essa [...] integra certamente uno o più degli ecosistemi innanzi citati» e dunque «può essere considerato il frutto di un approccio di tipo esemplificativo», si afferma che sarebbe stato

²⁴ M. CECCHETTI, *La revisione*, cit., 301. Anche perché «la scelta di estrapolare o comunque dare evidenza a ‘biodiversità’ e a ‘ecosistemi’ ha una sua logica sistematica: tra paesaggio, biodiversità ed ecosistemi vi è una forte interconnessione. L’uomo è un attore che, da sempre, con la sua attività trasforma habitat e paesaggi e, nel far questo, riduce la biodiversità così incidendo direttamente sugli ecosistemi (si pensi ai processi di urbanizzazione e di erosione del suolo)» (R. BIFULCO, *Prmissime riflessioni intorno alla l. cost. 1/2022*, cit., 6). In proposito cfr. altresì D. PORENA, «Anche nell’interesse delle generazioni future». *Il problema dei rapporti intergenerazionali all’indomani della revisione dell’art. 9 della Costituzione*, in *federalismi.it*, n. 15/2022, 122-123, il quale rileva che «secondo ricostruzioni divenute ormai tradizionali, alla parola ‘ambiente’ – come peraltro si coglie già nell’origine etimologica dell’espressione – si tende a ricondurre una proiezione tendenzialmente antropocentrica dei valori naturalistici mentre la parola ‘ecosistemi’ sembra per contro valorizzare opposti orientamenti di tipo ecocentrico. Infine, grazie alla tutela accordata alla ‘biodiversità’, anche le correnti di pensiero di inclinazione biocentrica sembrano aver trovato una loro copertura sotto l’ampio ombrello offerto dalla nuova disposizione costituzionale».

²⁵ F. DE LEONARDIS, *op. cit.*, 9.

preferibile «allineare le due norme costituzionali»²⁶.

Tuttavia, l'aspetto più delicato sul piano lessicale riguarda il confronto con l'art. 41 Cost., nel quale, relativamente all'attività economica, si aggiunge il limite dell'ambiente omettendo del tutto sia la biodiversità, sia gli ecosistemi. Infatti, «è evidente come una lettura eccessivamente formalistica potrebbe portare all'assurda conclusione di ritenere che l'iniziativa economica possa svolgersi in contrasto con ecosistemi e biodiversità»²⁷. Con l'ulteriore complicazione che gli altri articoli della Costituzione economica non sono interessati dalla riforma e quindi mantengono la loro veste originaria. Cosicché, vi è da chiedersi se tuttora «i limiti alla proprietà privata, alla titolarità di imprese e allo sfruttamento del suolo possano anche essere giustificati in base ad esigenze ambientali. Tale interpretazione, che normalmente si poggierebbe sulle clausole di interesse generale (artt. 42 e 43 Cost.), funzione sociale (art. 42 Cost.) e razionale sfruttamento (art. 44 Cost.), potrebbe essere messa in discussione alla luce della previsione dell'art. 41 Cost., che, appunto, ha considerato l'ambiente come "altro" rispetto alla clausola generale dell'utilità sociale»²⁸.

Ancora, rimanendo sull'art. 41, comma 2, Cost., ci si è chiesti se inserendo la salute e l'ambiente prima degli altri valori contrapposti all'iniziativa privata si sia inteso sancire una sorta di ordine di priorità. Ma si è giunti alla conclusione che non si «possa stabilire una vera e propria gerarchia, tanto più che sul rapporto tra iniziativa economica, salute e ambiente si innesta proprio la giurisprudenza costituzionale già richiamata che esclude la possibilità di configurare "diritti tiranni"»²⁹.

²⁶ *Ibidem*.

²⁷ L. CUOCOLO, *op. et loc. ult. cit.* In particolare, «se è vero, come segnalato dalla letteratura, che questi due ulteriori lemmi siano in realtà specificazioni del più ampio concetto di ambiente – e possono quindi ben essere considerati ricompresi in quest'ultimo, nel contesto dell'art. 41 –, è altrettanto vero che questo scarto lessicale può invece essere utilizzato al fine di ritenere che le necessità di tutela dell'ecosistema e, soprattutto, della biodiversità siano escluse dal novero dei limiti all'attività di impresa» (E. MOSTACCI, *Proficuo, inutile o dannoso? Alcune riflessioni a partire dal nuovo testo dell'art. 41*, *ivi*, 1129).

²⁸ L. CUOCOLO, *op. cit.*, 1082.

²⁹ *Ibidem*. Cfr., sulla medesima posizione, L. CASSETTI, *Riformare l'art. 41 della Costituzione: alla ricerca di "nuovi" equilibri tra iniziativa economica privata e*

4. Un nuovo slancio per la programmazione economica?

Controverso è, a sua volta, il giudizio sull'aggiunta effettuata nel terzo comma dell'art. 41 Cost.

Una parte della dottrina riconosce nell'esplicita menzione degli interessi ambientali ampie potenzialità, sostenendo che essa può costituire «il fondamento di una nuova attività di programmazione volta a conseguire un modello di sviluppo olistico in cui la tutela dell'ambiente costituisce il punto centrale»³⁰. Anche perché un simile cambiamento di passo si collegherebbe «alla nuova impostazione che proprio l'Unione europea sta avviando nel rapporto tra l'economia e l'ambiente»³¹ correggendo il proprio approccio precedente, improntato alla fiducia nel mercato. E si arriva fino al punto di affermare che, «per la collocazione assunta in Carta costituzionale, l'ambiente non giustifica solo programmi, controlli o

ambiente?, in *federalismi.it*, n. 2/2022, 199, secondo la quale «in definitiva, l'integrazione dei limiti dell'art. 41, comma 2 Cost. che qui si commenta o intende creare una "gerarchia" che però non sembra praticabile, anche sulla base del percorso giurisprudenziale sopra richiamato, oppure si limita a fotografare l'esigenza "contingente" di etichettare in modo vistoso con il marchio "green" un sistema costituzionale che però da diversi decenni riconosce nell'ambiente un "valore" costituzionalmente protetto, la cui tutela (ai sensi dell'art. 117, co. 2, lett. s) Cost.) delinea una sorta di materia "trasversale" che "investe e si intreccia inestricabilmente con altri interessi e competenze eventualmente regionali con la riserva allo Stato delle determinazioni che necessitano di una disciplina uniforme sull'intero territorio nazionale"».

³⁰ F. DE LEONARDIS, *op. cit.*, 12, il quale prosegue affermando che «proprio tale modifica dell'art. 41 Cost. sembra costituire il "valore aggiunto" della riforma costituzionale nazionale rispetto a quella di altri paesi europei: se praticamente in tutte le Costituzioni dei paesi europei l'ambiente, originariamente non contemplato, è stato introdotto tra i principi fondamentali (così ad esempio nei Paesi Bassi nel 1983, in Germania nel 1994 e in Francia nel 2004), sono poche però quelle Costituzioni (come quella francese e quella croata) che, come oggi quella italiana, prevedono una norma costituzionale legittimante la programmazione verde dell'economia» (*ivi*, 13).

³¹ S. GRASSI, *La cultura dell'ambiente nell'evoluzione costituzionale*, in *Rivista AIC*, n. 3/2023, 232. Tutto ciò con la conseguenza che «la nostra Costituzione economica è tornata a essere una Costituzione in cui il mercato deve fare i conti con l'ambiente, o meglio, la tutela dell'ambiente, la tutela degli ecosistemi, la tutela della biodiversità devono indirizzare il mercato. Non è più tanto lo sviluppo che deve essere sostenibile, ma è la sostenibilità che definisce le modalità con cui si devono svolgere l'attività economica e lo sviluppo» (*ivi*, 233).

investimenti pubblici, ma può prospettare un intervento pubblico che, andando oltre, si faccia carico di istanze di democratizzazione dell'economia», senza peraltro «mettere in discussione il sistema capitalistico di produzione, fondamento della Costituzione economica», ma supportando «quei sistemi di produzione che consentano di favorire forme di co-decisione e co-responsabilizzazione delle decisioni economiche»³².

Segnatamente, si sottolinea come il fatto di aver collegato con la congiunzione «e» l'aggettivo «ambientali» a quello «sociali» invece di ripetere il sostantivo «fini» esprimerebbe la connessione esistente tra le due dimensioni dell'intervento pubblico, con la conseguenza che «le due categorie di finalità [...] non si presentano scisse l'una dall'altra [...]; il compito intestato al legislatore è di perseguirle insieme, necessariamente armonizzando le une con le altre e viceversa; i fini ambientali non possono costituire un obiettivo autonomo, ma debbono essere realizzati congiuntamente ai fini sociali, assicurando che la transizione ecologica verso cui deve essere indirizzato lo sviluppo dell'economia proceda di pari passo con lo sviluppo sociale e con una specifica attenzione alle esigenze di giustizia, di equità nell'allocazione dei costi e di eguaglianza sostanziale»³³.

A tale orientamento si contrappone però, in linea con quanto già affermato a proposito delle integrazioni apportate al comma 2, il rilievo che «le coperture costituzionali per un intervento di questa natura» potevano già essere rinvenute nella precedente formulazione del comma 3 dell'art. 41 Cost., nella formula dei fini sociali³⁴, e che «una mera modifica testuale non pare in grado, di per sé, di contribuire a modificare significativamente le sorti della transizione ecologica»³⁵. Più in generale, si segnala che per un'efficace programmazione pubblica manca un'accurata disciplina delle relative procedure. «È infatti evidente come gli interessi economici – in buona misura ostili alla transizione ecologica – si trovino in una posizione due volte privilegiata: sono titolari di una posizione

³² V. DE SANTIS, *La Costituzione della transizione ecologica. Considerazioni intorno al novellato art. 41 della Costituzione*, in *Nomos*, n. 1/2023, 30.

³³ M. CECCHETTI, *Virtù e limiti della modifica degli articoli 9 e 41 della Costituzione*, in *Corti supreme e salute*, n. 1/2022, 147.

³⁴ L. CASSETTI, *op. loc. ult. cit.*

³⁵ E. MOSTACCI, *op. cit.*, 1131.

giuridica di tono costituzionale (la libertà di iniziativa economica) e danno vita a formazioni sociali di categoria dotate di un significativo potere di penetrazione nei processi decisionali che portano alla definizione delle politiche pubbliche. In assenza di un rafforzamento significativo della capacità dei portatori di interessi di natura ambientale, il concreto equilibrio tra le istanze dell'economia e le esigenze della tutela dell'ambiente, disegnato al termine dei necessari processi politici e decisionali, finirà per premiare le prime a dispetto delle seconde»³⁶.

Molto più condivisa è invece la valutazione negativa circa la previsione, contenuta nel terzo comma dell'art. 9 Cost., secondo la quale «la legge dello Stato disciplina i modi e le forme di tutela degli animali». Si parla, in proposito, di un compromesso al ribasso che, oltre a scorporare senza una ragione precisa l'ambito in questione dalla tutela dell'ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi³⁷, si traduce in una riserva di legge estranea alla funzione di garanzia tipica dell'istituto, consistendo essenzialmente in un'attribuzione di una competenza a favore dello Stato nei confronti delle Regioni da collocare piuttosto nell'art. 117 Cost. Il che «si rivelerebbe comunque poco opportuno, in quanto, da un lato, finirebbe per irrigidire eccessivamente il sistema di riparto della potestà legislativa, escludendo una competenza regionale che fino a oggi si è rivelata assai feconda in tema di protezione e rispetto degli animali, dall'altro, non aggiungerebbe granché alle attuali competenze riconosciute al legislatore statale»³⁸.

³⁶ *Ivi*, 1133.

³⁷ In particolare, si rileva che «la formula compromissoria utilizzata [...] non attribuisce – a dispetto di alcune proposte iniziali – alcuna connotazione agli animali in termini di “esseri senzienti”, a differenza dell'approccio seguito dall'art. 13 TFUE». Scelta questa che, «da un lato, può rappresentare un difetto di tutela a fronte delle sensibilità più progressiste, ma, dall'altro lato, non apre ad un crinale piuttosto scivoloso, specie sul fronte della tutela penale (ove l'eventuale riconoscimento costituzionale degli animali come “esseri senzienti” avrebbe imposto una complessa e delicata riconsiderazione, dal punto di vista del bene giuridico protetto, delle fattispecie incriminatrici vigenti, inquadrare nell'ambito dei delitti “contro il sentimento per gli animali”» (A. LAMBERTI, *op. cit.*, 10). Ritiene, per contro, che il mancato recepimento della definizione europea attesti l'incapacità della riforma di «concretizzare l'antispecismo giuridico bilanciando gli interessi di esseri viventi appartenenti a specie differenti, ma comunque tutti meritevoli di tutela giuridica» F. RESCIGNO, *Quale riforma per l'articolo 9*, in *federalismi.it*, 23 giugno 2021, 4.

³⁸ M. CECCHETTI, *op. ult. cit.*, 135 s. In senso conforme anche L. CUOCOLO, *op. cit.*, 1081.

5. L'interesse delle future generazioni come orizzonte della riforma

Un punto qualificante della riforma è poi costituito dalla previsione, contenuta nel terzo comma aggiunto all'art. 9 Cost., secondo la quale l'ambiente, la biodiversità e gli ecosistemi vanno tutelati «anche nell'interesse delle future generazioni». Con un riferimento che trova il proprio retroterra in numerosi documenti internazionali del Secondo dopoguerra³⁹ e che corrisponde ad una tendenza diffusa di accoglimento di tale istanza a livello costituzionale come è accaduto, ad esempio, con l'inserimento nella costituzione tedesca dell'art. 20a⁴⁰.

Si tratta di un tema che è oggetto di dibattito nella dottrina italiana già da tempo⁴¹ e rispetto al quale non mancano diversi profili problematici.

³⁹ Ripercorre in sintesi l'emergere della prospettiva intergenerazionale nell'ambito internazionale F.G. MENGA, *Dare voce alle generazioni future. Riflessioni filosofico-giuridiche su rappresentanza e riconoscimento a margine della recente modifica dell'articolo 9 della Costituzione italiana*, in *BioLaw Journal – Rivista di BioDiritto*, n. 2/2022, 168 ss. V. anche. A. D'ALOIA, *Generazioni future (diritto costituzionale)*, in *Enc. dir. – Annali*, IX, Milano, Giuffrè, 2016, spec. 347 ss.

⁴⁰ In particolare, l'art. 20a stabilisce che «Lo Stato, anche in considerazione della responsabilità nei confronti delle generazioni future, tutela, nell'ambito dell'ordinamento costituzionale, le basi fondamentali naturali della vita e gli animali, mediante l'esercizio del potere legislativo e dei poteri esecutivo e giudiziario, in conformità alla legge e al diritto». Ed è appunto sulla base di tale previsione che la Corte costituzionale tedesca ha pronunciato la sentenza del 24 marzo 2021, con la quale ha dichiarato la parziale incostituzionalità della legge sul cambiamento climatico del 2019, in quanto, non contenendo indicazioni dettagliate sulla riduzione delle emissioni dopo il 2030, non tutelava adeguatamente le generazioni future scaricando su di esse i maggiori oneri relativamente al contrasto all'innalzamento del clima. Per un commento sulla pronuncia del *Bundesverfassungsgericht* si rinvia a J. JAHN, *Rafforzare la tutela dell'ambiente grazie alle corti costituzionali nazionali? Commento alla sentenza sul clima del BVerfG*, in *Corti Supreme e salute*, n. 1/2022, 47-68; A. DI MARTINO, *Intertemporalità dei diritti e dintorni: le scelte argomentative del Bundesverfassungsgericht nella sentenza sul clima e le interazioni con i processi democratici*, in *Rivista di diritti comparati*, n. 2/2023, 56-91; L.J. KOTZÈ, *Neubauer et al. versus Germany: Planetary Climate Litigation for the Anthropocene?*, in *German Law Journal*, n. 22/2021, 1423-444.

⁴¹ Cfr. R. BIFULCO, *Diritto e generazioni future. Problemi giuridici della responsabilità intergenerazionale*, Milano, Franco Angeli, 2008 e R. BIFULCO, A. D'ALOIA (a cura di), *Un diritto per il futuro. Teorie e modelli dello sviluppo sostenibile e della*

Tra l'altro, si è contestato che in proposito sia possibile parlare di 'diritti' in un'accezione tecnico-giuridica poiché «il diritto soggettivo presuppone un titolare presente. "Diritti delle generazioni future" è una di quelle espressioni improprie che usiamo per nascondere la verità: le generazioni future, proprio in quanto tali, non hanno alcun diritto soggettivo da vantare nei confronti delle generazioni precedenti»⁴². Problema, questo, relativamente al quale non si ritiene praticabile la soluzione della *fictio iuris* dato che non «si può bilanciare tra interessi di un soggetto in atto e interessi di soggetti in potenza, non foss'altro perché la potenza potrebbe anche non trasformarsi in atto»⁴³. Per cui ci si rivolge alla categoria delle situazioni giuridiche soggettive passive, osservando che «le generazioni successive non hanno diritti da vantare nei confronti di quelle precedenti, ma queste hanno dei doveri nei confronti di quelle

responsabilità intergenerazionale, Napoli, Jovene, 2008. La problematica delle future generazioni è stata oggetto di varie riflessioni anche in materia di finanza pubblica e proprio in questo ambito è stata al centro della sentenza n. 18 del 2019 della Corte costituzionale. Per un commento v. L. VIOLINI, G. FORMICI, *Doveri intergenerazionali e tutela dell'ambiente: riforme costituzionali e interventi della giurisprudenza*, in P. PANTALEONE (a cura di), *Doveri intergenerazionali e tutela dell'ambiente. Sviluppi, sfide e prospettive per Stati, imprese e individui*, Atti del convegno svoltosi presso l'Università degli studi di Milano – 7 ottobre 2021, in *Il diritto dell'economia*, numero monografico, 2021, 32-54, spec. 46-51.

⁴² G. ZAGREBELSKY, *Senza adulti*, Torino, Einaudi, 2016, 86.

⁴³ M. LUCIANI, *Generazioni future, disposizione temporale della spesa pubblica e vincoli costituzionali*, in *Diritto e società*, n. 2/2008, 146. Sul piano processuale, «potrebbe rimediarsi alla lacuna prevedendo una forma di rappresentanza legale delle generazioni future; associazioni analoghe a quelle che la giurisprudenza ammette a difendere in tribunale i cosiddetti "diritti diffusi": "procuratori", "difensori del popolo". Ma costoro solo apparentemente agirebbero in nome altrui, perché questo "altro" non esiste: agirebbero in nome e per conto proprio, per far valere la propria visione del mondo, sia pure ispirata da qualche intuizione di quello che potrebbe essere l'interesse di chi ancora non c'è e potrebbe esserci un giorno» (G. ZAGREBELSKY, *op. cit.*, 91). Addirittura, nel noto paradosso di Parfit si rileva che «se una persona particolare non fosse stata concepita quando di fatto è stata concepita, sarebbe vero di fatto che essa non sarebbe mai esistita. Sintetizzando al massimo, la scelta di una politica di esaurimento delle risorse, soprattutto in rapporto ad un futuro più lontano (Parfit parla di tre secoli), non danneggia nessuna persona futura, per il semplice e paradossale motivo che se avessimo adottato una diversa linea di comportamento nessuna di quelle persone sarebbe stata concepita nello stesso momento, e quindi nessuna di esse sarebbe vissuta» (A. D'ALOIA, *Generazioni future*, cit., 339).

[...]. Il costituzionalismo dei diritti, senza rinunciare alla sua aspirazione centrale di essere al servizio della resistenza all'arbitrio, deve scoprire i doveri, non semplicemente in quanto riflessi, cioè in quanto contropartite dei diritti, ma come posizioni giuridiche autonome che vivono di vita propria, senza presupporre l'esistenza (attuale) delle corrispondenti situazioni di vantaggio e dei relativi titolari»⁴⁴.

Viceversa, chi adotta un approccio più propenso ad attribuire una tutela in forma attiva agli interessi delle future generazioni afferma che «il punto è anche capire cosa può intendersi per diritti, quali margini di flessibilità e di rielaborazione possa avere questa “figura” del diritto» per arrivare a sostenere che «i diritti sono qualcosa in più o di diverso dalla pretesa individuale (e azionabile in giudizio) di un soggetto [...]. I diritti sono anche “argomenti” del bilanciamento tra interessi, sono materiali costitutivi di un ordine assiologico e normativo, sono prodotti giuridici e culturali a formazione progressiva»⁴⁵. Sebbene si riconosca che «la questione intergenerazionale sembra trovare una collocazione meno controversa sul terreno dei doveri, della responsabilità (delle generazioni presenti nei confronti di quelle future), della solidarietà intertemporale»⁴⁶ prefigurandone però una sinergia (e non un'opposizione) rispetto ai diritti.

In tale scenario si inserisce la formula contenuta nel nuovo terzo

⁴⁴ G. ZAGREBELSKY, *op. cit.*, 86. Nella medesima prospettiva, M. LUCIANI, *op. cit.*, 161 si chiede «perché mai, insomma, declinare quell'esigenza etica in termini di *diritto delle generazioni future*, anziché di *dovere della generazione presente*? È evidente che, in prospettiva giuridica, le due opzioni non sono equivalenti, per la semplice ragione che si danno doveri che non hanno a fronte un corrispondente diritto».

⁴⁵ A. D'ALOIA, *Generazioni future*, cit., 374-375. Cfr. G. GEMMA, *Diritti delle generazioni future: necessità e limiti di una loro tutela giuridica*, in *Diritto e società*, n. 3/2020, 455, il quale, definendo relativismo concettuale «l'impiego di un concetto che di per sé è utile a una realtà ben diversa da quella correlata a detto concetto», applica tale modello alla nozione di diritto soggettivo. «A titolo di esemplificazione possiamo citare l'impiego del concetto in esame nella prefigurazione di diritti costituzionali, cioè di situazioni giuridiche soggettive ben diverse dai diritti di natura privatistica [...]. Or bene, riteniamo che tale impostazione relativistica, contraria ad una configurazione rigida di concetti e volta a conferire significati diversi agli stessi se ricorrano ragioni funzionali, sia valida e possa essere opposta al rifiuto di configurare diritti in capo alle generazioni future».

⁴⁶ A. D'ALOIA, *op. ult. cit.*, 375.

comma dell'art. 9 Cost., che è stata a sua volta oggetto di critiche, in quanto si tratterebbe di «un inciso alquanto fumoso, anche rispetto a chi? Alle generazioni attuali o all'ambiente stesso? Quali future generazioni?», e indicativo di «un'impostazione marcatamente antropocentrica»⁴⁷. In particolare, le questioni da risolvere sarebbero estremamente complesse «sia perché non siamo in grado di prevedere quale sarà la reale portata degli interessi e delle aspirazioni delle future generazioni. Sia perché le generazioni si susseguono ininterrottamente, senza soluzioni di continuità, a tal punto da rendere impossibile ogni distinzione tra gli interessi dell'oggi e quelli futuri»⁴⁸.

In via preliminare, si può innanzitutto osservare che la scelta del legislatore costituzionale di non parlare di 'diritti' ma semplicemente di 'interessi' ha l'effetto di prevenire le possibili obiezioni, di cui si è brevemente dato conto sopra, circa la configurabilità dei primi, spostando implicitamente il discorso sul versante dei doveri sussistenti in capo ai contemporanei⁴⁹. Doveri che, nel caso di specie, vengono ricollegati pure al principio solidarista sancito dall'art. 2 Cost., letto nel senso di «considerare l'individuo come soggetto che si rapporta con tutti coloro che sono, che sono stati e che verranno [...], del resto, il “popolo”, al quale l'art. 1 Cost. riconosce la titolarità della sovranità, sembra ricomprendere non solo la semplice sommatoria degli individui viventi, ma anche l'insieme di tutte le generazioni che sono venute e che verranno»⁵⁰.

Dopodiché, circa la difficoltà di determinare le generazioni da tenere in considerazione «si osserva che la norma non si presenta certo con la struttura di una “regola” che imponga di identificare con certezza i

⁴⁷ F. RESCIGNO, *op. loc. ult. cit.*

⁴⁸ C. DE FIORES, *Le insidie di una revisione pleonastica. Brevi note su ambiente e Costituzione*, in *Costituzionalismo.it*, n. 3/2021, 155. Sul piano dell'opportunità politica più che in un'ottica strettamente giuridica, si osserva invece che «il tema delle “generazioni future” è stato in questi anni agitato (soprattutto su impulso dei Trattati Ue) al fine precipuo di offrire copertura giuridica e una più estesa legittimazione costituzionale alle politiche di *austerity*» (*ibidem*).

⁴⁹ Così L. CUOCOLO, *op. cit.*, 1080.

⁵⁰ P. LOMBARDI, *Ambiente e generazioni future: la dimensione temporale della solidarietà*, in *fedralismi.it*, n. 1/2023, 90.

“soggetti futuri” il cui interesse debba assumere giuridico rilievo, atteggiandosi piuttosto come un “principio”, tipicamente costituzionale, che impone ai legislatori (e, più in generale, a tutti gli attori pubblici) il ben più complesso obiettivo di “guardare lontano”»⁵¹. Mentre, relativamente all'impossibilità di prevedere le esigenze, al momento solo potenziali, da tutelare, nonostante si riconosca che «le future generazioni potrebbero non desiderare più gli stili di vita di oggi» si ritiene che esse «non arriveranno addirittura a volersi privare della loro stessa esistenza in vita oppure, senza con ciò abdicare alla loro stessa dignità, rinunciare alle più elementari libertà individuali»⁵².

A proposito dell'antropocentrismo della disciplina introdotta con la riforma del 2022 si pone invece l'accento, in senso contrario, sulla congiunzione ‘anche’, evidenziando come essa leghi «indissolubilmente riferimenti oggettivi e soggettivi». Più nello specifico, «prima dell'*anche* ci sono certamente l'ambiente, la biodiversità e gli ecosistemi, ma nella tutela di questi oggetti è senz'altro da ritenersi implicito il riferimento agli interessi delle generazioni presenti; così come, specularmente, dopo l'*anche* c'è l'interesse delle generazioni future, ma è innegabile che permangano i riferimenti oggettivi dell'azione e degli obiettivi di tutela,

⁵¹ M. CECCHETTI, *La revisione*, cit., 310.

⁵² D. PORENA, «*Anche nell'interesse delle generazioni future*». *Il problema dei rapporti intergenerazionali all'indomani della revisione dell'art. 9 della Costituzione*, in *federalismi.it*, n. 15/2022, 140. Tutto ciò con la precisazione che «la responsabilità di ciascuna generazione nei confronti dell'altra, al di là della garanzia dei diritti fondamentali, non sembra poi potersi spingere oltre l'impegno che alla generazione successiva siano assicurate chances di vita non inferiori a quelle godute da quella precedente. Starà poi a ciascuna generazione il decidere se e come godere delle opportunità lasciate aperte da chi l'ha preceduta» (ivi, 141). Negli stessi termini cfr. anche G. GEMMA, *op. cit.*, 439-440, il quale afferma che «per quanto riguarda i bisogni dei nostri discendenti, vale il discorso avanzato da autorevole cultura filosofica e giuridica, la quale ha, come s'è visto, confutato l'“argomento dell'ignoranza”, affermando che si può ben assumere che, pur mutando specifici bisogni degli uomini del futuro, questi ultimi avranno pur sempre esigenze basilari simili a quelli attualmente viventi. Per dirla con le parole di un costituzionalista, le nostre “somiglianze con gli esseri umani che verranno sono molto maggiori delle differenze”. I bisogni fondamentali di natura fisica, psicologica o culturale, ivi compresa la libertà, il cui appagamento può generare benessere fisico o psichico degli individui, possono essere assunti come propri anche dei nostri discendenti. Si tratta certo di una presunzione (relativa), di una previsione avanzata con margini di incertezza e di aleatorietà, eppure dotata di un consistente fondamento empirico».

ossia l'ambiente, la biodiversità e gli ecosistemi. In altre parole, il legislatore di revisione [...] ha fatto semplicemente (e opportunamente) in modo di mantenere il più possibile aperta [...] la possibilità di coesistenza di politiche parimenti fondate sia su approcci ispirati a concezioni antropocentriche, sia su approcci ispirati (o contaminati) da concezioni ecocentriche»⁵³.

Infine, dal punto di vista del funzionamento dei sistemi democratici, si evidenzia che «l'assunzione di un paradigma intergenerazionale conduce a tensioni e aporie rispetto alle più consolidate configurazioni di concetti cardine del costituzionalismo, quale ad esempio quello di responsabilità politica»⁵⁴, sempre di più indirizzata verso un riscontro immediato sulle proprie istanze contingenti da parte degli elettori. E «potrebbe almeno essere di stimolo ad un ripensamento, a livello di riflessione giuridica, circa la complessità e l'attualità dei legami tra Popolo e Nazione repubblicana»⁵⁵ aprendo una prospettiva di più lungo periodo, in modo da superare la propensione delle organizzazioni politiche democratiche al "presentismo", «che si radica tanto nelle progettualità politiche di corto respiro legate ai brevi cicli elettorali, quanto nella natura stessa del dispositivo della sovranità popolare e auto-determinazione collettiva, cioè quello di un esercizio del potere dei "cittadini

⁵³ M. CECCHETTI, *op. loc. ult. cit.* Cfr., sulla medesima posizione, anche L. CUOCOLO, *op. loc. ult. cit.* Adotta, viceversa, un approccio almeno parzialmente differente R. BIFULCO, *Prmissime riflessioni*, cit., 7, per il quale «non v'è dubbio che la prospettiva prescelta dal legislatore costituzionale è di tipo antropocentrico. E tuttavia una declinazione di questo antropocentrismo più attenta agli interessi dell'ambiente è possibile interpretando la disposizione in maniera bifasica, ritenendo cioè che la norma, in via generale, vuole che l'ambiente sia tutelato in sé e per sé; solo in caso di conflitto tra interessi umani e naturali (ciò che in verità capita frequentemente), si dovrà dare precedenza ai primi. Il riferimento agli interessi delle generazioni future è in grado di rendere più complesso il bilanciamento poiché gli interessi umani si stratificano nel tempo sicché l'interesse della presente generazione non prevale sempre e necessariamente nei confronti degli interessi umani di chi ancora deve venire ad esistenza. È, questo, un punto particolarmente problematico e difficile da interiorizzare, che tuttavia dovrà trovare progressiva affermazione».

⁵⁴ L. IMARISIO, *La riforma costituzionale degli articoli 9 e 41 della Costituzione: un (prudente) ampliamento di prospettiva del diritto costituzionale dell'ambiente*, in *Il Piemonte delle autonomie*, n. 2/2022, 7.

⁵⁵ *Ibidem*.

presenti” che non può che essere fondamentalmente orientato “a beneficio dei presenti” (o al massimo dei futuri più prossimi)»⁵⁶.

6. Dalle parole ai fatti: le nuove norme alla prova della giurisprudenza costituzionale

Sul piano della sua efficacia, ci si è chiesti se la riforma abbia riconfigurato in modo sostanziale il tessuto normativo imponendo limiti più stringenti alle scelte legislative in campo ambientale e cambiando, di conseguenza, anche il margine di incidenza del Giudice costituzionale relativamente alle stesse. E in effetti, secondo alcuni, a seguito della revisione l'ambiente dovrebbe «essere tutelato in assoluto»⁵⁷ e non sarebbe più bilanciabile con altri valori sanciti dalla Costituzione repubblicana (come la libertà di iniziativa economica o il diritto al lavoro nella prospettiva nel caso Ilva di cui si è dato conto sopra). Sicché, «il fulcro delle attribuzioni di arbitraggio di competenza della Corte costituzionale» si sposterebbe «dalla valutazione della ragionevolezza dei limiti reciproci che lo sviluppo e la tutela dell'ambiente si pongono alla efficacia delle misure di tutela dell'ambiente espresse dal legislatore»⁵⁸. Tuttavia, non sembra che alla legge costituzionale n. 1 del 2022

⁵⁶ F.G. MENGA, *Dare voce alle generazioni future. Riflessioni filosofico-giuridiche su rappresentanza e riconoscimento a margine della recente modifica dell'articolo 9 della Costituzione italiana*, in *Biolaw journal*, n. 2/2022, 80. In particolare, si ritiene che «l'istanza intergenerazionale costringe a ripensare i meccanismi della democrazia politica e delle maggioranze legislative. Il legislatore deve essere “l'uomo del futuro”, non solo nel senso husserliano del soggetto chiamato a porre regole nuove ed efficaci da un certo momento in avanti, ma in quanto organismo in grado di prendere decisioni consapevoli delle conseguenze future e rispettose di un'esigenza di preservazione di risorse e possibilità necessarie alla sopravvivenza dignitosa del genere umano» (A. D'ALOIA, *Generazioni future*, cit., 336).

⁵⁷ G.L. CONTI, *Note minime sulla sopravvivenza dei valori ambientali alla loro costituzionalizzazione*, in *Osservatorio sulle fonti*, n. 2/2022, 197.

⁵⁸ *Ibidem*. Dello stesso avviso è, a sua volta, A. MORRONE, *La Costituzione del lavoro e dell'ambiente*, cit., 533-534, secondo il quale «viene così stabilito un “criterio di bilanciamento a priori” non una “delega di bilanciamento”»: vuol dire che è la Costituzione che dice in via immediata come ordinare gli interessi in conflitto e lo fa indicando

– anche per il tenore linguistico delle sue previsioni ⁵⁹ – si possa attribuire una simile portata. Piuttosto, si può ipotizzare che «l’inserimento esplicito di nuovi limiti implicherà esclusivamente la necessità – già affermata ampiamente dalla giurisprudenza costituzionale – di definire il punto di equilibrio, dinamico e non prefissato in anticipo, che il legislatore, nella statuizione delle norme, e il giudice delle leggi, in sede di controllo, debbono effettuare per garantire che di ciascuno dei valori costituzionali in giuoco non sia sacrificato il “nucleo essenziale”» ⁶⁰.

Del resto, tale lettura “riduttiva” della novella costituzionale ha per il momento trovato conferma nella sentenza n. 105 del 2024 ⁶¹, in cui la

la soluzione da seguire in concreto; mentre va escluso che la norma si limiti a conferire il relativo potere tanto al legislatore in sede di attuazione, quanto al giudice in sede di applicazione».

⁵⁹ In proposito, M. CECCHETTI, *La revisione*, cit., 312, ritiene che «il legislatore costituzionale si sia rivelato decisamente “miope”, essendosi di fatto limitato a “confermare” genericamente in capo ai poteri pubblici della Repubblica il compito di elaborare e implementare politiche rivolte alla tutela dell’ambiente, della biodiversità e degli ecosistemi, con i soli vincoli della proiezione temporale intergenerazionale e del connubio inscindibile tra economia, ambiente e sviluppo sociale, ma senza alcuna ulteriore specificazione, né di natura sostanziale, né di natura formale-procedimentale: specificazioni che, tutt’al contrario, risulterebbero invece più che mai indispensabili in questa materia per “giuridicizzare” adeguatamente la discrezionalità politica – conformandola al migliore e più efficace perseguimento degli obiettivi di tutela ambientale – e che, proprio in questa logica, tanta e decisiva importanza rivestono in altri ordinamenti costituzionali e particolarmente nell’ordinamento dell’Unione europea».

⁶⁰ S. GRASSI, *La cultura dell’ambiente nell’evoluzione costituzionale*, cit., n. 3/2023, 231. In senso analogo si esprime A. LAMBERTI, *op. cit.*, 17-18, quando sostiene che con la riforma si sarebbe inciso solo sul punto di partenza e ritorno del pendolo, dunque solo nei termini di «una ridefinizione d’ampiezza dell’arco di movimento. La metafora sta quindi a rappresentare una riduzione dei sacrifici che l’interesse ambientale (pubblicistico e pertanto posto in primis in capo all’autorità) può costituzionalmente tollerare a fini di soddisfazione dell’interesse alla libera attività economica (e forse pure degli altri interessi la cui realizzazione passa per lo svolgimento di questa). Con la conseguente riduzione dell’ambito entro cui le operazioni di bilanciamento tra tali interessi vanno svolte. E ciò significa proprio riaffermare la necessità di tale bilanciamento nel quadro costituzionale che si compone dopo la revisione».

⁶¹ Su tale pronuncia, G. BAROZZI REGGIANI, *Convergenze e divergenze nella giurisprudenza di tre Corti supreme d’Europa in tema di politiche ambientali e tutela del diritto alla salute*, in *Corti Supreme e salute*, n. 1/2025, 57-98; R. BIN, *Il “caso Priolo”: scelta politica vs. bilanciamento in concreto (in margine alla sent. 105/2024)*, in

Corte ha tenuto conto per la prima volta della nuova formulazione degli artt. 9 e 41 Cost. e con la quale parrebbe addirittura aver fatto un passo indietro rispetto alla sua giurisprudenza più recente.

L'impugnazione riguardava l'art. 104-*bis*, comma 1-*bis*.1, norme att. cod. proc. pen. introdotto dall'art. 6 del d.l. n. 2 del 2023, il quale, in caso di sequestro preventivo di stabilimenti industriali o di parti di essi dichiarati di interesse strategico nazionale ovvero di impianti o infrastrutture necessari ad assicurarne la continuità produttiva, prevede che «[i]l giudice autorizza la prosecuzione dell'attività se, nell'ambito della procedura di riconoscimento dell'interesse strategico nazionale, sono state adottate misure con le quali si è ritenuto realizzabile il bilanciamento tra le esigenze di continuità dell'attività produttiva e di salvaguardia dell'occupazione e la tutela della sicurezza sul luogo di lavoro, della salute e dell'ambiente e degli altri eventuali beni giuridici lesi dagli illeciti commessi»⁶². Disciplina, questa, che introduceva un regime distinto rispetto a quello indicato, a suo tempo, dalla sentenza n. 83 del 2013⁶³ e che era ritenuta dai ricorrenti in contrasto con gli artt. 2 e 32

Consulta online, n. 3/2024, 1058-1062; M. CARDUCCI, *Il duplice "mandato" ambientale tra costituzionalizzazione della preservazione intergenerazionale, neminem laedere preventivo e fattore tempo. Una prima lettura della sentenza della Corte costituzionale n. 105 del 13 giugno 2024*, in *DPCE Online*, 25 giugno 2024, 1-7; G. VIVOLI, *L'eterna provvisorietà di misure straordinarie è (ed era) incostituzionale: la doppia chiave di lettura della sentenza n. 105/2024 sul c.d. "decreto Priolo" alla luce della riforma degli artt. 9 e 41 Cost.*, in *AmbienteDiritto*, n. 4/2024, 1-22; P. FERRETTI, *Uno sguardo alla prima giurisprudenza costituzionale in materia ambientale dopo la riforma*, in *Lo Stato*, n. 23/2024, 225-248; G. MARCHETTI, *Il "principio fondamentale ambientalista" nella prospettiva multilivello e il suo impatto sull'assetto costituzionale*, Torino, Giappichelli, 2024, spec. 147-151; L. RONCHETTI, *Ecocostituzionalismo. La sovranità popolare di fronte alla crisi ecologica*, Napoli, Editoriale Scientifica, 2024, spec. 165-174; B. PEZZINI, *One Health e Corti supreme: le coordinate di un paradigma*, in *Corti Supreme e salute*, n. 1/2025, 191-216, spec. 204-215.

⁶² La normativa in questione era stata adottata in occasione del sequestro del depuratore di Priolo Gargallo ma – come la Corte ha cura di precisare – la sua portata pre-cettiva trascendeva «tale vicenda, assumendo così carattere generale, potenzialmente applicabile a una pluralità indeterminata di casi analoghi» (punto 3 del considerato in diritto).

⁶³ In particolare, «l'art. 1 del "decreto Ilva" non è [...] applicabile a sequestri preventivi come quello oggetto del procedimento *a quo*, per almeno due ragioni. Da un lato, la disposizione si riferisce testualmente ai soli «stabiliment[i] di interesse strategi-

Cost., con l'art. 9 Cost. e con l'art. 41 «in quanto il legislatore non avrebbe garantito un equilibrato bilanciamento tra i valori costituzionali in gioco, facendo prevalere incondizionatamente l'interesse alla continuità dell'attività produttiva e comprimendo eccessivamente i beni della vita, della salute e dell'ambiente»⁶⁴.

Sul punto, i giudici di palazzo della Consulta rilevano che «censure analoghe, invero, erano state proposte [...] anche nel caso deciso con la sentenza n. 85 del 2013; ed erano state in quell'occasione ritenute non fondate» in favore di un approccio «imperniato attorno all'idea della necessità di un “ragionevole bilanciamento”» tra i differenti valori coinvolti. Ma sottolineano come la riforma del 2022 nel frattempo intervenuta abbia profondamente mutato il quadro di riferimento consacrando «direttamente nel testo della Costituzione il mandato di tutela dell'ambiente, inteso come bene unitario, comprensivo delle sue specifiche declinazioni rappresentate dalla tutela della biodiversità e degli ecosistemi, ma riconosciuto in via autonoma rispetto al paesaggio e alla salute umana, per quanto ad essi naturalmente connesso; e vincola così, esplicitamente, tutte le pubbliche autorità ad attivarsi in vista della sua efficace difesa». Con l'ulteriore precisazione che «peculiare è, altresì, la prospettiva di tutela oggi indicata dal legislatore costituzionale, che non solo rinvia agli interessi dei singoli e della collettività nel momento presente, ma si estende anche [...] agli interessi delle future generazioni»⁶⁵.

In prima battuta, sembrerebbe quindi di dover registrare un netto cambiamento di rotta nella direzione di una garanzia prioritaria delle

co nazionale», e non anche agli impianti e infrastrutture necessari ad assicurarne la continuità produttiva, come nel caso degli impianti di depurazione che trattano i reflui provenienti da tali stabilimenti. Dall'altro, essa presuppone un provvedimento di “riesame” dell'AIA adottato dal Ministro dell'ambiente, il quale però non è l'unica autorità competente al rilascio di tali autorizzazioni: tant'è vero che, nel caso dell'impianto di depurazione oggetto di sequestro nel procedimento *a quo*, l'autorità competente al rilascio dell'AIA è l'Assessorato del territorio e dell'ambiente della Regione Siciliana (ARTA), il quale – peraltro – nel caso di specie aveva, per la prima volta nel 2022, rilasciato a IAS spa un'AIA, che non risulta, allo stato, oggetto di alcun riesame» (punto 3.2. del considerato in diritto).

⁶⁴ Punto 1 del considerato in diritto.

⁶⁵ Punto 5.1.2 del considerato in diritto.

istanze ambientali. Nondimeno, tale evoluzione non trova riscontro nella decisione, che prospetta un'interpretazione costituzionalmente orientata delle disposizioni censurate, stabilendo che «le misure in questione [...] dovranno tendere a realizzare un rapido risanamento della situazione di compromissione ambientale o di potenziale pregiudizio alla salute determinata dall'attività delle aziende sequestrate. E non già, invece, a consentirne indefinitamente la prosecuzione attraverso un semplice abbassamento del livello di tutela di tali beni»⁶⁶. E si limita ad introdurre in via additiva «un termine di durata massima delle misure indicate dalla disposizione all'esame» di trentasei mesi sulla falsariga di quanto stabilito dall'art. 1, comma 1 del «decreto Ilva»⁶⁷. Come è stato scritto⁶⁸, *Much Ado About Nothing*⁶⁹?

⁶⁶ Punto 5.4.1 del considerato in diritto.

⁶⁷ Punto 6 del considerato in diritto.

⁶⁸ Da G. DI PLINIO, *op. cit.*, 8.

⁶⁹ «Al contrario di quanto accaduto nel “caso Ilva”, in questa sentenza la Corte non vigila sugli obblighi di bilanciamento che gravano sulle autorità di governo quando si sostituiscono al giudice: quella che la Corte lascia intatta (a parte l'aggiunta di un termine definito) è una decisione politica che sospende il bilanciamento e dispone un ordine di prevalenza degli interessi in campo privo di controlli. La Corte si limita a delineare un'interpretazione adeguatrice della disposizione impugnata dal giudice per ribadire che l'atto governativo dovrebbe rispettare i vincoli costituzionali derivanti dalle “esigenze basilari della persona (delle persone oggi esistenti, e di quelle che saranno) tra cui si annovera ora, esplicitamente, anche la tutela dell'ambiente”; e dovrebbe essere il frutto di “adeguata attività istruttoria”. L'atto governativo lo ha davanti, ma non intende giudicarlo, essendo un atto amministrativo: e la disposizione di legge che lo autorizza viene salvata anche se non rende espliciti quei vincoli che sono imposti dalla Costituzione e dalle norme europee. Quindi il provvedimento resta efficace, con buona pace dei diritti “ambientali” che sono affermati dalla riforma costituzionale del 2022 e dei principi sanciti dalla Convenzione di Aarhus sull'accesso alle informazioni, la partecipazione dei cittadini e l'accesso alla giustizia in materia ambientale» (R. BIN, *Il “caso Priolo”*, cit., 1060-1061).

Copre i due terzi del Globo?

Una ricostruzione delle disposizioni costituzionali a tutela dell'acqua nei vari Paesi

Pietro Ferretti

Sommario: 1. Il bene acqua e la Costituzione. – 2. Analisi comparata delle disposizioni costituzionali: premessa. – 2.1. Europa. – 2.2. America Latina. – 2.3. Asia e Oceania. – 2.4. Africa. – 3. Il contesto italiano. – 4. Riflessioni finali.

1. Il bene acqua e la Costituzione

L'acqua rappresenta una risorsa naturale di valore inestimabile, essenziale non solo per la sopravvivenza degli esseri umani e degli ecosistemi, ma anche per lo sviluppo economico, la sicurezza alimentare, la produzione di energia e l'equilibrio ambientale. Nel contesto contemporaneo, la crescente pressione antropica, la crisi climatica, l'inquinamento diffuso e la competizione tra molteplici usi – agricoli, industriali, domestici, energetici – hanno contribuito a far emergere in modo sempre più evidente la natura limitata e vulnerabile delle risorse idriche. La scarsità dell'acqua, in molte aree del pianeta già attuale e in altre potenzialmente prossima, ha progressivamente imposto un ripensamento del suo statuto giuridico, sollecitando una transizione da un approccio meramente strumentale e settoriale a una visione integrata, ecocentrica e sostenibile ¹.

¹ Anche a livello internazionale si registrano una serie di Risoluzioni dell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite che, a partire dalla n. 64/292 del 28 luglio 2010, riconoscono «the right to safe and clean drinking water and sanitation as a human right that is essential for the full enjoyment of life and all human rights».

Disponibile al sito: <https://digitallibrary.un.org/record/687002#files>.

All'interno di tale trasformazione, si è anche rafforzata l'idea dell'acqua come bene comune, ossia come risorsa che appartiene alla collettività, la cui gestione deve essere ispirata a criteri di equità, solidarietà intergenerazionale, responsabilità ambientale e inclusione². La qualificazione dell'acqua come bene comune implicherebbe il superamento delle dicotomie classiche tra proprietà pubblica e privata, e comporterebbe l'attribuzione di obblighi di tutela, conservazione e accessibilità anche in capo ai poteri pubblici, chiamati a garantire il rispetto di diritti fondamentali e interessi collettivi.

L'aumento di consapevolezza sulla scarsità della risorsa acqua e di conseguenza l'aumento di richiesta di protezione della stessa si dovrebbe rispecchiare, in parte, sia sul piano internazionale³, sia sul piano costituzionale, il quale rappresenta il livello più alto di normazione e, al tempo stesso, il terreno privilegiato per l'affermazione di valori fondamentali, principi inderogabili e diritti inviolabili. Per cui l'inserimento dell'acqua nelle Carte costituzionali si configura come un importante indicatore della rilevanza politica e giuridica attribuita alla sua tutela.

In una simile prospettiva, questo breve contributo si propone di analizzare e ricostruire, in chiave comparata, le disposizioni costituzionali che si occupano di tale risorsa.

L'indagine è volta a individuare e sistematizzare le principali modalità con cui le Costituzioni contemporanee affrontano il tema dell'acqua, distinguendo tra i diversi modelli adottati a seconda dei casi. La diversità delle soluzioni adottate riflette l'eterogeneità dei contesti normativi, sociali e culturali di riferimento, ma al contempo evidenzia

² Sul concetto di beni comuni si veda *inter alia* S. RODOTÀ, *Il diritto di avere diritti*, Roma-Bari, Laterza, 2012, spec. 105-139; IDEM, *Il terribile diritto. Studi sulla proprietà privata e i beni comuni*, Bologna, il Mulino, 2013; A. LUCARELLI, *Beni comuni*, in R. BIFULCO, A. CELOTTO, M. OLIVETTI (a cura di), *Digesto delle Discipline Pubblicistiche*, Aggiornamento VIII, Milano, Utet Giuridica, 2021, 21-28; U. MATTEI, *Beni comuni. Un Manifesto*, Roma-Bari, Laterza, 2012; L. D'ANDREA, *I beni comuni nella prospettiva costituzionale: note introduttive*, in *Rivista AIC*, n. 2/2015.

³ I trattati internazionali si concentrano soprattutto sulle acque e i corsi d'acqua transfrontalieri o internazionali. Per una ricostruzione del panorama internazionale in materia di tutela dell'acqua si veda il capitolo *Fresh Water* in E.B. WEISS, C.P. CARLARNE, D.B. MAGRAW, S.C. MCCAFFREY, S. THAI, *International Law for the Environment*, Eagan, West Academic Publishing, 2023, 801-888.

alcune tendenze convergenti che denotano una progressiva costituzionalizzazione della materia in questione, in linea con gli sviluppi del diritto internazionale e con l'affermarsi di una cultura comune legata alle istanze della sostenibilità. Infine, ci si concentrerà sull'ordinamento italiano, osservando come, in assenza di una espressa disposizione costituzionale, sia stata ricostruita la tutela dell'acqua nel nostro contesto.

2. Analisi comparata delle disposizioni costituzionali: premessa

Prima di addentrarsi nell'analisi, sono necessarie alcune premesse metodologiche e una piccola riflessione che emerge da una valutazione generale dei dati.

Innanzitutto, è necessario chiarire quale tipologia di disposizioni costituzionali sono state prese in esame⁴. Considerando che l'obiettivo è tentare di individuare come e in che misura la tutela della risorsa idrica permea nei testi costituzionali si sono ritenute rilevanti quelle disposizioni che: o riconoscono un diritto individuale o collettivo all'accesso all'acqua potabile e ai servizi igienico-sanitari essenziali⁵; o impongono obblighi positivi in capo allo Stato per la protezione, gestione e distribuzione equa della risorsa, anche in funzione ambientale; o ne esprimono una qualificazione giuridica come bene pubblico, bene comune o patrimonio collettivo, con eventuali implicazioni sul regime proprietario e sul modello di governance; o riconoscono un generale valore alla sua protezione. D'altra parte, non sono state considerate quelle previsioni che si limitano a regolare la ripartizione di competenze legislative o amministrative tra Stato centrale e autorità federate, o regionali, o territoriali sulle varie materie correlate alle risorse idriche. Ciò perché,

⁴ Le disposizioni sono state raccolte tramite il portale *Constitute Project* con un seguente controllo sui siti ufficiali.

⁵ Sul punto si specifica che, ai fini di questa analisi, si prendono in considerazione solo disposizioni espresse che riconoscono tale diritto all'interno dei testi scritti; quindi, non si farà riferimento a ricostruzioni che riconoscono tale diritto effettuate in via giurisprudenziale da Corti supreme o costituzionali.

spesso e volentieri, esse nulla o poco ci dicono sul valore che assume la protezione dell'acqua all'interno di quel sistema costituzionale.

Infine, è bene specificare che non si distinguerà, quantomeno in un primo momento, in base al tipo di regime politico vigente nei vari Paesi prendendo in considerazione sia ordinamenti democratici, sia democrazie illiberali, sia vere e proprie autocrazie o dittature in quanto l'obiettivo qui perseguito, nella consapevolezza che l'enunciazione costituzionale di un diritto o di un dovere per lo Stato è cosa ben diversa dalla sua concreta effettività, è quello di ricostruire la copertura data a questa risorsa, anche per valutare le diverse sensibilità intorno al tema e i differenti approcci giuridici che possono essere adottati e non tanto verificare la reale possibilità dei cittadini di far valere le relative situazioni soggettive.

Nel dettaglio, si procederà nell'analisi raggruppando gli Stati secondo i continenti di appartenenza, in modo anche da evidenziare eventuali pattern o assonanze che possono verificarsi nel medesimo ambito. E non verranno riportate tutte le disposizioni raccolte, bensì quelle che si ritengono o particolarmente esemplificative di tendenze riscontrabili territorialmente o quelle che si caratterizzano per peculiarità di varia natura, anche, ma non solo, in relazione al contesto in cui si inseriscono.

In via preliminare, si può anticipare che i dati raccolti individuano 104 disposizioni costituzionali appartenenti a 82 Stati in tutto il globo. In particolare, si rilevano 19 Stati dal continente europeo, 20 dall'Asia, 23 Paesi africani, 17 tra gli Stati dell'America centrale e del Sud e 2 dall'Oceania.

2.1. Europa

Partendo dagli Stati appartenenti al continente europeo, inteso in senso geografico, come già detto appena sopra, troviamo 19 Stati che hanno disposizioni costituzionali riguardanti la tutela dell'acqua.

Il primo dato generale che può essere rilevato è quello di una maggioranza di Stati del Centro-Est Europa, in particolare appartenenti all'ex Blocco Orientale, molti dei quali hanno quindi anche Costituzioni

più recenti rispetto a diversi Paesi dell'Europa occidentale ⁶.

Il secondo e più rilevante dato che emerge immediatamente è la quasi totale assenza di norme che riconoscano un diritto all'acqua potabile. Infatti, le Costituzioni europee si concentrano più spesso nell'identificare in capo allo Stato o un compito che generalmente può essere identificato come di tutela e gestione responsabile delle risorse idriche – in questa prospettiva si pongono 7 disposizioni – o a delineare il regime giuridico delle stesse, spesso nel senso di attribuire la loro proprietà al demanio pubblico (in questo caso troviamo 12 disposizioni costituzionali).

Del primo caso troviamo ottimi esempi nell'art. 81 della Costituzione portoghese ⁷, che recita: «Nel campo economico e sociale, lo Stato ha il dovere primario di: [...] adottare una politica idrica nazionale che utilizzi, pianifichi e gestisca razionalmente le risorse idriche» ⁸, o la previsione dell'art. 76 della Costituzione svizzera, per la quale, «Nell'ambito delle sue competenze, la Confederazione provvede all'utilizzazione parsimoniosa e alla protezione delle risorse idriche nonché alla difesa dagli effetti dannosi delle acque.

Emana principi sulla conservazione e lo sfruttamento delle riserve idriche, sull'utilizzazione delle acque a scopi di produzione energetica e di raffreddamento e su altri interventi nel ciclo idrologico.

Emana prescrizioni sulla protezione delle acque, sulla garanzia di adeguati deflussi minimi, sulle opere idrauliche, sulla sicurezza dei bacini di accumulazione e sul modo di influire sulle precipitazioni atmosferiche» ⁹.

⁶ In particolare, gli Stati individuati sono: Albania, Andorra, Bielorussia, Bulgaria, Croazia, Cipro, Grecia, Kosovo, Liechtenstein, Lituania, Malta, Moldavia, Portogallo, Romania, Slovenia, Spagna, Svizzera, Ungheria, Ucraina.

⁷ Gli Stati le cui Costituzioni contengono disposizioni di questo tipo sono: Albania, Andorra, Lituania, Malta, Portogallo, Slovenia, Svizzera, Ungheria.

⁸ Tutte le disposizioni costituzionali citate espressamente sono ricavate dalle versioni in inglese o in spagnolo tradotte dall'autore del contributo.

⁹ Il testo poi continua prevedendo una ripartizione di competenze tra la Confederazione e i Cantoni: «I Cantoni dispongono delle risorse idriche. Entro i limiti della legislazione federale possono riscuotere canoni per l'utilizzazione delle acque. La Confederazione ha il diritto di utilizzare le acque per le sue aziende di trasporto; in corrispettivo versa un canone e un'indennità.

In entrambe le previsioni lo Stato è chiamato a gestire razionalmente le risorse idriche, soprattutto in relazione al loro sfruttamento economico, ma nel caso della Confederazione Elvetica abbiamo dettagli maggiori e anche il compito ulteriore di garantire la popolazione dagli effetti dannosi che possono essere causati dall'acqua.

Della seconda tipologia¹⁰ possiamo trovare esempi nell'art. 18 della Costituzione della Bulgaria¹¹, che attribuisce allo Stato la titolarità esclusiva su alcune risorse strategiche, tra cui le acque, e nell'art. 18 della Costituzione della Grecia¹², che demanda a leggi speciali la disciplina della proprietà e della gestione delle acque correnti e sotterranee, confermando la centralità dei soggetti pubblici nella regolazione delle risorse idriche, qualificate come beni strategici soggetti a una gestione speciale e sottratti alla libera disponibilità.

Si è detto prima che nel contesto europeo mancano quasi del tutto disposizioni che riconoscano un diritto di accesso all'acqua. Fa unica e *rumorosa* eccezione la Costituzione della Slovenia: riformata nel 2016 proprio a questo proposito e sulla spinta di un progetto di iniziativa popolare, essa prevede all'art. 70a:

«Tutti hanno diritto all'acqua potabile.

Le risorse d'acqua devono essere un bene pubblico gestito dallo Stato.

Le risorse idriche sono destinate prioritariamente e in modo sostenibile all'approvvigionamento dell'acqua potabile alla popolazione e del-

Per quanto riguarda i diritti e i canoni relativi a risorse idriche internazionali, la Confederazione decide d'intesa con i Cantoni interessati. Decide pure nel caso in cui i Cantoni non riescano ad accordarsi in merito ai diritti concernenti riserve idriche intercantonali.

Nell'adempimento dei suoi compiti, la Confederazione prende in considerazione gli interessi dei Cantoni da cui le acque provengono».

¹⁰ Di cui fanno parte: Ucraina, Spagna, Romania, Portogallo, Moldavia, Liechtenstein, Kosovo, Grecia, Cipro, Croazia, Bulgaria e Bielorussia.

¹¹ «Lo Stato detiene diritti di proprietà esclusivi sulle risorse del sottosuolo; sulle spiagge e le vie di comunicazione nazionali, nonché sulle acque, le foreste e i parchi di rilevanza nazionale, e sulle riserve naturali e archeologiche istituite per legge».

¹² «La proprietà e la gestione di miniere, cave, grotte, siti archeologici e tesori, risorse minerarie, acque correnti e sotterranee e, in generale, delle risorse del sottosuolo, saranno disciplinate da leggi speciali».

l'acqua per uso domestico e per questa parte non sono merce commerciabile.

Tale fornitura deve essere assicurata direttamente dallo Stato tramite le comunità di autogoverno locale e non a scopo di lucro».

Come si può osservare, conseguenza del riconoscimento di un “diritto all'acqua potabile” è, nel testo approvato, non solo quanto già altre Costituzioni stabilivano – come l'iscrizione al demanio pubblico della risorsa e il dovere dello Stato di perseguire un uso sostenibile della stessa – ma anche il divieto di qualsiasi possibilità di un suo sfruttamento economico per quanto riguarda l'approvvigionamento personale o l'uso domestico. Inoltre, il diritto di “tutti” all'acqua potabile comporta la necessità di *due tutele* potenzialmente in conflitto, ossia, quella del diritto sociale delle collettività all'approvvigionamento e quella del diritto del singolo *nelle* collettività¹³. Doppia tutela che si realizza nel destinare prioritariamente e nell'ottica della sostenibilità le risorse idriche alla fornitura dell'acqua potabile alla popolazione, la quale nell'ottica del testo sloveno può essere assicurata solo tramite una gestione pubblica e collettiva del bene senza sfruttamento economico, in netta controtendenza rispetto ai regimi eurounitari di tutela della concorrenza¹⁴.

In conclusione, non deve stupire che l'Europa come continente non contempli all'interno del suo panorama giuridico numerose disposizioni che riconoscono un diritto di accesso all'acqua: infatti, da un lato la vasta disponibilità della risorsa lungo quasi tutto il territorio e la sua relativa generale accessibilità, dall'altro la presenza di diverse Costituzioni più lontane nel tempo, quindi anche da quelle sensibilità che hanno rafforzato le relative istanze, ha reso meno sentita la necessità di riconoscimento di un diritto individuale o collettivo e più forte l'esigenza

¹³ S. STAIANO, *Note sul diritto fondamentale all'Acqua. Proprietà del bene, gestione del servizio, ideologie della privatizzazione*, in *federalismi.it*, n. 5/2011, 10.

¹⁴ Cfr. A. CRISMANI, *La protezione costituzionale del diritto all'acqua pubblica tra crisi finanziaria e diritti umani. L'art. 70.a della Costituzione slovena sul “Diritto all'acqua potabile”*, in *Amministrazione in Cammino*, 30 dicembre 2016, 16-17. Successivamente l'autore aggiunge anche che «nel momento in cui vi è il proclama che l'acqua è un diritto fondamentale e che l'acqua potabile non è merce è altresì necessario assicurarne in concreto l'effettività. Quest'ultima si realizza solo se al diritto fondamentale corrisponde il dovere, altrettanto fondamentale, di farsi carico dei costi necessari» (18).

di discipline costituzionali che orientassero la regolazione della sua gestione o proprietà.

2.2. America Latina¹⁵

Nel continente latino-americano la protezione dell'acqua rappresenta un tema costituzionalmente rilevante, affrontato da diciassette Stati¹⁶ e in modo ampio e articolato.

Dalla ricognizione effettuata emergono un approccio notevolmente differente rispetto a quello europeo e un'evoluzione normativa fortemente influenzata dalle specificità sociali, ambientali ed economiche della regione, dove il diritto all'acqua si intreccia con istanze di giustizia ambientale, di protezione dei diritti umani e delle popolazioni indigene locali. In particolare, questo tipo di previsioni si inserisce nel contesto del costituzionalismo sudamericano, il quale si caratterizza, anche di recente, per una profonda sensibilità alla più generale questione della tutela ambientale, intesa in maniera più trasversale rispetto al continente europeo e che in alcuni casi arriva al riconoscimento di "diritti della natura"¹⁷.

Non stupisce, dunque, che nel costituzionalismo latino-americano la rilevanza attribuita a tale risorsa si traduca, in molti casi, in un'espressa qualificazione della stessa come diritto umano fondamentale¹⁸, spesso accompagnata da obblighi precisi in capo ai pubblici poteri e da una netta affermazione del carattere collettivo e non appropriabile del bene.

Esempio particolarmente rilevante è quello della Costituzione boliviana, riformata nel 2009, in cui il diritto all'acqua viene sancito in tre

¹⁵ Stante l'assenza di previsioni costituzionali a tutela dell'acqua nei Paesi del Nord America, si sono uniti in questo paragrafo i Paesi del Centro e Sud America al fine di agevolare la trattazione.

¹⁶ Bolivia, Brasile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Guyana, Guatemala, Haiti, Honduras, Messico, Nicaragua, Panama, Perù, Repubblica Dominicana, Uruguay, Venezuela.

¹⁷ Cfr. D. AMIRANTE, *Costituzionalismo ambientale. Atlante giuridico per l'Antropocene*, Bologna, il Mulino, 2022, 113, 133-154.

¹⁸ In particolare in 6 casi: Bolivia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Honduras, Uruguay.

differenti disposizioni – nell’art. 16 come diritto all’acqua e ad un’alimentazione sana; nell’art. 20, nel quale si afferma che tutti hanno diritto ad un accesso universale e equitativo ai servizi basici di acqua potabile, nell’art. 373, in cui si parla di un “derecho fundamentalísimo” per la vita nell’ambito della sovranità popolare – e riceve un’ampia regolamentazione¹⁹ con la quale si vietano concessioni o privatizzazioni della risorsa (artt. 20, 373), si stabilisce un dovere per lo Stato di utilizzarla in modo sostenibile e solidale (art. 373), si impone il rispetto degli usi e costumi delle tradizioni indigene relative all’utilizzo dell’acqua (art. 374), se ne garantisce in maniera prioritaria l’uso per la vita (art. 374), si prevede lo sviluppo di piani di utilizzo e conservazione dei bacini idrografici (art. 375).

Altre previsioni che tutelano l’acqua come diritto le si ritrova nella costituzione della Costa Rica (art. 50), che riconosce il diritto umano all’acqua potabile come elemento essenziale per una vita sana e dignitosa, nella Costituzione cubana (art. 76)²⁰, in quella dell’Ecuador (art. 12), che sottolinea il carattere essenziale e non mercificabile dell’acqua, e in quella dell’Uruguay (art. 47), dove l’accesso all’acqua potabile è definito un diritto umano fondamentale, da garantire a tutti gli abitanti. In Honduras (art. 145), invece, il diritto all’acqua è associato alla tutela della salute e dell’ambiente ed è, perciò, collocato in una logica più funzionale a queste altre due tematiche fortemente intersecate con lo stesso.

Accanto al riconoscimento del diritto, o – in alcuni casi – in alternativa ad esso, molte Costituzioni latinoamericane attribuiscono allo Stato compiti di tutela e di gestione della risorsa²¹. In Ecuador, l’art. 3 della Carta costituzionale include tra i doveri fondamentali dello Stato quello di garantire ai cittadini l’accesso all’acqua e ai servizi igienico-sanitari. Previsioni simili sono presenti in Nicaragua (art. 105), dove lo Stato è

¹⁹ Il V Capitolo del Titolo II della IV Parte (artt. 373-377) è interamente dedicato alle risorse idriche.

²⁰ «Todas las personas tienen derecho al agua.

El Estado crea las condiciones para garantizar el acceso al agua potable y a su saneamiento, con la debida retribución y uso racional».

²¹ Anche qui, in particolare, si tratta delle disposizioni di 11 Paesi: Bolivia, Colombia, Cuba, Ecuador, Guatemala, Messico, Nicaragua, Panama, Perù, Repubblica Dominicana, Venezuela.

tenuto a promuovere l'accesso e la gestione sostenibile dell'acqua, e in Venezuela (artt. 127 e 304), dove si impone al potere pubblico di garantire la protezione dall'inquinamento e il recupero delle risorse idriche.

Più legata ad un approccio funzionalistico è invece la disposizione della Repubblica Dominicana (art. 61), che inserisce la tutela dell'acqua tra i doveri costituzionali dello Stato al fine di garantire il diritto alla salute.

Come già evidenziato nel contesto europeo, anche in questa regione si ritrova in molti ordinamenti la qualificazione dell'acqua come bene pubblico, in quanto rientrante nel demanio o nel patrimonio collettivo dello Stato²². In Bolivia, le risorse idriche, in tutte le loro forme, sono dichiarate proprietà dello Stato e sottratte alla privatizzazione (art. 373). In modo analogo, la Costituzione dell'Ecuador (art. 318) afferma che l'acqua è parte del patrimonio strategico dello Stato, inalienabile e imprescrittibile, mentre quella della Repubblica Dominicana (art. 15) la qualifica come patrimonio nazionale. In Guatemala (art. 127), tutte le acque appartengono al demanio statale, e in Venezuela (art. 304) viene sancito che tutte le acque, superficiali e sotterranee rientrano nella proprietà pubblica. Anche il Brasile (art. 20) include le risorse idriche di rilevanza federale tra i beni appartenenti all'Unione. Si tratta di disposizioni che, pur con alcune varianti, convergono nell'idea che l'acqua non possa essere oggetto di appropriazione privata assoluta, ma debba essere regolata nell'interesse collettivo, in modo da limitare lo sfruttamento economico di una risorsa fondamentale sia per la vita umana che per lo sviluppo della comunità.

Da ultimo, si segnalano alcune disposizioni che si caratterizzano per una certa peculiarità e una qualche difficoltà ad essere inquadrare nella tripartizione presa a modello da questo contributo. In particolare, l'art. 282 della Costituzione dell'Ecuador vieta la concentrazione della risorsa da parte dell'agricoltura estensiva e delle imprese agroindustriali, confermando una generale impostazione fortemente ispirata ai principi dell'ecocostituzionalismo e ad un'attenzione complessiva alla protezione delle risorse ambientali²³. Un'altra particolarità si rinviene

²² Bolivia, Brasile, Ecuador, Guatemala, Haiti, Repubblica Dominicana, Venezuela.

²³ Cfr. L. RONCHETTI, *Ecocostituzionalismo. La sovranità popolare di fronte alla crisi ecologica*, Napoli, Editoriale Scientifica, 2024, 134.

nell'art. 36 della Costituzione della Guyana, che non introduce un obbligo o un diritto, bensì sancisce un principio generale per il quale «il benessere della nazione dipende dalla capacità di preservare un'aria pulita, la fertilità dei terreni, acqua pura e una considerevole diversità di piante, animali, ecosistemi», correlando così lo stato di salute del Paese con l'effettività della protezione che esso riesce ad offrire agli ecosistemi naturali, nei quali un elemento centrale, tra gli altri, è rappresentato dall'acqua.

Nel complesso, il quadro costituzionale dell'America Latina mostra una tendenza, chiara e molto più elaborata rispetto a quella europea, alla valorizzazione del bene acqua come diritto fondamentale e come bene comune, in cui si fondono le esigenze di giustizia sociale, salvaguardia ambientale e gestione pubblica. Pur nella diversità dei contesti e delle formulazioni ciò che emerge è un modello normativo che affida un ruolo centrale allo Stato e riconosce la dimensione collettiva della risorsa.

2.3. Asia e Oceania²⁴

Il continente asiatico, per ampiezza territoriale, pluralità di culture giuridiche e diversità dei sistemi costituzionali, offre un panorama molto variegato in tema di tutela dell'acqua. Ma, sebbene il grado di formalizzazione della protezione della stessa nei testi costituzionali vari sensibilmente da Paese a Paese, si possono individuare alcune tendenze comuni, tra cui la centralità dello Stato nella gestione delle risorse idriche, una diffusa attenzione alla loro funzione ambientale e collettiva, nonché, in alcuni casi, un'esplicita affermazione dell'accesso all'acqua come diritto fondamentale²⁵.

²⁴ Si aggiungono in questo paragrafo anche le disposizioni di 2 Stati appartenenti geograficamente all'Oceania, anche qui per esigenze di scorrevolezza e di sintesi nella trattazione considerato il basso numero di Paesi coinvolti.

²⁵ Per quanto riguarda il continente asiatico, ritroviamo la tutela dell'acqua nelle Costituzioni di 20 Stati: Armenia, Cambogia, Cina, Filippine, Indonesia, Iran, Iraq, Kazakistan, Kirgizstan, Laos, Maldive, Mongolia, Nepal, Pakistan, Taiwan, Tajikistan, Thailandia, Timor Est, Uzbekistan, Vietnam.

Un primo dato che emerge è la relativa scarsità di disposizioni che riconoscano esplicitamente un diritto individuale o collettivo all'acqua potabile, almeno in termini autonomi e testuali. Vi sono, infatti, solo due Paesi le cui Costituzione contengono previsioni di questo tipo: le Maldive, dove all'art. 23 della Carta costituzionale viene sancito il diritto di ogni cittadino a cibo adeguato e nutriente e ad acqua pulita e si impegna lo Stato alla sua progressiva realizzazione, e il Nepal, dove l'art. 35 Cost. proclama l'accesso all'acqua pulita e all'igiene come diritto di tutti i cittadini.

Più diffuso è il modello che attribuisce allo Stato un ruolo di tutela o gestione sostenibile delle risorse idriche, pur senza riconoscere in proposito un vero e proprio diritto soggettivo²⁶. Ne è esempio la Costituzione cambogiana del 1993, la quale all'art. 59 stabilisce che lo Stato protegge l'ambiente e l'equilibrio ecologico per il bene delle generazioni presenti e future, stabilendo anche un piano preciso per la gestione delle acque. Un'impostazione leggermente differente si ritrova in Thailandia, dove l'art. 72 della Costituzione del 2017 affida allo Stato il compito di intraprendere azioni relative alla terra e all'acqua al fine di fornire risorse idriche di qualità per il consumo da parte della popolazione anche a fini agricoli e industriali. Più tecnologicamente orientata è invece la disposizione dell'art. 146 della Costituzione di Taiwan, che impegna lo Stato a promuovere lo sviluppo della risorsa idrica mediante l'uso di tecniche moderne e a garantirne la disponibilità²⁷.

Un altro tema ricorrente nei testi costituzionali asiatici è la definizione del regime giuridico delle risorse idriche come beni pubblici o di proprietà statale. La Costituzione dell'Iran del 1979, all'art. 45, stabilisce che «Il patrimonio e i beni pubblici, come [...] i fiumi e gli altri corsi

²⁶ Va specificato che, nel caso del continente asiatico, in maniera leggermente differente rispetto alle situazioni analizzate in precedenza, l'obbligo di gestione razionale e protezione delle risorse idriche è molto spesso accompagnato dalla previsione della pubblicità del bene e della sua inalienabilità, riducendosi a pochissimi i casi in cui una delle due disposizioni sia presente in assenza dell'altra. In generale, gli Stati le cui Costituzioni contengono disposizioni che prevedono obblighi di tutela sono 9: Cambogia, Indonesia, Iran, Kirgizstan, Taiwan, Tajikistan, Thailandia, Timor Est, Uzbekistan.

²⁷ Il compito è ribadito anche dall'art. 169, che afferma: «Lo Stato deve promuovere attivamente e incoraggiare [...] lo sviluppo della conservazione delle risorse idriche».

d'acqua pubblici, saranno a disposizione del governo islamico affinché li utilizzi secondo l'interesse pubblico». Anche il Kazakistan (art. 6) prevede che «Le acque, la flora e la fauna, nonché le altre risorse naturali, sono di proprietà dello Stato». In maniera analoga, l'Uzbekistan²⁸ e di Timor Est²⁹ affermano la titolarità pubblica delle risorse idriche, da proteggere e gestire in base a criteri di uso razionale e sostenibile.

Nel complesso, il quadro costituzionale asiatico appare meno omogeneo e meno esplicitamente orientato al riconoscimento soggettivo del diritto all'acqua rispetto ad altre regioni, ma mostra una progressiva attenzione agli aspetti gestionali relativi ad essa. L'acqua è frequentemente intesa come risorsa strategica da sottrarre alla disponibilità privata e da collocare sotto la tutela pubblica, con una chiara preferenza per modelli statalisti e centralizzati di governance³⁰. Tuttavia, i crescenti richiami alla sostenibilità ambientale e ad un uso equo della risorsa suggeriscono un possibile ampliamento della disciplina sulla materia in questione all'interno delle Costituzioni asiatiche, in linea con le tendenze globali di costituzionalizzazione dei beni comuni e dei diritti ambientali.

Infine, va dato brevemente conto degli unici due Paesi appartenenti al continente dell'Oceania le cui Costituzioni contengono disposizioni a tutela dell'acqua: Isole Fiji e Papua Nuova Guinea. Essi, infatti, pur nella loro limitata consistenza numerica, offrono spunti interessanti circa la configurazione costituzionale della risorsa idrica in contesti insulari e spesso vulnerabili sotto il profilo ambientale.

Entrambe le Costituzioni riflettono una sensibilità spiccata per la sostenibilità ambientale, il legame con la terra e le risorse naturali, nonché per la giustizia sociale. In particolare, la Costituzione delle Isole Fiji del 2013 rappresenta un esempio paradigmatico, giacché riconosce in

²⁸ Art. 55: «Il suolo, i suoi minerali, le acque, la fauna e la flora, e le altre risorse naturali costituiscono il patrimonio nazionale e devono essere utilizzati e protetti razionalmente dallo Stato».

²⁹ Art. 139: «Le acque territoriali, la piattaforma continentale e la zona economica esclusiva, essenziali per l'economia, sono di proprietà dello Stato e devono essere utilizzate in modo giusto ed equo, in conformità con gli interessi nazionali».

³⁰ Sono infatti ben 13 le previsioni costituzionali che sottraggono alla disponibilità dei privati la titolarità del bene: Armenia, Cina, Filippine, Iran, Kazakistan, Kirgizstan, Laos, Mongolia, Pakistan, Tajikistan, Timor Est, Uzbekistan, Vietnam.

maniera esplicita il diritto individuale all'acqua, affermando all'art. 36 che «Lo Stato deve adottare misure ragionevoli, nell'ambito delle risorse disponibili, per realizzare progressivamente il diritto di ogni persona a essere libera dalla fame, ad avere cibo adeguato di qualità accettabile e ad avere acqua pulita e sicura in quantità adeguata».

Tale previsione si colloca all'interno della sezione sui diritti sociali, economici e culturali ed è accompagnata da un obbligo dello Stato per cui se esso sostiene di non avere i mezzi per attuare taluno di questi diritti è sua responsabilità dimostrarlo.

Di notevole interesse è poi l'art. 100 della Costituzione australiana, che vieta al Commonwealth di limitare, mediante legge o regolamento in materia di commercio o scambi, il diritto di uno Stato o dei suoi residenti all'uso ragionevole delle acque dei fiumi per scopi di conservazione o irrigazione.

Più nello specifico, da un lato si apprezza l'emersione in entrambe le Costituzioni del diritto all'acqua o al suo uso ragionevole, dall'altro lato va sottolineato che la previsione di quella australiana appare un po' più complessa come costruzione e potenziale applicazione.

In ogni caso, pur nella scarsità di casi costituzionali disponibili nell'area dell'Oceania, si conferma una linea coerente con le tendenze già osservate in altri continenti: laddove la tutela dell'acqua emerge si registra un'integrazione tra diritti umani, sostenibilità e responsabilità pubblica nella definizione della sua *governance*.

2.4. Africa

La dimensione costituzionale della tutela dell'acqua nel continente africano si presenta particolarmente articolata, riflettendo tanto la crescente rilevanza della risorsa nel contesto socioeconomico quanto l'eterogeneità delle esperienze giuridiche, storiche, politiche e religiose della regione. L'analisi delle Carte costituzionali evidenzia una presenza significativa di disposizioni dedicate all'acqua³¹, spesso inserite in un

³¹ Sono 23 gli Stati le cui Costituzioni contengono disposizioni a tutela dell'acqua: Algeria, Angola, Capo Verde, Egitto, Eritrea, eSwatini, Etiopia, Gambia, Ghana,

quadro più ampio di sensibilità ai valori ambientali e di protezione delle risorse naturali, che rappresenta forse uno dei pochi tratti comuni in questo panorama estremamente diversificato sotto il punto di vista giuridico e culturale ³².

In primo luogo, è possibile rilevare una tendenza piuttosto diffusa al riconoscimento dell'acqua come diritto fondamentale ³³, in forma sia diretta che indiretta. Tra gli esempi più espliciti si può citare l'art. 64 della Costituzione dell'Algeria, che garantisce «il diritto di ottenere acqua potabile e sana» tra i diritti economici e sociali dei cittadini ed in correlazione con un uso razionale delle risorse idriche in ottica intergenerazionale.

Anche la Costituzione dell'Egitto all'art. 79 afferma il diritto a un'alimentazione adeguata e all'acqua potabile, impegnando lo Stato ad assicurarne la disponibilità e, soprattutto, a garantire la sovranità alimentare anche per preservare i diritti delle generazioni future.

Accanto al riconoscimento del diritto all'acqua, si riscontra con frequenza pure l'attribuzione di obblighi positivi in capo allo Stato per la protezione, gestione e distribuzione equa della risorsa idrica ³⁴. Tali compiti sono spesso formulati come impegni di lungo periodo, orientati alla sostenibilità e alla giustizia intergenerazionale, e si caratterizzano per essere espressi più nella forma di un dovere complessivo di tutela dell'acqua che di un semplice impegno a gestire razionalmente le risorse ³⁵. L'art. 216 della Costituzione del Gambia afferma che «Lo Stato

Kenya, Marocco, Mauritius, Namibia, Niger, Nigeria, Repubblica del Congo, Repubblica democratica del Congo, Somalia, Sud Sudan, Sudafrica, Tunisia, Uganda, Zimbabwe.

³² Cfr. D. AMIRANTE, *op. cit.*, 155-156.

³³ In totale, le Costituzioni che riconoscono questo diritto sono 10: Algeria, Egitto, Kenya, Niger, Repubblica Democratica del Congo, Somalia, Sudafrica, Tunisia, Uganda e Zimbabwe.

³⁴ Si tratta di 12 Paesi: Algeria, Eritrea, eSwatini, Etiopia, Gambia, Kenya, Marocco, Nigeria, Repubblica del Congo, Sud Sudan, Tunisia, Uganda. Inoltre, a differenza di quanto evidenziato prima per il continente Asiatico, è meno frequente la corrispondenza tra la previsione di un dovere di protezione da parte dello Stato e la qualificazione a livello costituzionale del regime di pubblicità delle risorse idriche.

³⁵ In questo senso è da evidenziare di nuovo la natura "transizionale" di molti Paesi del continente, attraversato da processi di decolonizzazione e da rapidi e numerosi

si impegna a facilitare l'accesso equo a acqua pulita e sicura, servizi sanitari e medici adeguati, abitazioni abitabili, cibo sufficiente e sicurezza per tutte le persone». Allo stesso modo, l'art. 56 della Costituzione keniota prevede un simile dovere in correlazione con la tutela delle minoranze e dei gruppi emarginati, stabilendo che «lo Stato adotterà programmi di azioni positive per garantire [...] l'accesso all'acqua potabile, ai servizi sanitari e alle infrastrutture».

In alcuni casi, il testo costituzionale afferma espressamente che la tutela dell'acqua deve avvenire anche nell'interesse delle generazioni future, rafforzando così una lettura intertemporale e sostenibile del principio di equità. È il caso, ad esempio, dell'art. 8 della Costituzione dell'Eritrea³⁶ e dell'art. 210 della Costituzione del Regno di eSwatini, che attribuisce allo Stato l'obbligo, nell'interesse delle generazioni presenti e future, di «proteggere e utilizzare in modo razionale le sue risorse terrestri, minerarie e idriche, nonché la sua fauna e flora» e di «adottare misure appropriate per conservare e migliorare l'ambiente».

A differenza di altre zone del globo, la qualificazione giuridica della risorsa idrica e il suo inquadramento nei regimi proprietari costituiscono un elemento meno presente, seppur non del tutto assente³⁷. In diverse Carte costituzionali, l'acqua viene espressamente dichiarata «bene pubblico» o «proprietà dello Stato» escludendo in modo chiaro la possibilità di appropriazione privata. Ad esempio, l'art. 95 della Costituzione della Repubblica di Angola sancisce che «Costituiscono beni del demanio pubblico: le acque interne, le acque territoriali e i fondali marini ad esse adiacenti, nonché i laghi, le lagune e i corsi d'acqua, compresi i relativi alvei». Una disposizione simile si trova nell'art. 257 della

mutamenti costituzionali per effetto dei quali spesso ci si ritrova di fronte a Costituzioni nate in periodi piuttosto recenti in cui la sensibilità ambientale e intergenerazionale si è sviluppata in maniera crescente e rappresenta un elemento, spesso, permanente nonostante i rapidi rovesciamenti politico costituzionali (sul punto e più nel dettaglio di nuovo cfr. D. AMIRANTE, *op. cit.*, 155-185).

³⁶ «Nell'interesse delle generazioni presenti e future, lo Stato è responsabile della gestione di tutte le terre, delle acque, dell'aria e delle risorse naturali, garantendone un'amministrazione equilibrata e sostenibile; ed è altresì responsabile della creazione delle condizioni adeguate ad assicurare la partecipazione del popolo alla salvaguardia dell'ambiente».

³⁷ In totale si tratta delle Costituzioni di 7 Paesi: Angola, Capo Verde, eSwatini, Ghana, Mauritius, Namibia, Sud Africa.

Costituzione del Ghana, secondo cui «I fiumi, i ruscelli, i corsi d'acqua in tutto il Ghana e nella sua zona economica esclusiva e qualsiasi area coperta dal mare territoriale o dalla piattaforma continentale sono proprietà della Repubblica del Ghana e saranno conferiti al Presidente in nome e per conto del popolo del Ghana, in qualità di fiduciario», a cui si deve aggiungere che «Qualsiasi transazione, contratto o impegno che comporti la concessione di un diritto o di una concessione, da parte o per conto di qualsiasi persona, incluso il Governo del Ghana, a favore di un'altra persona o entità, comunque descritta, per lo sfruttamento di minerali, acque o altre risorse naturali del Ghana, stipulato o concluso dopo l'entrata in vigore della presente Costituzione, sarà soggetto a ratifica da parte del Parlamento» (art. 268).

Infine, alcune Costituzioni africane prevedono meccanismi istituzionali di governance o fondi pubblici finalizzati alla protezione e valorizzazione dell'acqua. L'art. 204 della Costituzione del Kenya, ad esempio, prevede l'istituzione di un "Fondo per l'equa distribuzione delle risorse", volto a finanziare infrastrutture idriche e sanitarie nelle aree più svantaggiate³⁸.

Ciò che emerge è, come detto all'inizio, un quadro abbastanza variegato in un panorama comunque caratterizzato da esperienze costituzionali profondamente differenti. Sicuramente, causa anche il dato di realtà per il quale l'accesso alle risorse idriche è percepito come una necessità spesso non garantita nei fatti, la sensibilità per la tutela ambientale e per quella dell'acqua in particolare è parecchio diffusa e riflette una condivisione abbastanza generale dell'istanza di protezione e necessità della stessa in qualità di risorsa fondamentale per la vita.

3. Il contesto italiano

Si è giunti ora all'ultimo passaggio di questa analisi, nel quale si prova

³⁸ «Il governo nazionale utilizzerà il Fondo di Equità esclusivamente per fornire servizi di base, tra cui acqua, strade, strutture sanitarie ed elettricità, alle aree emarginate, nella misura necessaria per portare la qualità di tali servizi in queste aree al livello generalmente goduto dal resto della nazione, per quanto possibile».

a dare conto di quello che è il panorama giuridico italiano, soprattutto costituzionale, prima di presentare qualche breve riflessione finale.

Si deve innanzitutto ricordare che la Costituzione italiana non prevede alcun tipo di disposizione riguardante la tutela dell'acqua, né come diritto soggettivo, né come dovere dello Stato, né identifica uno specifico regime giuridico per la sua proprietà.

L'Italia è e resta un Paese con disponibilità di acqua ma caratterizzato da un elevato consumo della stessa attraverso i suoi vari impieghi (agricolo, industriale, civile); recentemente, inoltre, sono in aumento le problematiche connesse in vario modo alla gestione delle risorse idriche, dallo storico tema del dissesto idrogeologico, all'aumento dei fenomeni alluvionali nelle Regioni del Centro-Nord, alla grave siccità della Regione Sicilia del 2024.

Si tratta di un contesto caratterizzato e arricchito da una sempre maggiore consapevolezza «che l'equa distribuzione dell'acqua non può essere affidata alle logiche di un "mercato concorrenziale perfetto" [...]. Affinché vi sia equa distribuzione e vi siano conservazione e uso razionale della risorsa acqua, è necessaria regolazione»³⁹ e che quindi «occorre disciplina costituzionale in senso proprio: limitazione del potere e del libero dispiegarsi dei rapporti di forza attraverso l'affermazione di un diritto; attuazione di questo diritto anche con la garanzia di prestazioni da parte degli Stati»⁴⁰.

Se si volesse provare a ricostruire interpretativamente un diritto all'acqua all'interno della nostra Costituzione le strade potrebbero essere due, non necessariamente alternative. In primo luogo, aderendo alla tesi della clausola aperta dell'art. 2⁴¹, per cui riconoscendo il diritto alla vita quale diritto fondamentale si ricomprende in esso anche il diritto all'accesso all'acqua quale risorsa necessaria ed essenziale che non può ontologicamente essere scissa dal concetto di vita e che ne è il presupposto⁴². In questa formulazione, si potrebbe perciò configurare una libertà

³⁹ S. STAIANO, *op. cit.*, 5.

⁴⁰ *Ibidem*.

⁴¹ Elaborata in principio da A. BARBERA, *Commento all'art. 2*, in G. BRANCA (a cura di), *Commentario della Costituzione*, Bologna-Roma, Zanichelli-Il Foro italiano, 1975.

⁴² Cfr. A. D'ALOIA, *Il diritto all'acqua e il laboratorio costituzionale sudamericano*, in A. D'ALOIA, M. ACEVEDO-MIÑO (a cura di), *Costituzione e diritto all'acqua*.

negativa, alla quale corrisponderebbe un divieto per lo Stato di impedire l'accesso all'acqua da parte dell'individuo. E in un'altra prospettiva il diritto all'acqua potrebbe essere ricostruito in correlazione col diritto fondamentale alla salute (art. 32), quale sua preconditione necessaria⁴³, sottolineando, nell'ottica del principio di eguaglianza sostanziale, anche la sua natura di "diritto sociale"⁴⁴, con la conseguente implicazione per lo Stato di adoperarsi al fine non solo di non impedire l'accesso all'acqua, ma anche di garantirne l'effettività concreta⁴⁵.

Sotto il profilo, invece, della protezione dell'acqua come dovere dello Stato, sicuramente il riferimento più importante e diretto che si può individuare in questo momento è quello dell'art. 9 Cost., laddove impone alla Repubblica di tutelare «l'ambiente, gli ecosistemi e la biodiversità anche nell'interesse delle future generazioni». Cosicché l'acqua deve essere protetta come elemento appartenente all'"ambiente" e come risorsa essenziale per gli ecosistemi e la permanenza di biodiversità. E questo significa che, in realtà, non solo si configura l'obbligo di prevenire e contrastare l'inquinamento delle acque – superficiali, marine o sotterranee che siano, in quanto sono 'parti' del 'tutto' che è l'ambiente – ma che la tutela ad opera della Repubblica deve essere intesa anche come gestione e utilizzo delle risorse idriche al fine di garantire l'equilibrio e la sussistenza degli ecosistemi ed il mantenimento e lo sviluppo delle biodiversità in un'ottica ecologicamente sostenibile, come richiesto dal riferimento alle future generazioni.

Esperienze in America Latina, Napoli, Editoriale Scientifica, 2016, 12; v. anche F. PASTORE, *Il "diritto all'acqua" in Francia: profili comparatistici*, in S. STAIANO (a cura di), *Acqua. Bene pubblico, risorsa non riproducibile, fattore di sviluppo*, Napoli, Jovene, 2017, 824.

⁴³ S. SILEONI, *L'acqua: una risorsa fondamentale, quale diritto?*, in *Rivista AIC*, n. 3/2016, 14.

⁴⁴ Il concetto è elaborato approfonditamente in D. ZOLO, *Il diritto all'acqua come diritto sociale e come diritto collettivo. Il caso Palestinese*, in *Diritto pubblico*, n. 1/2005, 132 ss.

⁴⁵ Cfr. S. SILEONI, *op. cit.*, 7. Sul punto anche S. STAIANO, *Note sul diritto fondamentale all'acqua*, cit., 7, che afferma in virtù di tale qualifica: «l'acqua dev'essere resa fruibile, trasportata, distribuita, in condizioni di scarsità crescente; a tanto è tenuto lo Stato, affinché il diritto non sia compromesso e negato dalla riduzione del suo oggetto a semplice merce, con il libero dispiegarsi di una pura legge della domanda e dell'offerta nella sua forma più brutale e deregolata».

La disciplina diretta della proprietà dell'acqua è dunque rimessa nella sua interezza alla legislazione ordinaria e viene affrontata principalmente all'interno di quattro disposizioni: gli artt. 822⁴⁶ e 823⁴⁷ del codice civile e gli artt. 143⁴⁸ e 144⁴⁹ del d.lgs. 29 aprile 2006, n. 152, c.d. "codice dell'ambiente", dai quali emerge un generale regime giuridico di pubblicità della proprietà della risorsa idrica ispirato ai principi di solidarietà e sostenibilità e che trova un saldo fondamento costituzionale negli artt. 2 e 42 Cost.⁵⁰ Senza peraltro che ciò impedisca di affidare la gestione del servizio idrico a operatori di mercato, fermo restando il controllo pubblico e nei limiti di operatività che garantiscano l'accesso all'acqua.

Non è questa la sede per addentrarsi nel complicato panorama

⁴⁶ «Appartengono allo Stato e fanno parte del demanio pubblico il lido del mare, la spiaggia, le rade e i porti; i fiumi, i torrenti, i laghi e le altre acque definite pubbliche dalle leggi in materia».

⁴⁷ «I beni che fanno parte del demanio pubblico sono inalienabili e non possono formare oggetto di diritti a favore di terzi, se non nei modi e nei limiti stabiliti dalle leggi che li riguardano».

⁴⁸ «Gli acquedotti, le fognature, gli impianti di depurazione e le altre infrastrutture idriche di proprietà pubblica, fino al punto di consegna e/o misurazione, fanno parte del demanio ai sensi degli articoli 822 e seguenti del codice civile e sono inalienabili se non nei modi e nei limiti stabiliti dalla legge».

⁴⁹ «1. Tutte le acque superficiali e sotterranee, ancorché non estratte dal sottosuolo, appartengono al demanio dello Stato.

2. Le acque costituiscono una risorsa che va tutelata ed utilizzata secondo criteri di solidarietà; qualsiasi loro uso è effettuato salvaguardando le aspettative ed i diritti delle generazioni future a fruire di un integro patrimonio ambientale.

3. La disciplina degli usi delle acque è finalizzata alla loro razionalizzazione, allo scopo di evitare gli sprechi e di favorire il rinnovo delle risorse, di non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la piscicoltura, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici.

4. Gli usi diversi dal consumo umano sono consentiti nei limiti nei quali le risorse idriche siano sufficienti e a condizione che non ne pregiudichino la qualità.

[...] 5. Le acque termali, minerali e per uso geotermico sono disciplinate da norme specifiche, nel rispetto del riparto delle competenze costituzionalmente determinato».

⁵⁰ Sul riferimento al principio di solidarietà v. F.R. DE MARTINO, *L'acqua come diritto fondamentale e la sua gestione pubblica*, in S. STAIANO (a cura di), *Acqua*, cit., 158-159; sul rapporto con l'art. 42 v. F. PALAZZOTTO, *Lo statuto giuridico dell'acqua tra beni demaniali e beni comuni*, ivi, 230-235.

legislativo riguardante la gestione dei servizi idrici, il quale è il risultato di diversi interventi normativi avvenuti tra la metà degli anni '90 e i primi anni '10, di un referendum del 2011 e dei principi sanciti dalla normativa europea, specialmente la direttiva quadro n. 60/2000/CE⁵¹, e per il quale il servizio idrico integrato è oggi un servizio pubblico locale di rilevanza economica la cui gestione può essere assegnata, per semplificare, o tramite gara o tramite affidamento *in house*.

Quello che interessa sottolineare a conclusione di questa breve ricostruzione è che tale disciplina, dopo la revisione costituzionale del 2022, si deve confrontare ancor di più con il principio di sostenibilità, non solo intesa come non compromissione dell'accesso alla risorsa, ma anche in relazione al ruolo dell'acqua all'interno degli ecosistemi.

4. Riflessioni finali

Come anticipato sopra, la consapevolezza della scarsità del bene acqua, soprattutto in relazione alla diversità di distribuzione della risorsa, e la maggior comprensione del rapporto diretto tra la possibilità di accesso all'acqua e la riduzione delle diseguaglianze hanno incrementato le istanze di tutela, anche costituzionale, della risorsa idrica in vari Paesi del mondo.

È innanzitutto da rilevare il numero complessivo: in 83 Stati, che equivalgono al 43 per cento degli Stati membri delle Nazioni Unite, si prevedono disposizioni costituzionali rivolte alla tutela dell'acqua nelle varie forme in cui essa sia possibile.

Brevi riflessioni sulla diffusione a livello regionale e sulle caratteristiche delle disposizioni nei vari continenti sono già state effettuate all'esito dei vari paragrafi dedicati a ciascuno di essi e in queste ultime

⁵¹ Analisi di tale disciplina per come risulta allo stato attuale si possono ritrovare in: F. TESTELLA, *Diritto all'acqua e statuto della risorsa idrica con particolare riguardo a proprietà e tariffa*, Macerata, Eum, 2021, 116-147; M. ANDREIS, R. MICALIZZI, *Acqua bene e servizio pubblico: prospettive di riforma*, in S. STAIANO (a cura di), *Acqua*, cit., 289-303.

battute ci si vuole concentrare sulle previsioni che riconoscono un diritto individuale o collettivo di accesso all'acqua sana e potabile.

Nel dettaglio, degli 83 Stati presi in considerazione, 21 prevedono una disposizione che espressamente sancisce un diritto di accesso all'acqua potabile. Dato, questo, ancor più rilevante e che assume particolare interesse anche in relazione alle circostanze richiamate poco sopra e all'inizio del contributo, se si pensa che la quasi totalità delle previsioni che riconoscono tale diritto fanno parte di Costituzioni adottate dagli anni 2000 in poi o sono state inserite con procedimenti di revisione costituzionale dopo l'inizio del terzo millennio⁵². Il che attesta quanto rapida e esponenziale sia stata la crescita di una necessità da parte di popolazioni di diverse parti del mondo di vedersi riconosciuta una garanzia al livello più alto della possibilità di accedere a una risorsa fondamentale per la vita e preconditione per la tutela di ulteriori diritti.

Tuttavia, non va dimenticato quanto già anticipato, ossia che il riconoscimento di tale diritto è prevalentemente avvenuto in quelle aree in cui nella realtà vaste fette di popolazione non hanno effettivamente la possibilità di accedere alle risorse idriche e spesso e volentieri gli Stati non hanno i mezzi per garantirglielo. Del resto, ciò non deve stupire: laddove la necessità del bene è più sentita maggiore sarà il grado normativo a cui si aspira per disciplinarne la protezione.

In conclusione, l'acqua è un elemento naturale che gioca un ruolo fondamentale per lo sviluppo, l'economia e la sussistenza non solo dell'intera umanità, ma di tutta la biosfera terrestre; in questa prospettiva, sempre più percepita, il diritto costituzionale è interrogato sul suo ruolo e su quali siano i migliori strumenti che esso possa o debba offrire in un'ottica di tutela, anche a seconda dei singoli contesti nazionali, e potrà essere di notevole interesse continuare ad osservare le varie soluzioni che potrebbero emergere sempre di più in proposito.

⁵² Fanno eccezione a questa regola solo le Costituzioni di: Sud Africa (1996) e Australia (ultima modifica, 1977).

IA vs acqua: la battaglia invisibile per le risorse e il ruolo del diritto

Valentina Cavani

Sommario: 1. L'intelligenza artificiale come *pharmakon* ambientale. – 2. L'infrastruttura invisibile: i *data center* come cuore materiale dell'IA. – 3. L'opacità strutturale: la mancanza di trasparenza sull'impatto idrico dell'IA. – 4. La dinamica squilibrata tra i centri dati IA e le comunità circostanti. – 5. Regolamentazione europea dei *data center* tra sostenibilità ambientale e sviluppo digitale. – 6. Efficienza idrica dei *data center* e il paradosso degli effetti di rimbalzo. – 7. L'AI Act e la tutela ambientale: un'occasione mancata? – 8. La trasparenza ambientale come strategia regolativa: un passo necessario, ma non sufficiente. – 9. L'intelligenza artificiale alla prova dei principi di diritto ambientale. – 10. Gli Stati Uniti tra *laissez-faire* e nuove sfide ambientali. – 11. Conclusioni.

1. L'intelligenza artificiale come *pharmakon* ambientale

Negli ultimi anni, l'intelligenza artificiale generativa ha conosciuto una crescita esponenziale, sia in termini di capacità computazionale sia di diffusione presso il grande pubblico. L'introduzione di ChatGPT da parte di OpenAI nel 2022 – capace di raggiungere oltre 100 milioni di utenti in appena due mesi – ha segnato un punto di svolta nell'adozione di massa di sistemi di IA. Da allora, l'industria tecnologica ha accelerato lo sviluppo e la distribuzione di modelli sempre più sofisticati, promuovendone l'uso in ambiti che spaziano dall'intrattenimento alla sanità, dalla comunicazione personale alla modellazione climatica.

Proprio quest'ultimo impiego testimonia il potenziale positivo dell'IA per l'ambiente: diversi progetti hanno dimostrato come essa possa contribuire a monitorare fenomeni atmosferici estremi, migliorare

l'efficienza energetica o ottimizzare l'uso delle risorse naturali¹. In questo contesto si inserisce il crescente interesse per l'“IA per la sostenibilità” (*AI for sustainability*), ambito di ricerca e sviluppo che mira a mettere le capacità predittive, computazionali e ottimizzative dell'intelligenza artificiale al servizio degli obiettivi ambientali². Importanti studiosi³ hanno sottolineato come, se orientati in modo responsabile, i sistemi di IA possano affrontare alcune delle sfide ambientali e sociali più urgenti, contribuendo a costruire una «buona società basata sull'intelligenza artificiale»⁴, in cui il potenziamento dell'azione umana sia

¹ Nel mese di luglio 2025, il Comitato esecutivo per la tecnologia delle Nazioni Unite ha rilasciato un documento tecnico intitolato *Artificial Intelligence for Climate Action: Advancing Mitigation and Adaptation in Developing Countries*, il quale illustra le opportunità e le sfide dell'uso dell'intelligenza artificiale per l'azione climatica, con particolare attenzione ai Paesi meno sviluppati. Secondo il documento: «AI-driven solutions can become potential enablers for adapting to climate impacts and reducing GHG emissions»; «AI can enable the reduction of energy waste and the optimization of energy consumption and distribution; scale the identification of emission hotspots and optimize industrial processes while tracking their carbon footprint»; «AI can enhance early warning systems by predicting extreme weather events such as hurricanes, floods, and droughts, enabling proactive disaster risk management»; «Additionally, AI-assisted resource and ecosystem management solutions can help improve biodiversity conservation, sustainable water use, and land restoration efforts when coupled with satellite imagery»: https://unfccc.int/ttclear/misc/_StaticFiles/gnwoerk_static/AI4climate-action/f2922b97c4cf431996c468e622127eb5/112f8be560ea447dab5ff2e53ab3f6e4.pdf. Anche istituti di ricerca come l'International Water Management Institute (IWMI) e i suoi partner stanno già sfruttando strumenti basati sull'intelligenza artificiale per prevedere la siccità, mappare le falde acquifere, ottimizzare l'irrigazione, prevedere la disponibilità idrica, migliorare il riutilizzo delle acque reflue, rilevare perdite, potenziare le reti di distribuzione e identificare lacune politiche per rafforzare la resilienza idrica e climatica: <https://www.iwmi.org/news/new-google-supported-tool-will-harness-ai-and-satellite-data-for-water-reuse-in-mena/>.

² Questo ambito di ricerca si è sviluppato soprattutto grazie alla nota organizzazione no-profit “AI4Good”, il cui obiettivo è esplorare l'applicazione dell'intelligenza artificiale per raggiungere la sostenibilità e per raggiungere gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDG) delle Nazioni Unite: <https://ai4good.org/>.

³ Il rinomato eticista dell'IA Mark Coeckelbergh propone l'“IA per il clima”, suggerendo di utilizzare l'IA «per affrontare i problemi ambientali e climatici»: M. COECKELBERGH, *AI for climate: freedom, justice, and other ethical and political challenges*, in *AI Ethics*, n. 1/2021, 67-72.

⁴ L. FLORIDI, J. COWLS, M. BELTRAMETTI, R. CHATILA, P. CHAZERAND, V. DIGNUM,

finalizzato a promuovere equità, benessere collettivo e sostenibilità.

A fronte dell'ottimismo insito nel paradigma dell'*IA per la sostenibilità*, si fa strada un'esigenza complementare e imprescindibile: interrogarsi sulla *sostenibilità dell'IA* stessa⁵. L'espressione richiama la necessità di valutare criticamente i costi ambientali e materiali legati allo sviluppo, alla distribuzione e all'utilizzo dei sistemi di IA. Il funzionamento di questi modelli – soprattutto quelli di grandi dimensioni – richiede un'ingente quantità di risorse: energia elettrica, minerali rari, suolo e, non da ultimo, acqua. Eppure, questi costi rimangono in larga parte invisibili per l'utente finale, alimentando una percezione dell'IA come tecnologia “immateriale”, quasi priva di corpo e quindi di impatto. Termini come ‘cloud’, ‘virtual assistant’ o ‘cyberspace’ contribuiscono a questa rappresentazione de-materializzata, mentre i costi ambientali reali – legati per esempio al raffreddamento dei *data center*, al consumo idrico dei *server* o al ciclo di vita dei dispositivi elettronici – rimangono in secondo piano nel dibattito pubblico⁶.

Questa apparente assenza di frizione, tuttavia, è solo l'altra faccia di un'economia digitale fondata su pratiche intensamente estrattive. L'ecosistema computazionale che sostiene l'IA, finalizzato a far scomparire la tecnologia dalla vista dell'utente, si basa su catene di approvvigionamento globali, su una logistica energivora e su massicce infrastrutture materiali⁷. I molteplici costi ambientali legati allo sviluppo,

C. LUETGE, R. MADELIN, U. PAGALLO, F. ROSSI, B. SCHAFER, P. VALCKE, E. VAYENA, *AI4People – an ethical framework for a good AI society: opportunities, risks, principles, and recommendations*, in *Minds and Machines*, n. 28(4)/2018, 689-707.

⁵ A. VAN WYNSBERGHE, *Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI*, in *AI Ethics*, n. 1(3)/2021, 213-218. S. FALK, A. VAN WYNSBERGHE, *Challenging AI for Sustainability: what ought it mean?*, in *AI Ethics*, n. 4/2024, 1345-1355.

⁶ Come afferma Bratton: «Non c'è nulla di immateriale nelle informazioni prive di massa che richiedono tanta energia dalla Terra»: B. H. BRATTON, *The Stack: On Software and Sovereignty*, Cambridge (MA), MIT Press, 2015, 29; Carr e altri attribuiscono alle grandi aziende digitali il fatto che «il concetto di cloud sia in linea con la loro pratica dell'oscurità»: C. CARR *et al.*, *Mapping the Clouds: The Matter of Data centers*, in *Journal of Maps*, n. 18/2022, 106; si veda anche N. ENSMINGER, *The Cloud Is a Factory*, in T. S. MULLANEY, B. PETERS, M. HICKS, K. PHILIP (a cura di), *Your Computer is on Fire*, Cambridge (MA), MIT Press, 2021.

⁷ M. MULDOON, J. GRAHAM, C. CANT, *Feeding the Machine: The Hidden Human Labour Powering A.I.*, Edimburgo, Canongate, 2024.

all'addestramento e all'implementazione dell'IA hanno impatti sostanziali e a lungo termine sugli ecosistemi, sulla biodiversità e sulla salute umana⁸, molti dei quali difficili da quantificare e destinati a gravare in misura sproporzionata sulle comunità che non hanno voce nei processi decisionali⁹.

Come illustrato nel progetto *Anatomy of an AI System*, elaborato nel 2018 da Kate Crawford e Vladan Joler¹⁰, ogni dispositivo digitale racchiude una lunga storia materiale fatta di miniere, lavoro umano, trasporto globale e produzione industriale – una storia che resta spesso occultata agli occhi del consumatore. Questo lavoro, che si presenta come una vera e propria mappa concettuale del sistema dietro l'assistente vocale Amazon Echo, ha l'obiettivo di rendere visibile l'infrastruttura nascosta che rende possibile il funzionamento dell'intelligenza artificiale. Dall'estrazione dei minerali necessari alla fabbricazione dei *chip* fino allo smaltimento del dispositivo, passando per i *data center* e l'energia che li alimenta, il progetto mostra come ogni istanza "materiale" di IA si fondi in realtà su una vasta rete di processi fisici, economici e ambientali. La mappa si propone così come una contro-narrazione rispetto alla retorica dell'automazione "leggera" e incorporea, rivelando le profonde implicazioni sociali e ambientali dell'intelligenza artificiale di uso quotidiano.

E sebbene il progetto prenda in esame un dispositivo specifico – l'Amazon Echo – il suo approccio può essere esteso a qualsiasi altro

⁸ A. FISKE *et al.*, *Climate change and health: the next challenge of ethical AI*, in *The Lancet Global Health*, n. 13(7)/2025, e1314-e1320.

⁹ S. REN, A. WIEMAN, *The Uneven Distribution of AI's Environmental Impacts*, *Harvard Business Review*, 15 luglio 2024. Nel suo rapporto *Landscape* del 2023, l'AI Now Institute traccia parallelismi tra la distribuzione regionale non uniforme dei costi ambientali dell'intelligenza artificiale e le pratiche storiche del colonialismo e del capitalismo razziale: A. KAK, S. MYERS WEST, *AI Now 2023 Landscape: Confronting Tech Power*, AI Now Institute, 11 aprile 2023, <https://www.ai-now.local/2023-landscape>. Inoltre, l'UNESCO sconsiglia l'uso dell'intelligenza artificiale se comporta impatti ambientali negativi sproporzionati: UNESCO, *Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence*, Parigi, 23 novembre 2021, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377897>.

¹⁰ K. CRAWFORD, V. JOLER, *Anatomy of an AI system*, 2018, <https://anatomyof.ai/>. I concetti vengono poi approfonditi da Crawford in *Atlas of AI: Power, Politics, and the Planetary Costs of Artificial Intelligence*, New Haven, Yale University Press, 2021.

oggetto tecnologico: *smartphone*, *laptop*, *chatbot* o visori immersivi. Tutti sono nodi visibili di una rete molto più ampia e opaca, fatta di infrastrutture, consumo di risorse naturali, lavoro spesso invisibilizzato e impatti ambientali rilevanti.

In questo quadro, affermazioni come quella secondo cui il percorso verso la “superintelligenza” è talmente veloce e ineludibile che, presto, l’IA sarà «troppo economica per essere misurata»¹¹ ripropongono retoriche di abbondanza illimitata già viste, ad esempio, nella fase iniziale dello sviluppo del nucleare¹². Promesse che non solo si sono rivelate infondate, ma che rischiano di oscurare le disuguaglianze ambientali e sociali legate all’infrastrutturazione dell’IA. Chi vive nei pressi di *data center* energivori o subisce gli effetti dell’estrazione mineraria per la produzione di *hardware* difficilmente percepisce l’IA come “economica”: il prezzo della sua espansione, anche in termini idrici, è spesso pagato da chi ha meno voce nei processi decisionali, perpetuando forme strutturali di ingiustizia ambientale¹³.

Tra gli impatti meno discussi vi è il consumo d’acqua, destinata principalmente al raffreddamento dei *data center* o alla produzione di energia per le infrastrutture digitali. In contesti già segnati da stress idrico, questo uso intensivo può aggravare le disuguaglianze ambientali e territoriali. Eppure, la stessa IA può essere impiegata per «rivoluzionare la gestione delle risorse idriche e promuovere un uso sostenibile dell’acqua»¹⁴, giocando un ruolo fondamentale «nella previsione della domanda di acqua

¹¹ Così si esprime S. Altman, CEO di OpenAI, nelle pagine del suo blog: S. ALTMAN, *The Gentle Singularity*, 10 giugno 2025, <https://blog.samaltman.com/the-gentle-singularity>.

¹² L’espressione “too cheap to meter” è stata coniata dal presidente della Commissione per l’energia atomica Lewis Strauss in un discorso del 1954, in cui si prometteva elettricità abbondante e a basso costo dall’energia nucleare per le generazioni future. Sulla storia della frase si veda: T. WELLOCK, *Too Cheap to Meter: A History of the Phrase*, in *United States Nuclear Regulatory Commission (NRC)*, Washington DC, 2021, <https://www.nrc.gov/reading-rm/basic-ref/students/history-101/too-cheap-to-meter>.

¹³ M. MARABELLI, R.M. DAVISON, *Artificial intelligence and the environment: ethical challenges and strategic opportunities for organizations*, in *Journal of Strategic Information Systems*, n. 34/2025.

¹⁴ Commissione europea, *Strategia europea per la resilienza idrica*, 4 giugno 2025: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52025DC0280>, 17.

e nell'ottimizzazione dei sistemi di distribuzione»¹⁵.

Questa duplice natura dell'IA – strumento potenzialmente salvifico ma anche fonte di impatti ambientali significativi – richiama alla mente la nozione di *pharmakon*, concetto di origine platonica recuperato e sviluppato da Bernard Stiegler nella sua riflessione sulla tecnica¹⁶. Il *pharmakon* è al contempo cura e veleno, rimedio e minaccia: una sostanza ambivalente il cui effetto dipende dal contesto, dall'uso e dal dosaggio. Nell'ambito tecnologico, il *pharmakon* descrive bene la tensione tra progresso e danno, tra emancipazione e dipendenza. Stiegler impiega tale concetto per interrogarsi sugli effetti cognitivi e culturali della tecnica digitale, trascurando tuttavia – come notato da alcune letture critiche – le sue implicazioni materiali e ambientali.

Integrare nella nozione di *pharmakon* anche le condizioni materiali della tecnologia – e in particolare quelle ecologiche – significa riconoscere che il danno o il beneficio di un'innovazione non risiede soltanto nei suoi effetti percettivi o epistemici, ma anche nei suoi impatti tangibili sugli ecosistemi e sulle comunità¹⁷. L'IA può quindi essere interpretata come un *pharmakon ambientale*¹⁸: uno strumento che può contribuire alla lotta contro il cambiamento climatico, ma che, se adottato in modo incontrollato e senza consapevolezza dei suoi costi nascosti, rischia di aggravare le crisi ecologiche esistenti. Questa prospettiva consente di superare l'alternativa semplicistica secondo cui l'IA

¹⁵ *United Nations Framework Convention on Climate Change, Artificial Intelligence for Climate Action in Developing Countries: Opportunities, Challenges and Risks*, Information Note, novembre 2024: https://unfccc.int/ttclear/misc/_StaticFiles/gnwoerk_static/AI4climateaction/28da5d97d7824d16b7f68a225c0e3493/a4553e8f70f74be3bc37c929b73d9974.pdf.

¹⁶ B. STIEGLER, *La technique et le temps, 1. La faute d'Épiméthée*, Paris, Galilée, 1994.

¹⁷ J. KEMPER, *The Environment and Frictionless Technology: For a New Conceptualization of the Pharmakon and the Twenty-First-Century User*, in *Media Theory*, n. 6(2)/2022, 56-76. I numerosi avvertimenti sui costi ambientali dell'IA non hanno suscitato lo stesso livello di dibattito di altre preoccupazioni legate all'IA. Hagendorff inserisce l'impronta ecologica dell'IA nell'elenco dei "punti ciechi" dell'etica dell'IA: T. HAGENDORFF, *Blind spots in AI ethics*, in *AI & Ethics*, 2021.

¹⁸ L. CELLARD, C. PARKER, F. HAINES, *Beyond AI as an environmental pharmakon: Principles for reopening the problem-space of machine learning's carbon footprint*, in *Environment and Planning E: Nature and Space*, n. 3(8)/2025.

sarebbe “buona” o “cattiva” per il clima. Come ogni tecnologia, essa va analizzata nella sua complessità sistemica, considerando chi sostiene i costi, chi ne trae beneficio e quali logiche ne guidano l’espansione.

2. L’infrastruttura invisibile: i *data center* come cuore materiale dell’IA

Nonostante l’intelligenza artificiale sia spesso rappresentata come una tecnologia immateriale, il suo funzionamento dipende da un’infrastruttura fisica massiccia e altamente impattante: i *data center*¹⁹. I *data center* sono strutture industriali che possono estendersi per decine di migliaia di metri quadrati, spesso più grandi di un campo da calcio.

Sebbene i *data center* esistano dagli anni ’40 (il primo fu costruito presso l’Università della Pennsylvania nel 1945 per supportare il primo computer digitale per uso generale, l’ENIAC), l’ascesa dell’intelligenza artificiale generativa ha accelerato drasticamente il ritmo della costruzione di tali strutture²⁰.

Attualmente, si contano quasi 11.000 *data center* nel mondo, con una forte concentrazione negli Stati Uniti, che da soli ospitano quasi 5.000 strutture²¹. Di queste, molte sono destinate a supportare le attività delle grandi aziende tecnologiche – tra cui Amazon, Google, Meta e Microsoft – e sono progettate per rispondere a volumi di calcolo e traffico dati in continua crescita. I cosiddetti *hyperscale data center*, concepiti per reggere carichi elevatissimi, sono edifici di dimensioni paragonabili a centri commerciali o stadi, e consumano quantità di energia

¹⁹ Non esiste una definizione univoca di *data center*. La legislazione dell’UE definisce i *data center* come «strutture industriali o gruppi di strutture utilizzate per ospitare, connettere e gestire sistemi informatici, server e apparecchiature associate per l’archiviazione, l’elaborazione e la distribuzione dei dati, nonché altre attività correlate»: Direttiva EED, art. 2(49).

²⁰ Nella prima metà del 2023 si è registrato il più grande volume di costruzione di *data center* nella storia dei mercati primari: <https://www.cbre.com/insights/reports/north-america-data-center-trends-h1-2023>.

²¹ <https://www.datacentermap.com/datacenters/>.

e risorse idriche comparabili a quelle di intere città²².

Dal punto di vista funzionale, i *data center* ospitano migliaia di *server* impilati in *rack*, in ambienti climatizzati a temperatura controllata²³. Quando un utente inserisce un prompt su una piattaforma di IA generativa come ChatGPT, la richiesta viene inviata a questi *server* remoti, dove viene elaborata attraverso operazioni computazionali intensive, che generano calore e richiedono immediati sistemi di raffreddamento. È proprio in questo ciclo operativo – invisibile all'utente finale – che si annidano gli impatti ambientali più significativi.

Uno dei fattori più critici riguarda il consumo idrico. L'acqua è utilizzata nei *data center* principalmente per raffreddare i sistemi, evitando che il calore eccessivo danneggi i componenti elettronici o ne comprometta l'efficienza²⁴. Il processo prevede l'uso di dispositivi come i *Computer Room Air Handler* (CRAH), che convogliano l'aria calda verso serpentine contenenti acqua refrigerata. L'aria calda cede calore all'acqua, che a sua volta deve essere raffreddata attraverso torri di raffreddamento. In questo passaggio, una porzione significativa dell'acqua evapora e deve essere reintegrata con acqua dolce: si tratta del punto in cui avviene il maggior consumo effettivo di risorsa idrica.

La qualità dell'acqua utilizzata è un aspetto altrettanto cruciale, spesso trascurato. Per garantire l'igiene e la manutenzione delle apparecchiature, l'acqua deve essere trattata con additivi chimici anti-corrosione e anti-incrostazione. Ciò comporta che l'acqua, una volta scaricata, non ritorna neutrale nel ciclo naturale: può contenere residui di cloro, rame, ferro e altre sostanze che necessitano di processi di depurazione complessi. Inoltre, la restituzione di acqua a temperature più elevate altera gli equilibri degli ecosistemi acquatici, riducendo l'ossigeno disponibile e mettendo a rischio la biodiversità locale. L'uso di acqua potabile – ancora prevalente in molti siti – rappresenta poi un ulteriore aggravio, perché sottrae direttamente risorse alle comunità e

²² Negli Stati Uniti, i *data center* consumano circa 1,7 miliardi di litri di acqua al giorno, una frazione del consumo idrico giornaliero totale della nazione (1.218 miliardi di litri): D. MYTTON, *Data Centre Water Consumption*, in *npj Clean Water*, n. 4/2021.

²³ A. GOMSTYN, A. JONKER, *What is an AI data center?*, IBM, 21 febbraio 2025.

²⁴ L. KARIMI *et al.*, *Water-Energy Tradeoffs in Data centers: A Case Study in Hot-Arid Climates*, in *Resources, Conservation and Recycling*, n. 181/2022, 106194.

agli usi agricoli o domestici ²⁵. La qualità, dunque, non è un elemento secondario: essa rende evidente come i *data center* non consumino soltanto acqua “in quantità”, ma la trasformino in modi che moltiplicano gli effetti ambientali e sociali del loro funzionamento.

Secondo un recente studio del Lawrence Berkeley National Laboratory ²⁶, nel 2023 i soli *data center* statunitensi hanno consumato circa 66 miliardi di litri di acqua direttamente nelle loro strutture. Circa l’80% di quest’acqua evapora e non ritorna nei circuiti idrici locali, aggravando la pressione sulle risorse idriche, soprattutto in regioni aride o soggette a siccità. La restante parte, sotto forma di acque reflue, viene scaricata negli impianti municipali, che spesso non sono attrezzati per gestire volumi così elevati.

Ma l’impatto idrico dei *data center* non si esaurisce nel solo consumo diretto in loco ²⁷. Una quota significativa deriva dal consumo di elettricità, dal momento che molte centrali elettriche che alimentano i *data center* – in particolare quelle a combustibili fossili – utilizzano acqua per il raffreddamento a vapore. Nel 2023, l’impronta idrica indiretta dei *data center* negli Stati Uniti è stata stimata in oltre 800 miliardi di litri d’acqua, un dato destinato a crescere considerevolmente nei prossimi anni, in parallelo con l’aumento della domanda energetica del settore, che potrebbe superare i 1.000 TWh annui entro il 2030 ²⁸.

A ciò si aggiunge una terza, meno visibile ma altrettanto rilevante, fonte di consumo idrico: la produzione dei *chip* e dei *server*. Ogni *data center* contiene decine di migliaia di unità dotate di CPU, GPU e memorie, tutte realizzate attraverso processi industriali ad altissimo consumo d’acqua. La produzione di semiconduttori richiede infatti acqua ultrapura, necessaria per le fasi di incisione, risciacquo e pulizia dei componenti. Un impianto medio può arrivare a consumare fino a 45

²⁵ D. MYTTON, *Data Centre Water Consumption*, cit.

²⁶ A. SHEHABI, S.J. SMITH, A. HUBBARD, A. NEWKIRK, N. LEI, M.A. B. SIDDIQ, B. HOLECEK, J. KOOMEY, E. MASANET, D. SARTOR, *2024 United States Data center Energy Usage Report*, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley (CA), 2024.

²⁷ A.P. PRIVETTE, *AI’s Challenging Waters*, in *Center for Secure Water (C4SW)*, University of Illinois Urbana-Champaign, 11 ottobre 2024.

²⁸ A. DE VRIES, *The growing energy footprint of artificial intelligence*, in *Joule*, n. 7/2018, 2191-2194.

milioni di litri al giorno di acqua ultrapura, che a sua volta necessita di migliaia di litri di acqua corrente per essere generata. Ogni singolo *chip* installato in un *server* ha dunque già alle spalle una significativa impronta idrica prima ancora di essere messo in funzione.

Per misurare in maniera sistemica questi impatti, è stato introdotto un indice chiamato Water Usage Effectiveness (WUE)²⁹, che indica il consumo idrico per ogni kilowattora di energia utilizzata dal *data center*. Il WUE medio si attesta attorno a 1,9 litri/kWh, ma questo valore varia sensibilmente in base al clima, alla tecnologia impiegata e alla localizzazione del sito. Nei climi caldi e secchi, il fabbisogno idrico aumenta in modo esponenziale, rendendo il funzionamento dei *data center* particolarmente problematico in contesti già vulnerabili sul piano ambientale.

Questa complessa catena di consumo – dal raffreddamento dei *server* alla produzione dei *chip*, passando per l'energia elettrica necessaria all'elaborazione dei dati – dimostra che l'intelligenza artificiale, lungi dall'essere "smaterializzata", si fonda su un'infrastruttura industriale fortemente idrovora. In un mondo in cui, secondo lo *United Nations World Water Development Report*, due terzi della popolazione mondiale affrontano carenze idriche almeno un mese all'anno³⁰, ignorare gli effetti sistemici del digitale sull'acqua significa contribuire a perpetuare modelli tecnologici insostenibili.

3. L'opacità strutturale: la mancanza di trasparenza sull'impatto idrico dell'IA

L'impronta ambientale dei *data center* di intelligenza artificiale rimane in larga misura invisibile a causa della persistente opacità

²⁹ Il WUE è una metrica di sostenibilità sviluppata, nel 2011, da The Green Grid, un consorzio industriale no-profit, con lo scopo di misurare quanta acqua viene utilizzata (per raffreddamento, controllo dell'umidità, produzione elettrica locale se applicabile) in rapporto al consumo energetico dell'IT (energia utilizzata per l'equipaggiamento informatico). La formula è questa: $WUE = (\text{volume annuo di acqua usata}) \div (\text{energia IT consumata in kWh})$.

³⁰ <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384819>.

informativa da parte delle imprese tecnologiche che li gestiscono. In assenza di un quadro normativo vincolante che imponga obblighi di *disclosure*, ricercatori, legislatori e opinione pubblica possono fare affidamento esclusivamente sui dati – sporadici e selettivi – resi disponibili dai principali attori privati. Questa opacità si alimenta non solo della carenza di meccanismi indipendenti di verifica, ma anche di un uso distorto della categoria giuridica del segreto commerciale³¹: uno strumento nato per tutelare l'innovazione e incentivare la concorrenza che, in questo caso, viene piegato a sottrarre al controllo democratico informazioni essenziali su beni comuni vitali come l'acqua.

Solo in seguito alla crescente pressione esercitata dall'opinione pubblica, da inchieste giornalistiche e da proteste locali, alcuni grandi operatori hanno scelto di adottare condotte di maggiore apertura, pubblicando dati generali relativi ai consumi idrici. Tuttavia, anche queste comunicazioni risultano parziali e non comparabili: Google, ad esempio, ha dichiarato che nel 2023 i suoi *data center* hanno consumato circa 6,4 miliardi di galloni d'acqua (quasi un miliardo in più rispetto al 2022)³², mentre Amazon ha preferito comunicare un valore relativo – 0,18 litri di acqua per kilowattora – senza riportare il consumo totale o i dati per singola infrastruttura³³. Microsoft, infine, ha reso note cifre aggregate, passando da 1,7 miliardi di galloni nel 2022 a 2 miliardi nel 2023, senza dettagliare i consumi dei singoli *data center*³⁴. La disomogeneità delle

³¹ È quanto accaduto, ad esempio, a The Dalles, nell'Oregon, sede di un grande *data center* Google. Nel 2022, l'amministrazione cittadina ha intentato una causa per conto di Google contro uno dei principali quotidiani locali nel tentativo di mantenere riservati i dati relativi al consumo di acqua della struttura informatica, ritenendo che lo stesso fosse un "segreto commerciale", «perché l'azienda era preoccupata che i concorrenti sapessero come raffredda i suoi server...»: <https://www.oregonlive.com/silicon-forest/2022/12/the-dalles-settles-public-records-lawsuit-over-googles-data-centers-will-disclose-water-use.html>. Dopo una battaglia legale durata 13 mesi, la città ha ritirato la causa e ha accettato di pubblicare i dati.

³² Cfr. Google Environmental Report 2024: <https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2024-environmental-report.pdf>.

³³ Cfr. Amazon Sustainability Report 2023: <https://sustainability.aboutamazon.com/2023-report>.

³⁴ Cfr. Microsoft Environmental Sustainability Report 2024: <https://cdn-dynmedia-1.microsoft.com/is/content/microsoftcorp/microsoft/msc/documents/presentations/CSR/Microsoft-2024-Environmental-Sustainability-Report.pdf>.

metriche, unita alla mancanza di informazioni granulari, rende di fatto impossibile qualsiasi analisi comparativa tra aziende, regioni o specifici impianti.

Questi dati, pur utili a fini divulgativi, non risolvono il nodo centrale: l'assenza di metodi standardizzati per misurare e comparare l'impatto idrico dell'intelligenza artificiale. Senza criteri comuni e controlli indipendenti, le imprese restano libere di decidere quali informazioni pubblicare e quali omettere. Di conseguenza, gli studi scientifici sono costretti a ricorrere a stime indirette, spesso con ampi margini di incertezza. È il caso, ad esempio, delle ricerche condotte dall'Università della California Riverside, che hanno stimato come l'addestramento di un modello linguistico di grandi dimensioni, come GPT-3, possa richiedere oltre 5 milioni di litri d'acqua, mentre ogni 10-30 risposte generate da ChatGPT corrispondono al consumo di una bottiglia da mezzo litro³⁵. Con l'arrivo di modelli ancora più complessi come GPT-4 o LLaMA 3-70B, questi valori sono destinati ad aumentare, aggravando l'impatto sulla disponibilità di acqua dolce.

Eppure, mentre l'industria dell'IA è pronta a investire risorse ingenti nello sviluppo di applicazioni cosiddette "green", le comunità e gli ecosistemi direttamente coinvolti nella catena del valore dell'IA restano privi di informazioni fondamentali sulla disponibilità reale delle risorse idriche. Si configura così una forma di "ignoranza strategica"³⁶: la mancata pubblicazione di dati circostanziati non è casuale, ma funzionale a proteggere operazioni e profitti che potrebbero essere messi in discussione qualora emergessero dettagli più precisi sull'impatto sociale e ambientale.

Questa mancanza di trasparenza non riguarda soltanto i consumi effettivi, ma si estende a monte alla disponibilità stessa di acqua nei territori che ospitano i *data center*. Le comunità locali, infatti, spesso non dispongono degli strumenti per calcolare quanta acqua sia realmente accessibile e in che misura i prelievi industriali possano comprometterne

³⁵ S. REN, Y. HUANG, N. LIU, P. LI, G. GAO, Z. LIU, *Making AI Less "Thirsty": Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models*, in *arXiv:2304.03271*, 29 ottobre 2023.

³⁶ L. MCGOEY, *The unknowners: how strategic ignorance rules the world*, Londra, Bloomsbury, 2019.

l'uso umano o agricolo. Non a caso, una delle richieste più frequenti – e regolarmente disattese – è quella di condurre studi idrogeologici indipendenti in grado di stabilire la reale capacità delle falde e degli ecosistemi di sostenere l'estrazione³⁷.

L'opacità informativa, dunque, non è neutra. Essa produce conseguenze gravi non solo sul piano ambientale, ma anche su quello giuridico e democratico. In assenza di informazioni accessibili, le comunità locali – spesso già vulnerabili e colpite da stress idrico – non possono sapere quali aziende utilizzino le loro risorse né in quali quantità; i legislatori restano privi di strumenti per normare il settore o imporre limiti; e persino gli sviluppatori faticano a progettare modelli più efficienti dal punto di vista idrico. La trasparenza ambientale non è quindi un accessorio, ma una condizione necessaria perché l'innovazione tecnologica sia compatibile con i diritti umani e con i limiti del pianeta³⁸. Le stime più recenti prevedono che, entro il 2027, il consumo globale di acqua dolce legato alle applicazioni di IA possa raggiungere tra i 4,2 e i 6,6 miliardi di metri cubi – più di quattro volte il consumo annuo della Danimarca³⁹. In questo scenario, l'opacità non è soltanto tecnicamente inadeguata, ma politicamente irresponsabile. Una *governance*

³⁷ Era questa, ad esempio, una delle principali richieste delle comunità del Lickan Antay durante le loro proteste contro l'estrazione del litio ad alto consumo idrico nel deserto di Atacama (Cile): «The ideal situation would had been one in which they would have done a study to assess the capacity of the salt flat to keep being exploited in the way it is now. This study does not exist. We have a sick person, but a sick person who has not gotten any exam to check their status. It's unknown whether this person's status is recent, getting into an illness, in the middle of it, or if this is a terminally ill patient. We do not know that»: S. LEHUEDÉ, *An elemental ethics for artificial intelligence: water as resistance within AI's value chain*, in *AI & Society*, n. 40/2025. Nel 2019 un tribunale ambientale cileno ha ammesso che sussisteva «incertezza scientifica» riguardo alla disponibilità idrica nell'area: Primer Tribunal Ambiental (2019) Comunidad Indígena Atacameña de Peine con Superintendencia del Medio Ambiente: <https://www.portaljudicial1ta.cl/sgc-web/ver-causa.html?rol=R-17-2019&doc=2539>.

³⁸ S. LUCCIONI, B. GAMAZAYCHIKOV, T.A. DA COSTA, E. STRUBELL, *Misinformation by Omission: The Need for More Environmental Transparency in AI*, in *arXiv:2506.15572v1*, 18 giugno 2025; P. BEHRENS, L. SCHERER, R. WANG, J. YI, M. DREWS, J. KRISHNA, M.A.D. LARSEN, C. SCHAIBLE, *Enforcing and improving water data reporting in the energy system is urgently needed*, in *Next Energy*, n. 2/2024.

³⁹ S. REN, Y. HUANG, N. LIU, P. LI, G. GAO, Z. LIU, *Making AI Less "Thirsty"*, cit.

democratica dell'intelligenza artificiale non può prescindere dalla visibilità degli impatti ambientali: senza trasparenza, infatti, diventa impossibile garantire l'applicazione dei principi di precauzione, partecipazione e responsabilità che costituiscono il cuore del diritto ambientale.

4. La dinamica squilibrata tra i centri dati IA e le comunità circostanti

Il consumo idrico dei *data center* entra sempre più spesso in diretto conflitto con l'uso umano dell'acqua, inteso come diritto fondamentale e prioritario. Non si tratta soltanto di una questione di gestione tecnica delle risorse, ma di una vera e propria competizione tra esigenze vitali e bisogni artificiali: da un lato l'acqua necessaria per bere, coltivare, vivere; dall'altro, l'acqua impiegata per raffreddare le infrastrutture che sostengono l'intelligenza artificiale. Questa tensione configura un inedito scenario in cui il fabbisogno delle macchine si pone in concorrenza con quello degli esseri umani, dando vita a una battaglia silenziosa per l'accesso a una risorsa naturale insostituibile.

Il conflitto si manifesta in modo particolarmente drammatico nei territori già segnati da scarsità idrica, dove la pressione sulle risorse è maggiore e i margini di tolleranza quasi nulli. In questi contesti – generalmente periferici, vulnerabili e a basso potere contrattuale – l'insediamento dei *data center* produce una forma di ingiustizia ambientale che richiama il concetto di “zona di sacrificio”⁴⁰: aree in cui si concentrano i costi ambientali e sociali necessari a sostenere lo stile di vita digitale e ad alta intensità energetica dei centri globali.

Nonostante ciò, è proprio in queste zone che l'espansione dei centri dati è spesso incentivata attivamente da governi nazionali e locali, attraverso agevolazioni fiscali, concessioni immobiliari e un ridotto controllo normativo, nel tentativo di attrarre investimenti e promuovere la digitalizzazione.

⁴⁰ M.L. DE SOUZA, ‘Sacrifice Zone’: The Environment-Territory-Place of Disposable Lives, in *Community Development Journal*, n. 56(2)/2021, 220-243.

È quanto accade, ad esempio, in India, dove città come Bengaluru – già fortemente colpite dalla crisi idrica – sono state scelte come hub per l’espansione delle infrastrutture cloud di grandi multinazionali tecnologiche. Qui, si stima che i *data center* consumino attualmente circa 8 milioni di litri d’acqua al giorno, in una città che ha vissuto la peggiore siccità degli ultimi cinquecento anni. Nonostante la crescente preoccupazione pubblica e i boicottaggi elettorali legati alla scarsità d’acqua, il ruolo dei *data center* in questo quadro resta ampiamente ignorato nel dibattito pubblico ⁴¹.

Un caso emblematico è anche quello dell’Uruguay. Nel pieno della peggiore siccità degli ultimi 74 anni, il governo ha autorizzato la costruzione di un *data center* Google, scatenando un’ondata di indignazione popolare. L’Uruguay è stato, nel 2004, uno dei primi Paesi al mondo a riconoscere nella propria Costituzione il diritto umano all’acqua, affermando il principio della sua gestione pubblica e partecipata, con priorità al consumo umano. Tuttavia, secondo molti attivisti, questa promessa è stata tradita. La retorica del progresso tecnologico ha finito per mettere in secondo piano le garanzie costituzionali, generando una privatizzazione di fatto della risorsa. Le proteste popolari – spesso accompagnate dallo slogan “No es sequía, es saqueo” – denunciano apertamente lo scarto tra la norma e la prassi, tra i diritti sanciti e le scelte politiche concrete. Come ha affermato Carmen Sosa, membro della Commissione Nazionale per la Difesa dell’Acqua e della Vita e storica militante per il diritto all’acqua, rispettare davvero la Costituzione richiederebbe «decisioni politiche, come cambiare il modello produttivo» e quindi «abbandonare il modello capitalista»; ma «nessuno è disposto a farlo» nonostante «le nostre vite dipendano da questo» ⁴².

Una dinamica analoga si riscontra in Cile, dove la crisi idrica ha colpito oltre metà della popolazione nazionale ⁴³. Qui, le aziende tecnologiche transnazionali hanno trovato terreno fertile per investire in nuovi hub digitali, spesso con l’appoggio delle istituzioni. La protesta cilena

⁴¹ <https://www.lawfaremedia.org/article/ai-data-centers-threaten-global-water-security>.

⁴² <https://elacontecer.com.uy/2023/08/14/carmen-sosa-de-la-comision-en-defensa-del-agua-y-la-vida-los-mega-proyectos-dejan-un-pasivo-ambiental-que-pagamos-nosotros/>.

⁴³ <https://news.mongabay.com/2023/11/the-cloud-vs-drought-water-hog-data-centers-threaten-latin-america-critics-say/>.

si è articolata attraverso movimenti come MOSACAT (Movimiento Social Asamblea Cerrillos contra el Agua para Tecnología), che si è opposto alla costruzione di un *data center* di Google nel quartiere popolare di Cerrillos a Santiago, e il Consiglio dei Popoli Lickan Antay, che si è opposto all'estrazione di litio ad alto consumo idrico nel deserto di Atacama⁴⁴.

Nella sua lotta contro il gigante tecnologico, MOSACAT ha scelto strategicamente di concentrare le proprie proteste esclusivamente sull'acqua, anziché su discorsi astratti riguardanti i "diritti digitali" o l'impatto tecnologico. Parlare di IA o di tecnologie digitali, infatti, non avrebbe avuto la stessa forza mobilitante in un quartiere popolare come Cerrillos, dove molti vedevano con orgoglio l'arrivo di Google. Al contrario, l'acqua è un tema immediato e quotidiano, che tocca direttamente la vita delle persone: il rischio di non poter tirare lo sciacquone, fare la doccia o lavare i vestiti ha reso percepibile e concreto un conflitto altrimenti distante. Questa scelta ha permesso a MOSACAT di avviare una campagna di sensibilizzazione e, pochi mesi dopo, di inserire il tema in un referendum locale non vincolante, in cui il 49% dei residenti ha respinto il progetto (contro un 38% favorevole). La pressione del movimento ha spinto Google a promettere di non utilizzare acqua per il raffreddamento, e a fine 2023 i lavori non erano ancora iniziati. Nel 2024, inoltre, un tribunale ambientale cileno ha parzialmente annullato l'autorizzazione originaria, imponendo all'azienda di rivedere il progetto alla luce del cambiamento climatico e delle resistenze locali⁴⁵.

Nel deserto di Atacama, invece, il Consiglio dei Popoli Lickan Antay si è opposto all'estrazione del litio, fondamentale per le batterie e i dispositivi digitali, ma devastante per gli ecosistemi idrici. Qui l'acqua non è solo una risorsa, ma un elemento sacro, parte integrante della sopravvivenza culturale e spirituale. La loro resistenza – fatta di pratiche

⁴⁴ Queste proteste si collegano a più ampie lotte per la giustizia ambientale che si oppongono all'estrazione idrica in diverse regioni del mondo: R. BOELEN, J. VOS, T. PERREAULT, *Introduction: the multiple challenges and layers of water justice struggles*, in R. BOELEN, T. PERREAULT, J. VOS (a cura di), *Water justice*, Cambridge, Cambridge University Press, 2018, 1-32.

⁴⁵ <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/google-pauses-chilean-data-center-project-to-rethink-water-use/>.

rituali, saperi tradizionali e lotta collettiva – incarna un’etica della resistenza dal basso, che rilegge la tecnologia attraverso la lente delle comunità e delle relazioni con gli elementi naturali. In questo senso, la difesa dell’acqua contro i *data center* e contro l’estrazione mineraria diventa un laboratorio di etica sostenibile e concreta, capace di ispirare una nuova visione dell’IA fondata non sull’astrazione, ma sulla vita quotidiana.

La carenza di trasparenza sui consumi ambientali dei *data center* ha alimentato tensioni sociali e proteste locali anche negli Stati Uniti, che ospitano il maggior numero di queste infrastrutture⁴⁶. A Goodyear, in Arizona, Microsoft ha costruito un vasto complesso di *data center* in un’area segnata da siccità cronica e dall’estate più calda mai registrata nel 2023. Mentre gli agricoltori erano costretti a lasciare i campi a maggese e alcune comunità restavano senza acqua potabile, i residenti hanno espresso crescente preoccupazione per l’uso idrico del nuovo impianto. Nonostante Microsoft abbia finanziato progetti di conservazione, è emersa una forte riluttanza dell’azienda a pubblicare dati dettagliati sull’efficienza idrica dei singoli centri: le autorità cittadine hanno addirittura consegnato registri ridotti, classificando le cifre come “proprietarie”⁴⁷. Un episodio analogo ha riguardato Google a The Dalles, in Oregon: la città si è inizialmente rifiutata di divulgare i rapporti sui consumi invocando il segreto commerciale, e solo dopo una lunga disputa legale l’azienda ha accettato di rilasciare dieci anni di dati, in un

⁴⁶ Secondo un recente rapporto di Bloomberg, negli Stati Uniti, i *data center* costruiti per alimentare l’intelligenza artificiale stanno mettendo a dura prova la sicurezza idrica in tutto il Paese. Il rapporto ha rilevato che quasi due terzi dei nuovi *data center* costruiti o in fase di sviluppo dal 2022 si trovano in località con elevati livelli di stress idrico. Questa situazione è particolarmente concentrata in cinque Stati, che attualmente rappresentano il 72% di tutti i nuovi *data center* in località con stress idrico acuto. I cinque Stati individuati dal rapporto sono: la California, con 17 *data center*, l’Arizona con 26, il Texas anch’esso con 26, l’Illinois con 23 e la Virginia con 67: L. NICOLETTI, M. MA, D. BASS, *AI Is Draining Water From the Areas That Need It Most*, Bloomberg, 8 maggio 2025. Con particolare riferimento alla situazione nell’Ovest degli US si veda: F. BARRINGER, *Thirsty for power and water, AI-crunching data centers sprout across the West*, in & the West, Stanford University, 8 aprile 2025.

⁴⁷ K. HAO, *AI Is Taking Water From the Desert. New data centers are springing up every week. Can the Earth sustain them?*, in *The Atlantic*, 1 marzo 2024.

accordo che ha sollevato dubbi sulla tutela dell'interesse pubblico ⁴⁸.

Per contro, la vicina Chandler, in Arizona, situata in una zona più ricca, ha potuto limitare l'espansione dei *data center* tramite ordinanze locali, ritenendo i benefici economici inferiori ai costi ambientali ⁴⁹. Questa differenza dimostra come anche negli Stati Uniti esista una geografia diseguale del potere ambientale, in cui le comunità più vulnerabili dispongono di minori strumenti per opporsi agli impatti ecologici dell'IA.

Le disuguaglianze ambientali indotte dall'IA – rese particolarmente visibili nei conflitti legati all'acqua – mettono in crisi l'idea che il progresso tecnologico sia neutrale o intrinsecamente benefico. Esse rivelano, al contrario, come l'accesso diseguale alle risorse, la persistente opacità informativa e l'asimmetria di potere tra attori pubblici e privati possano compromettere la giustizia ambientale, che costituisce una condizione imprescindibile per la sostenibilità e per la dignità delle comunità locali. La materialità nascosta dell'intelligenza artificiale, insieme alla sua impronta ecologica sistematicamente sottaciuta o minimizzata, solleva interrogativi non solo di natura tecnica ed etica, ma anche giuridica e costituzionale.

In questo quadro, il conflitto tra uso industriale e uso umano dell'acqua diventa il simbolo di una tensione più ampia: quella tra l'innovazione tecnologica e la tutela dei diritti fondamentali. L'espansione incontrollata dei consumi idrici legati all'IA rischia di trasformare un diritto primario in una variabile subordinata alle logiche di mercato e agli interessi delle grandi piattaforme, mettendo così in discussione la legittimità di modelli produttivi che sottraggono risorse vitali a popolazioni già vulnerabili agli effetti dello stress ambientale.

Queste criticità, che si collocano all'incrocio tra sostenibilità, trasparenza e diritti umani, richiedono dunque di essere affrontate sul piano del diritto, attraverso strumenti giuridici capaci di bilanciare innovazione e giustizia ambientale. È in questa prospettiva che si inserisce l'analisi dei principi internazionali e sovranazionali, nonché delle diverse

⁴⁸ <https://businessjournalism.org/2023/11/oregonian-data-centers/>.

⁴⁹ <https://www.chandleraz.gov/news-center/chandlers-data-center-ordinance-now-effect>.

esperienze regolatorie – a partire da quella europea e da quella statunitense – chiamate oggi a definire i confini entro cui l'intelligenza artificiale possa svilupparsi senza compromettere l'accesso equo e sostenibile a una risorsa vitale come l'acqua.

5. Regolamentazione europea dei *data center* tra sostenibilità ambientale e sviluppo digitale

Dal momento che, come detto, i *data center* costituiscono l'ossatura materiale del sistema digitale e rappresentano il principale nodo di produzione degli impatti ambientali connessi all'intelligenza artificiale, l'analisi della regolamentazione europea che ne disciplina l'attività si configura come passaggio imprescindibile per valutare l'adeguatezza del quadro normativo rispetto alle sfide della sostenibilità⁵⁰.

Già nel 2020 la strategia della Commissione europea *Shaping Europe's Digital Future* ha annunciato «iniziative per realizzare centri dati neutrali dal punto di vista climatico, altamente efficienti dal punto di vista energetico e sostenibili» entro il 2030⁵¹.

Il primo passo individuato per avvicinarsi a tale obiettivo è stato quello di colmare il vuoto di conoscenza sui reali consumi e sull'impatto ambientale di queste infrastrutture. In questa prospettiva, la Direttiva sull'efficienza energetica (UE) 2023/1791⁵², integrata dal Regolamento

⁵⁰ K. EBERT, N. ALDER, R. HERBRICH, P. HACKER, *AI, Climate, and Regulation: From Data centers to the AI Act*, in *arXiv:2410.06681*, 9 ottobre 2024.

⁵¹ Commissione europea, *Shaping Europe's Digital Future*, COM(2020) 67 Final, 12. Tra le iniziative adottate si segnala il *Climate Neutral Data Centre Pact*, un impegno degli operatori del settore e delle associazioni di categoria dei servizi di infrastrutture cloud e dei *data center* in Europa per raggiungere la neutralità climatica entro il 2030: <https://www.climateneutraldatacentre.net/>.

⁵² La Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica (Energy Efficiency Directive, EED) è stata adottata nel 2012 con l'obiettivo di garantire il raggiungimento del target UE di riduzione dei consumi energetici del 20% entro il 2020. È stata poi modificata nel 2018 (Direttiva (UE) 2018/2002) per aggiornare gli obiettivi al 2030 e successivamente rifusa (*recast*) nel 2023 con la Direttiva (UE) 2023/1791, che ha rafforzato i target e introdotto nuovi obblighi di trasparenza, compresi quelli sui *data center*.

delegato (UE) 2024/1364⁵³, introduce obblighi annuali di raccolta, rendicontazione e pubblicazione dei dati ambientali per i gestori di *data center* che superano determinate dimensioni. I dati richiesti comprendono indicatori chiave come il consumo totale di energia e acqua, l'uso di energie rinnovabili, il recupero del calore, i punti di regolazione della temperatura, nonché misure standardizzate di performance quali il *Power Usage Effectiveness* (PUE), il *Water Usage Effectiveness* (WUE), il *Renewable Energy Factor* (REF) e l'*Energy Reuse Factor* (ERF). Particolarmente innovativa è l'introduzione dell'obbligo di monitorare e comunicare i consumi idrici, un parametro spesso trascurato ma cruciale per valutare l'impatto ambientale dell'economia digitale⁵⁴.

Trattandosi di una Direttiva, essa richiede attuazione a livello nazionale⁵⁵. In questo quadro, la Germania ha adottato un approccio più ambizioso, estendendo gli obblighi anche ai *data center* di minori dimensioni, imponendo obiettivi specifici di efficienza energetica e di utilizzo di energie rinnovabili, e prevedendo che gli operatori informino i clienti sui loro consumi diretti⁵⁶. Si tratta di un modello che va oltre la mera trasparenza e che potrebbe fungere da ispirazione per una futura regolamentazione europea più stringente, capace di incidere anche sui

⁵³ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401364.

⁵⁴ La Direttiva EED, versione *recast* (2023), è stato il primo documento legislativo UE a rendere obbligatorio il reporting di WUE, metrica originariamente tecnica adottata dal settore come strumento di rendicontazione / benchmarking di efficienza idrica per *data center*. Il parametro era già stato incluso come uno degli indicatori KPI dal EU Code of Conduct for Data Centres, un'iniziativa volontaria lanciata dalla Commissione Europea – tramite il Joint Research Centre (JRC) – nel 2008 per raccogliere *best practice* e KPI volti a migliorare l'efficienza energetica dei *data center* in Europa.

⁵⁵ I Paesi UE hanno tempo fino all'11 ottobre 2025 per trasporre le nuove disposizioni nel diritto nazionale. Non tutti gli Stati membri hanno ancora completato la trasposizione né il *reporting* richiesto: rapporti di settore e monitoraggi pubblici indicano che, a inizio 2025, la maggioranza dei Paesi non aveva ancora completato tutte le notifiche e i dati richiesti dalla EED, con lacune particolarmente evidenti nella prima tornata di *reporting* per il 2023: <https://intelligence.uptimeinstitute.com/resource/remaining-eed-reporting-deficiencies-need-immediate-attention?>

⁵⁶ German Energy Efficiency Act (EnEfG), entrato in vigore il 18 novembre 2023: <https://www.ca-eed.eu/ia-document/implementing-the-eed-data-centers-and-the-german-energy-efficiency-act-germany>.

consumi legati all'IA⁵⁷. L'assenza di obiettivi vincolanti a livello UE rappresenta, infatti, una lacuna sostanziale, con il rischio di generare una frammentazione normativa tra Stati membri.

Nell'ambito delle transizioni gemelle, l'UE non si limita a rafforzare la regolazione ambientale, ma promuove anche lo sviluppo delle infrastrutture digitali come leva per la competitività industriale, la leadership tecnologica e la sovranità digitale, con l'obiettivo di colmare l'attuale divario rispetto a Stati Uniti e Cina in termini di capacità di calcolo disponibile. In questa direzione si colloca il *Cloud and AI Development Act*⁵⁸, proposto nel quadro della politica industriale europea, che mira a facilitare la creazione e l'espansione di *data center* ad alta capacità computazionale in tutto il territorio dell'Unione, favorendo una rete interconnessa di strutture sostenibili, resilienti e strategicamente distribuite.

Questa duplice traiettoria – da un lato l'aumento della regolazione ambientale, dall'altro il sostegno esplicito all'espansione delle infrastrutture digitali – riflette la complessità delle transizioni gemelle⁵⁹. La digitalizzazione è presentata come fattore abilitante per la sostenibilità, ma se non governata da limiti stringenti rischia di generare impatti ambientali tali da compromettere gli stessi obiettivi climatici ed ecologici che si propone di raggiungere. La vera sfida per l'UE sarà quindi armonizzare innovazione e tutela ambientale, assicurando che la crescita della capacità computazionale non avvenga a spese delle risorse naturali e dei territori più vulnerabili⁶⁰.

⁵⁷ Il Ministero spagnolo per la Transizione Ecologica e la Sfida Demografica ("MITECO") ha di recente concluso una consultazione pubblica (<https://www.miteco.gob.es/es/energia/participacion/2025/detalle-participacion-publica-k-775.html?>) su una bozza di Regio Decreto che imporrebbe requisiti di efficienza energetica e sostenibilità per i *data center* più ampi e più rigorosi rispetto a quelli stabiliti dalla Direttiva EED. Tra le altre cose, la bozza impone l'obbligo di rendicontare annualmente una serie di indicatori relativi al consumo di acqua (anche potabile). In Italia, il processo di recepimento della versione recast della Direttiva è in corso.

⁵⁸ https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14628-Cloud-and-AI-Development-Act_en.

⁵⁹ S. GARSIA, *The environmental costs of AI: a shake-up of the EU's twin transition*, in *AI Summer School Blog*, 18 febbraio 2025.

⁶⁰ J. COWLS *et al.*, *The AI Gambit: Leveraging Artificial Intelligence to Combat*

6. Efficienza idrica dei *data center* e il paradosso degli effetti di rimbalzo

Negli ultimi anni, esperti, operatori e istituzioni hanno rivolto crescente attenzione alla necessità di rendere i *data center* più sostenibili dal punto di vista del consumo di risorse naturali, in particolare dell'acqua⁶¹. In un contesto globale segnato da crisi climatiche ricorrenti, l'efficienza idrica di queste infrastrutture non può più essere considerata un obiettivo secondario.

Tra le strategie tecniche più efficaci, si annoverano sistemi di raffreddamento a basso impatto come il *free-air cooling*, che sfrutta l'aria esterna per abbassare la temperatura dei *server*, o i circuiti chiusi a ricircolo d'acqua, che riducono drasticamente le perdite per evaporazione. A queste si aggiungono soluzioni innovative, come il *liquid immersion cooling*, in cui i componenti IT vengono immersi in fluidi termicamente conduttivi, eliminando quasi del tutto l'uso di acqua potabile.

Un'altra direttrice importante è la sostituzione dell'acqua dolce con fonti alternative – acque grigie, piovane o di condensa – già adottate in alcuni impianti, integrate da sistemi di monitoraggio in tempo reale capaci di correlare i consumi idrici ai carichi computazionali e alle condizioni ambientali, consentendo interventi rapidi in caso di sprechi. Anche la progettazione e localizzazione dei siti riveste un ruolo strategico: collocare i *data center* in aree a clima fresco o con abbondanza idrica riduce la pressione sugli ecosistemi locali, mentre layout interni ottimizzati – come la separazione delle corsie calde e fredde o l'uso di *server* a basso consumo – migliorano l'efficienza complessiva. Sempre più diffuso è infine il recupero del calore dissipato, riutilizzato per il riscaldamento di edifici o serre, in un'ottica di simbiosi industriale.

Questi interventi rappresentano progressi concreti, ma non esauriscono la questione. Migliorare l'efficienza idrica, infatti, non garantisce automaticamente una riduzione del consumo totale di acqua: può anzi

Climate Change. Opportunities, Challenges, and Recommendations, in *AI & Society*, n. 38/2023, 283-301.

⁶¹ E. MASANET, A. SHEHABI, N. LEI, S. SMITH, J. KOOMEY, *Recalibrating global data center energy-use estimates*, in *Science*, n. 367(6481)/2020, 984-986.

produrre effetti controintuitivi, noti come *paradosso di Jevons*⁶². In sintesi, quando l'uso di una risorsa diventa più efficiente, il costo marginale diminuisce, incentivandone un impiego più esteso. Nonostante la loro rilevanza, tali effetti di rimbalzo sono stati finora largamente trascurati dai regolatori nel loro approccio alla gestione dell'efficienza energetica e idrica dei *data center*, con il rischio di basare le politiche pubbliche su metriche che non riflettono l'impatto complessivo⁶³.

Applicato al contesto dei *data center* e dell'IA, questo significa che raffreddare ogni unità di calcolo con minore impatto idrico rende più conveniente espandere la capacità computazionale, aumentando il consumo complessivo. A ciò si aggiunge l'effetto di investimento: i risparmi ottenuti grazie a tecnologie più efficienti vengono spesso reinvestiti nella costruzione di nuovi impianti, talvolta in aree ecologicamente fragili o con scarsa regolazione ambientale.

Esiste anche una dimensione macroeconomica: l'aumento dell'efficienza riduce le barriere d'accesso all'IA, favorendone la diffusione in settori sempre più ampi – dalla sanità alla manifattura – e moltiplicando la domanda di potenza di calcolo distribuita. In questo scenario, l'acqua diventa una risorsa silenziosa ma indispensabile, la cui impronta cresce in termini assoluti.

Infine, si registra un effetto di rimbalzo “politico” e culturale: la retorica dell'efficienza tende a far percepire la crescita computazionale come “green”, oscurando la necessità di limiti vincolanti e di una *governance* responsabile. Ciò può indurre governi e aziende a sostenere

⁶² Gli effetti esatti dell'effetto rimbalzo sono oggetto di dibattito: B. ALCOTT, *Jevons' Paradox*, in *Ecological Economics*, n. 54/2005; R. YORK, J.A. MCGEE, *Understanding the Jevons Paradox*, in *Environmental Sociology*, n. 2/2016, 77.

⁶³ L.H. KAACK, P.L. DONTI, E. STRUBELL, G. KAMIYA, F. CREUTZIG, D. ROLNICK, *Aligning artificial intelligence with climate change mitigation*, in *Nature Climate Change*, n. 12(6)/2022, 518-527. Secondo Fouquet e Hippe, l'effetto rimbalzo mette in dubbio l'obiettivo della Commissione di realizzare una vera e propria transizione gemellare di digitalizzazione e decarbonizzazione: R. FOUQUET, R. HIPPE, *Twin Transitions of Decarbonisation and Digitalisation: A Historical Perspective on Energy and Information in European Economies*, in *Energy Research & Social Science*, n. 91/2022. Degli effetti indiretti delle tecnologie di IA si occupano dettagliatamente: A.S. LUCCIONI, E. STRUBELL, K. CRAWFORD, *From Efficiency Gains to Rebound Effects: The Problem of Jevons' Paradox in AI's Polarized Environmental Debate*, 2024.

l'espansione delle infrastrutture digitali rivendicando miglioramenti unitari, senza contabilizzare l'impatto cumulativo su ecosistemi e comunità vulnerabili.

In assenza di limiti strutturali, criteri di equa allocazione delle risorse e una *governance* orientata alla responsabilità intergenerazionale, l'efficienza idrica rischia di trasformarsi in un acceleratore del problema ⁶⁴. Come riconosciuto dalla stessa Commissione europea nel 2023 ⁶⁵, l'aumento del consumo energetico e la crescente dipendenza dal *cloud computing* per abilitare tecnologie come l'IA hanno già compensato gran parte dei guadagni di efficienza finora ottenuti. Per evitare che la transizione digitale diventi una nuova forma di estrattivismo ambientale, è necessario integrare l'analisi degli effetti di rimbalzo nella regolazione del settore e affiancare ai miglioramenti tecnologici un controllo pubblico trasparente e democratico sull'uso delle risorse comuni, valutando non solo l'intensità relativa dei consumi, ma il loro impatto complessivo sui territori e sulle generazioni future.

7. L'AI Act e la tutela ambientale: un'occasione mancata?

L'Artificial Intelligence Act (AI Act) rappresenta il primo quadro normativo europeo volto a disciplinare in maniera organica lo sviluppo, l'uso e la diffusione dell'intelligenza artificiale. Pur avendo un carattere pionieristico, lo stesso appare ancora insufficiente nel rispondere in modo sistemico alle sfide ambientali sollevate dall'espansione dell'IA. Il testo pone la tutela dell'ambiente tra gli obiettivi generali (art. 1), ma le disposizioni specifiche in materia ambientale restano marginali e di natura prevalentemente programmatica: esse non introducono obblighi vincolanti né strumenti sanzionatori, ma si limitano a riferimenti generici, privi di un reale impatto operativo. Inoltre, tali norme risultano

⁶⁴ S. FLUCKER, R. TOZER, B. WHITEHEAD, *Data Centre Sustainability – Beyond Energy Efficiency*, in *Building Services Engineering Research and Technology*, n. 39/2018, 173.

⁶⁵ Commissione europea, *Report on the State of the Digital Decade 2023*, (n. 244) 50.

frammentate e circoscritte, incidendo solo su ambiti parziali della catena del valore dell'IA e lasciando irrisolte questioni cruciali come il consumo idrico ed energetico dei *data center*, la gestione dei rifiuti elettronici o gli effetti indiretti legati agli usi non essenziali della tecnologia.

Uno dei pochi strumenti introdotti è l'obbligo di trasparenza ambientale previsto per alcuni fornitori di modelli generativi di IA (GPAI) e sistemi ad alto rischio. In base all'art. 11(1), questi soggetti devono documentare le risorse computazionali utilizzate nelle fasi di sviluppo, formazione, test e validazione, come previsto dall'allegato IV(2). Tuttavia, l'obbligo non include esplicitamente il consumo energetico diretto, rendendo difficile stimare in modo accurato l'impatto ambientale effettivo di tali sistemi. L'impronta ecologica deve quindi essere dedotta in modo indiretto sulla base della potenza computazionale, un approccio ritenuto debole e approssimativo da molti osservatori.

Un passo avanti è compiuto dall'art. 53(1)(a), che impone ai fornitori di modelli di IA generici di includere nella documentazione tecnica una stima del consumo energetico noto o previsto, come da allegato XI. Tuttavia, anche in questo caso il campo di applicazione risulta limitato, in quanto il dato richiesto riguarda solo la fase di sviluppo del modello, escludendo la fase di inferenza, che in molti casi rappresenta la quota maggiore dei consumi energetici nel lungo termine. Questa omissione appare particolarmente problematica se si considerano le evidenze scientifiche recenti, che mostrano come l'utilizzo operativo (inferenza) dei modelli generativi superi spesso il costo ambientale della fase iniziale.

Anche l'esclusione dei modelli *open source* dagli obblighi di trasparenza ambientale solleva perplessità: in un contesto in cui molti modelli di IA vengono distribuiti pubblicamente, l'assenza di vincoli documentali rischia di compromettere gli sforzi di *accountability*.

Dal punto di vista della tutela ambientale, tuttavia, il limite più grave dell'AI Act rimane la mancanza di qualsiasi obbligo, informativo o di adeguamento, in merito al consumo idrico, che non viene menzionato in alcun punto. Si tratta di una lacuna normativa particolarmente rilevante se si considera che l'acqua rappresenta una delle risorse più critiche per il funzionamento dei *data center*, nonché una delle più vulnerabili ai cambiamenti climatici.

A livello sistemico, la sostenibilità ambientale è affrontata dall'AI Act prevalentemente attraverso codici di condotta volontari. L'art. 95 prevede che l'Ufficio europeo per l'IA e gli Stati membri incoraggino lo sviluppo di codici per i sistemi non ad alto rischio, includendo la possibilità di trattare aspetti come la programmazione energeticamente efficiente e il design sostenibile. Tale approccio è confermato anche dal considerando 165, che incoraggia l'applicazione volontaria di principi etici, ambientali e di sostenibilità da parte di fornitori e utilizzatori.

Il problema principale risiede nel fatto che questi strumenti sono non vincolanti, e il legislatore non ha ritenuto la sostenibilità ambientale un rischio tale da giustificare vincoli obbligatori nel corpo normativo. L'art. 112 introduce una clausola di revisione posticipata: la Commissione dovrà valutare l'efficacia dei codici solo entro il 2 agosto 2028, ben oltre la scadenza per la loro elaborazione (2 maggio 2025). Una simile tempistica sembra difficilmente compatibile con l'urgenza climatica, specie considerando che secondo il *Rapporto sulla trasparenza ambientale 2024* di Google le emissioni della società sono aumentate del 48% tra il 2019 e il 2024⁶⁶, e quelle di Microsoft del 29,1% dal 2020⁶⁷ – dati che contrastano nettamente con le raccomandazioni dell'Agenzia Internazionale per l'Energia (IEA), la quale auspica una riduzione del 50% delle emissioni digitali entro il 2030⁶⁸.

Nel complesso, l'AI Act si limita a richiedere trasparenza parziale e a promuovere comportamenti volontari, senza introdurre alcun meccanismo sanzionatorio o obbligo sostanziale di riduzione dell'impatto ambientale. L'assenza di un obbligo di monitoraggio e rendicontazione sul consumo idrico non è soltanto un vuoto tecnico: essa produce conseguenze dirette sul piano sociale, economico e giuridico⁶⁹. Senza dati standardizzati e comparabili, le comunità locali non hanno strumenti per valutare l'impatto delle infrastrutture tecnologiche sui propri

⁶⁶ Cfr. Google Environmental Report 2024.

⁶⁷ Cfr. Microsoft Environmental Sustainability Report 2024.

⁶⁸ <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks?>

⁶⁹ S. WACHTER, *Limitations and Loopholes in the EU AI Act and AI Liability Directives: What This Means for the European Union, the United States, and Beyond*, in *Yale Journal of Law & Technology*, n. 26(3)/2024, 701.

territori, i legislatori non dispongono delle informazioni necessarie per regolamentare il settore, e lo stesso principio di giustizia ambientale rischia di essere disatteso.

8. La trasparenza ambientale come strategia regolativa: un passo necessario, ma non sufficiente

Nel quadro normativo europeo sull'intelligenza artificiale, la principale leva ambientale adottata finora è stata la trasparenza informativa. L'AI Act, così come la normativa sui *data center* contenuta nella Direttiva sull'efficienza energetica (UE) 2023/1791 e nel Regolamento delegato (UE) 2024/1364, prevede la raccolta e la pubblicazione di dati relativi al consumo energetico, al riutilizzo del calore, all'uso di energie rinnovabili e, in alcuni casi, al consumo idrico. Questo approccio riflette la tradizione regolativa dell'Unione, che considera la trasparenza un prerequisito per il corretto funzionamento del mercato, la responsabilizzazione degli operatori e la partecipazione pubblica.

Tuttavia, l'attuale configurazione della trasparenza presenta limiti sostanziali⁷⁰. I dati ambientali comunicati ai sensi della Direttiva EED saranno resi pubblici soltanto in forma aggregata, a livello di Stato membro o di UE, includendo ad esempio il consumo idrico totale e il *Water Usage Effectiveness* (WUE) medio, ma non i dati granulari forniti alla Commissione dagli operatori. Questa impostazione, come sottolineato dalla *Sustainable Digital Infrastructure Alliance*⁷¹, non permette un'analisi comparativa tra regioni né consente alle comunità locali di accedere a informazioni specifiche sull'impatto dei *data center* presenti sul proprio territorio. Analogamente, la rendicontazione attuale non prevede obblighi dettagliati sui programmi di gestione dell'acqua o sul monitoraggio del prelievo idrico in aree ecologicamente sensibili,

⁷⁰ J. COMMINS, K. IRION, *Towards Planet Proof Computing: Law and Policy of Data Centre Sustainability in the European Union*, in *Technology and Regulation*, 2025, 1-36.

⁷¹ Sustainable Digital Infrastructure Alliance, *SDIA Comments on Delegated Act*, 2023: https://sdiav2.cdn.prismic.io/sdiav2/65bcf2b8615e73009ec43c66_ResponseSDIAEED.pdf.

e la distinzione tra emissioni basate sulla localizzazione (*location-based*) e sul mercato (*market-based*) resta affidata agli operatori, senza un obbligo di pubblica accessibilità di tali dati.

Queste lacune evidenziano un rischio sistemico: la trasparenza, da sola, non garantisce la riduzione dell'impatto ambientale. In assenza di obiettivi vincolanti, limiti massimi di consumo o obblighi di mitigazione, le imprese possono continuare a comunicare valori anche elevati di impronta ecologica senza subire conseguenze concrete. La logica dell'"esporre per regolare" rischia così di ridursi a un meccanismo passivo, fondato più sulla pressione dell'opinione pubblica che su strumenti di *governance* realmente efficaci.

Un segnale di evoluzione verso un quadro più sostanziale proviene dalla *Strategia europea per la resilienza idrica*⁷², adottata nel giugno 2025, che mira a ripristinare e proteggere il ciclo dell'acqua, garantire accesso universale a risorse idriche pulite e promuovere un'economia idrica sostenibile, resiliente, intelligente e competitiva. Tra le misure previste, si colloca anche l'impiego dell'IA per la gestione sostenibile delle risorse, mediante sensori avanzati, misurazione digitale intelligente e dati satellitari per individuare perdite e prevedere andamenti idrici. La Commissione ha inoltre annunciato l'inclusione del consumo idrico tra i parametri del sistema comune dell'Unione per valutare la sostenibilità dei *data center*, con l'obiettivo di definire standard minimi di prestazione vincolanti anche in materia di uso dell'acqua. Se attuata in modo ambizioso, questa strategia potrebbe segnare il passaggio dalla *soft regulation* basata esclusivamente sulla trasparenza a un quadro di regole sostanziali e obbligatorie, capace di incidere realmente sull'impatto ambientale del settore.

Accanto a questi sviluppi, rimane però un ulteriore limite della legislazione e delle politiche europee: la centralità attribuita quasi esclusivamente all'efficienza energetica dell'*hardware*. Tale approccio, pur necessario, resta parziale, perché trascura il tema dell'ottimizzazione delle operazioni e della riduzione degli usi superflui. Restano escluse dall'agenda regolativa leve decisive come la promozione di *software* sostenibili, lo sviluppo di architetture computazionali meno energivore

⁷² <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52025DC0280>.

o la riduzione dei cosiddetti “dati oscuri”, ossia quell’enorme quantità di informazioni raccolte, elaborate o conservate dalle organizzazioni senza alcun effettivo utilizzo. L’eliminazione progressiva dei dati oscuri consentirebbe non solo di ridurre lo spreco di risorse computazionali, ma anche di liberare capacità infrastrutturale per applicazioni davvero socialmente utili.

Un ulteriore nodo riguarda la crescente proliferazione di usi futili o non essenziali dell’intelligenza artificiale, che generano consumi sproporzionati rispetto al valore sociale effettivamente prodotto. Una regolazione orientata alla sostenibilità dovrebbe dunque chiedersi non solo quanto i sistemi consumano, ma anche per che cosa tali consumi vengono generati, introducendo criteri di proporzionalità nell’allocazione delle risorse idriche ed energetiche. In questa prospettiva, una strategia realmente efficace dovrebbe prevedere anche forme di alfabetizzazione digitale e ambientale degli utenti, capaci di stimolare pratiche di utilizzo più consapevoli. Educare alla sobrietà digitale e all’impiego responsabile dell’IA significa, infatti, ridurre la domanda superflua e rafforzare il legame tra innovazione tecnologica e beni comuni.

In conclusione, la trasparenza rappresenta un passo fondamentale ma non risolutivo: senza un’integrazione con standard sostanziali, obblighi di riduzione vincolanti e un coinvolgimento consapevole della società civile, il rischio è che l’IA continui a crescere su un modello estrattivo insostenibile. È in questa prospettiva che il quadro regolativo dovrebbe divenire più ambizioso, facendo leva sui principi di diritto ambientale: il principio di precauzione, che impone misure preventive anche in presenza di incertezza scientifica; il principio di partecipazione pubblica, che richiede accesso alle informazioni e reale coinvolgimento delle comunità; e il principio di responsabilità e accesso alla giustizia, che garantisce rimedi concreti contro i danni ambientali. Solo coniugando trasparenza, precauzione, partecipazione e giustizia sarà possibile trasformare l’intelligenza artificiale da fattore di rischio ambientale a strumento di sostenibilità, in equilibrio con i diritti fondamentali e con la tutela delle risorse naturali.

9. L'intelligenza artificiale alla prova dei principi di diritto ambientale

Le criticità emerse nell'attuale quadro normativo europeo – dall'attenzione quasi esclusiva rivolta all'efficienza energetica dell'*hardware*, alla scarsa trasparenza sui consumi idrici, fino alla sottovalutazione degli effetti di rimbalzo e degli usi non essenziali – mettono in luce i limiti di un approccio regolativo frammentato e settoriale. La questione appare particolarmente evidente se si considerano gli impatti idrici dei *data center*: consumi elevatissimi, scarsamente monitorati e comunicati in modo opaco, che si pongono in tensione con i bisogni primari delle comunità locali già esposte a stress idrico.

Affrontare tali problematiche in modo sistemico richiede un'integrazione della disciplina vigente con i principi generali del diritto ambientale, che da decenni orientano la *governance* internazionale delle risorse naturali⁷³. Con la progressiva consapevolezza degli impatti ecologici derivanti dallo sviluppo industriale, il diritto ambientale si è consolidato come risposta normativa alle sfide poste dalle tecnologie ad alta intensità di risorse. Dai primi dibattiti sulla sostenibilità fino alle attuali discussioni sulla transizione ecologica, esso si è configurato come un quadro multilivello e complesso – fatto di accordi internazionali, legislazioni nazionali e principi generali – volto a prevenire, mitigare e riparare i danni ambientali in diversi settori produttivi⁷⁴.

L'applicazione di tali principi alla regolazione dell'intelligenza artificiale consente di illuminare la dimensione giuridica delle criticità già richiamate: l'aumento esponenziale della domanda idrica dei *data center*, l'opacità informativa dei grandi operatori tecnologici, il conflitto tra fabbisogni vitali delle comunità e necessità artificiali delle macchine, nonché le profonde asimmetrie tra attori privati globali e territori locali vulnerabili.

⁷³ T. LE GOFF, *Environmental law's principles applied to artificial intelligence: a path towards regulation*, in *International Review of Law, Computers & Technology*, 2025, 1-24.

⁷⁴ D.M. STEINWAY, *Fundamentals of Environmental Law*, in T.F.P. SULLIVAN (a cura di), *Environmental Law Handbook*, New York, Government Institute, 2011, 1-71.

Il primo riferimento imprescindibile è il principio di precauzione, formalizzato nel Principio 15 della Dichiarazione di Rio, che autorizza l'adozione di misure preventive anche in assenza di piena certezza scientifica, quando esistono rischi credibili di danno grave o irreversibile. Applicato all'IA, il principio implica che le autorità pubbliche dovrebbero introdurre strumenti *ex ante* per valutare e limitare l'impronta ecologica dei sistemi, come le proposte di valutazioni di impatto ambientale specifiche per l'IA⁷⁵. Queste potrebbero ricalcare il modello delle valutazioni d'impatto sulla *privacy* del GDPR, imponendo agli sviluppatori di calcolare i costi idrici ed energetici dei propri sistemi e di adottare misure di mitigazione lungo l'intero ciclo di vita⁷⁶. Parallelamente, l'adozione del principio di sostenibilità *by design* e *by default* – anch'esso mutuato dal “modello privacy” – imporrebbe che l'efficienza ambientale fosse integrata nella progettazione dei sistemi fin dall'inizio, ad esempio con impostazioni predefinite che privilegino modelli meno energivori o tecniche di calcolo a basso impatto⁷⁷.

Il secondo pilastro è il principio di partecipazione pubblica, sviluppato dalla Dichiarazione di Stoccolma (1972), dal Principio 10 della Dichiarazione di Rio e dalla Convenzione di Aarhus, che si articola in tre dimensioni interconnesse: accesso alle informazioni, possibilità di incidere sui processi decisionali e accesso alla giustizia.

L'accesso alle informazioni assume un rilievo cruciale nel contesto dell'IA, dove i dati ambientali sono custoditi gelosamente dalle imprese, spesso invocando il segreto commerciale per occultare l'entità del

⁷⁵ P. HACKER, *Sustainable AI Regulation*, in *Common Market Law Review*, n. 61(2)/2024, 345-386. T. LE GOFF, *Enjeux Juridiques de l'Utilisation de l'Intelligence Artificielle dans le Secteur de l'Electricité*, Tesi di dottorato, Université Paris Cité, 2023.

⁷⁶ D. DE SILVA, D. ALAHAKOON, *An Artificial Intelligence Life Cycle: From Conception to Production*, in *Patterns*, n. 3(6)/2022.

⁷⁷ A. KLIMCZAK, M. WENKA, M. GANZHA, M. PAPRZYCKI, J. MAŃDZIUK, *Towards Frugal Artificial Intelligence: Exploring Neural Network Pruning and Binarization*, in S.M. THAMPI, J. MUKHOPADHYAY, M. PAPRZYCKI, K.-C. LI (a cura di), *International Symposium on Intelligent Informatics (ISI 2022) Proceedings*, Singapore, Springer, 2023, 13-27; A.P. VICTORIO, E. CELESTE, A. QUINTAVALLA, *Greening AI? The New Principle of Sustainable Digital Products and Services in the EU*, in *Common Market Law Review*, n. 61(4)/2024, 1019-1044.

consumo idrico e persino la reale disponibilità delle risorse nei territori ospitanti. Questa opacità priva le comunità locali della possibilità di valutare la sostenibilità delle attività e impedisce ai legislatori di predisporre misure adeguate. Come mostrato in precedenza, persino il consumo quotidiano di applicazioni apparentemente banali – una *query* a un *chatbot*, la generazione di un’immagine – si traduce in un prelievo idrico significativo, ma invisibile all’utente e inaccessibile al controllo democratico.

La partecipazione ai processi decisionali rappresenta il passo ulteriore: le comunità che vivono nelle *zone di sacrificio*, dove l’installazione dei *data center* amplifica la scarsità idrica, devono poter far valere la propria voce nelle scelte relative all’insediamento e al funzionamento delle infrastrutture digitali. La loro esclusione rafforza le disuguaglianze ambientali e riproduce un modello di *governance* dominato dalle logiche industriali globali, a scapito dei diritti locali.

Infine, i principi di responsabilità e di accesso alla giustizia completano questo quadro, garantendo che il danno ambientale non resti senza risposta. Come ribadito dal Principio 10 della Dichiarazione di Rio, deve essere assicurato un accesso effettivo a procedimenti giudiziari e amministrativi, inclusi rimedi e risarcimenti. Trasposto al contesto dell’IA, ciò implica che le comunità locali non possano limitarsi a subire gli impatti: devono poter contestare legalmente i consumi idrici sproporzionati, ottenere compensazioni per i danni subiti e pretendere che i costi ambientali non vengano esternalizzati. La responsabilità delle grandi imprese tecnologiche non si riduce quindi al mero risarcimento *ex post*, ma comprende l’obbligo di adottare misure preventive e correttive, riducendo i propri impatti e garantendo trasparenza.

In sintesi, l’applicazione dei principi del diritto ambientale all’intelligenza artificiale permette di trasformare l’attuale vuoto regolatorio in un quadro coerente e orientato alla giustizia. Precauzione, sostenibilità, responsabilità e partecipazione non sono vincoli estranei all’innovazione tecnologica, ma condizioni necessarie per renderla compatibile con la tutela dei diritti fondamentali e con i limiti ecologici del pianeta.

Solo collocando l’IA entro questa cornice di principi è possibile evitare che la transizione digitale diventi una nuova forma di colonialismo ecologico. Una *governance* responsabile dell’intelligenza artificiale deve dunque internalizzare i suoi costi ambientali e trasformare la

sostenibilità da scelta volontaria a vincolo giuridico, affinché l'innovazione tecnologica possa realmente conciliarsi con i diritti umani, la giustizia ambientale e la sopravvivenza delle comunità.

10. Gli Stati Uniti tra *laissez-faire* e nuove sfide ambientali

A differenza dell'Unione europea, che tende a incanalare l'innovazione tecnologica entro cornici regolative orientate anche alla sostenibilità, gli Stati Uniti hanno storicamente adottato un approccio vicino al *laissez-faire*, caratterizzato da una minore propensione all'intervento normativo e da una forte fiducia nel mercato come principale motore di sviluppo. Questa impostazione si riflette anche nel campo dell'intelligenza artificiale e nelle infrastrutture materiali che la sostengono, come i *data center*, dove le misure ambientali risultano frammentarie, deboli o affidate all'iniziativa dei singoli Stati ⁷⁸.

Un primo tentativo di imprimere una direzione diversa si è avuto il 1° febbraio 2024 con la presentazione al Senato del disegno di legge *AI Environmental Impacts Act* ⁷⁹. La proposta incarica l'Agenzia per la protezione ambientale (EPA) di condurre uno studio sugli effetti ambientali dell'IA e affida al National Institute of Standards and Technology (NIST) il compito di convocare un consorzio di stakeholder per definire standard, metodologie e sistemi di misurazione. È previsto inoltre un meccanismo di rendicontazione volontaria, mentre EPA, NIST e Dipartimento dell'Energia dovrebbero riferire al Congresso entro quattro anni. Tuttavia, anche qualora fosse approvata, la legge non introdurrebbe vincoli stringenti né strumenti di enforcement immediati, restando più programmatica che realmente vincolante.

Gli sforzi per imporre obblighi di trasparenza hanno incontrato ostacoli ancora maggiori. La Securities and Exchange Commission (SEC), che nel marzo 2024 aveva adottato norme per obbligare le società

⁷⁸ M. GARCIA, *Ai Uses How Much Water? Navigating Regulation of AI Data centers' Water Footprint Post-Watershed Loper Bright Decision*, in *Texas Tech Law Review*, n. 57/2025.

⁷⁹ S.3722, <https://www.congress.gov/bill/118th-congress/senate-bill/3732/text>.

quotate a comunicare rischi climatici ed emissioni di gas serra, ha dovuto sospendere e infine abbandonare la difesa del provvedimento a seguito di un contenzioso presso l'Ottavo Circuito. Con il cambio di amministrazione, la Commissione ha ritirato ufficialmente la propria memoria, liquidando le regole come «costose e inutilmente invasive»⁸⁰. Anche la California – che, con le leggi SB 253 e SB 261⁸¹, aveva imposto obblighi di *disclosure* climatica alle grandi aziende a partire dal 2026 – si trova oggi coinvolta in un acceso contenzioso: i gruppi imprenditoriali hanno impugnato le norme sostenendo che violino la libertà di espressione, e sebbene i tribunali abbiano respinto le richieste di sospensione immediata, i processi restano aperti. Nel frattempo, altri Stati hanno tentato invano di subordinare i benefici fiscali concessi ai *data center* a criteri di sostenibilità: in Virginia una proposta che li condizionava all'uso di rinnovabili è stata bocciata, mentre in Georgia una legge per sospendere gli incentivi fino all'analisi dei consumi energetici è stata bloccata dal veto del governatore.

Su questo sfondo, l'amministrazione Trump ha scelto di rafforzare la linea della deregolamentazione. Con l'Ordine Esecutivo del 23 luglio 2025, intitolato *Accelerating Federal Permitting of Data center Infrastructure*⁸², il governo federale ha dato priorità assoluta alla costruzione di mega *data center* per sostenere l'IA e la sicurezza nazionale, prevedendo autorizzazioni accelerate, l'uso di terreni federali e l'alleggerimento dei vincoli normativi, compresi quelli derivanti da leggi ambientali come il *Clean Air Act* e il *Clean Water Act*. Il piano collegato, *Winning the Race, America's AI Action Plan*, ribadisce questa strategia, promuovendo lo sviluppo rapido delle infrastrutture digitali anche a costo di rafforzare la dipendenza dai combustibili fossili e di aumentare la pressione sulla domanda idrica necessaria al raffreddamento delle apparecchiature.

In assenza di un quadro federale stringente, sono le giurisdizioni locali a intervenire per rispondere alle esigenze più immediate delle

⁸⁰ <https://www.sec.gov/newsroom/press-releases/2025-58>.

⁸¹ <https://www.spglobal.com/sustainable1/en/solutions/california-corporate-greenhouse-gas-reporting-program?>

⁸² <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/07/accelerating-federal-permitting-of-data-center-infrastructure/>.

comunità. A Chandler (Arizona), ad esempio, una nuova ordinanza urbanistica in vigore dal 2023 limita la costruzione di *data center* alle sole aree autorizzate e impone misure di mitigazione acustica. Nel 2024, la contea di Fairfax (Virginia) ha introdotto restrizioni sulle dimensioni degli edifici e sulla loro vicinanza alle abitazioni, mentre la contea di Loudoun sta finalizzando una normativa analoga. Queste iniziative, pragmatiche e legate al territorio, affrontano problemi concreti come il rumore, il consumo di suolo o l'impatto sulla qualità della vita, ma non incidono sugli aspetti sistemici legati al fabbisogno idrico ed energetico.

Ne emerge dunque un quadro disomogeneo: da un lato, a livello federale, prevale un approccio orientato alla deregolamentazione e alla velocità di sviluppo industriale; dall'altro, a livello locale, emergono tentativi di risposta alle preoccupazioni delle comunità. Questo contrasto riflette una tensione più ampia tra le esigenze nazionali di competitività tecnologica e i diritti delle popolazioni che convivono quotidianamente con gli impatti ambientali dei *data center*.

11. Conclusioni

La nozione di *pharmakon* ci ha guidato nel descrivere l'ambivalenza costitutiva dell'intelligenza artificiale: rimedio e veleno, strumento di emancipazione e al tempo stesso fattore di nuove forme di dipendenza e vulnerabilità. Nel caso dell'IA, uno degli effetti negativi più evidenti è rappresentato dall'impatto ambientale, che non si limita a produrre emissioni o consumi, ma si traduce in profonde disuguaglianze sociali e territoriali. I costi ecologici dell'infrastrutturazione digitale gravano in modo sproporzionato su comunità già marginalizzate, con un riflesso diretto sul godimento dei diritti fondamentali, incluso il diritto all'acqua e alla salute.

Il caso delle proteste in Cile mostra in maniera paradigmatica questa tensione: i movimenti come MOSACAT hanno scelto di concentrare la mobilitazione esclusivamente sull'acqua, elemento quotidiano e sacro, capace di rendere percepibile e condivisibile un conflitto altrimenti astratto. In questo modo, hanno saputo trasformare la difesa dell'acqua

in un laboratorio di etica dal basso, radicata nei bisogni immediati e nelle relazioni concrete con gli ecosistemi. Tale prospettiva ci ricorda che la sostenibilità dell'IA non può essere pensata soltanto come principio astratto o regolatorio, ma deve emergere anche da pratiche di resistenza e di cura quotidiana, capaci di rivelare ciò che la narrazione dominante tende a invisibilizzare⁸³.

Tale riflessione si intreccia con le prospettive non antropocentriche della filosofia ambientale, che invitano a superare la visione della natura come semplice risorsa a disposizione dell'uomo. I moderni movimenti ecologisti promuovono infatti una prospettiva ecocentrica⁸⁴, che riconosce agli ecosistemi un valore intrinseco e ne afferma la priorità come condizione di vita per tutte le specie. In questo quadro, proteggere l'acqua, la biodiversità e gli equilibri ecologici non è solo una questione di giustizia interumana, ma una responsabilità verso la rete complessiva della vita.

Per cercare di limitare gli effetti negativi del *pharmakon* tecnologico, non basta dunque la sola riformulazione degli strumenti regolatori: occorre un vero e proprio ripensamento etico. Non si tratta semplicemente di aggiungere "preoccupazioni ambientali" al discorso etico, ma di ripensare radicalmente il modo in cui concepiamo l'IA: non come sistema autoreferenziale, ma come forma relazionale, che dipende da elementi – come acqua, energia, metalli, suolo – e dalle comunità che ne custodiscono l'equilibrio.

Questa nuova prospettiva propone una rottura epistemologica e politica: si distacca dal paradigma isolazionista – centrato sul singolo artefatto tecnico – per proporre un approccio strutturale e sistemico, capace di mettere in luce le reti materiali, sociali ed ecologiche in cui l'IA è inscritta. Come abbiamo argomentato, l'IA non è mai "neutrale", né è un fenomeno immateriale o astratto. Ogni modello, ogni dispositivo, ogni infrastruttura AI è il risultato di una lunga filiera di processi

⁸³ Sul pensiero "elementare" come mezzo per promuovere un re-incanto ambientale in grado di rivendicare la natura da schemi scientificisti, manageriali ed estrattivi si veda D. MACAULEY, *Elemental philosophy*, New York, SUNY Press, 2011.

⁸⁴ S. DEWING, *The Necessity of an Ecocentric Environmental Ethic for Artificial Intelligence*, Gonzaga University, 2018, <https://zeelblog.files.wordpress.com/2018/05/the-necessity-of-an-ecocentric-environmental-ethic.pdf>.

estrattivi, lavoro umano, scelte economiche, costi ambientali. Non può quindi esserci un'etica dell'IA autentica senza una riflessione seria e radicale sulla sostenibilità sistemica del settore⁸⁵.

La sostenibilità, infatti, non può essere pensata come una proprietà intrinseca di una tecnologia – non esiste un algoritmo “sostenibile” di per sé. Al contrario, la sostenibilità è una proprietà dei sistemi complessi, delle interazioni tra tecnologie, ambienti e società. In questo senso, un oggetto tecnologico può dirsi sostenibile solo in relazione al sistema di cui fa parte⁸⁶. È per questo che molti impatti ambientali dell'IA – come il consumo di energia, l'uso dell'acqua, le disuguaglianze nella distribuzione delle risorse – restano invisibili, o meglio, invisibilizzati da una narrazione dominante che separa l'etica dall'ecologia.

Seguendo il pensiero di Stiegler, non possiamo più illuderci di trovare un equilibrio oggettivo tra “pro” e “contro” dell'IA. Al contrario, dobbiamo apprendere un’“arte del *pharmakon*”⁸⁷: la capacità di sospendere il giudizio automatico, di esitare, di dosare, e soprattutto di decidere se, quando e come usare queste tecnologie. In alcuni contesti, infatti, la scelta etica più responsabile può essere quella di non ricorrere affatto all'IA, o di disinvestire da modelli ad alto impatto ecologico.

Non basta dunque affidarsi alla quantificazione dei danni o alla standardizzazione delle metriche: questi strumenti, per quanto utili, non sostituiscono la responsabilità politica. Servono piuttosto nuove forme di attenzione, di ascolto e di cura verso gli elementi, verso i territori, verso le comunità che da troppo tempo non hanno voce nella *governance* dell'innovazione tecnologica.

La decisione stessa di adottare l'IA richiede un pensiero in più: ogni utilizzo comporta già un'impronta ambientale, indipendentemente da quanto “ottimizzato” sia il suo impiego. Per questo motivo, i costi ecologici devono essere valutati a monte, prima ancora di stabilire come e in quali ambiti applicare determinati modelli.

⁸⁵ S.D. BAUM, A. OWE, *Artificial Intelligence Needs Environmental Ethics*, in *Ethics, Policy & Environment*, n. 26(1)/2022, 139-143.

⁸⁶ L. BOLTE, A. VAN WYNSBERGHE, *Sustainable AI and the third wave of AI ethics: a structural turn*, in *AI Ethics*, n. 5/2025, 1733-1742.

⁸⁷ L. CELLARD, C. PARKER, F. HAINES, *Beyond AI as an environmental pharmakon*, cit.

In questa direzione, anche la ricerca tecnica offre segnali promettenti. Alcuni studiosi hanno proposto il *bilanciamento geografico del carico consapevole dell'equità*⁸⁸, una pratica che consente di ridistribuire il traffico computazionale dei modelli di IA tra *data center* diversi, tenendo conto non solo della vicinanza geografica, ma anche delle condizioni energetiche, idriche e ambientali delle regioni coinvolte. In tal modo, le attività di calcolo potrebbero essere spostate in aree meno vulnerabili o con maggiore disponibilità di risorse, riducendo l'onere sproporzionato che oggi grava su comunità già colpite da siccità o povertà energetica. Questa tecnica dimostra che soluzioni per promuovere l'equità ambientale esistono, e che non si tratta di un traguardo irrealizzabile, ma di una scelta politica e tecnica possibile.

In ultima analisi, l'etica dell'IA – se vuole essere davvero tale – deve farsi ecologia politica. Deve riconoscere che non c'è giustizia algoritmica senza giustizia ambientale, che non esistono tecnologie neutrali in un mondo ingiusto, e che ogni decisione su cosa sviluppare, dove e per chi, è una scelta politica⁸⁹. Solo così potremo cominciare a costruire una visione dell'IA che non sia solo intelligente, ma anche giusta, sostenibile e condivisa. Una visione fondata non sulla *performance* dei modelli, ma sulla possibilità della convivenza.

Ripensare l'intelligenza artificiale in chiave sostenibile significa, allora, anche rimettere al centro il diritto all'acqua, come diritto alla vita e alla giustizia ecologica, garantendo che la transizione digitale non diventi un ulteriore strumento di disuguaglianza ambientale, ma un'occasione per redistribuire in modo equo benefici e costi dell'innovazione.

⁸⁸ P. LI, J. YANG, A. WIERMAN, S. REN, *Towards Environmentally Equitable AI via Geographical Load Balancing*, in *Proceedings of the 15th ACM International Conference on Future and Sustainable Energy Systems*, 2024, 291-307.

⁸⁹ N. VAN UFFELEN, L. LAUWAERT, M. COECKELBERGH, O. KUDINA, *Towards an Environmental Ethics of Artificial Intelligence*, in *Computers and Society*, 2024.

Il recupero e il riutilizzo delle acque come risorsa idrica alternativa

Matteo Caldironi, Eleonora Malavasi

Sommario: 1. La politica dell'Unione Europea sulla tutela della risorsa idrica. – 1.1. Il quadro normativo europeo. – 1.1.1. Direttiva quadro sulle acque e direttive specifiche in materia di acque. – 1.2. Indicazioni sul riutilizzo nelle direttive europee in materia di tutela delle acque. – 1.2.1. Il riutilizzo nella direttiva 91/271/Cee. – 1.2.2. Il riutilizzo nella direttiva 2000/60/Ce. – 1.2.3. Il riutilizzo nel regolamento 2020/741/Ue. – 1.2.4. Il riutilizzo nella direttiva 2024/3019/Ue. – 1.3. Il riutilizzo delle acque nella normativa tecnica di settore: le *Best Available Techniques* (“BAT”). – 1.3.1. *Bat, Bref, Bat conclusions* e condizioni autorizzative: cenni generali. – 1.3.2. Il riutilizzo delle acque reflue nelle *Bat conclusions*. – 2. La normativa nazionale in tema di riutilizzo delle acque. – 2.1. La legge Galli (n. 36 del 1994) e il Testo Unico sulle Acque (d.lgs. n. 152 del 1999): prime disposizioni in tema di riutilizzo. – 2.2. Il decreto ministeriale n. 185 del 2003: il regolamento recante le prime norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue. – 2.3. Il riutilizzo nel d.lgs. n. 152 del 2006. – 2.4. Il d.l. n. 39 del 2003: il “decreto siccità”. – 2.5. La proposta di decreto sul riutilizzo delle acque reflue. – 3. La normativa regionale in tema di riutilizzo delle acque. – 3.1. Regione Veneto. – 3.2. Provincia Autonoma di Bolzano. – 3.3. Regione Liguria. – 3.4. Regione Emilia-Romagna. – 3.5. Regione Toscana. – 3.6. Regione Puglia. – 3.7. Regione Sardegna. – 4. Conclusioni e riflessioni *de jure condendo*.

1. La politica dell'Unione Europea sulla tutela della risorsa idrica

L'acqua è una risorsa impiegata in un'ampia gamma di settori produttivi, quali l'agricoltura, l'industria, il turismo, i trasporti e l'energia, ma è ancor prima un bene comune da proteggere come habitat per

specie vegetali e animali, nonché una risorsa limitata che deve essere tutelata, in termini sia di qualità che di quantità, e utilizzata in maniera sostenibile ¹.

L'acqua dolce costituisce solo circa il 2% delle risorse idriche del pianeta e le Nazioni Unite hanno stimato che, viste le numerose pressioni concorrenti, entro il 2030 la domanda globale di acqua potrebbe superare del 40% l'effettiva disponibilità ². In particolare, non solo il vasto uso dell'acqua nelle attività produttive ma anche i cambiamenti climatici, lo sfruttamento del suolo, lo sviluppo urbano e i cambiamenti demografici contribuiscono a determinare sulle risorse idriche impatti negativi che si manifestano sotto forma di emissioni di inquinanti, stress idrico, modifiche fisiche ai corpi idrici ed eventi estremi come alluvioni e siccità.

Nel contesto internazionale, le problematiche legate alla disponibilità e all'uso dell'acqua costituiscono alcuni degli argomenti centrali nelle discussioni in tema di sviluppo sostenibile proprio per il ruolo

¹ Lo sviluppo sostenibile è un principio fondamentale sancito nel Trattato dell'Unione Europea (art. 3, paragrafo 3, TUE), da cui è poi stato recepito nel diritto interno. È opinione diffusa che lo sviluppo sostenibile ricopra un ruolo egemone tra i principi che presiedono la governance ambientale, trovando espresso riconoscimento nei principi generali (art. 3-*quater*) del d.lgs. 3 aprile 2006, n. 152 («Norme in materia ambientale») e, dal 2022, anche all'interno della Carta Costituzionale (artt. 9 e 41). Sulla base del principio in esame, ogni attività antropica deve garantire che il soddisfacimento dei bisogni delle generazioni attuali non rischi di compromettere la qualità della vita e le possibilità delle generazioni future. In questa prospettiva, è fondamentale che anche l'attività della pubblica amministrazione sia orientata nel senso di garantire la migliore attuazione possibile di tale principio: pertanto, nella valutazione comparativa degli interessi pubblici e privati, caratterizzata da discrezionalità, gli interessi legati alla tutela dell'ambiente e del patrimonio culturale devono essere considerati prioritari. *Ex multis* R. BIFULCO, *Diritto e generazioni future. Problemi giuridici della responsabilità generazionale*, Milano, Giuffrè, 2008, pp. 15-16; F. FRACCHIA, *La voce flebile dell'altro tra protezione dell'ambiente e tutela dello sviluppo sostenibile*, Napoli, Editoriale Scientifica, 2010; M. ANTONIOLI, *Sostenibilità dello sviluppo e governance ambientale*, Torino, Giappichelli, 2016. Nel panorama degli studi costituzionalistici, cfr. D. PORENA, *Il principio di sostenibilità*, Torino, Giappichelli, 2017; T. GROPPI, *Sostenibilità e Costituzioni: lo Stato costituzionale alla prova del futuro*, in *DPCE*, n. 1/2016, 43 ss.

² Dato elaborato dal "2030 Water Resources Group", cfr. Rapporto mondiale delle Nazioni Unite sullo sviluppo delle risorse idriche 2021, p. 14 disponibile al seguente indirizzo https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375750_ita.

determinante svolto da questa risorsa per la vita dell'uomo e dell'ecosistema in generale. L'uso sostenibile dell'acqua rientra infatti nei diciassette obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite e, in particolare, del sesto obiettivo strategico dell'Agenda 2030, che riguarda "Acqua e Servizi Igienico-Sanitari: Garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e delle strutture igienico-sanitarie". In particolare, il target 6.3 stabilisce l'obiettivo, entro il 2030, «di migliorare la qualità dell'acqua riducendo l'inquinamento, eliminando gli scarichi non controllati, dimezzare la percentuale di acque reflue non trattate e aumentare il riciclaggio e il riutilizzo sicuro a livello globale».

Lo stato ecologico e chimico delle acque territoriali è dunque in pericolo, così come diversi territori dell'Unione Europea sono a rischio di carenza idrica e risultano esposti a fenomeni alluvionali e di siccità. Di qui l'obiettivo del legislatore europeo di implementare normative finalizzate a preservare le risorse idriche necessarie per gli esseri viventi, la natura e l'economia e proteggere la salute umana³.

Nel 2012 la Commissione ha presentato il Piano per la salvaguardia delle risorse idriche europee, una strategia a lungo termine volta a garantire un approvvigionamento idrico adeguato sul piano qualitativo e quantitativo per tutti gli usi legittimi, migliorando l'attuazione della politica vigente in materia di acque, integrandone gli obiettivi all'interno di altre politiche settoriali e colmando le lacune del quadro esistente. Il Piano prevede lo sviluppo, da parte degli Stati membri, di una contabilità delle risorse idriche e di obiettivi di efficienza idrica, nonché la definizione di norme unionali per il riutilizzo delle acque.

Nei paragrafi che seguono sarà analizzato il quadro normativo europeo di riferimento in materia di tutela delle acque, per poi approfondire le diverse normative vigenti a livello comunitario che disciplinano specificamente il tema del riutilizzo.

³ Si vedano in tal senso la comunicazione della Commissione del 18 luglio 2007 intitolata «*Affrontare il problema della carenza idrica e della siccità nell'Unione europea*» che stabilisce la gerarchia delle misure che gli Stati membri dovrebbero prendere in considerazione per gestire la scarsità d'acqua e le siccità, nonché la risoluzione del Parlamento europeo del 9 ottobre 2008 su come affrontare il problema della carenza idrica e della siccità nell'Unione europea.

1.1. Il quadro normativo europeo

A livello europeo, la tutela delle acque trova il suo fondamento negli artt. 191, 192 e 193 del trattato sul funzionamento dell'Unione europea (Tfue), ossia gli stessi articoli su cui si fonda, in generale, la competenza dell'Unione europea in materia di tutela dell'ambiente. Dagli anni Settanta al 1998 si sono susseguiti circa ventidue provvedimenti in tema di acque tra direttive e decisioni, piuttosto eterogenei e non ben coordinati tra loro.

Il mutamento radicale del quadro normativo comunitario è avvenuto con la direttiva-quadro sulle acque 2000/60/Ce (*Water framework directive, Wfd*) che, attraverso un approccio “circolare” basato sul ciclo integrato dell'acqua ha determinato la nascita dell'attuale diritto europeo dell'acqua. Il secondo pilastro della normativa comunitaria sulle acque è rappresentato dalla direttiva-quadro sulla strategia per l'ambiente marino 2008/56/Ce⁴, che costituisce lo strumento di *governance* del sistema-mare promuovendo l'adozione di strategie complesse mirate alla salvaguardia dell'ecosistema marino per il raggiungimento del Buono Stato Ambientale.

⁴ La direttiva 2008/56/Ce (recepita con il d.lgs. n. 190 del 2010) impone l'elaborazione, da parte di ciascuno Stato membro per ogni regione o sottoregione marina interessata, di una strategia per l'ambiente marino in base al piano d'azione indicato dalla direttiva, nonché l'introduzione di strategie comuni per la tutela dell'ambiente marino. Al fine di conseguire un buono stato ecologico delle acque marine entro il 2020, gli Stati membri erano tenuti a elaborare strategie per le proprie acque marine basate sugli ecosistemi, da riesaminare ogni sei anni. Sempre nell'ambito della politica marittima, vi è la direttiva 2005/35/Ce (recepita con il d.lgs. n. 202 del 2007) sull'inquinamento provocato dalle navi che prevede l'introduzione, da parte degli Stati membri, del reato di scarico di sostanze inquinanti effettuati dalle navi intenzionalmente, temerariamente o per negligenza grave; vengono, altresì, previste misure di controllo da parte degli Stati costieri per le navi in transito sospettate di effettuare scarichi di sostanze inquinanti. Il 18 aprile 2024 il Consiglio europeo ha approvato la proposta di modifica della direttiva 2005/35/Ce che prevede, tra i punti principali, l'estensione dell'ambito di applicazione agli scarichi illegali di sostanze nocive trasportate in colli, acque reflue, rifiuti solidi e acque di scarico e residui. Viene inoltre potenziato il quadro delle sanzioni e della loro effettiva applicazione.

1.1.1. Direttiva quadro sulle acque e direttive specifiche in materia di acque

La direttiva-quadro 2000/60/Ce (recepita nel nostro ordinamento nella Parte Terza⁵ del d.lgs. n. 152 del 2006, il cosiddetto Testo Unico Ambientale) ha introdotto una serie di disposizioni finalizzate a prevenire il deterioramento degli ecosistemi acquatici nonché a proteggerne e migliorarne lo stato, assicurare un utilizzo idrico sostenibile a lungo termine, perseguire la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee nonché l'arresto degli scarichi delle sostanze inquinanti, contribuire a mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità e, infine, riconoscere come corrispettivo per i servizi idrici il giusto prezzo attraverso l'introduzione di principi dell'analisi economica, come quelli del *polluter pays* (chi inquina paga) e del *full cost recovery* (recupero dei costi dei servizi idrici).

La direttiva ha stabilito che con successivi atti normativi europei, ma soprattutto attraverso la legislazione nazionale, fossero adottati provvedimenti per il raggiungimento del buono stato delle acque, nonché disposizioni finalizzate all'identificazione e alla correzione di qualsiasi tendenza prolungata e significativa all'aumento della concentrazione di sostanze inquinanti nelle acque sotterranee. La direttiva ha inoltre introdotto il concetto di gestione a scala di bacino, il cui coordinamento è garantito da un unico soggetto competente, che in Italia è rappresentato dalle Autorità di bacino distrettuali. È prevista poi l'adozione del Piano di Gestione di bacino idrografico, che costituisce il masterplan di riferimento per raggiungere il principale obiettivo ambientale del buono stato di tutti i corpi idrici entro precise scadenze⁶.

A seguito di una valutazione svolta nel 2019 che ha verificato come la direttiva quadro sulle acque, pur essendo sostanzialmente adatta allo scopo, non sia ancora pienamente attuata, nel giugno 2020 la Commissione europea ha annunciato che si sarebbe andati nella direzione di una più efficace attuazione ed applicazione della direttiva vigente.

⁵ Recante "Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche".

⁶ La scadenza originariamente prevista era il 2015, con la possibilità di prorogare, a precise condizioni, al 2021 o al 2027, o derogare per situazioni e motivazioni specifiche o per condizioni naturali.

La direttiva quadro sulle acque è integrata da numerose altre direttive più mirate che disciplinano profili specifici relativi alle acque. Di seguito ne vengono esposti i principali profili di interesse.

La direttiva 2006/118/Ce⁷, in tema di protezione dall'inquinamento delle acque sotterranee, ha introdotto procedure comuni che gli Stati membri devono seguire per l'individuazione dei valori soglia, cioè dei valori in base ai quali valutare lo stato chimico delle acque sotterranee, nonché le misure per l'individuazione delle tendenze significative e durature all'aumento della concentrazione di inquinanti, per la determinazione delle condizioni di partenza e le inversioni dei punti di tendenza nonché per la prevenzione dell'immissione di inquinanti.

In recepimento della direttiva in esame, a livello nazionale è stato adottato il d.lgs. n. 30 del 2009, che fa propri gli standard di qualità previsti a livello comunitario per i nitrati e per le sostanze attive presenti nei pesticidi⁸ oltre a stabilire valori soglia specifici per ulteriori composti, tenendo conto di eventuali valori di fondo che caratterizzano gli acquiferi per motivi idrogeologici naturali.

La direttiva 2020/2184/Ue⁹ (che ha sostituito la previgente direttiva 1998/83/Ce¹⁰) fissa gli standard qualitativi minimi che gli Stati membri devono garantire per le acque destinate al consumo umano e contiene

⁷ Come modificata dalla direttiva 2014/80/Ue.

⁸ I valori limite per queste sostanze sono in realtà contenuti nella direttiva Nitrati, sul tema v. *infra*.

⁹ Si segnala che la direttiva 2020/2184 è la prima legislazione europea sviluppata attraverso l'iniziativa dei cittadini europei denominata "*Right2Water*", il cui slogan è "*Acqua potabile e servizi igienico-sanitari: un diritto umano universale! L'acqua è un bene comune, non una merce*", che aveva proposto alla Commissione una normativa che sancisse il diritto umano universale all'acqua potabile, ai servizi igienico-sanitari e alla loro fornitura in quanto servizi pubblici fondamentali per tutti i cittadini e per la loro dignità.

¹⁰ In relazione alla previgente direttiva 1998/83/Ce (recepita con il d.lgs. n. 31 del 2001 modificato con decreto del ministero della Salute del 14 novembre 2016) il Consiglio di Stato ha chiarito che essa introduce un principio generale di divieto di diffusione nelle acque di falda di sostanze comunque inquinanti, anche se non cancerogene o certamente nocive. Da ciò deriva l'obbligo per gli Stati di adottare tutte le disposizioni normative e amministrative atte a prevenirne e reprimerne la violazione, anche quando le sostanze in considerazione non siano previste negli specifici elenchi dei rifiuti pericolosi (sentenza del Consiglio di Stato n. 3396 del 2015).

disposizioni in tema di punti di prelievo, di controllo e campionamenti e, infine, di provvedimenti correttivi e limitazioni d'uso. Lo scopo della direttiva è aggiornare le norme di sicurezza vigenti e, soprattutto, rafforzare la trasparenza sulla qualità e sull'approvvigionamento di acqua potabile, al fine di aumentare la fiducia dei consumatori nei confronti del consumo dell'acqua di rubinetto e ridurre così l'uso di bottiglie di plastica. Più nel dettaglio, la direttiva ha aggiornato l'elenco dei parametri da ricercare e monitorare, introducendone di nuovi legati agli "inquinanti emergenti" (come i PFAS), e ha reso più stringenti i limiti per i contaminanti già contemplati nella precedente direttiva. È stato poi introdotto un approccio basato sull'analisi e la gestione del rischio dei bacini idrografici, dei sistemi di fornitura e dei sistemi di distribuzione domestici, a valle della quale gli Stati membri potranno ampliare l'elenco dei parametri considerati nel monitoraggio, nonché aumentare la frequenza dei controlli o prevedere trattamenti ulteriori da effettuare. Sono stati previsti inoltre dei requisiti minimi di igiene per i materiali che entrano a contatto con le acque destinate al consumo umano nonché per i reagenti chimici e materiali filtranti utilizzati per il trattamento delle acque e, infine, sono state stabilite disposizioni per potenziare l'accesso all'acqua potabile per i gruppi di cittadini vulnerabili ed emarginati oltre che per migliorarne l'accesso per chi già ne beneficia.

In recepimento della direttiva in esame, con il d.lgs. n. 18 del 2023 ¹¹ sono stati introdotti a livello nazionale i nuovi parametri da monitorare previsti dalla normativa europea e ne sono stati inseriti di ulteriori per le acque addolcite o desalinizzate; è stato inoltre disciplinato nel dettaglio il metodo di valutazione e gestione del rischio e sono stati implementati i requisiti minimi di igiene per i materiali che entrano a contatto con le acque potabili.

La direttiva 91/271/Ce, recepita prima con il d.lgs. n. 152 del 1999 poi confluito a sua volta nella Parte Terza del d.lgs. n. 152 del 2006, disciplina lo scarico delle acque reflue urbane ¹² e delle acque reflue

¹¹ Con contestuale abrogazione del previgente d.lgs. n. 31 del 2001.

¹² Per acque reflue urbane si intendono «le acque reflue domestiche o il miscuglio di acque reflue domestiche, di acque reflue industriali ovvero meteoriche di dilavamento convogliate in reti fognarie – anche separate – e provenienti da agglomerato» [art. 74, comma 1, lett. i) d.lgs. n. 152 del 2006]. Le acque reflue urbane sono, in sintesi,

industriali¹³. In particolare, la direttiva stabilisce gli standard minimi per la raccolta, il trattamento e lo scarico delle acque, introduce l'obbligo di controlli sullo smaltimento dei fanghi di depurazione e impone la progressiva eliminazione dello scarico in mare degli stessi.

A far data dal 1° agosto 2027 la direttiva 91/271/Ce sarà abrogata e sostituita dalla recente direttiva 2024/3019, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale del 12 dicembre 2024, entrata in vigore il 1° maggio 2025 e che dovrà essere recepita dagli Stati membri entro il 31 luglio 2027¹⁴.

quelle convogliate in una rete fognaria e provenienti da agglomerato, la cui gestione è affidata al gestore del servizio idrico integrato. Il Consiglio di Stato ha chiarito che laddove vi sia un miscuglio di reflui industriali (v. *infra*) e urbani, ai fini della classificazione degli impianti di depurazione e dell'individuazione del regime autorizzativo applicabile, deve essere valutata la prevalenza di una tipologia di reflui rispetto all'altra. Tuttavia, poiché il concetto di prevalenza non è meglio precisato, si ritiene corretto considerare non solo il volume fisico degli scarichi, ma anche la composizione qualitativa degli stessi, in quanto anche un quantitativo modesto di reflui industriali – che però contengano sostanze di tipo particolare – può rendere necessario trattare lo scarico con processi più sofisticati di quelli normalmente richiesti (sentenza n. 2482/2021).

¹³ Nella normativa italiana, per acque reflue industriali si intende «qualsiasi tipo di acque reflue scaricate da edifici od impianti in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni, diverse dalle acque reflue domestiche e dalle acque meteoriche di dilavamento» [art. 74, comma 1, lett. h) d.lgs. n. 152 del 2006]. A livello nazionale, le acque reflue industriali vengono individuate, infatti, in via negativa, in relazione ad altre tipologie di reflui, posto che, per definizione, le reflue industriali devono essere diverse da quelle domestiche e da quelle meteoriche di dilavamento. Dal punto di vista della provenienza, i reflui industriali sono scaricati da edifici o impianti in cui si svolgono attività produttive, fermo restando che da impianti produttivi possono provenire anche reflui domestici (si pensi agli scarichi dei servizi igienici e delle mense presenti negli stabilimenti industriali). Con una recente sentenza (n. 38487 del 2024) la Cassazione penale ha ribadito il principio secondo cui sono da considerarsi scarichi industriali, «oltre ai reflui provenienti da attività di produzione industriale vera e propria, anche quelli provenienti da insediamenti ove si svolgono attività artigianali e di prestazioni di servizi, quando le caratteristiche qualitative degli stessi siano diverse da quelle delle acque domestiche». Si consideri inoltre che la giurisprudenza penale (*ex multis* Cassazione Penale nn. 2832/2015, 28725/2018, 6260/2019, 38196/2021, 34630/2022) e amministrativa (cfr. TAR Lecce n. 1569/2013; TAR Napoli n. 1773/2023) oramai costante ritiene che le acque meteoriche di dilavamento – ossia le acque piovane – costituite dalle sole acque che, cadendo al suolo, subiscono contaminazioni con sostanze o materiali inquinanti vanno qualificate come reflui industriali.

¹⁴ Per maggiore precisione, l'art. 32 stabilisce scadenze differenziate per conformarsi agli artt. da 2 a 11 e da 14 a 26 e agli allegati I, III, V e VI entro il 31 luglio 2027.

Gli obiettivi principali della nuova direttiva riguardano gli obblighi di trattamento avanzato, gli inquinanti da monitorare e il riutilizzo delle acque reflue urbane. Più nel dettaglio, tra le principali novità vi sono prescrizioni specifiche per il calcolo del carico fognario di un agglomerato e scadenze differenziate affinché ogni agglomerato si doti di reti fognarie per il recapito di tutte le acque reflue domestiche; l'obbligo di svolgere ogni quattro anni degli audit energetici sugli impianti di trattamento delle acque reflue urbane e sulle reti fognarie; la disciplina delle condizioni per il rilascio delle autorizzazioni allo scarico di reflui industriali in pubblica fognatura; il riutilizzo delle acque reflue depurate, con particolare attenzione all'uso per l'irrigazione agricola e per le zone soggette a stress idrico; i controlli da effettuare in ingresso e in uscita dai depuratori di reflui urbani, in particolare per quelli che scaricano in bacini idrografici con punti di estrazione di acque destinate al consumo umano, in cui andranno monitorate le concentrazioni di PFAS e delle altre sostanze di cui all'allegato III parte B della direttiva 2020/2184 sulle acque destinate al consumo umano; nuovi obblighi di informazione per il pubblico nonché di implementazione di una procedura nazionale di ricorso dinanzi a un organo giurisdizionale per contestare la legittimità sostanziale o procedurale di decisioni, atti od omissioni prese dagli Stati membri e per la conseguente richiesta di indennizzi.

La direttiva 2008/105/Ce introduce gli standard di qualità ambientale (SQA) per le acque superficiali relativi alla presenza di sostanze o di gruppi di sostanze definite come "inquinanti prioritari"¹⁵ in ragione del rischio significativo che determinano per l'ambiente acquatico. Nella sostanza, gli SQA indicano i valori limite di concentrazione di tali

Inoltre, entro il 1° gennaio 2028 gli Stati membri dovranno anche elaborare un programma nazionale di attuazione della nuova direttiva (art. 23).

¹⁵ Tali sostanze comprendono cadmio, piombo, mercurio e nichel e i loro composti, quali benzene, idrocarburi policiclici aromatici, nonché diversi pesticidi. L'elenco è stato integrato dalla direttiva 2013/39/UE che ha aggiornato gli SQA per sette delle trentatré sostanze prioritarie originarie, in linea con le ultime conoscenze scientifiche e tecniche riguardanti le proprietà di tali sostanze. Nell'ottobre 2022 la Commissione ha proposto l'aggiunta di 23 singole sostanze all'elenco delle sostanze prioritarie per le acque superficiali, tra cui pesticidi quali il glifosato, alcuni prodotti farmaceutici (antidolorifici, farmaci antinfiammatori e antibiotici), il bisfenolo A e un gruppo di 24 sostanze per-epolifluoroalchiliche (PFAS).

sostanze che non devono essere superati per garantire il raggiungimento del buono stato chimico del corpo idrico. La direttiva 2008/105/Ce richiede inoltre agli Stati membri di identificare, all'interno dei piani di gestione dei distretti idrografici in prossimità dei punti di scarico, delle cosiddette "zone di mescolamento", nelle quali è ammesso il superamento degli SQA purché il resto del corpo idrico superficiale risulti invece conforme agli standard.

Il recepimento della direttiva in esame è stato effettuato nella Parte Terza del d.lgs. n. 152 del 2006 che, per quanto rileva, reca gli obiettivi di qualità per i corpi idrici, prevede la gestione integrata dei bacini idrografici in capo a un unico soggetto competente (ovvero l'Autorità di bacino distrettuale) nonché l'affidamento e la regolamentazione del servizio idrico integrato.

La direttiva 2006/7/Ce (recepita con il d.lgs. n. 116 del 2008) sulle acque di balneazione contiene le disposizioni relative ai parametri di monitoraggio per la valutazione della qualità di queste acque, la classificazione delle acque di balneazione una volta monitorate (scarsa, sufficiente, buona, eccellente), nonché altre disposizioni in tema di cooperazione transfrontaliera e di informazione al pubblico. In particolare, durante la stagione balneare gli Stati membri devono garantire che siano prelevati campioni delle acque di balneazione per verificare la concentrazione di almeno due batteri specifici una volta al mese e presso ciascun sito di balneazione. Deve essere inoltre garantita una corretta informativa ai cittadini sul tipo e sulle fonti di inquinamento che influiscono sulla qualità delle acque di balneazione.

La direttiva 1991/676/Ce, nota anche come "direttiva nitrati", ha lo scopo di ridurre l'inquinamento delle acque causato direttamente o indirettamente dai nitrati di origine agricola. Il provvedimento prevede che gli Stati membri individuino le zone vulnerabili – ossia porzioni di territorio che drenano verso le acque inquinate da nitrati o affette da eutrofizzazione o che potrebbero divenire inquinate, se non si interviene – in conformità ai criteri della direttiva, fissino un codice di buona pratica agricola, predispongano, se necessario, un programma per la formazione e l'informazione degli agricoltori e stabiliscano i programmi d'azione per le zone vulnerabili designate, ovvero una serie di misure

che gli agricoltori sono obbligati ad adottare nella gestione aziendale allo scopo di migliorare lo stato di qualità delle acque.

La norma nazionale di recepimento della direttiva nitrati è costituita dall'art. 92 (recante «zone vulnerabili da nitrati di origine agricola») e dall'allegato 7/A-I alla Parte Terza del d.lgs. n. 152 del 2006. In particolare, l'art. 92 dispone che le zone vulnerabili siano individuate sulla base dei criteri di cui all'allegato 7/A-I e designa nel medesimo allegato un primo elenco di zone vulnerabili che le Regioni, entro centottanta giorni dall'entrata in vigore della disposizione, hanno potuto rivedere aggiungendone altre o eliminando talune zone da quelle individuate dal legislatore nazionale nell'allegato 7/A-I. Vengono poi attribuite alle Regioni una serie di competenze ai fini dell'attuazione della direttiva nitrati. Più precisamente, le Regioni provvedono a riesaminare e, se necessario, rivedere o completare le designazioni delle zone vulnerabili almeno ogni quattro anni; definire o rivedere ed attuare i Programmi d'azione¹⁶ obbligatori per la tutela e il risanamento delle acque dall'inquinamento causato da nitrati di origine agricola; integrare, in relazione alle esigenze locali, il codice di buona pratica agricola, stabilendone le modalità di applicazione; predisporre ed attuare interventi di formazione e di informazione degli agricoltori sul Programma di azione e sul codice di buona pratica agricola; elaborare ed applicare i necessari strumenti di controllo e verifica dell'efficacia dei Programmi d'azione sulla base dei risultati ottenuti.

1.2. Indicazioni sul riutilizzo nelle direttive europee in materia di tutela delle acque

Nel contesto normativo di riferimento sopra delineato, da sempre orientato a tutelare la risorsa idrica sia dal punto di vista del suo utilizzo

¹⁶ La norma tecnica di riferimento per le Regioni per l'adozione dei Programmi d'azione è il d.m. 25 febbraio 2016, n. 5046 recante «Criteri e norme tecniche generali per la disciplina regionale dell'utilizzazione agronomica degli effluenti di allevamento e delle acque reflue, nonché per la produzione e l'utilizzazione agronomica del digestato». Il d.m. 25 febbraio 2016 contiene, inoltre, prescrizioni su altri temi connessi come, ad esempio, la produzione e utilizzazione del digestato.

– che deve essere sostenibile – sia per quanto concerne l’impatto di carichi inquinanti che ne potrebbero compromettere la qualità, è corretto affermare che sin dalla direttiva 91/271/Cee sul trattamento delle acque reflue urbane il legislatore europeo si sia focalizzato sulla prevenzione integrata, vale a dire su un approccio basato sull’analisi di rischio sia per la filiera idro-potabile che per la depurazione e il riuso delle acque reflue. Con la direttiva-quadro sulle acque 2000/60/Ce si è poi passati alla previsione di obiettivi di qualità ambientale, mentre l’introduzione effettiva dei criteri di “sicurezza” e di “rischio” in tema di acque reflue e, quindi, della tutela generale delle risorse idriche basata sull’analisi di rischio, è avvenuta con la direttiva 2015/1787 sulla qualità delle acque destinate al consumo umano che, in particolare, dispone i termini per la redazione di “Piani di Sicurezza dell’Acqua” nella gestione della risorsa idrica distribuita e destinata ad uso idropotabile. Di qui i primi obblighi per la valutazione dei rischi connessi al consumo di acqua ai fini della tutela della salute dell’uomo, poi rapportati alle acque utilizzate per l’irrigazione di colture nel settore agricolo. Pertanto, i medesimi criteri sono stati ricondotti dalla filiera idro-potabile ai sistemi di trattamento e riuso delle acque reflue¹⁷. Tali contenuti sono alla base della nuova concezione e regolamentazione europea della filiera del riutilizzo delle acque reflue urbane ai fini irrigui (regolamento Ue 2020/741 e direttiva Ue 2024/3019).

Fatta questa premessa di ordine generale, di seguito verranno analizzate le disposizioni della normativa comunitaria che affrontano specificamente la tematica del riutilizzo delle acque reflue.

1.2.1. Il riutilizzo nella direttiva 91/271/Cee

La disposizione che per la prima volta ha affrontato il tema del riutilizzo delle acque reflue urbane trattate è l’art. 12 della direttiva 91/271/Cee che al comma 1 dispone: «le acque reflue che siano state sottoposte a trattamento devono essere riutilizzate, ogniqualevolta ciò risulti appropriato».

¹⁷ Cfr. in tal senso le Linee Guida SNPA “*Il riutilizzo delle acque reflue urbane da impianti di depurazione urbani: ricognizione sui controlli e quadro conoscitivo nazionale*” (Delibera del Consiglio SNPA n. 254/24 del 23 luglio 2024).

Il legislatore europeo aveva deciso quindi di introdurre un vero e proprio obbligo (“devono”) di riutilizzo delle acque reflue depurate senza tuttavia indicare i requisiti qualitativi minimi che tali acque devono avere in relazione alle possibili tipologie di riutilizzo (industriale, agricolo, ecc.). L’art. 12 comma 1 si limita infatti a stabilire, sempre in modo generico, che debbano essere minimizzati gli effetti negativi sull’ambiente per qualsiasi modalità di «smaltimento» optata.

Questa prima normativa europea reca, dunque, una previsione sostanzialmente di principio – l’obbligo di riutilizzo delle acque reflue trattate laddove possibile – ma non stabilisce modalità tecniche più specifiche che permettano di attuare tale obbligo. Mancano, infatti, disposizioni che riguardino le tipologie possibili di riutilizzo di acque reflue depurate, non sono previste sanzioni per il mancato rispetto dell’obbligo di riutilizzo, né si stabilisce un “obbligo di comunicazione” dei casi in cui sia conseguito o meno il riutilizzo.

1.2.2. Il riutilizzo nella direttiva 2000/60/Ce

La direttiva quadro 2000/60/Ce riprende, seppur in modo marginale, il tema del riutilizzo delle acque reflue nell’ambito delle misure che possono essere inserite dagli Stati membri nei programmi nazionali finalizzati al raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale. Nella Parte B dell’Allegato 6, infatti, le «x) misure tese a favorire l’efficienza e il riutilizzo, tra le quali l’incentivazione delle tecnologie efficienti dal punto di vista idrico nell’industria e tecniche di irrigazione a basso consumo idrico» vengono inserite tra le «eventuali misure supplementari che gli Stati membri possono decidere di adottare» a livello di distretto idrografico ai fini del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale stabiliti all’art. 4 della stessa direttiva, tenuto conto dei risultati delle analisi di pressione svolte in base all’art. 5¹⁸.

È da evidenziare innanzitutto che, a differenza della direttiva 91/271/Cee, la direttiva 2000/60/Ce individua il riutilizzo come una misura facoltativa che gli Stati appunto “possono” (non devono) prevedere nei programmi per il raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale delle acque.

¹⁸ Cfr. quanto detto sulla direttiva 200/60/Ce al paragrafo 1.1.1. che precede.

La direttiva quadro individua inoltre alcune delle misure che possono essere adottate per incentivare il riutilizzo (tecnologie efficienti nell'industria e tecniche di irrigazione a basso consumo idrico) ma mancano, anche in questo caso, indicazioni specifiche sulle tipologie possibili di riutilizzo di acque reflue depurate nonché sulle modalità di attuazione del meccanismo stesso e ciò, d'altronde, coerentemente con il fatto che il riutilizzo costituisce una misura facoltativa, la cui attuazione viene pertanto interamente rimessa alla discrezionalità degli Stati membri.

1.2.3. Il riutilizzo nel regolamento 2020/741/Ue

La prima normativa europea che disciplina in modo organico e strutturale il riutilizzo delle acque reflue è il regolamento 2020/741/Ue «recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua». Il regolamento, entrato in vigore nel 2020 ma divenuto applicabile a decorrere dal 26 giugno 2023, ha lo scopo di favorire una maggiore diffusione della pratica del riutilizzo¹⁹ per combattere la siccità, riducendo al tempo stesso gli impatti ambientali legati all'approvvigionamento idrico²⁰ e favorendo l'economia circolare²¹.

In attuazione di quanto previsto dall'art. 11, comma 5 del regolamento, che attribuisce alla Commissione il potere di elaborare degli orientamenti a sostegno dell'applicazione dello stesso previa consultazione con gli Stati membri, in data 5 agosto 2022 sono state emanate le

¹⁹ Cfr. considerando n. 7 dove viene altresì specificato che il regolamento «dovrebbe essere sufficientemente flessibile da consentire la prosecuzione della pratica del riutilizzo dell'acqua agli utilizzatori finali di acque trattate, permettendo nel contempo che sia possibile per altri Stati membri di applicare tali norme allorché decidono di introdurre questa pratica in un secondo momento».

²⁰ Cfr. considerando n. 9: «Si stima che il riutilizzo delle acque reflue adeguatamente trattate, ad esempio quelle provenienti da impianti di trattamento delle acque reflue urbane, abbia un minore impatto ambientale rispetto ad altri metodi alternativi di erogazione idrica, quali i trasferimenti d'acqua o la desalinizzazione».

²¹ Cfr. considerando n. 11: «Il riutilizzo dell'acqua a fini irrigui in agricoltura può altresì contribuire a promuovere l'economia circolare recuperando i nutrienti dalle acque affinate e applicandoli ai raccolti mediante tecniche di fertirrigazione. Il riutilizzo dell'acqua potrebbe in tal modo ridurre potenzialmente la necessità di applicazioni integrative di concime minerale».

Linee Guida europee²² «Orientamenti a sostegno dell'applicazione del regolamento (UE) 2020/741 recante prescrizioni minime per il riutilizzo dell'acqua», che chiariscono le disposizioni del regolamento e riportano esempi di tipo tecnico in tema di gestione dei rischi, tipi di colture e controlli di validazione.

Come condivisibilmente osservato in dottrina²³, è utile soffermarsi innanzitutto sul tipo di strumento normativo adottato. Per la prima volta, infatti, la disciplina del riutilizzo non viene dettata attraverso direttive ma con un regolamento. E questa veste formale è particolarmente significativa per le conseguenze che determina negli ordinamenti nazionali stanti le caratteristiche di portata generale, applicabilità diretta e obbligatorietà in tutti i suoi elementi del regolamento *ex art.* 288 TFUE, a differenza delle direttive che, al contrario, seppur nel rispetto degli scopi obbligatori che esse pongono, vengono recepite in modo diverso dagli Stati membri. Si tratta di un evidente cambio di passo nella materia del riutilizzo delle acque reflue ragionevolmente finalizzato a rendere obbligatoria e uniforme l'applicazione di questa tecnica.

Passiamo ora all'analisi dei punti più rilevanti del regolamento.

Il regolamento 2020/741/UE disciplina il riutilizzo delle acque ai «fini irrigui in agricoltura»²⁴ mentre le altre possibili destinazioni di riuso – ambientale, industriale, civile – non rientrano nel suo campo di applicazione ma sono comunque ammesse, potendo gli Stati membri stabilire a livello nazionale le condizioni di sicurezza per questi ulteriori usi²⁵. Il riferimento normativo di base continua ad essere l'art. 12 della

²² Comunicazione della Commissione Europea 2022/C 298/01.

²³ A. FUSCO, M.R. CALDERARO, *Un problema di sostenibilità ambientale: il riutilizzo delle acque reflue trattate tra regolamentazione dell'Unione europea, normativa d'urgenza interna e gestione della risorsa idrica*, in *federalismi.it*, n. 26/2023, 78 ss.

²⁴ I fini irrigui in agricoltura contemplati dal regolamento, puntualmente indicati nell'allegato I, sezione I, sono: colture alimentari da consumare crude, ossia colture destinate al consumo umano a uno stato crudo o non lavorato; colture alimentari trasformate, ossia colture i cui prodotti sono destinati al consumo umano dopo un processo di trasformazione (cottura o lavorazione industriale); colture non alimentari, ossia colture i cui prodotti non sono destinati al consumo umano (ad esempio, pascoli e colture da foraggio, da fibra, da ornamento, da sementi, da energia e per tappeto erboso).

²⁵ Ai sensi dell'Allegato I, sezione I «Fatte salve altre pertinenti normative dell'Unione nei settori ambientale e sanitario, gli Stati membri possono utilizzare le acque

direttiva 91/271/Cee che, come già precisato²⁶, prevede l'obbligo di riutilizzo delle acque reflue laddove ciò risulti appropriato e pertanto il regolamento stabilisce che ciascuno Stato possa decidere che tale riutilizzo non sia «opportuno» – in deroga quindi all'obbligatorietà sancita dalla direttiva 91/271/Cee – in uno o più dei suoi distretti idrografici in considerazione delle condizioni geografiche e climatiche, delle pressioni sulle altre risorse e dei costi ambientali²⁷.

Nel regolamento 2020/741 Ue viene introdotta, per la prima volta, la nozione di «acque affinate»²⁸ intese come «le acque reflue urbane che sono state trattate conformemente ai requisiti di cui alla direttiva 91/271/CEE e sono state sottoposte a ulteriore trattamento in un impianto di affinamento» in conformità all'allegato I, sezione 2 del regolamento. Per «impianto di affinamento» si intende invece «un impianto di trattamento delle acque reflue urbane o altra struttura che effettua un

affinate per ulteriori scopi quali: – il riutilizzo a fini industriali; e – fini civili e ambientali».

²⁶ Cfr. paragrafo 1.2.1. che precede.

²⁷ Art. 1 comma 2 del regolamento. Con riferimento alla possibilità per gli Stati di non applicare il regolamento in talune zone, le Linee Guida del 5 agosto 2022 (paragrafo 2.1.1.) chiariscono come vi siano diverse circostanze e condizioni climatiche che possano legittimare tale decisione. Ad esempio, l'abbondanza di precipitazioni potrebbe rendere il riutilizzo dell'acqua superfluo e/o antieconomico, ma anche la siccità prolungata potrebbe determinare la non opportunità ambientale del riutilizzo laddove il flusso ecologico e il buono stato dei corpi idrici superficiali dipendono dagli scarichi di acque reflue trattate: in questi casi, infatti, se le acque reflue trattate dovessero essere reindirizzate verso un impianto di affinamento e successivamente essere destinate all'agricoltura, ciò potrebbe privare un corso d'acqua superficiale di volumi d'acqua essenziali per garantire un flusso ecologico minimo. Vi possono poi essere anche situazioni in cui l'estrazione d'acqua dalle falde acquifere non comporta alcuna pressione e il costo del riutilizzo dell'acqua potrebbe non essere competitivo rispetto ad altre fonti idriche.

²⁸ Art. 3 comma 1 punto 4). Secondo quanto disposto dall'Allegato I del regolamento, le acque affinate sono poi distinte in quattro "classi" di qualità (Classe A, B, C, D) a seconda della destinazione d'uso corrispondente alle colture per le quali possono essere impiegate e in base alle modalità di irrigazione. Negli Allegati I e II vengono poi stabiliti gli obblighi e i controlli dei requisiti minimi previsti, ossia i valori limite e le frequenze di monitoraggio per torbidità, BOD5, SST, e parametri di contaminazione microbiologica quali *Escherichia coli*, *Legionella* e Nematodi intestinali nelle acque riutilizzate in agricoltura; frequenze di monitoraggio per i parametri di cui al punto nonché l'obbligo di formulazione di un "piano di gestione del rischio" della filiera.

ulteriore trattamento delle acque reflue urbane conformemente alle prescrizioni della direttiva 91/271/CEE al fine di produrre acqua idonea» per uno degli usi irrigui in agricoltura specificati nell'allegato I del regolamento.

Il regolamento individua poi una serie di «parti responsabili», ossia soggetti che svolgono un ruolo o un'attività in un sistema di riutilizzo dell'acqua. Ai sensi dell'art. 3, punto 15), il sistema di riutilizzo dell'acqua comprende l'infrastruttura e gli altri elementi tecnici dal punto di entrata nell'impianto di trattamento delle acque reflue urbane fino al punto in cui le acque affinate sono impiegate a fini irrigui in agricoltura, comprese le infrastrutture di distribuzione e stoccaggio, ove applicabile. E l'art. 3, punto 14) specifica che le parti responsabili comprendono il gestore dell'impianto di affinamento, il gestore dell'impianto di trattamento delle acque reflue urbane (se diverso dal gestore dell'impianto di affinamento), le autorità pertinenti diverse dall'autorità competente designata e il gestore della distribuzione delle acque affinate o il gestore dello stoccaggio delle acque affinate, se esistente.

Sotto il profilo autorizzativo, ai sensi dell'art. 6 del regolamento per la produzione e l'erogazione delle acque affinate, gli impianti di affinamento devono ottenere un «permesso» – dunque un'autorizzazione espressa – che individui la classe o le classi di qualità delle acque affinate nonché la destinazione d'uso delle colture per cui le acque prodotte possono essere utilizzate, le prescrizioni minime per la qualità e il monitoraggio dell'acqua, ogni altra prescrizione supplementare necessaria per garantire la sicurezza dell'ambiente e della salute umana e animale nonché il «punto di conformità», cioè il punto in cui il gestore dell'impianto consegna l'acqua al soggetto successivo della filiera e oltre il quale non è più responsabile²⁹. In particolare, il gestore deve provvedere affinché al punto di conformità le acque siano conformi alle prescrizioni minime di qualità stabilite dall'Allegato I nonché a ogni altra condizione stabilita dall'autorità competente all'interno del permesso. Permesso che deve avere una durata e deve essere riesaminato periodicamente nonché in caso di modifiche sostanziali della capacità, di miglioramento dell'impianto stesso, di aggiunta di nuovi processi o apparecchiature e,

²⁹ Art. 4, comma 1: «Oltre il punto di conformità, il gestore dell'impianto di affinamento non è più responsabile della qualità dell'acqua».

infine, qualora si verificassero cambiamenti delle condizioni climatiche o ambientali che incidano in modo significativo sullo stato ecologico dei corpi idrici superficiali.

Le prescrizioni specifiche contenute nei permessi di ogni impianto di affinamento vengono stabilite sulla base di un «piano di gestione dei rischi» connessi al riutilizzo delle acque affinate redatto dal gestore dell'impianto e, a seconda dei casi, da altre parti responsabili e dagli utilizzatori finali. Come si evince dall'art. 5 del regolamento, gli scopi essenziali del piano di gestione sono da un lato definire le responsabilità degli operatori coinvolti nella filiera e, dall'altro, individuare i rischi e le conseguenti misure preventive e/o correttive necessarie per garantire la sicurezza del sistema di riutilizzo dell'acqua. I criteri e i contenuti essenziali del piano di gestione dei rischi sono indicati nell'Allegato II del regolamento e possono essere riassunti³⁰ come segue: descrizione dell'intero sistema di riutilizzo dal punto di immissione dell'acqua reflua nell'impianto di depurazione e recupero al punto di utilizzo in agricoltura dell'acqua stessa; identificazione di tutti i soggetti coinvolti nel sistema di riutilizzo e descrizione chiara dei ruoli e delle responsabilità degli stessi; identificazione di potenziali pericoli legati alla presenza di inquinanti chimici e agenti patogeni e potenziali eventi pericolosi legati alla mancanza di trattamento, perdite e contaminazione del sistema di riutilizzo; identificazione delle matrici ambientali e delle popolazioni a rischio, e delle vie di esposizione ai potenziali pericoli precedentemente identificati; valutazione dei rischi all'ambiente, all'uomo e agli animali.

Ai sensi dell'art. 7, l'autorità competente effettua verifiche in loco e acquisisce i dati dei monitoraggi svolti dal gestore dell'impianto di affinamento per verificare il rispetto delle condizioni stabilite nel permesso. In caso di non conformità o inottemperanze, essa impone al gestore e, se del caso, alle altre parti responsabili di adottare tutte le misure necessarie per ripristinare la conformità senza indugio e informare immediatamente gli utilizzatori finali interessati. Se la non conformità riscontrata comporta un rischio significativo per l'ambiente o per la salute umana o animale, il gestore dell'impianto di affinamento o qualsiasi altra parte responsabile deve sospendere immediatamente l'erogazione

³⁰ Cfr. Linee guida SNPA, *op. cit.*, 10.

di acque affinate, fino al ripristino della situazione di conformità accertata dall'autorità di controllo.

1.2.4. Il riutilizzo nella direttiva 2024/3019/Ue

La nuova direttiva 2024/3019/Ue sul trattamento delle acque reflue urbane – che sostituirà la direttiva 91/271/Ce a far data dal 1° agosto 2027 – affronta in vari punti il tema del riutilizzo.

Partendo dalle premesse e quindi dal contesto che la direttiva prende quale riferimento, al considerando n. 29 viene evidenziato come la capacità dell'Unione di rispondere alle crescenti pressioni sulle risorse idriche possa essere migliorata «attraverso un più ampio riutilizzo delle acque reflue urbane trattate, che limiti la captazione di acque dolci dai corpi idrici superficiali e sotterranei» tenendo altresì conto della necessità di garantire il conseguimento degli obiettivi di buono stato ecologico e chimico dei corpi riceventi, come definiti nella direttiva 2000/60/Ce. Pertanto, il potenziale di riutilizzo delle acque reflue trattate dovrebbe essere valutato tenendo conto dei piani di gestione dei bacini idrografici, elaborati ai sensi della citata direttiva-quadro sulle acque.

L'art. 14 disciplina l'immissione dei reflui non domestici in reti fognarie e in impianti di trattamento per acque reflue urbane e prevede, in particolare, che gli scarichi di acque reflue non domestiche – quindi di reflui industriali – in reti fognarie e impianti di trattamento delle acque reflue urbane debbano essere subordinati a «regolamentazioni o autorizzazioni specifiche» (comma 1). Queste autorizzazioni allo scarico devono garantire, tra gli altri punti, che le sostanze inquinanti presenti nel refluo scaricato «non limitino l'eventuale capacità di recuperare risorse, compreso il riutilizzo delle acque trattate e il recupero dei nutrienti o di altri materiali dalle acque reflue urbane o dai fanghi» (comma 2, lett. b).

L'art. 15, rubricato «Riutilizzo dell'acqua e scarichi di acque reflue urbane», stabilisce che gli Stati membri promuovano «sistematicamente il riutilizzo delle acque reflue trattate da tutti gli impianti di trattamento delle acque reflue urbane, se opportuno, specialmente nelle zone soggette a stress idrico e per tutti gli scopi appropriati» (comma 1). Il potenziale di riutilizzo delle acque reflue trattate deve essere valutato alla

luce dei piani di gestione dei bacini idrografici e delle decisioni di “inopportunità” del riutilizzo adottate dagli stati membri ai sensi dell’art. 2, comma 2 del regolamento 2020/741/Ue. In ogni caso, il riutilizzo delle acque reflue trattate non deve compromettere il flusso ecologico nei corpi idrici recettori e non deve determinare effetti negativi per l’ambiente o la salute umana.

È importante sottolineare il cambio di approccio rispetto alla direttiva 2000/60/Ce che, come già evidenziato ³¹, individua il riutilizzo come una misura facoltativa per gli Stati membri, mentre la direttiva 2024/3019 definisce il riutilizzo come una misura che gli stati «promuovono sistematicamente», avvicinandosi quindi maggiormente alla “obbligatorietà” del riutilizzo sancita a suo tempo dalla direttiva 91/271/Ce. Pur non parlando espressamente di un obbligo, infatti, la “sistematicità” con cui gli stati devono “promuovere” il riutilizzo sembra voler inquadrare un’attività che deve essere implementata in modo organico e strutturato ogni qualvolta ciò sia possibile.

Un’altra rilevante novità, di carattere tecnico, introdotta dalla direttiva 2024/3019 è la possibilità di escludere la frazione di acqua reflua riutilizzata in agricoltura dal computo del carico o concentrazione dei parametri Azoto Totale (Ntot.) e Fosforo Totale (Ptot.) in uscita dall’impianto di depurazione in ottemperanza agli standard di rimozione fissati in Tabella 2, Allegato I se è possibile dimostrare il rispetto delle seguenti condizioni: a) il contenuto di nutrienti nella frazione riutilizzata non supera la domanda di nutrienti delle colture interessate; b) non vi sono rischi per l’ambiente, in particolare in relazione all’eutrofizzazione delle acque dello stesso bacino idrografico; c) non vi sono rischi per la salute umana, in particolare in relazione agli organismi patogeni; d) l’impianto di trattamento delle acque reflue urbane dispone di una capacità sufficiente per trattare o immagazzinare le acque reflue urbane al fine di evitare scarichi di acque reflue urbane nei corpi idrici recettori che non soddisfano i requisiti di cui all’allegato I, parte B e tabella 2.

Da ultimo, occorre altresì sottolineare che l’art. 8 prevede l’obbligo per gli Stati di assicurare che gli scarichi provenienti dagli impianti di

³¹ Cfr. paragrafo 1.2.2. che precede.

trattamento di acque reflue urbane con un carico di 150.000 a.e.³² o più soddisfino, prima dello scarico nei corpi idrici recettori, i requisiti pertinenti per il trattamento quaternario. Si tratta di un processo di depurazione avanzato che riduce un ampio spettro di microinquinanti³³ e grazie al quale le acque depurate risultano già pronte per un potenziale riutilizzo³⁴.

1.3. Il riutilizzo delle acque nella normativa tecnica di settore: le *Best Available Techniques* (“BAT”)

1.3.1. *Bat, Bref, Bat conclusions* e condizioni autorizzative: cenni generali

Le Bat – *Best Available Techniques* o migliori tecniche disponibili – sono le migliori soluzioni tecniche impiantistiche, gestionali e di controllo per talune tipologie di impianti industriali in grado di garantire un elevato livello di protezione dell’ambiente. Introdotte in Italia dal d.lgs. n. 46 del 2014 (che ha modificato il d.lgs. n. 152 del 2006) in attuazione della direttiva 2010/75/UE³⁵, c.d. direttiva Ied, le Bat rappresentano un concetto chiave sul piano tecnico nella disciplina europea e nazionale in materia di autorizzazioni ambientali.

Secondo la definizione normativa, le Bat sono «la più efficiente e avanzata fase di sviluppo di attività e relativi metodi di esercizio indicanti l’idoneità pratica di determinate tecniche a costituire, in linea di massima, la base dei valori limite di emissione e delle altre condizioni di autorizzazione intesi ad evitare oppure, ove ciò si riveli impossibile,

³² La sigla “a.e.” sta per ‘abitante equivalente’. In materia di acque reflue, per ‘abitante equivalente’ si intende «il carico organico biodegradabile avente una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni (BOD5) pari a 60 grammi di ossigeno al giorno» (art. 74, comma 1, lett. a), del d.lgs. n. 152 del 2006; nello stesso senso la definizione di cui all’art. 2 punto 10 della direttiva 2024/3019.

³³ Cfr. art. 2 punto 14 della direttiva 2024/3019.

³⁴ Cfr. Linee guida SNPA, *op. cit.*, 11.

³⁵ Direttiva 2010/75/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 novembre 2010, relativa alle emissioni industriali (prevenzione e riduzione integrate dell’inquinamento).

a ridurre in modo generale le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso» (art. 5, lett. 1-ter, d.lgs. n. 152 del 2006). In particolare, come indicato sempre nella definizione di cui al citato art. 5, si intende: per 'tecniche', sia le tecniche impiegate sia le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e chiusura dell'installazione; per 'disponibili', le tecniche sviluppate su una scala che ne consenta l'applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente attuabili nell'ambito del pertinente comparto industriale, ad esito di un'analisi di fattibilità tecnica e di una valutazione costi/benefici; per 'migliori', le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso.

Alla base della normativa sulle Bat vi è il principio per cui i grandi impianti industriali debbano seguire l'evoluzione delle tecnologie, raggiungendo i livelli di performance considerati "migliori", nel senso di garantire una migliore protezione dell'ambiente nel suo complesso.

Le Bat vengono, dunque, periodicamente aggiornate in funzione delle innovazioni e dei progressi tecnologici raggiunti attraverso un procedimento, introdotto dalla direttiva 2010/75/Ue, di selezione delle tecnologie medesime e di revisione dei documenti settoriali di riferimento – i cosiddetti BREF (*BAT REFerence document*) – all'interno dei quali vengono stilati dei capitoli denominati *Bat Conclusions*.

Più nel dettaglio, le tecnologie che poi perverranno al rango di Bat sono individuate dall'Ippc bureau di Siviglia attraverso una complessa procedura che prevede confronti dei *technical working group*, consultazioni aperte e negoziazioni anche con gli *stakeholders* del comparto industriale. Una volta definite sul piano tecnico, le Bat sono raccolte nei «documenti di riferimento sulle Bat» (Brefs) che riportano, in particolare, le tecniche applicate, i livelli attuali di emissione e di consumo, le tecnologie considerate per la determinazione delle migliori tecniche disponibili, nonché le conclusioni sulle Bat (*Bat conclusions*) e ogni tecnica emergente, con particolare attenzione ai criteri di cui all'Allegato III della direttiva 2010/75/Ue (tra i quali si ritrovano, ad esempio, la riduzione della produzione di rifiuti, l'utilizzo di sostanze meno impattanti, il recupero di materia, il contenimento complessivo delle emissioni e dei consumi). Le *Bat conclusions*, ossia la parte dei *Brefs*

contenente le conclusioni sulle Bat, sono adottate formalmente ³⁶ dalla Commissione europea nella forma delle decisioni di esecuzione ³⁷.

1.3.2. Il riutilizzo delle acque reflue nelle Bat *conclusions*

Ai sensi dell'art. 29-*octies* del d.lgs. n. 152 del 2006, l'Autorizzazione Integrata Ambientale (Aia) degli impianti tiene conto di tutte le conclusioni sulle Bat applicabili all'installazione e adottate dalla concessione o dall'ultimo riesame dell'autorizzazione stessa. Inoltre, nel caso di installazioni complesse in cui siano applicabili più conclusioni sulle Bat, il riferimento va fatto, per ciascuna attività, prevalentemente alle conclusioni sulle Bat pertinenti al relativo settore industriale. L'Aia deve essere poi riesaminata nel suo complesso entro quattro anni dalla data di pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea delle decisioni relative alle conclusioni sulle Bat riferite all'attività principale dell'installazione ³⁸.

³⁶ Tutte le *Bat conclusions* adottate sono disponibili sul sito del Ministero dell'Ambiente al link <https://va.mite.gov.it/it-IT/ps/DatiEStrumenti/ConclusioniBAT>. Tra i documenti emanati negli anni più recenti vanno ricordate le decisioni europee 2019/2010/UE (conclusioni sulle Bat per l'incenerimento dei rifiuti), 2020/2009/UE (conclusioni sulle Bat per il trattamento di superficie con solventi organici, anche per la conservazione del legno e dei prodotti in legno mediante prodotti chimici), 2021/2326/UE (conclusioni sulle Bat per i grandi impianti di combustione rettificata con provvedimento del 27 luglio 2022), 2022/2508/UE (conclusioni sulle Bat per l'industria tessile), 2022/2427 (conclusioni sulle Bat per i sistemi comuni di gestione e trattamento degli scarichi gassosi nell'industria chimica), 2024/2974 (conclusioni sulle Bat per impianti di forgiatura e le fonderie).

³⁷ Si veda l'art. 15 della direttiva IED 2010/75/UE.

³⁸ In relazione al termine di quattro anni per il riesame dell'AIA per adeguamento alle Bat, il riferimento è l'art. 21, comma 3, direttiva IED 2010/75/UE che dispone: «Entro quattro anni dalla data di pubblicazione delle decisioni sulle conclusioni sulle BAT ai sensi dell'articolo 13, paragrafo 5, relative all'attività principale di un'installazione, l'autorità competente garantisce che: a) tutte le condizioni di autorizzazione per l'installazione interessata siano riesaminate e, se necessario, aggiornate per assicurare il rispetto della presente direttiva, in particolare, se applicabile, dell'articolo 15, paragrafi 3 e 4; b) l'installazione sia conforme a tali condizioni di autorizzazione». La direttiva impone all'autorità competente non solo di riesaminare ed eventualmente aggiornare l'AIA entro quattro anni dalla pubblicazione delle BAT conclusions ma anche di garantire che le installazioni si siano adeguate alle BAT entro i quattro anni. A conferma si veda il considerando 22 che precisa: «In casi specifici in cui il riesame e

In concreto, dunque, le *Bat conclusions* si traducono in prescrizioni autorizzative che i gestori degli impianti sono tenuti ad attuare. Pertanto, nella misura in cui le *Bat* prevedano l'adozione di tecnologie finalizzate al recupero e riutilizzo delle acque reflue prodotte dall'installazione, le autorizzazioni ambientali verranno progressivamente adeguate con l'inserimento della prescrizione (quindi dell'obbligo) per il gestore di implementare tali tecnologie e ciò indipendentemente dall'esistenza o meno di una normativa generale, europea o nazionale, sulla materia del riutilizzo.

Per quanto rileva ai fini del presente lavoro, di seguito verranno riportati i passaggi delle *Bat conclusions* esistenti che affrontano il tema del riutilizzo delle acque reflue. Si anticipa sin d'ora che le *Bat* affrontano il tema del riutilizzo "interno" delle acque, ovvero del riutilizzo all'interno della medesima installazione di produzione del refluo, e non del riutilizzo "esterno", cioè della destinazione delle acque per fini irri- guai, ambientali o civili.

BAT Conclusions per la produzione del vetro (decisione di esecuzione della Commissione 2012/134/UE del 28 febbraio 2012). Al punto 12, voce 1.1.5. tra le tecniche per la riduzione del consumo di acqua viene indicato il «reimpiego dell'acqua di raffreddamento e di pulizia dopo lo spurgo» con la precisazione per cui la rimessa in circolo dell'acqua utilizzata per il lavaggio è applicabile alla maggior parte dei sistemi di lavaggio ferma restando l'eventuale necessità di scaricare e sostituire periodicamente il mezzo di lavaggio.

BAT Conclusions per la produzione di ferro e acciaio (decisione di esecuzione della Commissione 2012/135/UE del 28 febbraio 2012). Al punto 27 per gli impianti di sinterizzazione viene indicato il ricircolo dell'acqua di raffreddamento salvo che si utilizzino sistemi di raffreddamento

l'aggiornamento dell'autorizzazione indicano che potrebbe essere necessario un periodo superiore a quattro anni dopo la pubblicazione di una decisione relativa alle conclusioni sulle *BAT* per introdurre nuove migliori tecniche disponibili, le autorità competenti possono stabilire nelle condizioni di autorizzazione un periodo più lungo qualora ciò sia giustificato in base ai criteri stabiliti nella presente direttiva».

Il comma 7 dell'art. 29-*octies* del d.lgs. n. 152 del 2006 stabilisce inoltre che «il ritardo nella presentazione della istanza di riesame, nel caso disciplinato al comma 3, lettera a), non può in alcun modo essere tenuto in conto per dilazionare i tempi fissati per l'adeguamento dell'esercizio delle installazioni alle condizioni dell'autorizzazione».

a passaggio unico. Al punto 38 per gli impianti di pellettizzazione viene indicato di ridurre lo scarico e favorire il riutilizzo di acqua di lavaggio, di depurazione a umido e di raffreddamento. Al punto 91 viene evidenziata la necessità di ridurre al minimo il consumo di acqua del processo con forno elettrico ad arco utilizzando, per quanto possibile, per il raffreddamento dei dispositivi del forno sistemi di raffreddamento ad acqua a circuito chiuso, salvo che si utilizzino sistemi di raffreddamento a circuito aperto. Al punto 92, ai fini della riduzione dello scarico di acque reflue dalle colate continue, viene suggerita la ricircolazione per quanto possibile dell'acqua di raffreddamento e dell'acqua derivante dalla generazione del vuoto.

BAT Conclusions per l'industria conciaria (decisione di esecuzione della Commissione 2013/84/UE dell'11 febbraio 2013). Nonostante l'industria conciaria sia tra le attività produttive che fanno maggiormente ricorso all'uso di acqua, non è presente una Bat specifica in tema di riduzione dell'uso di risorse idriche ma l'esame delle opzioni per il riutilizzo dell'acqua di lavorazione/lavaggio rientra nel Sistema di gestione ambientale (cfr. Bat 1) e fra i principi di buona organizzazione interna (cfr. Bat 2). Sono tuttavia previsti degli specifici livelli di consumo di acqua associati alle Bat.

BAT Conclusions per il cemento, la calce e l'ossido di magnesio (decisione di esecuzione della Commissione 2013/163/UE del 26 marzo 2013). Non sono presenti Bat in tema di riduzione del consumo di acqua.

BAT Conclusions per la produzione di cloro-alcali (decisione di esecuzione della Commissione 2013/732/UE del 9 dicembre 2013). Non sono presenti Bat in tema di riduzione del consumo di acqua.

BAT Conclusions per la produzione di pasta per carta, carta e cartone (decisione di esecuzione della Commissione 2014/687/UE del 26 settembre 2014). Per ridurre l'uso di acqua e la generazione di acque reflue, la BAT 5 prevede di «chiudere il sistema idrico nella misura tecnicamente realizzabile secondo il tipo di pasta per carta e carta prodotte» avvalendosi di una combinazione di tecniche tra cui: separazione dell'acqua di raffreddamento pulita dalle acque di processo contaminate e riutilizzo (lett. e), riutilizzo dell'acqua di processo per sostituire l'acqua fresca (lett. f³⁹), trattamento in linea (di parti) dell'acqua di

³⁹ Questa tecnologia viene considerata «applicabile ai nuovi impianti e in caso di

processo per migliorare la qualità dell'acqua per permettere il ricircolo o il riutilizzo (lett. g).

BAT Conclusions per la raffinazione di petrolio e di gas (decisione di esecuzione 2014/738/UE del 9 ottobre 2014). Per ridurre il consumo idrico e il volume delle acque contaminate, la Bat 11 stabilisce l'applicazione di una serie di tecniche tra cui l'integrazione del flusso di acqua, che consiste nella «riduzione del volume d'acqua di processo prodotta a livello di unità prima dello scarico, mediante riutilizzo interno dell'acqua, ad esempio, di raffreddamento, delle condense, soprattutto al fine di utilizzarla nel dissalatore del petrolio greggio», e nella separazione dei flussi di acque mediante una progettazione dell'impianto che permetta di evitare l'invio di acqua non contaminata verso il depuratore generale delle acque reflue e di ottenere un rilascio separato dopo l'eventuale riutilizzo di questo tipo di flusso.

BAT Conclusions per la produzione di pannelli a base di legno (decisione di esecuzione della Commissione 2015/2119/UE del 20 novembre 2015). Non è presente una Bat specifica in tema di riduzione dell'uso di risorse idriche ma l'esame delle opzioni per il riutilizzo dell'acqua di processo e dell'uso delle fonti idriche secondarie rientra nella Bat 2 tra i principi di buona gestione.

BAT Conclusions per i sistemi comuni di trattamento/gestione delle acque reflue e dei gas di scarico nell'industria chimica (decisione di esecuzione della Commissione 2016/902 del 30 maggio 2016). Per ridurre il consumo di acqua e la produzione di acque reflue, la Bat 7 consiste nel ridurre il volume e/o il carico inquinante dei flussi di acque reflue, incentivare il riutilizzo di acque reflue nel processo di produzione e recuperare e riutilizzare le materie prime. La Bat 8 prevede invece la separazione dei flussi delle acque reflue non contaminate dai flussi delle acque reflue che necessitano di trattamento.

BAT Conclusions per le industrie dei metalli non ferrosi (decisione di esecuzione 2016/1032 del 13 giugno 2016). Al fine di evitare o ridurre la produzione di acque reflue, la Bat 14 consiste nell'utilizzare una o più tecniche tra cui anche il riutilizzo delle acque reflue derivanti

rifacimenti importanti». Inoltre, «l'applicabilità può essere limitata dalla qualità dell'acqua e/o dalle prescrizioni relative alla qualità del prodotto o da vincoli tecnici (come precipitazioni, incrostazioni nel sistema idrico) o dall'aumento degli odori molesti».

dalle operazioni di pulizia (comprese le acque di risciacquo anodiche e catodiche) e dagli spillaggi nel corso dello stesso processo (lett. b), dalla granulazione delle scorie (lett. d), delle acque di dilavamento superficiali (lett. e) nonché dell'acqua trattata proveniente dall'impianto di trattamento delle acque reflue (lett. g).

BAT Conclusions per l'allevamento intensivo di pollame o di suini (decisione di esecuzione (Ue) 2017/302 del 15 febbraio 2017). Per un uso efficiente dell'acqua, la Bat 5 consiste nell'utilizzare una o più tecniche tra cui anche il riutilizzo dell'acqua piovana non contaminata per la pulizia (lett. f). Viene tuttavia precisato che «la tecnologia può non essere applicabile alle aziende agricole esistenti a causa degli elevati costi» e che «l'applicabilità può essere limitata da rischi per la sicurezza biologica». Inoltre, al fine di ridurre le emissioni in acqua derivate dalle acque reflue, la Bat 7 prevede come tecnica anche lo spandimento agronomico dei reflui (lett. c), fermo restando che «l'applicabilità può essere limitata dalla limitata disponibilità di terreni idonei adiacenti all'azienda agricola» e che possono essere utilizzate in agricoltura solo le acque reflue «con dimostrato basso livello di contaminazione».

BAT Conclusions per i grandi impianti di combustione (decisione di esecuzione (Ue) 2017/1442 del 31 luglio 2017). In tema di riduzione dei consumi di acqua, la Bat 13 prevede in generale come tecnologia il riciclo dell'acqua, non applicabile tuttavia alle acque reflue provenienti da impianti di raffreddamento che presentano sostanze chimiche per il trattamento delle acque e/o elevate concentrazioni di sali marini.

BAT Conclusions per la fabbricazione di prodotti chimici organici in grandi volumi (decisione di esecuzione (Ue) 2017/2117 del 21 novembre 2017). Al fine di ridurre il carico organico e il volume delle acque reflue da sottoporre a trattamento, la Bat 27 consiste nell'utilizzare una o più tecniche, tra cui anche il riutilizzo, previo trattamento, della reflua risultante dallo strippaggio nel processo o come acqua di alimento di caldaia, sostituendo così altre fonti idriche (lett. e).

BAT Conclusions per il trattamento dei rifiuti (decisione di esecuzione (Ue) 2018/1147 del 10 agosto 2018). Al fine di ottimizzare il consumo di acqua, ridurre il volume di acque reflue prodotte e prevenire le emissioni nel suolo e nell'acqua, o se ciò non è possibile per ridurle, la Bat 19 prevede tra le tecnologie applicabili anche il ricircolo dell'acqua,

previo trattamento se necessario (lett. b). Viene precisato che «il grado di riciclo è subordinato al bilancio idrico dell'impianto, al tenore di impurità (ad esempio composti odorigeni) e/o alle caratteristiche dei flussi d'acqua (ad esempio al contenuto di nutrienti)».

BAT Conclusions per le industrie degli alimenti, delle bevande e del latte (decisione di esecuzione (Ue) 2019/2031 del 12 novembre 2019). Al fine di ridurre il consumo di acqua e il volume dello scarico delle acque reflue, la Bat 7 consiste nell'utilizzare una o più tecniche, tra cui anche il riutilizzo di flussi d'acqua, previo trattamento se necessario, ad esempio per pulire, lavare, raffreddare o per il processo stesso (lett. a).

BAT Conclusions per l'incenerimento dei rifiuti (decisione di esecuzione (Ue) 2019/2010 del 12 novembre 2019). Al fine di ridurre il consumo di acqua e prevenire o ridurre la produzione di acque reflue da parte dell'impianto di incenerimento, la Bat 33 prevede il riutilizzo dei flussi d'acqua nei limiti dei requisiti di qualità del processo verso cui l'acqua è diretta (lett. c).

BAT Conclusions per i sistemi comuni di gestione e trattamento degli scarichi gassosi nell'industria chimica (decisione di esecuzione (Ue) 2022/2427 del 6 dicembre 2022). Non sono presenti Bat in tema di riduzione del consumo di acqua.

BAT Conclusions per gli impianti di forgiatura e le fonderie (decisione di esecuzione (Ue) 2024/2974 del 29 novembre 2024). Al fine di ottimizzare il consumo di acqua e ridurre il volume delle acque reflue prodotte, la Bat 35 prevede come tecnologia anche il riutilizzo dei vari flussi di acqua (ad esempio acque di processo, effluenti derivanti da lavaggio a umido o acqua di raffreddamento) in circuiti chiusi o semi chiusi, se necessario dopo trattamento (lett. c), nei limiti del bilancio idrico dell'impianto, del tenore di impurità e delle caratteristiche dei flussi di acqua.

2. La normativa nazionale in tema di riutilizzo delle acque

In ambito nazionale il tema del riutilizzo delle acque reflue si inserisce perfettamente nel quadro del nuovo art. 9 Cost. che al comma 3, inserito con legge costituzionale 11 febbraio 2022, n. 1, tutela espressamente «l'ambiente, la biodiversità e gli ecosistemi, anche nell'interesse

delle future generazioni»⁴⁰. Questo articolo deve essere letto unitamente all'art. 41 Cost., anch'esso modificato con la citata legge costituzionale, il cui comma 2 stabilisce che l'iniziativa economica «non può svolgersi in contrasto con l'utilità sociale o in modo da recare danno alla salute, all'ambiente, alla sicurezza, alla libertà, alla dignità umana»⁴¹.

Si tratta di principi già da tempo enucleati dalla giurisprudenza della Corte costituzionale⁴² ma che ora, a seguito della riforma del 2022, trovano espresso riferimento nel testo della Carta Costituzionale⁴³. In

⁴⁰ Sulla modifica dell'art. 9 si vedano *ex multis* F. FRACCHIA, *L'ambiente nell'art. 9 della Costituzione: un approccio "in negativo"*, in *Dir. econ.*, 2022, 15 ss.

⁴¹ Sul tema si vedano *ex multis* V. FANTI, *Principio di precauzione e transizione ecologica "giusta": la tutela dell'ambiente nella prospettiva di Carlo Emanuele Gallo*, in M. ANDREIS, G. CREPALDI, S. FOÀ, R. MORZENTI PELLEGRINI, M. RICCIARDO CALDERARO (a cura di), *Studi in onore di Carlo Emanuele Gallo*, Torino, Giappichelli, 2023, vol. I, 277 ss.

⁴² In primo luogo la protezione dell'ambiente è stata ricavata dall'art. 32 con sentenza n. 226 del 1983 affermando che «è ben vero, infatti, che la tutela della salute implica "la promozione e la salvaguardia della salubrità e dell'igiene dell'ambiente naturale di vita e di lavoro"». In un secondo momento, invece, a partire sentenza n. 94 del 1985, tale tutela è stata ricondotta anche nell'alveo dell'art. 9 abbracciando un'interpretazione estensiva del concetto di paesaggio. A partire dalla fine degli anni '80, la Corte ha riconosciuto alla tutela dell'ambiente la posizione di valore costituzionalmente protetto cfr. sentenze n. 167 del 1987, n. 127 del 1990, n. 437 del 1991, n. 79 del 1993, n. 54 del 1994. Tale giurisprudenza è confermata e rafforzata anche a seguito della revisione del titolo V del 2001 con le sentenze nn. 282, 407 e 536 del 2002. Per quanto riguarda la tutela dell'ambiente in relazione all'iniziativa economica, già nella pronuncia n. 196 del 1998, tale tutela era stata ricondotta nell'alveo dell'"utilità sociale". La relazione tra il principio di tutela ambientale e la libertà iniziativa economica è stata inoltre dettagliata, con esiti differenti in termini di bilanciamento, nella celebre vicenda Ilva: sentenze nn. 85 del 2013 e 58 del 2018.

⁴³ Per un'analisi complessiva della riforma si vedano *ex multis* R. FATTIBENE, *Una lettura ecocentrica del novellato articolo 9 della Costituzione*, in *Nomos*, n. 3-2022; L. CASSETTI, *Riformare l'art. 41 della Costituzione: alla ricerca di "nuovi" equilibri tra iniziativa economica privata e ambiente?*, in *federalismi.it*, n. 4/2022, 188 ss.; G. AMENDOLA, *L'inserimento dell'ambiente non è né inutile né pericoloso*, in *GiustiziaInsieme*, 25 febbraio 2022; R. MONTALDO, *La tutela costituzionale dell'ambiente nella modifica degli artt. 9 e 41 Cost.: una riforma opportuna e necessaria*, in *federalismi.it*, n. 13/2022, 187 ss.; I. A. NICOTRA, *L'ingresso dell'ambiente in Costituzione, un segnale importante dopo il Covid*, in *federalismi.it*,

questo contesto, è indubbio che la pratica del riutilizzo delle acque reflue trattate si associ pienamente agli obiettivi di tutela dei beni costituzionalmente garantiti dell'ambiente e dell'ecosistema, essendo il bene-acqua legato in modo inevitabile al bene-ambiente.

Fatta questa doverosa premessa, di seguito verranno analizzate in ordine cronologico le normative nazionali che si occupano (o che si sono occupate) del tema del riutilizzo delle acque reflue.

2.1. La legge Galli (n. 36 del 1994) e il Testo Unico sulle Acque (d.lgs. n. 152 del 1999): prime disposizioni in tema di riutilizzo

L'art. 6 della "legge Galli" (n. 36 del 1994, poi abrogata dall'art. 175 del d.lgs. n. 152 del 2006) è la disposizione che per la prima volta, a livello nazionale, si è occupata della tematica del riutilizzo, seppur in termini generali e rinviando ad un successivo decreto ministeriale attuativo. Il citato art. 6 stabiliva infatti che il Ministero dell'Ambiente, avrebbe dovuto adottare delle norme tecniche riguardanti «a) le tipologie di uso dell'acqua per le quali è ammesso il reimpiego di acque reflue; le tipologie delle acque reflue suscettibili di riutilizzo; gli standard di qualità e di consumo; i requisiti tecnologici relativi ai trattamenti di depurazione da adottare; b) le modalità di impiego di acque reflue depurate, tenuto conto degli aspetti igienico-sanitari; c) le modalità per la realizzazione, la conduzione e l'adeguamento di impianti di depurazione e di reti di distribuzione di acque reflue per i diversi usi». Veniva inoltre delegato alle Regioni il potere di adottare programmi per attuare il risparmio idrico, «prevedendo incentivi ed agevolazioni alle imprese che si dotino di impianti di riuso e di riciclo ovvero utilizzino acque reflue trattate».

Nel Testo Unico sulle Acque (d.lgs. n. 152 del 1999, anch'esso abrogato dal d.lgs. n. 152 del 2006) l'art. 25 prevedeva un generale dovere

30 giugno 2021; G. SEVERINI, P. CARPENTIERI, *Sull'inutile, anzi dannosa, modifica dell'art. 9 della Costituzione*, in *GiustiziaInsieme*, 22 settembre 2021; C. SARTORETTI, *La riforma costituzionale "dell'ambiente": un profilo critico*, in *Riv. giur. edil.*, 2022, 119 ss.

per i gestori o per gli utilizzatori delle risorse idriche di «adottare le misure necessarie all'eliminazione degli sprechi ed alla riduzione dei consumi e ad incrementare il riciclo ed il riutilizzo, anche mediante l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili». Più specificamente sul tema del riutilizzo, invece, l'art. 26, modificando varie disposizioni della legge Galli, prevedeva a favore delle utenze industriali – quindi degli impianti produttivi – delle riduzioni della tariffa del servizio di fognatura e depurazione in funzione del riutilizzo di acque reflue o comunque già utilizzate nel processo produttivo applicando alla tariffa un correttivo tale da tenere conto della quantità di acqua riutilizzata in funzione del fabbisogno idrico complessivo. Veniva poi attribuito alle Regioni il compito di adottare norme e misure volte a favorire il riciclo dell'acqua e il riutilizzo delle acque reflue depurate indicando, in particolare, le migliori tecniche disponibili per la progettazione delle infrastrutture, le modalità del coordinamento interregionale nonché gli incentivi e le agevolazioni alle imprese che adottassero impianti di riciclo o riutilizzo.

2.2. Il decreto ministeriale n. 185 del 2003: il regolamento recante le prime norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue

In attuazione di quanto stabilito dall'art. 6 della legge Galli, il d.m. n. 185 del 2003 introduce le norme tecniche «per il riutilizzo delle acque reflue domestiche, urbane ed industriali attraverso la regolamentazione delle destinazioni d'uso e dei relativi requisiti di qualità».

A differenza di quanto avvenuto in sede europea, questo regolamento disciplina diverse tipologie di destinazioni d'uso delle acque reflue ossia, in particolare, non solo il riutilizzo a scopo irriguo («per l'irrigazione di colture destinate sia alla produzione di alimenti per il consumo umano ed animale sia a fini non alimentari, nonché per l'irrigazione di aree destinate al verde o ad attività ricreative o sportive»⁴⁴) ma anche quello a scopo civile («per il lavaggio delle strade nei centri urbani; per l'alimentazione dei sistemi di riscaldamento o raffreddamen-

⁴⁴ Art. 3, comma 1, lett. a).

to; per l'alimentazione di reti duali di adduzione, separate da quelle delle acque potabili, con esclusione dell'utilizzazione diretta di tale acqua negli edifici a uso civile, ad eccezione degli impianti di scarico nei servizi igienici»⁴⁵) e industriale («come acqua antincendio, di processo, di lavaggio e per i cicli termici dei processi industriali, con l'esclusione degli usi che comportano un contatto tra le acque reflue recuperate e gli alimenti o i prodotti farmaceutici e cosmetici»⁴⁶).

Resta invece escluso dal campo di applicazione del decreto il riutilizzo di acque reflue all'interno del medesimo ciclo produttivo che le ha generate (art. 1, comma 3). Questa esclusione va di pari passo con quanto previsto in sede europea dalle *Bat conclusions* di settore che, come già detto⁴⁷, per la maggior parte degli impianti industriali più impattanti impongono l'adozione di tecnologie finalizzate al recupero e riutilizzo interno delle acque di processo e delle acque reflue.

Il decreto stabilisce i requisiti di qualità chimico-fisici e microbiologici che le acque reflue devono aver per poter essere destinate a usi irrigui e civili, mentre in caso di destinazione d'uso industriale le parti interessate concordano limiti specifici in relazione alle esigenze dei cicli produttivi nei quali avviene il riutilizzo, nel rispetto comunque dei valori previsti per lo scarico in acque superficiali (art. 4).

Nell'impostazione del decreto, le attività di trattamento delle acque reflue ai fini del loro riutilizzo devono essere pianificate dalle regioni che, a tal fine, stilano un elenco di impianti di depurazione che saranno dotati di determinate tecnologie atte a rendere gli scarichi conformi ai limiti qualitativi stabiliti dal decreto stesso (art. 5). Gli scarichi di acque reflue destinate al riutilizzo devono ottenere una specifica autorizzazione allo scarico (art. 6). Le reti di distribuzione delle acque reflue recuperate devono essere opportunamente contrassegnate nonché realizzate separatamente dalle altre reti in modo tale da evitare rischi di contaminazione alla rete di adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo umano (art. 9).

Ai fini della verifica del rispetto delle condizioni stabilite dal decreto, l'autorità competente svolge i controlli sulle acque in uscita dall'impianto di recupero. Tali controlli possono essere delegati al gestore

⁴⁵ Art. 3, comma 1, lett. b).

⁴⁶ Art. 3, comma 1, lett. c).

⁴⁷ Cfr. paragrafo 1.3.2.

dell'impianto che, in ogni caso, deve garantire un sufficiente numero di autocontrolli, comunque non inferiore a quelli previsti dalla normativa regionale, e deve trasmettere i dati di monitoraggio all'autorità competente (art. 7). Sulla rete di distribuzione delle acque reflue da riutilizzare, il gestore della rete svolge il monitoraggio ai fini della verifica dei parametri chimici e microbiologici nonché degli effetti ambientali, agronomici e pedologici del riutilizzo (art. 11).

2.3. Il riutilizzo nel d.lgs. n. 152 del 2006

Varie disposizioni del d.lgs. n. 152 del 2006, che ha abrogato la legge Galli e il Testo Unico sulle Acque, fanno riferimento al tema del riutilizzo, in particolare nella Parte Terza del decreto, che reca le norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche.

L'art. 73 individua il riutilizzo delle risorse idriche tra gli strumenti per raggiungere gli obiettivi di tutela delle acque. In tema di risparmio idrico, l'art. 98 incarica i gestori e gli utilizzatori delle risorse idriche di adottare «le misure necessarie all'eliminazione degli sprechi ed alla riduzione dei consumi e ad incrementare il riciclo ed il riutilizzo, anche mediante l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili». Il successivo art. 99, rubricato «Riutilizzo dell'acqua», attribuisce al Ministero dell'Ambiente, di concerto con altri Ministeri, il compito di emanare norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue⁴⁸ e alle Regioni quel-

⁴⁸ Fino all'emanazione del nuovo decreto ministeriale continua ad applicarsi il vigente d.m. n. 185 del 2003. In tal senso si veda anche l'art. 166, comma 4-bis, d.lgs. n. 152 del 2006, che dispone: «Con regolamento adottato ai sensi dell'articolo 17, comma 3, della legge 23 agosto 1988, n. 400, il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, di concerto con il Ministro delle politiche agricole alimentari e forestali e con il Ministro della salute, previa intesa in sede di Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano e sentiti i competenti istituti di ricerca, definisce, entro novanta giorni dalla data di entrata in vigore della presente disposizione, i parametri fondamentali di qualità delle acque destinate ad uso irriguo su colture alimentari e le relative modalità di verifica, fatto salvo quanto disposto dall'articolo 112 del presente decreto e dalla relativa disciplina di attuazione e anche considerati gli standard di qualità, di cui al decreto legislativo 16 marzo 2009, n. 30, nonché gli esiti delle indagini e delle attività effettuati ai sensi del

lo di adottare «norme e misure volte a favorire il riciclo dell'acqua e il riutilizzo delle acque reflue depurate». L'art. 110 stabilisce poi che i depuratori delle acque reflue urbane possano essere autorizzati a trattare anche rifiuti liquidi purché non sia compromesso il possibile riutilizzo delle acque reflue e dei fanghi. Particolarmente rilevante è infine l'art. 155 che, in tema di tariffa per il servizio di fognatura e depurazione, riprende quanto era già stato previsto dall'art. 26 del d.lgs. n. 152 del 1999 e dispone che «allo scopo di incentivare il riutilizzo di acqua reflua o già usata nel ciclo produttivo, la tariffa per le utenze industriali è ridotta in funzione dell'utilizzo nel processo produttivo di acqua reflua o già usata. La riduzione si determina applicando alla tariffa un correttivo, che tiene conto della quantità di acqua riutilizzata e della quantità delle acque primarie impiegate».

2.4. Il d.l. n. 39 del 2003: il “decreto siccità”

Emanato per far fronte ai gravi fenomeni siccitosi del 2022, il d.l. n. 39 del 2023, recante «Disposizioni urgenti per il contrasto alla scarsità idrica e per il potenziamento e l'adeguamento delle infrastrutture idriche», pubblicato nella G.U. del 14 marzo 2023 e convertito in legge 13 giugno 2023, n. 68, contiene specifiche misure volte a contrastare la siccità attraverso l'aumento della resilienza dei sistemi idrici ai cambiamenti climatici e la riduzione delle dispersioni di risorse idriche.

Tra le varie disposizioni, quella che rileva in questa sede è l'art. 7 che, attraverso molteplici riferimenti al regolamento europeo 2020/741, disciplina specificamente il riutilizzo delle acque reflue depurate ad uso irriguo.

Si dispone, in particolare, che il riutilizzo a scopi irrigui in agricoltura delle acque reflue depurate prodotte dagli impianti di depurazione già in esercizio alla data di entrata in vigore del decreto sia autorizzato dalla Regione o dalla provincia autonoma territorialmente competente,

medesimo decreto legislativo. Con il regolamento di cui al presente comma si provvede, altresì, alla verifica ed eventualmente alla modifica delle norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue previste dal regolamento di cui al decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio 12 giugno 2003, n. 185».

nel rispetto delle prescrizioni minime di cui all'Allegato A. Viste le ragioni d'urgenza alla base delle disposizioni in commento, viene previsto che l'autorizzazione sia onnicomprensiva – quindi comprensiva e sostitutiva di ogni autorizzazione, parere, concerto, nulla osta e atto di assenso necessario, comunque denominato – e rilasciata all'esito di un procedimento unico di durata non superiore a quarantacinque giorni dalla data di ricezione dell'istanza. D'altra parte però, tenuto conto dell'eccellenza e della transitorietà connessa alla situazione emergenziale, viene stabilito che le autorizzazioni rilasciate ai sensi dell'art. 7 siano valide fino alla data di entrata in vigore del decreto di esecuzione del regolamento 2020/741/UE e comunque non oltre il 31 dicembre 2024⁴⁹.

L'Allegato A⁵⁰ reca disposizioni tecniche in tema di utilizzi irrigui (sezione I), prescrizioni minime di qualità delle acque affinate per usi irrigui in agricoltura e controlli (sezione II) nonché sul piano della gestione dei rischi connessi al riutilizzo dell'acqua previsto dall'art. 5 del regolamento 2020/741/UE (parte B) che, ai fini del rilascio dell'autorizzazione, deve essere predisposto dal gestore dell'impianto di depurazione, in collaborazione con i responsabili del trasporto e dello stoccaggio delle acque reflue.

2.5. La proposta di decreto sul riutilizzo delle acque reflue

È attualmente in fase di redazione⁵¹ un decreto del Presidente della Repubblica che disciplinerà il riutilizzo delle acque reflue, abrogando il vigente d.m. n. 185 del 2003.

La stesura di un nuovo decreto sul riutilizzo risponde all'esigenza di dare attuazione al regolamento europeo 2020/741 che, pur essendo

⁴⁹ Nella formulazione originaria del d.l. il termine massimo di validità delle autorizzazioni era il 31 dicembre 2023, prorogato al 31 dicembre 2024 in sede di conversione.

⁵⁰ Per un'analisi puntuale dell'Allegato A si rinvia alle Linee Guida SNPA, *op. cit.*, 15-16.

⁵¹ Sulla bozza di decreto è stata avviata una consultazione pubblica online nel periodo dal 3 marzo 2023 al 31 marzo 2023.

formalmente *self-executing*, necessita di un coordinamento con la normativa nazionale vigente per poter essere correttamente attuato. Il nuovo decreto supera l'approccio del d.m. n. 158 del 2003 – basato sull'applicazione di prescrizioni e parametri rigidi per ogni tipologia di riutilizzo – in favore dell'impostazione comunitaria che adotta il metodo della gestione del rischio sito specifico⁵²; inoltre, viene disciplinato non solo il riutilizzo ai fini irrigui in agricoltura, ma anche il riutilizzo per uso ambientale, industriale e civile che, come già segnalato⁵³, il regolamento comunitario si limita generalmente ad ammettere senza farlo rientrare nel proprio campo di applicazione.

Il decreto non è stato ancora emanato e, pertanto, il testo disponibile sul sito ministeriale non è ancora definitivo, ma vi sono alcuni punti che possono essere sin d'ora segnalati.

L'art. 4 prevede l'obbligo per i gestori degli impianti di affinamento di garantire la conformità delle acque ai parametri fissati dalle tabelle dell'allegato I per ciascuna tipologia di utilizzo (industriale, civile, ambientale mentre per l'uso irriguo si applicano i parametri previsti dal regolamento europeo 2020/741). Viene confermato il principio, stabilito a livello comunitario, per cui il gestore dell'impianto è responsabile della qualità dell'acqua solo fino al punto di consegna delle acque medesime all'utilizzatore.

L'art. 6 specifica e chiarisce l'ambito di applicazione e i soggetti competenti del piano di gestione del rischio per la produzione, stoccaggio, distribuzione e utilizzo delle acque affinate. Viene stabilito che le Regioni disciplinino le modalità di approvazione del piano che deve

⁵² In tal senso si esprime la bozza di Relazione illustrativa del decreto: «Con riferimento all'approccio strategico scelto dai differenti legislatori, si segnala che il Regolamento europeo prevede il metodo della gestione del rischio sito specifico. Ciò significa che ai fini della produzione, dell'erogazione e dell'utilizzo di acque affinate, l'autorità competente dovrà provvedere a che venga stabilito un piano di gestione dei rischi connessi al riutilizzo dell'acqua, ciò con l'obiettivo di garantire la gestione proattiva e sicura delle acque reflue affinate, senza rischio per salute umana, animale e senza rischio ambientale. Al fine di azzerare il rischio emerso durante l'analisi del rischio, il piano di gestione del rischio e il permesso rilasciato dall'autorità competente potranno prevedere delle prescrizioni supplementari rispetto alle prescrizioni minime stabilite dal regolamento».

⁵³ Cfr. paragrafo 1.2.3.

essere elaborato dal gestore dell'impianto di affinamento coinvolgendo attivamente le altre parti responsabili e gli utilizzatori finali per quanto di rispettiva competenza. Il piano deve avere il contenuto stabilito nell'allegato II – in sintesi: elementi della gestione dei rischi, misure di prevenzione e barriere, ruoli e responsabilità delle parti responsabili e degli utilizzatori finali – e costituisce parte integrante dell'istanza di autorizzazione, rinnovo o modifica dell'autorizzazione esistente.

L'art. 13 disciplina i rapporti tra i gestori degli impianti di affinamento e i gestori della distribuzione delle acque affinate e prevede, tra gli altri punti, che nell'ottica di ottimizzare gli interventi per la valutazione delle proposte i gestori degli impianti di affinamento, i gestori della distribuzione e i gestori dello stoccaggio delle acque affinate si accordino per concorrere congiuntamente alla redazione della valutazione del rischio.

L'art. 14 consente in linea generale il riutilizzo delle acque reflue industriali affinate. È invece vietato il riutilizzo per fini irrigui, civili e ambientali per talune categorie di attività industriali che utilizzano sostanze particolarmente impattanti⁵⁴, anche qualora presenti in consorzi industriali che afferiscono ad un unico depuratore o impianto di affinamento.

3. La normativa regionale in tema di riutilizzo delle acque

Come evidenziato nei paragrafi che precedono, le Regioni hanno il compito di adottare norme e misure volte a favorire il riciclo dell'acqua

⁵⁴ Le attività industriali in questione sono: a) attività industriali che prevedono l'utilizzo nel proprio ciclo produttivo delle sostanze di cui alla Tabella 3/A allegato V parte III del d.lgs. n. 152 del 2006; b) attività industriali che prevedono la produzione o l'utilizzo nel proprio ciclo produttivo di sostanze appartenenti agli elenchi di priorità di cui alla Tabella 1/A del d.lgs. n. 172 del 2015, in particolare i gruppi riconducibili a IPA, PFAS e alofenoli; c) attività industriali che prevedono la produzione o l'utilizzo nel proprio ciclo produttivo delle sostanze di cui al par. 2.1 allegato V, Parte III, del d.lgs. n. 152 del 2006 ossia composti organo alogenati; composti organo fosforici; composti organo stannici; sostanze che hanno potere cancerogeno, mutageno e teratogeno in ambiente idrico; mercurio e i suoi composti; cadmio e i suoi composti; oli minerali persistenti e idrocarburi di origine petrolifera persistenti; cianuri.

e il riutilizzo delle acque reflue depurate (art. 99, d.lgs. n. 152 del 2006). Solo alcune Regioni, tuttavia, si sono attivate in tal senso adottando disposizioni, più o meno dettagliate.

3.1. Regione Veneto

Con Deliberazione del Consiglio Regionale 5 novembre 2009, n. 107 la Regione Veneto ha approvato il Piano di Tutela delle Acque, adottato in applicazione dell'art. 121 del d.lgs. n. 152 del 2006. Il Piano si compone di tre parti – la sintesi degli aspetti conoscitivi, gli indirizzi di Piano, le Norme Tecniche di Attuazione – ed è attualmente in fase di integrale aggiornamento⁵⁵.

Per quanto rileva nell'ambito del presente lavoro, il riutilizzo è inserito tra i principi di tutela della risorsa idrica posti alla base del Piano (art. 1). Non è tuttavia prevista una disposizione specifica né risultano vincoli precisi sulle modalità di attuazione. Il Piano si limita a fare riferimento al riutilizzo all'interno di talune disposizioni. In particolare, è vietato il riutilizzo delle acque reflue a scopi irrigui nelle zone di rispetto delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano (art. 17); in tema di scarichi esistenti di acque reflue urbane, viene attribuito ai Consigli di Bacino il compito di individuare gli impianti di depurazione la cui portata scaricata è destinabile, in tutto o in parte, al riutilizzo (art. 32, comma 7); in tema di acque reflue industriali, è previsto che gli scarichi esistenti recapitanti sul suolo debbano essere convogliati in corpi idrici superficiali, in reti fognarie, oppure essere destinati al riutilizzo (art. 37, comma 3); in tema di acque meteoriche, è previsto che la Regione incentivi la realizzazione di opere volte a favorirne il riutilizzo (art. 39 comma 14); l'allegato C stabilisce infine i limiti per il riutilizzo delle acque reflue urbane, con la precisazione che gli oli minerali devono essere assenti dalle acque reflue recuperate destinate al riutilizzo.

⁵⁵ Il provvedimento di avvio dei lavori di aggiornamento è la Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2022, n. 1690.

3.2. Provincia Autonoma di Bolzano

La Legge Provinciale 18 giugno 2002, n. 8, recante «Disposizioni in materia di acque», contiene varie disposizioni che disciplinano specificamente il riutilizzo delle acque reflue, peraltro individuato tra gli obiettivi perseguiti dalla legge (art. 1, lett. f).

L'art. 37 stabilisce che l'autorità competente al rilascio dell'autorizzazione allo scarico possa prescrivere il riciclo ed il riutilizzo delle acque reflue al fine di conseguire il risparmio delle risorse idriche, di ridurre il numero degli scarichi e di prevenire situazioni di crisi idrica. Viene sancito inoltre che le acque di scarico degli impianti di depurazione di acque reflue urbane e le acque piovane convogliate dalla rete fognaria siano date gratuitamente per il loro riutilizzo senza che sia richiesta una concessione di derivazione.

L'art. 46 prevede che per le acque meteoriche non inquinate debba essere previsto il riutilizzo e, in subordine, la dispersione nel sottosuolo; solo ove ciò non sia possibile o opportuno in rapporto alla situazione locale, tali acque possono essere scaricate in acque superficiali.

Per favorire la tutela ed il riutilizzo delle acque, l'art. 54 stabilisce che possa essere concesso un contributo ad enti pubblici ed a privati non esercenti attività produttive, fino ad un massimo del cinquanta per cento della spesa riconosciuta ammissibile, anche per «il riciclo e riutilizzo delle acque reflue nonché raccolta ed utilizzo o dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche».

Infine, l'art. 12 del decreto del Presidente della Provincia n. 6 del 21 gennaio 2008 disciplina le destinazioni d'uso e i relativi requisiti di qualità delle acque reflue destinate al riutilizzo delle acque reflue domestiche. In particolare, come riutilizzi delle acque vengono ammesse le destinazioni per uso irriguo, civile e industriale; inoltre, in caso di riutilizzo per fini irrigui e civili, le acque reflue recuperate devono possedere i requisiti di qualità chimico-fisici e microbiologici stabiliti ai sensi dell'art. 99 del d.lgs. n. 152 del 2006, vale a dire, ad oggi, dal d.m. n. 185 del 2003.

3.3. Regione Liguria

L'art. 12 della legge regionale 15 luglio 2022, n. 7, come successivamente modificata, prevede che la Regione adotti misure di risparmio idrico stabilendo a tal fine i criteri per il riutilizzo delle acque reflue domestiche, urbane e industriali, in funzione delle destinazioni d'uso e dei relativi requisiti di qualità. Il rispetto di tali criteri costituisce il presupposto per il rilascio dell'autorizzazione allo scarico con finalità di riutilizzo.

I criteri di cui all'art. 12 sono stati adottati con D.g.r. 28 dicembre 2022, n. 1335. La delibera reca disposizioni di dettaglio in tema di autorizzazione allo scarico con finalità di riutilizzo, utilizzi ammessi delle acque reflue, analisi di rischio e monitoraggio.

3.4. Regione Emilia-Romagna

Al capitolo 3 del Piano di Tutela delle Acque vigente, approvato con Delibera n. 40 dell'Assemblea legislativa il 21 dicembre 2005 ed attualmente in fase di revisione e aggiornamento, vengono descritte le misure di razionalizzazione, risparmio e riutilizzo delle risorse idriche per i diversi settori (civile, industriale, irriguo), indicando i risultati a cui tendere in termini di risparmio rispetto alle tendenze evolutive attuali e i conseguenti consumi alle utenze e prelievi di acque superficiali e di falda.

Con particolare riferimento al settore industriale, al paragrafo 3.4.2.1.2. viene chiarito che gli obiettivi sono il contenimento degli emungimenti di acqua di falda, l'approfondimento delle conoscenze sull'uso delle acque nei processi produttivi e, seppur indirettamente, la riduzione dell'inquinamento dei corpi idrici (ciò in quanto a minori usi corrispondono minori quantitativi di acque reflue scaricate e quindi, quantomeno potenzialmente, minori carichi inquinanti riversati nell'ambiente). Tra le misure di risparmio per il settore industriale sono previsti l'obbligo di misurazione di tutti i prelievi dalle falde o dalle acque superficiali, l'applicazione di canoni annuali commisurati ai livelli di consumo e all'efficienza dell'uso dell'acqua nei processi produttivi, incentivazioni

di tipo economico (come sgravi fiscali, contributi alle spese di ristrutturazione degli impianti) in caso di adozione di politiche ambientali e, in particolare, all'implementazione di sistemi di gestione ambientale quali certificazioni ISO 14000, EMAS, di prodotto.

3.5. Regione Toscana

L'art. 9 del regolamento regionale 8 settembre 2008, n. 46/R stabilisce che la Regione definisca le modalità di adeguamento degli impianti di depurazione di acque reflue urbane od industriali esistenti per il riutilizzo delle stesse, stabilendo poi le prescrizioni specifiche per ciascun impianto autorizzato. Non sono invece soggetti ad autorizzazione i riusi delle acque attuati attraverso il riciclo interno agli impianti di depurazione.

3.6. Regione Puglia

Il Regolamento Regionale 18 aprile 2012, n. 8 della Regione Puglia stabilisce norme e misure tecniche per il riutilizzo delle acque reflue depurate, allo scopo di contribuire alla tutela qualitativa e quantitativa delle risorse idriche. Il regolamento prevede in particolare che la Regione predisponga un Piano di gestione per il sistema di riutilizzo delle acque reflue recuperate, includendo impianti esistenti, in fase di realizzazione o adeguamento (artt. 4-5); individua le destinazioni d'uso ammissibili per le acque (ambientale, irriguo, civile, industriale) e disciplina le condizioni tecniche che devono essere rispettate per ciascuna destinazione (artt. 6-13); stabilisce le procedure per ottenere le autorizzazioni necessarie per il riutilizzo delle acque reflue (artt. 15-17); prevede misure di controllo e monitoraggio per garantire il rispetto delle norme e la qualità delle acque riutilizzate (art. 18). Il regolamento è parte integrante del Piano di Tutela delle Acque regionale.

3.7. Regione Sardegna

La Delibera della Giunta regionale 30 dicembre 2008, n. 75/15 della Regione Sardegna stabilisce le linee guida per il riutilizzo delle acque reflue depurate, con l'obiettivo di promuovere la sostenibilità e la gestione efficiente delle risorse idriche. In particolare, il regolamento richiede la predisposizione di un Piano di gestione per il sistema di riutilizzo delle acque reflue, che deve includere dettagli sui contenuti e le modalità di attuazione (artt. 3-4); individua le destinazioni d'uso ammissibili per le acque (ambientale, irriguo, civile, industriale) e disciplina le condizioni tecniche che devono essere rispettate per ciascuna destinazione (artt. 5-12); stabilisce le disposizioni per la derivazione di acque pubbliche e le autorizzazioni per lo scarico con finalità di riutilizzo (artt. 13-15); definisce i controlli e le verifiche necessarie (art. 16); rinvia alle disposizioni sanzionatorie previste dal d.lgs. n. 152 del 2006 in caso di violazioni connesse al regolamento (art. 18).

4. Conclusioni e riflessioni *de jure condendo*

Nei paragrafi che precedono è stata effettuata un'analisi della normativa europea, nazionale e regionale in materia di tutela delle acque, con particolare riferimento alle disposizioni che disciplinano – o hanno disciplinato – specificamente la materia del riutilizzo delle acque. Sulla base di questa analisi si possono trarre alcune conclusioni di carattere generale.

Innanzitutto, la normativa – sia vigente che previgente – affronta il tema del risparmio della risorsa idrica con esclusivo riferimento al riutilizzo delle acque reflue per scopi irrigui, civili o industriali (comunque diversi dall'uso umano), focalizzandosi quindi sulla pratica dell'utilizzo dell'acqua trattata dagli impianti di depurazione, vale a dire già “fuoriuscita” dal ciclo produttivo e inviata all'impianto di depurazione, mentre resta escluso dal campo di applicazione della normativa europea e nazionale il riutilizzo – quindi il ricircolo – di acque di processo, non ancora divenute acque reflue ai sensi di legge, all'interno del medesimo ciclo produttivo che le ha generate.

Questo approccio è particolarmente evidente nel regolamento 2020/741/Ue, che disciplina il riutilizzo delle acque “affinate” ai fini irrigui in agricoltura e nella più recente direttiva 2024/3019/Ue, che stabilisce l’obbligo per gli Stati di promuovere il riutilizzo delle acque reflue trattate negli impianti di depurazione delle acque reflue urbane. Anche a livello nazionale l’impostazione è la medesima. Difatti, il vigente d.m. n. 185 del 2003 prevede norme per il riutilizzo delle acque reflue domestiche, urbane ed industriali per scopi irrigui, civili ed industriali ed esclude espressamente il riutilizzo di acque reflue all’interno del medesimo ciclo produttivo che le ha generate; nella stessa prospettiva si pone lo schema di decreto di recepimento del regolamento 2020/741/Ue.

L’altra faccia della medaglia della considerazione di cui sopra è rappresentata dal fatto che il tema del ricircolo delle acque di processo all’interno del medesimo ciclo produttivo (quindi prima che queste diventino acque reflue e vengano inviate a depurazione) è privo di un quadro normativo di riferimento. Ciò comporta l’impossibilità di un’applicazione di questo meccanismo di risparmio idrico in modo organico e strutturato.

A livello europeo, il riutilizzo delle acque di processo è individuato come tecnologia applicabile nelle *Bat conclusions* di settore per alcuni impianti industriali. Come evidenziato al paragrafo 1.3.1., le *Bat conclusions* costituiscono, in estrema sintesi, delle norme tecniche di riferimento che le autorità nazionali competenti al rilascio dei provvedimenti autorizzativi, nell’esercizio della loro discrezionalità, attuano attraverso l’inserimento nelle autorizzazioni di prescrizioni tecniche che i gestori degli impianti sono tenuti a concretizzare e rispettare. Pertanto, in conformità alle *migliori tecniche disponibili*, qualora queste contemplino l’adozione di soluzioni tecnologiche finalizzate al recupero e al riutilizzo delle acque generate dall’installazione, le autorizzazioni ambientali saranno oggetto di progressivo aggiornamento mediante l’inserimento di specifiche prescrizioni vincolanti. Tali prescrizioni comporteranno l’obbligo, in capo al gestore, di implementare le suddette tecnologie, indipendentemente dalla presenza di una disciplina normativa generale – sia essa di matrice europea o nazionale – in materia di riutilizzo delle acque.

Occorre tuttavia evidenziare come la concretizzazione delle *Bat* in prescrizioni autorizzative sia subordinata, in linea di principio e tra gli altri, anche al concetto di *availability*, ossia di “disponibilità” della tecnologia intesa come sua attuabilità anche dal punto di vista economico alla luce di una valutazione costi/benefici. Quindi, se la tecnologia dovesse risultare eccessivamente costosa rispetto ai benefici ottenibili, allora non potrebbe essere imposta dalle autorità competenti.

In altra parte del presente lavoro è stato evidenziato come esistano, dal punto di vista tecnologico, delle soluzioni ormai «consolidate e raccomandabili» per ottimizzare i processi produttivi e ridurre l'uso di acqua in impianti che tipicamente richiedono un grande consumo di risorsa idrica, come gli impianti termoelettrici e idroelettrici. Si tratta, ad esempio, dell'impiego di acque reflue opportunamente trattate come fluido di raffreddamento o di pulizia, della raccolta e conservazione dell'acqua piovana al fine del riutilizzo per le operazioni industriali e della scelta di sistemi di trattamento avanzati per purificare e riutilizzare le acque presenti nell'impianto. Vi sono poi anche soluzioni tecniche implementate recentemente e non ancora consolidate, come la tecnologia *Zero Liquid Discharge* (ZLD), che permette di eliminare quasi completamente gli scarichi degli impianti, recuperando tra il 90 e il 98% dell'acqua utilizzata nei processi.

Sebbene alcune di queste tecnologie siano già adottate negli impianti industriali, il loro impiego resta circoscritto per via dei costi elevati e del notevole fabbisogno energetico. Il problema dell'implementazione di tecnologie innovative finalizzate al risparmio idrico è, infatti, prevalentemente di carattere economico, sia per il costo “vivo” che le aziende dovrebbero sostenere per la loro realizzazione e per il loro mantenimento, sia per la valutazione negativa in termini di costi-benefici.

Da un lato, infatti, le modifiche tecnologiche finalizzate a rendere più efficienti i consumi idrici sono di per sé molto onerose e anche impattanti dal punto di vista impiantistico, soprattutto per tutte installazioni piuttosto risalenti che, pensate e progettate decenni fa, molto spesso non hanno spazi sufficienti per collocare nuovi sistemi. Dall'altro, occorre considerare che sul territorio italiano i prelievi di acqua (dal

sottosuolo o dall'acquedotto) a uso industriale sono sottoposti al pagamento di un canone di concessione o di utilizzo proporzionalmente molto più basso rispetto non solo al costo che l'azienda dovrebbe sostenere per installare dei sistemi di efficientamento idrico, ma anche a confronto con il beneficio che ne deriverebbe in termini di risparmio per l'azienda stessa. Ciò rende quindi tendenzialmente antieconomico per le imprese, a maggior ragione in periodi di crisi ed instabilità, un investimento strutturale nell'ottica del risparmio idrico.

In altri termini, emerge come la principale difficoltà sia legata agli eccessivi oneri economici e all'assenza di un sistema normativo-regolatorio che incentivi i gestori di impianti industriali ad investire in modifiche finalizzate al risparmio idrico. Per cui occorre tentare di immaginare una qualche forma di meccanismo di incentivazione, anche in forma indiretta o per compensazione.

In questo senso, un riferimento utile appare essere il sistema dei "certificati bianchi", denominati anche Titoli di Efficienza Energetica, uno strumento normativo volto a promuovere l'efficienza energetica delle aziende introdotto con il d.m. 20 luglio 2004. Tali certificati attestano il conseguimento di risparmi energetici espressi in tonnellate equivalenti di petrolio (TEP). I TEE rilasciati sono negoziabili sul mercato gestito dal GSE e possono essere ceduti, generando un beneficio economico per il proponente. Il sistema si configura pertanto come un mercato regolato, finalizzato al perseguimento degli obiettivi nazionali di riduzione dei consumi energetici e delle emissioni climalteranti, in attuazione delle direttive europee in materia di sostenibilità ambientale.

Un'altra soluzione potrebbe ispirarsi a quanto già il Testo Unico sulle Acque (d.lgs. n. 152 del 1999) aveva ipotizzato, ovvero un sistema, a favore delle utenze industriali, di riduzioni della tariffa del servizio di fognatura e depurazione in funzione del riutilizzo di acque reflue o comunque già utilizzate nel processo produttivo applicando alla tariffa un correttivo tale da tenere conto della quantità di acqua riutilizzata in funzione del fabbisogno idrico complessivo.

È chiaro che un qualsiasi meccanismo di incentivazione economica comporti l'allocazione di risorse che, inevitabilmente, devono essere sottratte ad altri scopi o settori. Si tratta, come sempre, di una questione

di scelte che, tuttavia, come collettività saremo in ogni caso un giorno tenuti a fare, perché è concreto il rischio che, nei decenni futuri, il cambiamento climatico e lo sfruttamento selvaggio delle risorse naturali in tutti i Paesi facciano sentire le loro conseguenze anche sotto il profilo della carenza di acqua.

Produzione di energia e tutela della risorsa idrica: stato dell'arte e prospettive tecnologiche

Benedetta Scalzotto

Sommario: 1. Premessa. – 2. Impianti termoelettrici. – 3. Energia idroelettrica. – 4. Energia solare e impianti fotovoltaici. – 5. Impianti agrivoltaici. – 6. Impianti fotovoltaici galleggianti. – 6.1. Canali solari. – 7. Energia eolica. – 8. Conclusioni.

1. Premessa

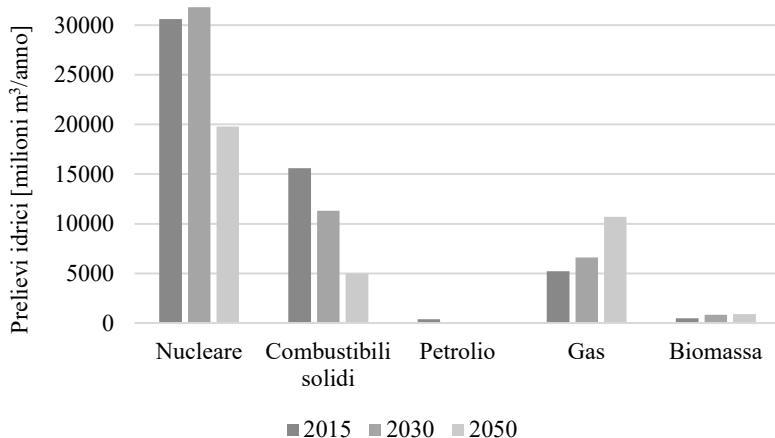
Secondo le stime e le previsioni proposte nelle analisi condotte dal Joint Research Centre (JRC)¹, sulle interrelazioni tra acqua ed energia in Europa, nel 2015 il settore energetico dell'UE ha prelevato circa 74 miliardi m³/anno di acqua dolce e ne ha consumato circa 3,8 miliardi m³/anno, pari al 5% del prelievo. Lo studio propone delle previsioni di utilizzo della risorsa idrica al 2030 e al 2050 considerando uno scenario c.d. *low-carbon*, che, in accordo con gli obiettivi di decarbonizzazione posti dall'Unione Europea, prevede l'aumento delle fonti di energia rinnovabile e il graduale abbandono dell'energia fossile, comportando una riduzione dei prelievi idrici e dei consumi che arriveranno rispettivamente

¹ H. MEDARAC, D. MAGAGNA, I. HIDALGO GONZÁLEZ, *Projected fresh water use from the European energy sector*, Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2018, <https://doi.org/10.2760/30414>; ed i contributi di M. ADAMOVIC, B. BISSELINK, M. DE FELICE, A. DE ROO, C. DORATI, D. GANORA, H. MEDARAC, A. PISTOCCHI, W. VAN DE BUND, D. VANHAM in D. MAGAGNA, I. HIDALGO GONZÁLEZ, G. BIDOGLIO, S. PETEVE (a cura di), *Water-Energy Nexus in Europe*, Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2019, JRC115853, <https://doi.org/10.2760/968197>.

a 46 miliardi m³ e 2,7 miliardi m³. La **Figura 1** e la **Figura 2** sono state prodotte a partire dai dati del suddetto studio e presentano l'uso e il consumo di risorsa idrica per vari impianti termoelettrici. Gli impatti più elevati resteranno, dunque, legati agli impianti nucleari, tanto per i prelievi idrici quanto per i consumi. Tuttavia, la quantità di acqua attribuita alla loro operatività diminuirà significativamente negli anni, portando altri impianti, come le centrali a gas e a biomassa, ad avere consumi altrettanto importanti, che in Europa raggiungeranno i 550 milioni di m³ all'anno. In tale scenario, una percentuale sempre maggiore del mix energetico europeo verrà dalle fonti di energia rinnovabile, i quantitativi d'acqua associati alle quali sono in vari casi strettamente legati alla costruzione degli impianti (per una trattazione più approfondita si rimanda ai paragrafi successivi).

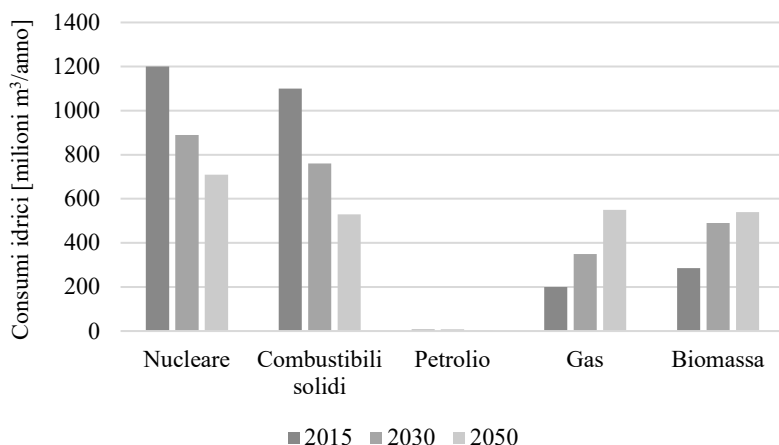
In questo contributo si presenta lo stato dell'arte sui principali metodi utilizzati per la produzione di energia e sulle tecnologie emergenti, fornendo un quadro generale dei vantaggi e degli svantaggi correlati.

Figura 1. – Prelievi idrici associati agli impianti termoelettrici in Europa nel 2015 e proiezioni al 2030 e 2050²



² H. MEDARAC, D. MAGAGNA, I. HIDALGO GONZÁLEZ, *Project fresh water*, cit.

Figura 2. – **Consumi idrici associati agli impianti termoelettrici in Europa nel 2015 e proiezioni al 2030 e 2050**³

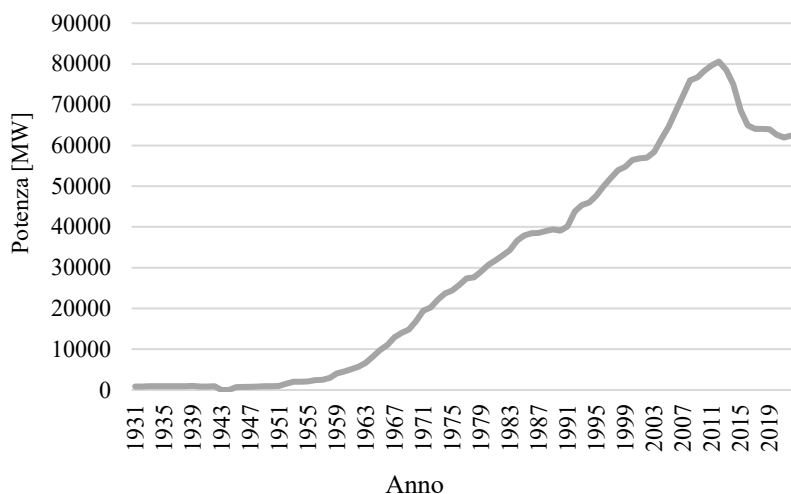


2. Impianti termoelettrici

L'Italia, come molti altri Paesi dell'Unione europea, sta investendo risorse crescenti nello sviluppo di tecnologie energetiche basate su fonti rinnovabili, procedendo, soprattutto negli ultimi decenni, alla dismissione o al ridimensionamento di vari impianti alimentati a combustibili fossili (**Figura 3**). Nonostante ciò, nel 2024 il 58% dell'energia lorda prodotta in Italia è stata originata da impianti termoelettrici, alimentati nella maggior parte dei casi da combustibili fossili.

³ H. MEDARAC, D. MAGAGNA, I. HIDALGO GONZÁLEZ, *Project fresh water*, cit.

Figura 3. – **Dati storici Terna – Potenza efficiente lorda degli impianti termoelettrici (1931-2022)** ⁴



È noto che il settore termoelettrico e i relativi sistemi di raffreddamento rappresentano uno degli aspetti più rilevanti delle interazioni acqua-energia ⁵. I sistemi di raffreddamento ad aria sono considerati tra le tecnologie più efficaci per ridurre il consumo d'acqua in questi tipi di impianti. Non vi sono infatti perdite evaporative e sia il prelievo che il consumo d'acqua sono minimi o pressoché nulli ⁶. Lo studio condotto da Zhai *et al.* ⁷ sulle centrali termoelettriche alimentate a carbone e a

⁴ Terna S.p.A. (2024). Produzione termoelettrica per categoria [GWh].

⁵ L. MANCUSI, S. MORANDI, A. GARGIULO, A. AMARANTO, *Valutazione delle interrelazioni quantitative acqua-energia in Italia*, 2021. Disponibile in: <https://www.rse-web.it/rapporti/valutazione-delle-interrelazioni-quantitative-acqua-energia-in-italia/#>.

⁶ European Commission, *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems*, 2001; T.J. FEELEY, T.J. SKONE, G.J. STIEGEL, A. McNEMAR, M. NEMETH, B. SCHIMMOLLER, J.T. MURPHY, L. MANFREDO, *Water: A critical resource in the thermoelectric power industry*, in *Energy*, n. 33(1)/2008, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.08.007>.

⁷ H. ZHAI, E.S. RUBIN, E-J. GROL, A.C. O'CONNELL, Z. WU, E.G. LEWIS, *Dry*

gas negli Stati Uniti offre un esempio in cui la sostituzione di torri evaporative con sistemi di raffreddamento ad aria ha portato ad una riduzione del consumo annuo di acqua sia per gli impianti a carbone (nel 93% degli impianti analizzati) che per gli impianti a gas (in tutti gli impianti). Tuttavia, questa tecnologia risulta piuttosto energivora: nello stesso studio si stima che il costo livellato dell'elettricità (LCOE), ovvero la misura del costo medio per produrre energia elettrica durante l'intera vita utile di un impianto, aumenti di circa 12% per gli impianti a carbone e del 18% per quelli a gas. Inoltre, l'efficienza degli impianti con raffreddamento ad aria tende a ridursi rispetto ai sistemi tradizionali, specialmente quando le temperature ambientali sono molto elevate. Allo stesso modo, più basso è il livello di calore residuo, più difficile risulta il raffreddamento con sistemi ad aria. Per questi motivi, il raffreddamento ad aria è preferibile quando sono rilevate temperature di processo superiori a 60°C. mentre i livelli di calore superiori a 100°C possono essere pre-raffreddati con raffreddatori ad aria se non sono disponibili opzioni di riutilizzo.

L'ambivalenza evidenziata dalle tecnologie di raffreddamento ad aria si riflette anche nei risultati dell'Indicatore di Circolarità che saranno presentati nel capitolo 6. Per gli 8 impianti analizzati che adottano questa tecnologia, il sottofattore SF5 "Tasso di consumo dell'acqua" presenta valori particolarmente elevati, segnalando quindi una gestione efficiente della risorsa idrica. Al contrario, i sottofattori SF1 e SF3, rispettivamente "Prelievo totale di acqua dolce per MWh prodotto" e "Consumo di acqua per MWh prodotto" non mostrano lo stesso andamento di SF5: per tutti gli impianti, infatti, essi si attestano su valori inferiori a 10, a fronte di un valore massimo pari a 100. Questa tecnologia risulta perciò effettivamente vantaggiosa soprattutto se applicata in regioni particolarmente aride, in cui la disponibilità di risorsa idrica, superficiale o marina, è limitata.

cooling retrofits at existing fossil fuel-fired power plants in a water-stressed region: Tradeoffs in water savings, cost, and capacity shortfalls, in *Applied Energy*, Vol. 306, Part A, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117997>. S.-Y. PAN, S.W. SNYDER, A.I. PACKMAN, Y.J. LIN, P.-C. CHIANG, *Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus*, in *Water-Energy Nexus*, n. 1/2018, 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2018.04.002>.

La conversione dei sistemi di raffreddamento ad acqua in circuito aperto in sistemi di raffreddamento a circuito chiuso comporta una riduzione significativa dei prelievi idrici, pur determinando un potenziale incremento del consumo netto d'acqua dovuto ai processi evaporativi nelle torri di raffreddamento. Diversi studi evidenziano che nei sistemi a circuito aperto il consumo di acqua può considerarsi trascurabile, mentre nei sistemi a circuito chiuso con torri di raffreddamento, risulta decisamente più significativo⁸. Il raffreddamento evaporativo è, in linea di principio, utilizzato principalmente per raffreddare flussi di processo con temperature medie e basse, mentre per temperature basse (inferiori a circa 25°C) vengono utilizzati anche sistemi di raffreddamento ad acqua in circuito aperto, specialmente dove sono richieste grandi capacità.

Qualora sia attivo nell'impianto un sistema di raffreddamento a circuito chiuso, esistono tecnologie per ottimizzare i reintegri e gli spurghi d'acqua della torre di evaporazione. Ne è un esempio lo studio condotto da Dhokai *et al.*⁹, in cui viene dimostrato come l'uso di filtri a membrana nei circuiti ausiliari delle torri di raffreddamento riduca l'acqua di reintegro della torre del 14% e le perdite fino al 48% aumentando il numero di cicli della torre prima che lo spurgo diventi necessario.

Dall'analisi dei 12 impianti a circuito aperto considerati per la costruzione dell'Indice emerge che i livelli più elevati di circolarità si osservano negli impianti che impiegano acqua marina, come evidenziato dai risultati del sottofattore SF2 "Tipo di acqua impiegata". In termini

⁸ I. VANDECASTEELE, C. BARANZELLI, C. PERPIÑA, C. JACOBS-CRISIONI, J.-P. AURAMBOUT, C. LAVALLE, *An analysis of water consumption in Europe's energy production sector: the potential impact of the EU energy reference scenario 2013 (LUISA configuration 2014)*, Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2016. T. WAGNER, P. SAHA, H. BRUNING, H. RIJNAARTS, *Lowering the fresh water footprint of cooling towers: A treatment-train for the reuse of discharged water consisting of constructed wetlands, nanofiltration, electrochemical oxidation and reverse osmosis*, in *Journal of Cleaner Production*, 2022, 364, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132667>.

⁹ C. DHOKAI, R.R. PALKAR, V. JAIN, *Water saving in thermal power plant by use of membrane filter in cooling tower treatment*, in *AIMS Environmental Science*, n. 9(3)/2022, 282-292. <https://doi.org/10.3934/environsci.2022020>.

generali, la circolarità risulta maggiore negli impianti capaci di utilizzare acqua marina per il maggior numero di scopi operativi. La valutazione della circolarità negli impianti che utilizzano acqua dolce, sia a circuito aperto sia a circuito chiuso, risulta invece più complessa, poiché essa dipende in modo significativo dalla disponibilità locale della risorsa idrica e dalla qualità dell'effluente restituito all'ambiente, ma non risulta comunque mai preferibile rispetto all'uso di acqua marina.

Nella **Tabella 1** si riportano le linee guida dell'Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)¹⁰ relative alla scelta più appropriata del sistema di raffreddamento in funzione della temperatura del fluido da raffreddare. Gli intervalli proposti non sono da considerarsi fissi nella selezione di un sistema di raffreddamento poiché le temperature dipendono in larga misura dalla situazione locale (clima e temperatura del fluido refrigerante). Per processi che devono essere operativi durante tutto l'anno in condizioni climatiche variabili può essere necessario utilizzare una combinazione di diversi sistemi di raffreddamento.

Tra gli interventi di riduzione del consumo idrico vi sono inoltre pratiche ormai consolidate e raccomandabili per ottimizzare i processi produttivi:

- l'impiego di acque reflue, se necessario opportunamente trattate, come fluido di raffreddamento o di pulizia;
- la riduzione delle perdite per evaporazione e per spurgo (*blowdown*) e l'implementazione di sistemi di monitoraggio delle perdite;
- la raccolta e la conservazione dell'acqua piovana al fine del riutilizzo per le operazioni industriali;
- la scelta di sistemi di trattamento avanzati per purificare e riutilizzare le acque presenti nell'impianto;
- l'introduzione di processi automatizzati per ridurre l'uso di acqua e garantire che le operazioni si svolgano solo quando necessario;

¹⁰ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems, 2001.

- il controllo continuo dei consumi idrici attribuibili a ciascun processo, introducendo sensori a monte e a valle delle varie unità per individuare e monitorare i processi aventi il peso idrico maggiore.

Tabella 1. – Intervalli di temperatura delle acque industriali con relativi sistemi di raffreddamento e applicazioni industriali

Temperatura	Tipologie di sistemi di raffreddamento adatti	Applicazioni tipiche
10-25°C	Sistemi a passaggio diretto (diretto/indiretto); Torri di raffreddamento ad acqua (a tiraggio meccanico/naturale); Torri di raffreddamento ibride; Sistemi di raffreddamento combinati	Generazione di energia; Processi chimici e petrolchimici
25-60°C	Sistemi a passaggio diretto (diretto/indiretto); Torri di raffreddamento ad acqua; Torri di raffreddamento a circuito chiuso; Condensatori evaporativi; Raffreddatori/condensatori ad aria; Torri/condensatori di raffreddamento ibridi; Sistemi di raffreddamento combinati; Torri di raffreddamento a circuito chiuso ibride	Generazione di energia in regioni calde (Mediterraneo) Cicli di refrigerazione; Raffreddamento di compressori, macchinari, autoclavi; Impianti siderurgici; Cementifici
oltre 60°C	Sistemi a passaggio diretto (diretto/indiretto); Torri di raffreddamento ad acqua; Raffreddatori/condensatori ad aria	Impianti di incenerimento rifiuti; Raffreddamento di motori e fumi di scarico; Processi chimici

Una strategia innovativa per aumentare il riutilizzo e la minimizzazione delle acque reflue interne all'impianto è la tecnologia Zero Liquid Discharge (ZLD)¹¹ basata su processi di compressione multistadio del vapore, evaporazione forzata e separazione a membrana, che mirano a eliminare completamente gli scarichi liquidi degli impianti, puntando invece al recupero e al riutilizzo pressoché totale dell'acqua trattata e alla trasformazione degli inquinanti in residui solidi. Si stima che questa tecnologia consenta di recuperare tra il 90 e il 98% dell'acqua utilizzata nei processi ma, sebbene tali sistemi siano già in esercizio in alcuni impianti termoelettrici e industriali, il loro impiego rimane limitato a causa dei costi elevati. Pertanto, la loro applicazione risulta economicamente giustificata principalmente in contesti caratterizzati da stringenti requisiti normativi o da marcato stress idrico.

Anche i cicli di potenza basati su anidride carbonica supercritica (*supercritical CO₂ power cycles*) possono ridurre in modo sostanziale il fabbisogno idrico degli impianti di generazione grazie all'elevata efficienza termodinamica e alla minore dipendenza da sistemi di raffreddamento evaporativi, come dimostrato dalla letteratura scientifica¹².

Infine, è opportuno sottolineare che diversi studi evidenziano come, in differenti contesti territoriali, le tecnologie di Carbon Capture and Storage (CCS) qualora integrate su larga scala nelle centrali termoelettriche, porterebbero all'aumento significativo dell'impronta idrica globale, soprattutto nei casi in cui vengano impiegate soluzioni caratterizzate da un'elevata intensità d'uso dell'acqua, come la Bioenergy with CCS (BECCS) e la Direct Air Capture con stoccaggio (DACCS). Tale incremento è principalmente attribuibile ai processi di rigenerazione dei solventi, alle operazioni aggiuntive di raffreddamento e ai processi di cattura della CO₂¹³.

¹¹ S.L. PLATA *et al.*, *Zero Liquid Discharge and Water Reuse in Recirculating Cooling Towers at Power Facilities: Review and Case Study Analysis*, in *ACS ES&T Engineering*, n. 2/2022, 508-525.

¹² M.A. REYES-BELMONTE, R. GUÉDEZ, M.J. MONTES, *Bibliometric Analysis on Supercritical CO₂ Power Cycles for Concentrating Solar Power Applications*, in *Entropy*, n. 23/2021, 1289. E. WANG, N. PENG, M. ZHANG, *System Design and Application of Supercritical and Transcritical CO₂ Power Cycles: A Review*, in *Front Energy Res*, n. 9/2021.

¹³ L. ROSA, J.A. REIMER, M.S. WENT, P. D'ODORICO, *Hydrological limits to carbon*

3. Energia idroelettrica

Secondo quanto riportato dalle pubblicazioni statistiche TERNA, in Italia sono presenti circa 4.900 impianti idroelettrici, che nel 2024 hanno contribuito al 20,5% dell'energia elettrica complessivamente prodotta dal Paese, con un apporto di 53'130 GWh lordi ¹⁴. In particolare, come riportato nella **Figura 4** estratta dall'elaborazione condotta dalla società RSE ¹⁵, sulla base dei dati TERNA, dal 1930 al 1970 vi è stato un notevole incremento della capacità di invaso, in termini di energia, dei serbatoi idroelettrici, con una tendenza ad affidarsi sempre di più a questa fonte di energia. Vi sono varie ragioni per cui negli anni questa tecnologia di produzione ha visto un notevole incremento: innanzitutto, l'elevato rendimento delle turbine idroelettriche, che può raggiungere il 90%, dimostrando perdite di conversione minime rispetto agli impianti termici e fotovoltaici. Inoltre, a differenza dell'energia eolica e solare, il settore idroelettrico consente una produzione più continua e modulabile nel tempo, nonostante risenta dei periodi di siccità. Infatti, come dimostrato dai dati Terna nella **Figura 5**, la produzione è piuttosto variabile negli anni, con un minimo nel 2022. Gli impianti idroelettrici a bacino, inoltre, possono contribuire alla regolazione dei flussi d'acqua tramite i volumi di invaso messi a disposizione, che da una parte rappresentano riserve d'acqua utilizzabili nei periodi di siccità, dall'altra possono mitigare i danni dovuti alle alluvioni. Nonostante i suddetti vantaggi, in varie pubblicazioni scientifiche l'impronta idrica assegnata

capture and storage, in *Nat Sustain*, n. 3/2020, 658-666. L. ROSA, D.L. SANCHEZ, G. REALMONTE, D. BALDOCCHI, P. D'ODORICO, *The water footprint of carbon capture and storage technologies*, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 138/2021, 110511. W. SCHAKEL, S. PFISTER, A. RAMÍREZ, *Exploring the potential impact of implementing carbon capture technologies in fossil fuel power plants on regional European water stress index levels*, in *International Journal of Greenhouse Gas Control*, n. 39/2015, 318-328.

¹⁴ Dati Statistici Sull'energia Elettrica in Italia 2024 – Produzione, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpeglclefindmkaj/https://download.terna.it/terna/05_PRODUZIONE_8de0b378e260fd5.pdf (2024).

¹⁵ L. MANCUSI, S. MORANDI, A. GARGIULO, *La Risorsa Idrica Nel Sistema Energetico Italiano*, 2020. Disponibile in: <https://www.rse-web.it/rapporti/la-risorsa-idrica-nel-sistema-energetico-italiano/>.

alla produzione idroelettrica viene stimata fino al 49% dell'impronta idrica globale relativa al settore energetico. Essa risulta dunque piuttosto elevata e viene attribuita principalmente alla fase operativa degli impianti, piuttosto che alle fasi di costruzione o smantellamento dei bacini¹⁶. Questo risultato è dovuto principalmente all'evaporazione superficiale dai bacini idrici; quando però un bacino di invaso idroelettrico viene sfruttato anche come riserva d'acqua, ad esempio per l'irrigazione nei periodi di siccità, fornisce un ulteriore servizio che può mitigare l'effetto dell'evaporazione superficiale. Nonostante ciò, spesso non è possibile distribuire l'impronta idrica associata all'evaporazione del bacino tra i suoi vari scopi, secondo il valore relativo di ciascuno, a causa della mancanza di dataset globali sugli scopi degli stessi e sul loro valore relativo¹⁷.

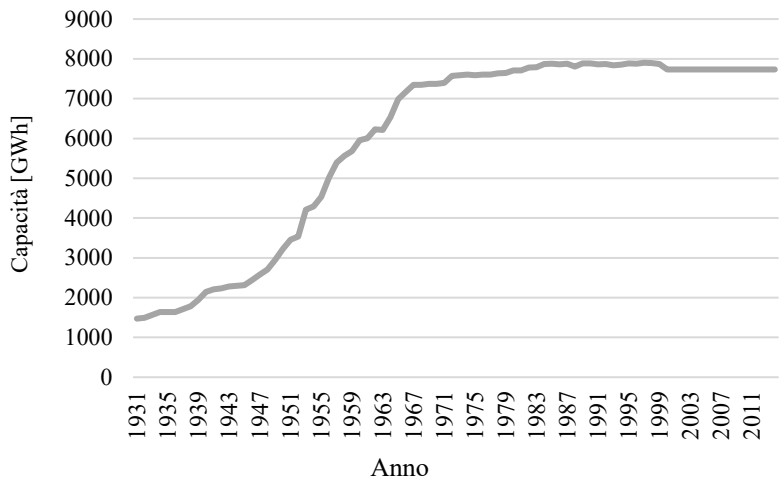
La produzione di energia idroelettrica dipende intrinsecamente dalla presenza di acqua e non può esserne svincolata. Le nuove tecnologie, dunque, si focalizzano maggiormente sull'aumento dell'efficienza tecnologica ai fini energetici e ambientali piuttosto che su una riduzione diretta dei volumi d'acqua utilizzati. Tra queste, le principali innovazioni ambientali mirano a salvaguardare la fauna marina attraverso lo sviluppo di turbine che consentano il passaggio dei pesci grazie all'utilizzo di pale con bordi inspessiti, zone di ristagno e basse velocità di rotazione delle pale. Vi sono poi diverse innovazioni che permettono l'aumento dell'efficienza dei sistemi idroelettrici, come sistemi a velocità variabile e pompe-turbine avanzate. Inoltre, sistemi come l'idroelettrico in condotta permettono di recuperare energia da sistemi idrici esistenti, come condutture dell'acqua potabile, canali e acquedotti,

¹⁶ M.M. MEKONNEN, A.Y. HOEKSTRA, *The blue water footprint of electricity from hydropower*, in *Hydrol Earth Syst Sci*, n. 16/2012, 179-187. E. GRUBERT, K.T. SANDERS, *Water Use in the United States Energy System: A National Assessment and Unit Process Inventory of Water Consumption and Withdrawals*, in *Environ Sci Technol*, n. 52/2018, 6695-6703. D. MAGAGNA et al., *Water-Energy Nexus in Europe*, cit.

¹⁷ S. PFISTER, L. SCHERER, K. BUXMANN, *Water scarcity footprint of hydropower based on a seasonal approach - Global assessment with sensitivities of model assumptions tested on specific cases*, in *Science of the Total Environment*, 2020, 724. A. LOHRMANN, *The Water Footprint of the global power sector: status quo, challenges, and opportunities for tackling the global water crisis*, Lappeenranta University of Technology LUT Pub., 2023.

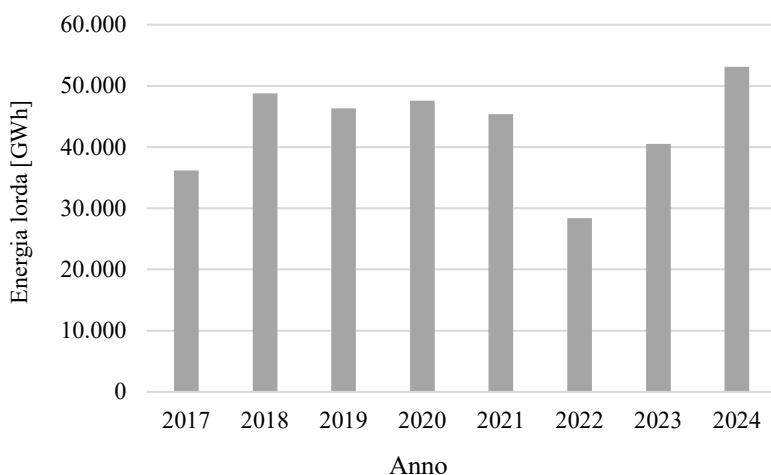
installando piccole turbine che sostituiscono le valvole di riduzione della pressione.

Figura 4. – **Dati storici Terna – Capacità dei serbatoi ad uso idroelettrico (1931-2014)**¹⁸



¹⁸ Terna: “Dati statistici sull’energia elettrica in Italia - anno 2023”, <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/pubblicazioni-statistiche>.

Figura 5. – Dati Produzione Terna – Produzione lorda degli impianti idroelettrici (2017-2024)¹⁹



4. Energia solare e impianti fotovoltaici

Lo scenario elaborato nel PNIEC 2023²⁰ e proposto alla Commissione europea in aggiornamento al PNIEC 2019, prevede che al 2030 siano installati complessivamente 131,3 GW cumulativi di impianti a fonte rinnovabile, di cui quasi 80 GW di solo fotovoltaico, che sarebbe così soggetto ad un incremento di capacità di circa 57 GW rispetto al 2021. Ciò deriva dall'obiettivo di copertura dei consumi energetici da fonti di energia rinnovabile fissato complessivamente al 40,5%, che si ripercuote poi al 65% nel settore elettrico, al 37% nel settore termico ed al 31% nel settore dei trasporti. Il fotovoltaico rappresenta una delle tecnologie più promettenti per la transizione energetica grazie al suo

¹⁹ Terna: "Dati statistici sull'energia elettrica in Italia - anno 2024", <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/publicazioni-statistiche>.

²⁰ PNIEC Piano Nazionale Integrato per l'Energia e Il Clima, www.mase.gov.it/sites/default/files/PNIEC_2023.pdf (2023).

potenziale di sviluppo, alla flessibilità e ai costi di installazione contenuti. Nel 2023 la capacità fotovoltaica in esercizio è cresciuta di oltre 5,2 GW, un valore più che doppio rispetto all'anno precedente, ma ancora insufficiente per il conseguimento degli obiettivi fissati dal PNIEC al 2030. L'espansione del settore è trainata soprattutto dagli impianti di piccola taglia nel comparto residenziale, sostenuti dagli incentivi fiscali, mentre gli impianti di grande scala continuano a essere ostacolati da un quadro normativo frammentato. La necessità del contributo dei grandi impianti fotovoltaici in tal senso era già stata prevista nel "Documento di Descrizione degli Scenari 2022" redatto congiuntamente da Terna e Snam, su cui si basa il "Piano di Sviluppo 2023"²¹, e, quindi, l'idea di basarsi esclusivamente su installazioni su coperture edilizie, pur teoricamente estese, risulta poco realistica a causa della frammentazione del patrimonio edilizio, delle diverse tipologie costruttive e delle limitazioni legate a inclinazione ed esposizione. Alla luce di queste considerazioni, la realizzazione di impianti fotovoltaici su larga scala, inclusi quelli innovativi e integrati in ambiti idrici come gli Impianti Agrivoltaici e Fotovoltaici Galleggianti, appare una condizione imprescindibile per garantire la sostenibilità energetica e ambientale del Paese.

Il fotovoltaico, inoltre, rappresenta una delle tecnologie con la minore impronta idrica tra le varie tecniche di generazione elettrica, con un consumo di acqua nel ciclo di vita di circa 1,72 m³/MWh in base alla tipologia di impianto fotovoltaico, di cui l'80% del totale attribuibile all'estrazione dei materiali e alla costruzione delle apparecchiature²². Ad oggi, il materiale che domina il mercato globale dei pannelli fotovoltaici è il silicio cristallino (c-S), che compone la maggioranza dei pannelli fotovoltaici installati in Italia²³. Nonostante l'abbondanza del

²¹ Terna, Piano di sviluppo 2023, <https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/programmazione-territoriale-efficiente/piano-sviluppo-rete>.

²² P. STOLZ, R. FRISCHNECHT, *Water Footprint of European Rooftop Photovoltaic Electricity Based on Re-Gionalised Life Cycle Inventories*, IEA Report, 2017. W. HOU, X. LI, L. YANG, W. TA, X. JIA, *Carrying Capacity of Water Resources for Renewable Energy Development in Arid Regions in Northwest China: A Case Study of Golmud, Qinghai*, in *Front Environ Sci*, n. 10/2022.

²³ P. CERCHIER *et al.*, *Silicon-PV panels recycling: technologies and perspectives in La Metallurgia Italiana*, 2022, 16-24.

silicio nella crosta terrestre, la silice ad alta purezza utilizzata per la produzione di pannelli ($\text{SiO}_2 > 99,95\%$) è relativamente rara in natura e concentrata in pochi depositi. La catena produttiva dei pannelli fotovoltaici inizia dunque dai processi di produzione del c.d. silicio di grado solare, il principale tra i quali è il processo Siemens che richiede temperature piuttosto elevate ($1100\text{-}1200^\circ\text{C}$) e utilizza triclorosilano (SiHCl_3) o silano (SiH_4) in reattori di decomposizione termica. Il consumo energetico per questo processo è significativo: circa 100 kWh per chilogrammo di silicio di grado solare prodotto²⁴ e tale intensità energetica si traduce in un elevato consumo idrico indiretto poiché la produzione di elettricità richiede grandi quantità di acqua, portando il processo di produzione del silicio ad avere il 34% dell'impatto idrico relativo alla produzione di un pannello mono-Si²⁵.

Per la costruzione di pannelli monocristallini, dopo la purificazione è necessario un ulteriore passaggio di ricristallizzazione chiamato processo Czochralski. Questo processo comporta la lavorazione in lingotti a temperature di 1500°C per 40-60 ore e un utilizzo massiccio di acqua di raffreddamento che contribuisce per circa il 70% al prelievo totale di acqua nel ciclo di vita. Infine, il taglio dei lingotti in sottili piastre e la lucidatura dei cristalli di silicio così ottenuti, detti wafer, richiedono quantità significative di acqua ultrapura (UPW). La fabbricazione di circuiti integrati su un wafer da 300 mm può richiedere tra 2 e 8 m^3 di acqua per ciascun wafer prodotto²⁶.

Un'alternativa all'estrazione e alla lavorazione del silicio grezzo è rappresentata dal riciclaggio dei pannelli fotovoltaici. Considerando che la vita media di un pannello è circa 25 anni, in Italia si stima che sarà necessario lo smaltimento di 50 milioni di pannelli, per cui la

²⁴ B. XAKALASHE, M. TANGSTAD, S. AFRICA, *Silicon Processing: From Quartz to Crystalline Silicon Solar Cells*, in R.T. JONES, P. DEN HOED, *Southern African Pyrometallurgy 2011*, Johannesburg, Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2011, 83-100.

²⁵ P. STOLZ, R. FRISCHKNECHT, *Water Footprint of European Rooftop Photovoltaic Electricity*, cit.).

²⁶ S. SANDHU, A. ZUMEIT, Z. TIAN, V. VINCIGUERRA, R. DAHIYA, *Semiconductor manufacturing wastewater challenges and the potential solutions via printed electronics*, in *iScience*, n. 28/2025.

corretta gestione del fine vita e dello smaltimento degli stessi risulta cruciale. I metodi di riciclaggio dei pannelli si classificano in meccanico, termico, chimico o nella combinazione dei precedenti. Ad oggi, il metodo più applicato in Italia e il meno costoso è il metodo meccanico. I risultati sperimentali ottenuti da Cerchier *et al.*²⁷ nell'ambito del progetto ReSiELP hanno dimostrato la fattibilità tecnica del riciclo dei moduli fotovoltaici in silicio cristallino su scala industriale. Dal trattamento di 10 tonnellate di pannelli a fine vita sono stati recuperati principalmente vetro ($\approx 70\%$), alluminio ($\approx 18\%$), rame ($\approx 1\%$), argento ($\approx 0,02\%$) e silicio ($\approx 1,5\%$). L'analisi LCA condotta ha evidenziato un bilancio ambientale complessivamente positivo, con significativi benefici in termini di riduzione delle emissioni e del consumo idrico rispetto allo smaltimento convenzionale. Nel complesso, il riciclo dei moduli fotovoltaici si conferma tra i processi più efficienti e promettenti nel settore dei rifiuti elettronici grazie all'elevato contenuto di silicio e metalli preziosi e al significativo potenziale di recupero sostenibile dei materiali.

5. Impianti agrivoltaici

Gli impianti agrivoltaici consistono nella localizzazione di pannelli fotovoltaici e attività agricole o pastorali sul medesimo terreno, con l'obiettivo di massimizzare il beneficio complessivo in termini di produzione energetica, rendimento agricolo e uso efficiente delle risorse naturali, in particolare dell'acqua. L'ombreggiamento prodotto dalle strutture fotovoltaiche riduce infatti la radiazione incidente sul suolo e il riscaldamento dell'aria, con conseguente incremento dell'umidità sotto i pannelli. Lo studio condotto da Barron-Gafford *et al.*²⁸ dimostra come in alcuni casi i sistemi agrivoltaici, anche in scenari di irrigazione

²⁷ P. CERCHIER *et al.*, *op. cit.*

²⁸ G.A. BARRON-GAFFORD *et al.*, *Agrivoltaics as a climate-smart and resilient solution for midday depression in photosynthesis in dryland regions*, in *npj Sustainable Agriculture*, n. 3 (32)/2025.

ridotta fino al 50%, mantengano una produttività paragonabile rispetto ai campi coltivati tradizionalmente per le colture di pomodoro e leguminose, grazie non solo all'attenuazione dell'evapotraspirazione del suolo, ma anche alla diminuzione del fenomeno di "*midday depression*" fotosintetico, ovvero la riduzione temporanea della velocità fotosintetica per effetto di stress ambientali quali calore, siccità e eccessiva radiazione. In tal modo, l'agrivoltaico permette la produzione simultanea di cibo ed energia riducendo la competizione per l'uso del suolo e, specialmente in condizioni aride, contribuendo alla conservazione delle risorse idriche, agricole ed energetiche e mitigando la competizione tra più settori di produzione²⁹.

I benefici legati agli impianti agrivoltaici non sono però uniformi e dipendono fortemente dalla geometria dell'impianto, dal grado di ombreggiamento e dalla specie coltivata. Ad esempio, il posizionamento dei moduli per permettere il passaggio delle attrezzature agricole può limitarne l'efficienza energetica, e d'altra parte l'assemblaggio stesso dei pannelli può avere impatti negativi sui suoli coltivabili, causando compattamento ed erosione del terreno.

Alcune tecnologie emergenti in questo settore sono rappresentate da moduli fotovoltaici che producono energia elettrica da entrambe le superfici, detti pannelli bifacciali: davanti (lato esposto al sole diretto) e dietro (lato rivolto verso il terreno). La superficie posteriore, trasparente o semi-trasparente, pur non ricevendo direttamente l'irradiazione solare, viene utilizzata per catturare la luce riflessa dal suolo, dalla vegetazione o da altre superfici circostanti. L'energia generata dal lato posteriore può aumentare la produzione totale del pannello fino al 50% in più rispetto ai pannelli monofacciali in base al luogo di installazione: suolo chiaro o riflettente, erba bassa o ghiaia bianca ecc.³⁰ garantiscono i maggiori benefici.

²⁹ M. CURIONI, N. GALLI, G. MANZOLINI, M.C. RULLI, *Global Land-Water Competition and Synergy Between Solar Energy and Agriculture*, in *Earths Future*, n. 13/2025.

³⁰ R. GUERRERO-LEMUS, R. VEGA, T. KIM, A. KIMM, L.E. SHEPHARD, *Bifacial solar photovoltaics - A technology review*, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60/2016, 1533-1549. Preprint at <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.041>. R.O. YAKUBU, L.D. MENSAH, D.A. QUANSAH, M.S. ADARAMOLA, *A systematic literature review of the bifacial photovoltaic module and its applications*, in *The Journal of Engineering*, 2024.

Un'ulteriore tecnologia impiegata per incrementare l'efficienza dei sistemi fotovoltaici è rappresentata dai tracker solari, dispositivi meccanico-elettronici progettati per orientare i moduli in funzione della posizione del sole, ottimizzando così l'angolo d'incidenza della radiazione solare e massimizzando la produzione energetica giornaliera. Si distinguono principalmente due tipologie: tracker ad asse singolo, che consentono la rotazione orizzontale dei moduli da est a ovest; e tracker biassiali, che permettono movimenti sia orizzontali sia verticali, seguendo la traiettoria solare durante tutto l'anno³¹. L'impiego di tali sistemi può determinare un incremento della produzione energetica fino al 35% rispetto agli impianti a inclinazione fissa, in particolare alle alte latitudini e nei grandi parchi fotovoltaici³². Inoltre, i tracker favoriscono una distribuzione più uniforme della radiazione sotto i moduli, aspetto rilevante nei sistemi agrivoltaici in quanto possono essere programmati per regolare dinamicamente l'ombreggiamento in funzione delle esigenze colturali. Diversi studi dimostrano come la combinazione di pannelli bifacciali e tracker solari portino ad un miglior bilanciamento tra produzione agricola ed energetica³³ pur presentando costi di investimento e complessità gestionali maggiori, oltre a richiedere interventi periodici di manutenzione meccanica per garantire l'affidabilità del sistema nel tempo. Dal punto di vista idrico, il controllo dinamico dell'ombreggiamento mediante tracker bifacciali mitiga significativamente l'evaporazione del terreno e migliora l'efficienza d'uso dell'acqua agricola, rendendoli particolarmente vantaggiosi in contesti di stress idrico.

³¹ K. KUMBA *et al.*, *Solar tracking systems: Advancements, challenges, and future directions: A review*, in *Energy Reports*, n. 12/2024, 3566-3583.

³² P.S. PALIYAL, S. MONDAL, S. LAYEK, P. KUCHHAL, J.K. PANDEY, *Automatic solar tracking system: a review pertaining to advancements and challenges in the current scenario*, in *Clean Energy*, n. 8/2024, 237-262.

³³ S.N. HUSSAIN, A. GHOSH, *Evaluating tracking bifacial solar PV based agrivoltaics system across the UK*, in *Solar Energy*, n. 284/2024. S. GUARINO, A. BUSCEMI, C. CHIARUZZI, V. LO BRANO, *Modelling and analysis of V-shaped bifacial PV systems for agrivoltaic applications: A Python-based approach for energy optimization*, in *Appl Energy*, n. 389/2025. Best Practices for the Optimization of Bifacial Photovoltaic Tracking Systems, www.ica-pvps.org (2024).

6. Impianti fotovoltaici galleggianti

Tra le tecnologie emergenti per la riduzione dell'impatto idrico, gli Impianti Fotovoltaici Galleggianti (Floating Photovoltaics, FPV) si distinguono per la loro capacità di mitigare alcune criticità ambientali come l'evaporazione dell'acqua e la regolazione della temperatura nei bacini idrici.

Ne è un esempio lo studio condotto da Abdelal³⁴, in cui si è dimostrato come tali sistemi risultino efficaci nella riduzione dell'evaporazione superficiale dei bacini in regioni semi-aride, evidenziando benefici significativi per la conservazione idrica. Il lavoro condotto da Cazzaniga *et al.*³⁵, ad esempio, ha analizzato l'integrazione tra FPV e impianti idroelettrici, evidenziando i benefici in termini di produzione energetica e stabilità della rete ottenuti dall'integrazione di FPV e impianti idroelettrici. Risultati analoghi sono stati confermati da Farrar *et al.*³⁶ relativamente ad un impianto localizzato in Giordania, dove l'installazione dei moduli FPV ha ridotto l'evaporazione e alimentato i sistemi di pompaggio dell'acqua. Le implicazioni ambientali dei sistemi FPV si estendono anche alla mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici sulla temperatura e sulla stratificazione termica dei corpi idrici. Exley *et al.*³⁷ suggeriscono che tali sistemi possono contribuire alla stabilizzazione degli ecosistemi acquatici, riducendo l'inquinamento termico, pur sottolineando la necessità di un equilibrio tra produzione energetica e conservazione ecologica.

La progettazione e il funzionamento dei sistemi FPV sono fortemen-

³⁴ Q. ABDELAL, *Floating PV; an assessment of water quality and evaporation reduction in semi-arid regions*, in *International Journal of Low-Carbon Technologies*, n. 16/2021, 732-739.

³⁵ R. CAZZANIGA, M. ROSA-CLOT, P. ROSA-CLOT, G.M. TINA, *Integration of PV floating with hydroelectric power plants*, in *Heliyon*, n. 5/2019.

³⁶ L.W. FARRAR, A.S. BAHAI, P. JAMES, A. ANWAR, N. AMDAR, *Floating solar PV to reduce water evaporation in water stressed regions and powering water pumping: Case study Jordan*, in *Energy Convers Manag*, n. 260/2022.

³⁷ G. EXLEY, A. ARMSTRONG, T. PAGE, I.D. JONES, *Floating photovoltaics could mitigate climate change impacts on water body temperature and stratification*, in *Solar Energy*, n. 219/2021, 24-33.

te influenzati da fattori ambientali, in particolare dalle condizioni di vento e di moto ondoso. Le strutture galleggianti devono inoltre essere progettate per resistere agli ambienti marini, che presentano problematiche specifiche come la corrosione da acqua salata e il *biofouling*, ovvero l'accumulo di microrganismi, alghe e piante a superfici immerse in acqua. Per questi motivi, risulta cruciale lo studio dei materiali e della resistenza strutturale per garantire la durabilità dei sistemi in tali condizioni.

Nonostante il potenziale promettente della tecnologia FPV, la sua diffusione incontra diverse sfide. Sebbene tali sistemi rappresentino un'opportunità per l'espansione delle rinnovabili in aree con limitata disponibilità di suolo, persistono ostacoli significativi legati agli elevati costi iniziali, alla complessità della manutenzione e alla carenza di normative specifiche. La piena implementazione dei sistemi FPV richiede quindi il superamento di sfide progettuali, ambientali ed economiche. Con il progredire della ricerca e l'affinamento delle soluzioni tecniche, il fotovoltaico galleggiante potrà divenire una componente strategica e imprescindibile del portafoglio globale delle energie rinnovabili.

6.1. Canali solari

La tecnologia dei Canali Solari rappresenta un approccio innovativo e coerente con i principi di uso sostenibile del suolo, poiché consente l'installazione di impianti fotovoltaici su superfici già antropizzate, come i canali irrigui, evitando il consumo di nuovo territorio e mantenendo le prestazioni tipiche dei sistemi fotovoltaici installati a terra. Oltre al vantaggio del non consumo di suolo, tali impianti offrono molteplici co-benefici ambientali ed energetici. Tra questi, il microclima più fresco generato dalla presenza del corpo idrico contribuisce a ridurre il surriscaldamento dei moduli fotovoltaici la cui efficienza diminuisce tipicamente dello 0,5% per ogni °C di aumento della temperatura³⁸. L'ombreggiamento dei pannelli limita inoltre l'evaporazione e la proliferazione di

³⁸ M. KUMAR, A. KUMAR, *Experimental validation of performance and degradation study of canal-top photovoltaic system*, in *Appl Energy* n. 243/2019, 102-118.

vegetazione acquatica infestante³⁹. L'integrazione del fotovoltaico lungo i canali irrigui assume particolare rilevanza nei contesti aridi, dove la perdita d'acqua per evaporazione rappresenta una criticità crescente. Diversi studi indicano che la copertura dei canali con pannelli fotovoltaici può ridurre l'evaporazione dell'acqua grazie all'ombreggiamento. Ad esempio, McKuin *et al.*⁴⁰, stimano una riduzione media di circa 39.000 m³ annui per chilometro di canale in un contesto californiano. Tuttavia, i valori variano sensibilmente in funzione delle condizioni climatiche, del grado di copertura e della tecnologia impiegata⁴¹. Nel complesso, i Canali Solari si configurano come una soluzione strategica per la transizione energetica, capace di coniugare la produzione di energia rinnovabile con la tutela delle risorse idriche e del suolo, offrendo benefici integrati in termini di mitigazione climatica e sostenibilità territoriale.

Pur offrendo evidenti benefici ambientali, le installazioni su canali presentano ostacoli che ne limitano l'adozione su larga scala, principalmente legati ai maggiori costi di costruzione dovuti a strutture di sostegno speciali. Studi e analisi mostrano stime variabili dell'incremento di costo rispetto a impianti a terra (in alcuni casi dell'ordine di poche decine di percento, in altri casi significativamente più alte), poiché l'incremento dipende dal tipo di struttura e dalle condizioni locali. Le opere di supporto e le fondazioni costituiscono una quota rilevante del capitale iniziale e richiedono materiali e trattamenti resistenti alla corrosione in ambiente umido. Inoltre, i benefici indiretti (risparmio idrico, minore manutenzione, aumento di resa dei moduli) non sono ancora sempre pienamente monetizzabili nei mercati attuali, rendendo spesso necessario il supporto pubblico o meccanismi di valorizzazione per rendere il business competitivo.

Dal punto di vista tecnico, l'ambiente ad alta umidità causa un degrado accelerato dei componenti elettrici: lo studio durato 13 mesi in

³⁹ A. CANBAZ, Y. KARAKOYUN, H. UZMUS, *An experimental performance analysis of canal-mounted photovoltaic systems regarding energy production and water conservation*, in *Solar Energy*, n. 299/2025.

⁴⁰ B. MCKUIN *et al.*, *Energy and water co-benefits from covering canals with solar panels*, in *Nat Sustain*, n. 4/2021, 609-617.

⁴¹ A. GHOSH, *A comprehensive review of water based PV: Flotovoltaics, under water, offshore & canal top*, in *Ocean Engineering*, n. 281/2023.

condizioni umide subtropicali condotto da M. Kumar e A. Kumar ⁴², ha confrontato il degrado di moduli posizionati sopra vasche d'acqua atte a simulare un canale a superficie libera e moduli posizionati a terra, riportando per i moduli sopra le vasche una diminuzione della potenza massima in uscita dell'1,32%, decisamente maggiore rispetto alla diminuzione del 0,93% rilevata dai moduli a terra.

La configurazione lineare dei canali crea ulteriori inefficienze: la geometria serpeggiante impedisce l'orientamento ottimale dei pannelli verso sud, riducendo la captazione solare. Le vibrazioni causate da vento e onde sottopongono le strutture a milioni di cicli di stress, con rischi di fatica dei materiali e guasti strutturali. Infine, la manutenzione risulta particolarmente complessa e costosa tanto per quanto riguarda i pannelli che per i canali: i tecnici necessitano di rampe e attrezzature speciali per accedere ai pannelli, d'altra parte i pannelli ostacolano la manutenzione ordinaria del canale stesso e la rimozione dei sedimenti. Questi fattori combinati rendono i canali solari economicamente viabili principalmente in presenza di incentivi pubblici o quando i co-benefici ambientali vengono adeguatamente valorizzati.

7. Energia eolica

L'energia eolica si classifica come la tecnologia di produzione di energia con il minore impatto sulla risorsa idrica ⁴³. Il consumo specifico di acqua per l'energia eolica varia da 0 a 0,64 m³/MWh durante l'intero ciclo di vita ⁴⁴. La fase operativa ha un consumo idrico quasi

⁴² M. KUMAR, A. KUMAR, *Experimental validation*, cit., 102-118.

⁴³ M.M. MEKONNEN, P.W. GERBENS-LEENES, A.Y. HOEKSTRA, *The consumptive water footprint of electricity and heat: A global assessment*, in *Environ Sci (Camb)*, n. 1/2015, 285-297.

⁴⁴ X. JIA, J.J. KLEMEŠ, R.R. TAN, *Overview of Water Use in Renewable Electricity Generation*, in *Chem Eng Trans*, n. 89/2021, 403-408. W. HOU, X. LI, L. YANG, W. TA, X. JIA, *Carrying Capacity of Water Resources for Renewable Energy Development in Arid Regions in Northwest China: A Case Study of Golmud, Qinghai*, in *Front Environ Sci*, n. 10/2022.

nullo (0,004 m³/MWh), mentre il consumo principale si concentra nella fase di costruzione e estrazione/lavorazione dei materiali. La produzione di acciaio e cemento per le turbine eoliche rappresenta la principale fonte di consumo idrico indiretto ⁴⁵.

Proprio grazie alla sua indipendenza dall'acqua, l'energia eolica riveste un ruolo cruciale nelle regioni aride. Esplicativo è lo studio condotto da Esmaeilion *et al.* ⁴⁶ in cui si prende in considerazione l'integrazione di energie rinnovabili, inclusa l'eolica, con sistemi di dissalazione in Iran, dimostrando che l'energia eolica può alimentare processi di desalinizzazione contribuendo all'aumento della disponibilità di acqua dolce e riducendo la dipendenza da combustibili fossili. Anche Albatayneh *et al.* ⁴⁷ hanno analizzato il significato dell'energia rinnovabile in un mondo con scarsità idrica, evidenziando che l'integrazione di impianti eolici con dissalazione rappresenta un percorso promettente per la gestione sostenibile dell'acqua in regioni aride.

8. Conclusioni

Le innovazioni tecnologiche presentate, dai sistemi di raffreddamento avanzati negli impianti termoelettrici alle soluzioni rinnovabili quali fotovoltaico, agrivoltaico, idroelettrico ed eolico, attestano la disponibilità di diverse strategie per una gestione più sostenibile della risorsa idrica. Tuttavia, la selezione della tecnologia più idonea al contesto territoriale non è di per sé sufficiente: risulta imprescindibile l'adozione di strumenti di governance capaci di orientare le decisioni politiche verso un utilizzo integrato delle risorse, promuovendo la cooperazione e riducendo la

⁴⁵ P.W. GERBENS-LEENES, A.Y. HOEKSTRA, R. BOSMAN, *The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass*, in *Water Resour Ind*, n. 19/2018, 1-12.

⁴⁶ F. ESMAEILION *et al.*, *Renewable energy desalination; a sustainable approach for water scarcity in arid lands*, in *International Journal of Sustainable Engineering*, n. 14/2021, 1916-1942.

⁴⁷ A. ALBATAYNEH, *The Significance of Renewable Energy in a Water-Scarce World: A Case Study of Jordan*, in *Air, Soil and Water Research*, n. 17/2024.

competizione tra i diversi settori che dipendono dall'acqua. In tale prospettiva, l'impiego di indicatori trasparenti e comparabili, come l'Indice di Circolarità, assume un ruolo cruciale per la quantificazione dell'impronta idrica e ambientale dei processi produttivi, supportando la pianificazione strategica e la transizione verso modelli più efficienti. Parallelamente, l'implementazione di tecnologie innovative per il monitoraggio e la riduzione dell'idroesigenza rappresenta un passo essenziale per fronteggiare la crescente scarsità idrica. Nel lungo periodo, il mix energetico dovrà quindi essere definito non soltanto in funzione delle emissioni climateranti, ma anche dell'acqua e del suolo impiegati, al fine di costruire un sistema energetico realmente circolare, resiliente e rispettoso dei limiti ecosistemici.

Sviluppo di un Indice di Circolarità dell'acqua per gli impianti termoelettrici

Roberto Raga, Benedetta Scalzotto, Anna Stoppato

Sommario: 1. Premessa. – 2. Introduzione. – 2.1. L'acqua nella produzione di energia. – 2.1.1. Prelievo e consumo di acqua dolce. – 2.1.2. Qualità delle acque reflue e principali inquinanti. – 2.1.3. Inquinamento termico dei sistemi energetici. – 2.2. Sistemi di raffreddamento. – 2.2.1. Raffreddamento ad aria. – 2.2.2. Raffreddamento ad acqua in un circuito aperto. – 2.2.3. Raffreddamento ad acqua in un circuito chiuso. – 2.2.4. Raffreddamento in un circuito ibrido. – 2.3. *Water-Energy Nexus* negli impianti termoelettrici italiani. – 3. Metodologia. – 3.1. Definizione preliminare dei fattori e dei sottofattori-chiave. – 3.1.1. Gestione degli input idrici (*Water input management*). – 3.1.2. Efficienza nell'uso dell'acqua (*Water use efficiency*). – 3.1.3. Riutilizzo e riciclo dell'acqua (*Water reuse and recycling*). – 3.1.4. Qualità degli effluenti e degli scarichi (*Effluent and discharge quality*). – 3.1.5. Tecnologia e innovazione (*Technology and innovation*). – 3.1.6. Governance e strategia (*Governance and strategy*). – 3.1.7. Rischio e resilienza (*Risk and resilience*). – 3.1.8. Sintesi e definizione finale dei fattori e dei sottofattori-chiave. – 3.2. Raccolta e selezione dei dati. – 3.3. Costruzione dell'indice: approccio multicriterio e descrittori di performance. – 3.3.1. Descrittori di performance. – 3.3.1.1. Prelievo totale di acqua dolce per MWh prodotto. – 3.3.1.2. Tipo di acqua impiegata. – 3.3.1.3. Consumo di acqua per MWh prodotto. – 3.3.1.4. Tasso di riuso interno dell'acqua trattata. – 3.3.1.5. Tasso di consumo dell'acqua. – 3.3.1.6. Gestione dello scarico termico. – 3.3.1.7. Inquinanti negli effluenti. – 3.4. Funzioni di utilità. – 3.5. Metodologia di attribuzione dei pesi. – 4. Risultati. – 5. Conclusioni.

1. Premessa

Misurare la circolarità idrica nel settore della produzione dell'energia richiede metriche che incorporino le performance tecniche e il contesto locale. Questo studio propone un Indice di Circolarità composito, articolato

in sette sottofattori (SF1-SF7) con funzioni di utilità dedicate e pesi ottenuti attraverso interviste strutturate a esperti del settore. Il dataset comprende 24 centrali termoelettriche italiane con dati provenienti da Dichiarazioni Ambientali (anno 2022), selezionati per tracciabilità e verificabilità. La matrice dei pesi privilegia SF5 (tasso di consumo di acqua dolce, 33,11%) e SF4 (tasso di riuso interno, 23,18%), seguiti da SF2 (16,56%). Quest'ultimo (tipologia di acqua impiegata) rappresenta un elemento metodologico distintivo: integra infatti la tipologia di acqua utilizzata con lo stress idrico locale attraverso un sistema di bonus/malus. Il risultato è una scala aperta, con punteggi anche negativi, normalizzata tra 0 e 100, che valorizza l'uso di risorse idriche più circolari in aree critiche. Applicando l'indice a 24 impianti termoelettrici situati in Italia, la graduatoria evidenzia differenze contenute tra i primi classificati, con uno scarto minimo di 0,55 punti tra le prime due posizioni. I migliori risultati si distinguono per punteggi massimi in SF5 e SF4, mentre in alcuni casi emerge un punteggio nullo in SF4. Dall'analisi dei singoli sottofattori si conferma l'efficacia congiunta di riduzione dei consumi di acqua dolce (SF5), chiusura dei cicli interni (SF4) e scelta della fonte in base allo stress idrico (SF2); per diverse centrali si osservano però lacune informative sui SF6 e SF7 (gestione dello scarico termico, inquinanti), che limitano la completezza valutativa pur non alterando i risultati principali. Nel complesso, l'indice fornisce una misura trasparente, comparabile e replicabile della circolarità idrica nelle centrali termoelettriche, utile per benchmarking e per orientare le priorità di intervento in funzione di tecnologie, gestione e contesto territoriale.

2. Introduzione

Secondo stime recenti, circa l'88% dei prelievi idrici del settore energetico globale è attribuibile alla generazione elettrica negli impianti produttivi. La quota prevalente di tale volume è destinata agli impianti termoelettrici, ossia sistemi che producono energia mediante combustione di carbone, gas, petrolio, biomassa o tramite processi di fissione nucleare. Attualmente, le centrali termoelettriche rappresentano circa il 70% della capacità installata a livello globale¹. In Italia, i risultati in termini di

¹ A. LOHRMANN, *The Water Footprint of the global power sector: status quo*,

consumo di acqua mostrano che, per ogni MWh di elettricità immessa nella rete, vengono consumati circa 4,6 m³ di risorse idriche, di cui circa 3 m³ sono attribuibili all'energia idroelettrica e 1 m³ all'elettricità importata. Analizzando i dati di consumo relativi esclusivamente alla produzione di elettricità (escludendo quindi le importazioni), per ogni MWh vengono consumati 3,55 m³ di risorsa idrica, di cui oltre l'80% è attribuibile all'energia idroelettrica, circa il 5% al gas naturale e il 4,5% al fotovoltaico². Anche gli impianti termoelettrici, che ad oggi rappresentano la principale fonte di energia elettrica in Italia, sono fortemente dipendenti dalla disponibilità di acqua. In questa tipologia di impianti, il vapore gioca un ruolo fondamentale nella trasformazione dell'energia termica in energia elettrica. Il calore prodotto nella combustione viene usato per riscaldare l'acqua, generando vapore ad alta pressione. Questo vapore, espandendosi, mette in movimento una turbina collegata a un alternatore, che produce elettricità. Il vapore è ideale per questo processo perché trasporta efficacemente energia e, dopo essere tornato allo stato liquido, può essere riciclato in un ciclo chiuso, noto come ciclo di Rankine, aumentando l'efficienza dell'impianto. Il processo di condensazione del vapore richiede in molti casi l'uso di un fluido di raffreddamento, nella maggior parte dei casi rappresentato dall'acqua.

L'attenzione crescente a livello globale sulla disponibilità di acqua e di energia ha portato a una serie di studi internazionali sul c.d. Water-Energy Nexus (WEn), con l'obiettivo di migliorare la sostenibilità del sistema energetico attraverso una migliore comprensione dell'interazione tra le due risorse. Nella letteratura attualmente disponibile, sono già stati analizzati vari aspetti di questa interdipendenza³. La distribuzione geografica dell'uso dell'acqua tramite la valutazione dei portafogli energetici nazionali è

challenges, and opportunities for tackling the global water crisis, Lappeenranta, University of Technology LUT, 2023.

² A. GARGIULO, M.L. CARVALHO, *Impronta idrica della produzione elettrica in Italia e possibili trend futuri*, 2018, preprint at <https://www.rse-web.it/rapporti/impronta-idrica-della-produzione-elettrica-in-italia-e-possibili-trend-futuri-317614/>.

³ B. SCALZOTTO, G. FARABEGOLI, R. RAGA, A.A. STOPPATO, *Water Circularity Index for thermoelectric power plants*, in *ECOS 2025*, vol. 29, 2025; N.H. MARDI, L.W. EAN, M.A. MALEK, K.H. CHUA, A.N. AHMED, *Operational blue water footprint and water deficit assessment of coal-fired power plants: case study in Malaysia*, in *Environ Sci Eur*, n. 35/2023; A. LOHRMANN, *op. cit.*

stata studiata e determinata da E.S. Spang *et al.*, utilizzando l'indicatore *Water Consumption of Energy Production* (WCEP) per confrontare 150 Paesi, identificando Stati Uniti, Cina e Russia come i maggiori consumatori di acqua per la produzione di energia nel 2008 ⁴. Oltre agli aspetti geografici, sono stati analizzati anche fattori politici ed economici, in particolare attraverso lo studio di A. Gu *et al.* ⁵ che ha esaminato la relazione tra politiche energetiche e politiche idriche in Cina, stabilendo che gli obiettivi energetici del 12° Piano Quinquennale non solo possono portare un risparmio di energia, ma anche un risparmio diretto di acqua in loco e un risparmio indiretto di acqua nei settori a monte. In Italia, l'Impronta Idrica, anche conosciuta come Water Footprint (WF), legata alle fonti energetiche o alla produzione di elettricità nel periodo 2007-2016 è stata studiata e definita da Miglietta *et al.* ⁶, e associata all'identificazione di politiche e linee guida gestionali: è stato definito il concetto di Economic Water Productivities (EWP), che rappresenta il valore monetario di ogni metro cubo di acqua utilizzato nella produzione di elettricità, utile per valutare l'efficacia delle politiche energetiche e misurare il valore economico generato dall'acqua. Considerando sia il prelievo che il consumo di acqua delle tecnologie di produzione elettrica, è stato dimostrato che l'acqua utilizzata per il raffreddamento nelle centrali termoelettriche domina il ciclo di vita dell'acqua nella maggior parte dei casi ⁷.

⁴ E.S. SPANG, W.R. MOOMAW, K.S. GALLAGHER, P.H. KIRSHEN, D.H. MARKS, *The water consumption of energy production: An international comparison*, in *Environmental Research Letters*, n. 9/2014; A. GU, F. TENG, Z. LV, *Exploring the nexus between water saving and energy conservation: Insights from industry sector during the 12th Five-Year Plan period in China*, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59/2016, 28-38, preprint at <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.285>.

⁵ A. GU, F. TENG, Z. LV, *op. cit.*

⁶ P.P. MIGLIETTA, D. MORRONE, F. DE LEO, *The water footprint assessment of electricity production: An overview of the economic-water-energy nexus in Italy*, in *Sustainability* (Switzerland), n. 10/2018.

⁷ V. FTHENAKIS, H.C. KIM, *Life-cycle uses of water in U.S. electricity generation*, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 14/2010, 2039-2048. J. MELDRUM, S. NETTLES-ANDERSON, G. HEATH, J. MACKNICK, *Life cycle water use for electricity generation: A review and harmonization of literature estimates*, in *Environmental Research Letters*, n. 8/2013.

2.1. L'acqua nella produzione di energia

Comunemente, l'elettricità da fonti rinnovabili è considerata più sostenibile dal punto di vista idrico rispetto a quella da fonti fossili, ma questa percezione non è del tutto corretta. L'energia rinnovabile, generalmente classificata come meno impattante sull'ambiente, richiede comunque l'uso di acqua dolce sia durante la fase di costruzione che durante quella operativa degli impianti: durante il ciclo di vita dei pannelli fotovoltaici, ad esempio, l'acqua viene utilizzata per la pulizia dei pannelli stessi e per la preparazione delle soluzioni chimiche utilizzate. Inoltre, durante l'estrazione delle materie prime (come silicio, argento e rame) e la loro lavorazione, si usa acqua per raffreddamento, pulizia dei minerali e nei processi industriali (ad esempio nella purificazione del silicio). Dal punto di vista energetico, una quantità significativa dell'energia elettrica utilizzata per purificare il silicio e altri materiali impiegati nella produzione dei pannelli proviene da centrali termoelettriche⁸. Considerando la produzione di energia da impianti idroelettrici, la letteratura esistente evidenzia le difficoltà nel quantificarne la WF. È stato infatti analizzato in vari studi se la produzione di energia idroelettrica si possa considerare semplicemente come un processo che implica l'utilizzo di acqua o se invece l'acqua persa per evaporazione dalla superficie dei bacini di invaso debba considerarsi come risorsa idrica consumata dal processo di produzione⁹. Nel bilancio complessivo, la frazione di acqua evaporata può avere una forte influenza sul risultato finale e può distorcere i risultati dell'analisi della WF a favore di una fonte di energia piuttosto che di un'altra¹⁰.

Nel mix elettrico nazionale italiano, i risultati dello studio condotto da Ricerca Sistema Energetico (RSE) pubblicato nel 2017 mostrano che

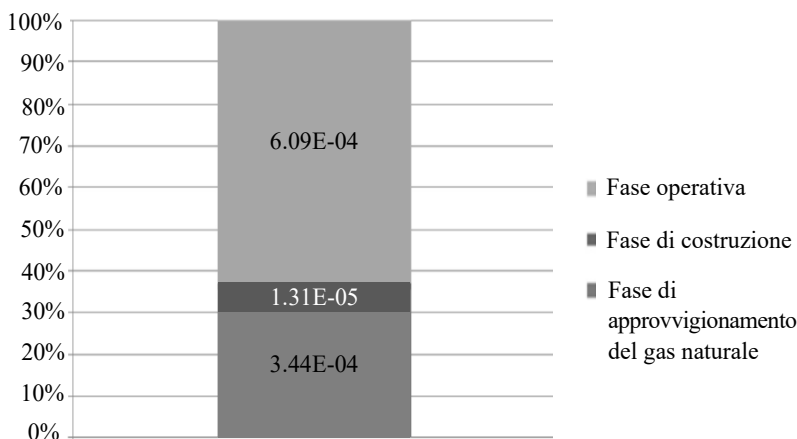
⁸ P. STOLZ *et al.*, *Water Footprint of European Rooftop Photovoltaic Electricity based on Regionalised Life Cycle Inventories*, IEA Report, 2017, preprint at <https://doi.org/10.2172/1561520>.

⁹ M.M. MEKONNEN, A.Y. HOEKSTRA, *The blue water footprint of electricity from hydropower*, in *Hydrol Earth Syst Sci*, n. 16/2012, 179-187.

¹⁰ A. LOHRMANN, M. CHILD, C. BREYER, *Assessment of the water footprint for the European power sector during the transition towards a 100% renewable energy system*, in *Energy*, n. 233/2021.

l'energia idroelettrica contribuisce al mix elettrico con una quota del 18,5% e domina il consumo complessivo di acqua del mix (oltre il 66%) a causa del suo consumo specifico di acqua significativamente più elevato rispetto ad altre fonti. Inoltre, in termini di WF, ovvero considerando l'intero ciclo di vita associato alla produzione di energia, il contributo dell'energia idroelettrica è ancora più pronunciato (78%). Lo studio RSE ha analizzato in dettaglio il consumo di acqua per la produzione di elettricità dagli impianti idroelettrici, evidenziando che quasi tutto si verifica durante la fase operativa dell'impianto a causa dell'evaporazione dai bacini. Escludendo l'energia idroelettrica e le importazioni di elettricità, lo studio evidenzia altri fattori che influenzano la WF elettrica italiana. Gli impianti a gas, con un contributo del 28% al mix energetico del Paese, rappresentano il 3,51% del consumo totale di acqua e circa il 3,6% della WF. Come riportato nella Figura 1 e descritto nello studio di Gargiulo & Carvalho¹¹, la maggior parte del consumo idrico associato alla produzione termoelettrica di energia è attribuibile alla fase operativa dell'impianto, in particolare ai processi di raffreddamento.

Figura 1. – Consumo idrico (m³/kWh) e contributo percentuale delle diverse fasi per il processo di produzione di elettricità da un ciclo combinato a gas naturale (Gargiulo and Carvalho 2018)



¹¹ A. GARGIULO, M.L. CARVALHO, *op. cit.*

2.1.1. Prelievo e consumo di acqua dolce

Tipicamente, la valutazione della WF basata sull'energia è condotta dal punto di vista del “prelievo” e del “consumo di acqua”. Secondo Lohrmann *et al.*¹², il “prelievo di acqua” è definito come la quantità totale di acqua prelevata dalla fonte idrica per soddisfare la necessità associata al processo di generazione di energia. Al contrario, il “consumo di acqua” rappresenta la differenza tra il prelievo di acqua e la quantità di acqua restituita alla fonte. In particolare, per i processi di raffreddamento, il Bureau Europeo IPPC (IPPC 2001) ha riportato nei documenti di riferimento delle *Best Available Techniques* (BAT)¹³ la definizione dei termini “uso dell'acqua” e “consumo dell'acqua”, delineando il processo di riciclo dell'acqua di raffreddamento. L'uso dell'acqua implica che lo stesso volume di acqua di raffreddamento venga restituito alla fonte da cui è stato prelevato e può essere assimilato alla definizione di prelievo di acqua. Il consumo di acqua rappresenta quella parte di acqua utilizzata per il raffreddamento (ad esempio per lo spurgo dei sistemi, come caldaie) che viene persa durante il processo. Se si considera invece l'analisi WF dell'impianto, è appropriato rifarsi a quanto definito nella norma ISO 14046:2016¹⁴ relativa alla gestione ambientale dell'impronta idrica. In questo caso, il termine “uso dell'acqua” include, ma non è limitato a, qualsiasi prelievo d'acqua, scarico o attività umana all'interno del bacino idrografico che influenzi non solo quantitativamente i flussi idrici, ma anche la qualità dell'acqua stessa. Il termine “consumo di acqua” descrive invece l'acqua prelevata, ma non restituita, allo stesso bacino idrografico. Esso può essere dovuto a evaporazione, traspirazione, incorporazione in un prodotto o rilascio in un bacino idrografico diverso o nel mare. Secondo quanto stabilito nella suddetta norma, anche la variazione dell'evaporazione causata dal cambiamento dell'uso del suolo è considerata consumo di acqua; dunque, l'acqua evaporata dagli invasi per la produzione di

¹² A. LOHRMANN, M. CHILD, C. BREYER, *op. cit.*

¹³ IPPC, *Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems*, 2001.

¹⁴ International Organization for Standardization. *Environmental Management – Water Footprint – Principles, Requirements and Guidelines*, Geneva, 2016.

energia idroelettrica sarebbe da considerarsi consumata. Nonostante quanto definito dalla norma, recenti studi hanno dimostrato come, in molti casi, gli impianti idroelettrici abbiano un effetto neutro o persino positivo sulla scarsità idrica, grazie alla regolazione stagionale dei flussi, raccomandando approcci dettagliati e stagionali nella valutazione dell'impatto idrico degli impianti ¹⁵.

Un altro aspetto cruciale relativo alla quantificazione dell'impatto ambientale e del consumo d'acqua nel settore energetico è l'accurata distinzione tra le tipologie di risorsa idrica. L'analisi pubblicata da S. Yano *et al.* ¹⁶ evidenzia come non tutto il consumo d'acqua abbia lo stesso peso ambientale, in particolare è necessario distinguere accuratamente tra acqua dolce, acqua salmastra o salata e acqua "non convenzionale" (come acqua desalinizzata o riciclata). L'utilizzo di acqua salata o marina, ad esempio nei sistemi di raffreddamento di centrali costiere, non contribuisce alla scarsità di acqua dolce e quindi ha un impatto molto inferiore rispetto al prelievo da fiumi, laghi o falde acquifere. Tuttavia, anche l'utilizzo di acqua salata può generare impatti ecologici locali, ad esempio modificando temperatura e salinità marina. È quindi fondamentale garantirne una gestione adeguata, così da evitare infiltrazioni nelle falde acquifere che potrebbero compromettere le riserve di acqua dolce, spesso destinate alla potabilizzazione. L'autore sottolinea che una valutazione robusta deve distinguere tra quantità prelevata, tipo di acqua, e contestualizzazione geografica.

Durante i processi di produzione termoelettrica, l'85%-95% dell'acqua è utilizzata per i processi di raffreddamento, pertanto il consumo e il prelievo di acqua variano notevolmente in base al tipo di sistema di raffreddamento ¹⁷, come ulteriormente approfondito nel §

¹⁵ S. PFISTER, L. SCHERER, K. BUXMANN, *Water scarcity footprint of hydro-power based on a seasonal approach - Global assessment with sensitivities of model assumptions tested on specific cases*, in *Science of the Total Environment*, n. 724/2020.

¹⁶ S. YANO, N. HANASAKI, N. ITSUBO, T. OKI, *Water scarcity footprints by considering the differences in water sources*, in *Sustainability* (Switzerland), n. 7/2015, 9753-9772.

¹⁷ Y. WANG *et al.*, *An integrated framework to assess climate change impacts on water use for thermoelectric power plants*, in *J Clean Prod*, n. 376/2022.

2.2. Nei c.d. sistemi di raffreddamento a umido, possono essere utilizzati diversi tipi di acqua, inclusi acqua superficiale, acqua sotterranea e acqua potabile. L'acqua salata potrebbe essere un'alternativa valida all'acqua dolce, considerando la sua abbondanza lungo le coste, ma la sua natura corrosiva presenta sfide per l'applicazione industriale.

2.1.2. Qualità delle acque reflue e principali inquinanti

Analizzando la qualità delle acque reflue, si nota che i processi di produzione di energia basati sulla combustione impattano notevolmente questo aspetto della risorsa idrica, mentre altre fonti di energia rinnovabili causano alterazioni più contenute. In particolare, se si considera la tecnologia impiegata nella combustione, le centrali termoelettriche a vapore di tipo convenzionale alimentate con carbone o con idrocarburi pesanti hanno un impatto maggiore sulla qualità delle acque reflue prodotte. Gli impianti che invece impiegano turbine a gas o motori a combustione interna utilizzano generalmente combustibili gassosi o liquidi di migliore qualità, causando una minore contaminazione delle relative emissioni. Si riporta nella Figura 2 uno schema esemplificativo di un impianto a vapore in cui si evidenziano i principali utilizzi di acqua. Le acque reflue provenienti dalle centrali termoelettriche possono essere contaminate da una varietà di sostanze, a seconda della qualità dell'acqua grezza, della configurazione specifica dell'impianto e dei processi applicati. L'acqua di raffreddamento impiegata per la condensazione del vapore costituisce, in termini quantitativi, il principale utilizzo di risorsa idrica e la maggiore fonte di effluenti liquidi. Dal punto di vista qualitativo, sebbene l'acqua a valle del processo possa contenere biocidi come cloro o bromuro di sodio per il controllo della crescita di macrorganismi (e.g. fanghi batterici e alghe), il principale inquinamento ambientale è piuttosto di natura termica, come approfondito al § 2.1.3. Lo spurgo delle torri di raffreddamento può contenere tracce di inquinanti provenienti dalla clorazione e della corrosione dei tubi, dei condensatori e dei materiali delle torri di raffreddamento stesse: cloro, ferro, rame, nichel, alluminio, boro, composti organici clorurati, solidi sospesi,

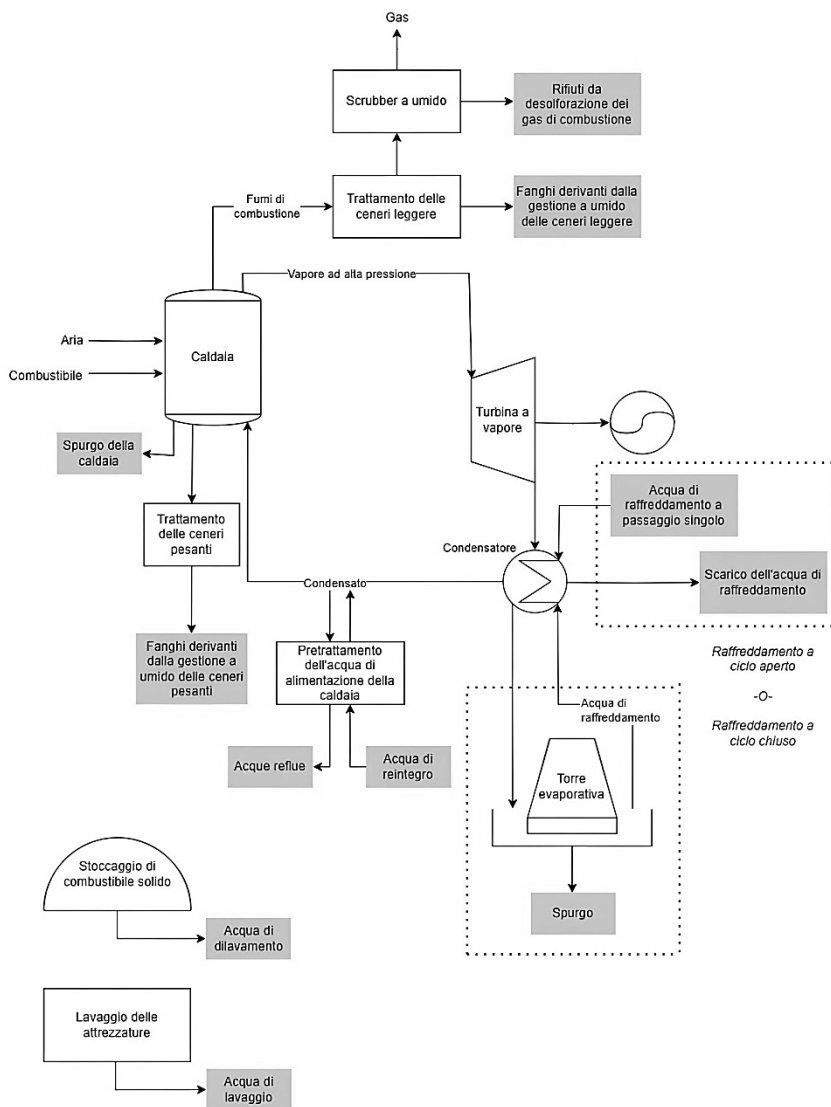
composti bromurati e biocidi non ossidanti¹⁸. Un'altra fonte significativa di acque reflue è il raffreddamento ed il trasporto delle ceneri pesanti derivanti dalla combustione di combustibili solidi. In vari impianti l'acqua viene utilizzata per gestire questi materiali, risultando in acque reflue contenenti solidi sospesi e metalli pesanti. Analogamente, nel processo di desolforazione dei gas di combustione, presente nella maggior parte degli impianti alimentati con carbone o olio combustibile, l'acqua è utilizzata per rimuovere il biossido di zolfo (SO_2) dai gas di scarico. Questo processo produce acque reflue che contengono solfati e metalli pesanti¹⁹. La riduzione catalitica selettiva (SCR), utilizzata per abbattere le emissioni di ossidi di azoto (NO_x) nei gas di scarico, impiega spesso reagenti in soluzione acquosa. Sebbene il processo in sé non produca normalmente grandi volumi di acque reflue, piccole quantità possono generarsi durante operazioni di lavaggio o manutenzione del sistema.

Oltre a questi processi, varie emissioni liquide di minore portata e frequenza contribuiscono alla produzione di acque reflue. Queste includono lo spurgo della caldaia, le acque di lavaggio delle apparecchiature attraversate dai gas reflui ed eventuali perdite. Infine, il deflusso delle acque piovane su eventuali aree di stoccaggio materiali o sui piazzali di transito causa il dilavamento delle superfici e l'accumulo in acqua di carbone, metalli e rifiuti, portando a scarichi contaminati.

¹⁸ D. DUTTA, S. ARYA, S. KUMAR, *Industrial wastewater treatment: Current trends, bottlenecks, and best practices*, in *Chemosphere*, n. 285/2021.

¹⁹ X. LI, X. SHEN, W. JIANG, Y. XI, S. LI, *Comprehensive review of emerging contaminants: Detection technologies, environmental impact, and management strategies*, in *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 278/2024, preprint at <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116420>.

Figura 2. – Diagramma di processo di un impianto tradizionale a vapore. (Riadattato da Steam Electric Power Generating Point Source Category: Final Detailed Study Report 2009²⁰)



2.1.3. Inquinamento termico dei sistemi energetici

Oltre all'inquinamento chimico e biologico, i cambiamenti nella temperatura dell'acqua influenzano negativamente la qualità dell'acqua e il biota acquatico. Temperature elevate riducono il contenuto di ossigeno disciolto nell'acqua, influenzando la vita acquatica e la crescita delle alghe, in particolare nei bacini aventi un volume limitato e quindi un ridotto potere di diluizione²¹. Come espresso nel § 2.1.1., anche in questo caso è necessario definire la qualità della risorsa utilizzata, il contesto climatico e il periodo, considerando che bacini come il mare hanno un potere di mitigazione dell'inquinamento termico praticamente illimitato se rapportato al volume degli scarichi, mentre i piccoli canali di drenaggio urbano presentano portate e temperature fortemente influenzate dalla stagione climatica e, in molti casi, non offrono condizioni idonee per essere impiegati nei processi di raffreddamento. I cicli termodinamici applicati negli impianti termoelettrici, infatti, prevedono necessariamente la cessione di calore ad una sorgente termica a più bassa temperatura, modificandone il naturale equilibrio e causando "inquinamento termico". Come riportato nel volume "L'impatto ambientale dei sistemi energetici"²², l'inquinamento termico si può considerare *diretto* quando i suoi effetti si esplicano nella zona circostante il punto di emissione. Ne sono alcuni esempi il rilascio di fluidi caldi nell'ambiente, quali gas di combustione o acqua di raffreddamento del condensatore di una centrale termoelettrica. D'altra parte, l'emissione di sostanze che interferiscono con i meccanismi di scambio termico per radiazione tra la Terra e l'atmosfera circostante (effetto serra) costituisce una forma di inquinamento di tipo *indiretto*, in grado di compromettere l'intero pianeta. L'inquinamento termico *diretto* in Italia è normato dal d.lgs. 3 aprile 2006, n. 152, "Norme in materia ambientale", noto anche come Testo Unico Ambientale, in cui alla Tabella 3, Allegato 5, relativamente ai valori limite di emissione in acque superficiali

²⁰ U.S. Environmental Protection Agency, *Steam Electric Power Generation Point Source Category: Final Detailed Study Report*, 2009.

²¹ A. GUPTA, M.R. SINGH, *Water Pollution Sources, Effects and Control*, 2016, <https://www.researchgate.net/publication/321289637>.

²² G. CAU, D. COCCO, *L'Impatto Ambientale Dei Sistemi Energetici*, Padova, SGE-ditoriali, 2015.

si stabilisce che per i corsi d'acqua la variazione tra le temperature a monte e a valle del punto di immissione non deve superare i 3°C e che per i canali artificiali il massimo valore della temperatura di qualsiasi sezione non deve superare i 35°C. Deve inoltre essere assicurata la compatibilità ambientale dello scarico con il corpo recipiente ed evitata la formazione di barriere termiche alla foce dei fiumi.

La potenza termica complessiva riversata nell'ambiente da un impianto a motore termico è sostanzialmente proporzionale alla potenza netta prodotta dall'impianto e inversamente proporzionale al suo rendimento globale, secondo la relazione riportata nell'Eq. (1).

$$P_{T,AMB} = P_{NETTA} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \quad (1)$$

2.2. Sistemi di raffreddamento

Molti impianti a combustione utilizzano grandi quantità di acqua come mezzo di raffreddamento, prelevandola da fiumi, laghi, falde acquifere o dal mare. In generale, quando si genera energia, vengono impiegati principalmente tre tipi di sistemi di raffreddamento, descritti nei paragrafi seguenti.

2.2.1. Raffreddamento ad aria

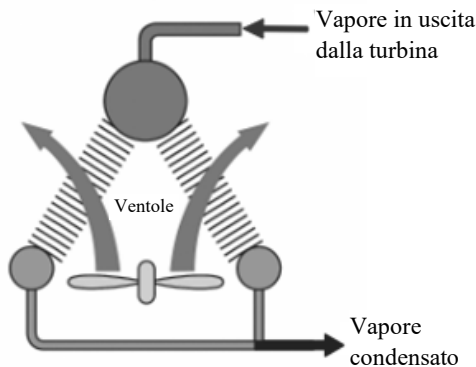
I sistemi di raffreddamento ad aria, c.d. *dry cooling* (Figura 3), si basano sulla condensazione del vapore mediante scambiatori di calore ad aria. I flussi di vapore esausto della turbina vengono raffreddati tramite trasferimento di calore convettivo, utilizzando un flusso di aria ambiente che viene soffiata dai ventilatori sulla superficie esterna dei tubi, causando un incremento di temperatura dell'aria dell'ordine di 15-20°C. Non vi sono quindi perdite evaporative, e sia il prelievo che il consumo di acqua sono minimi²³. Tuttavia, l'efficienza del raffreddamento ad aria è significativamente influenzata dalla temperatura e dall'umidità dell'aria utilizzata, e il costo del raffreddamento ad aria è circa dieci volte superiore a quello del raffreddamento ad acqua²⁴. Inoltre, a

²³ T.J. FEELEY *et al.*, *Water: A critical resource in the thermoelectric power industry*, in *Energy*, n. 33/2008, 1-11.

²⁴ S.-Y. PAN, S.W. SNYDER, A.I. PACKMAN, Y.J. LIN, P.-C. CHIANG, *Cooling water*

causa della modesta capacità termica dell'aria (circa $1 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$) sono necessari elevati volumi di aria e una superficie di scambio termico maggiore rispetto al raffreddamento ad acqua. Per questi motivi, il raffreddamento ad aria si applica generalmente per raffreddare i flussi di processo ad alta temperatura ($> 80^\circ\text{C}$) fino a un livello in cui il raffreddamento ad acqua diventa più appropriato.

Figura 3. – **Rappresentazione schematica di un sistema di raffreddamento ad aria**



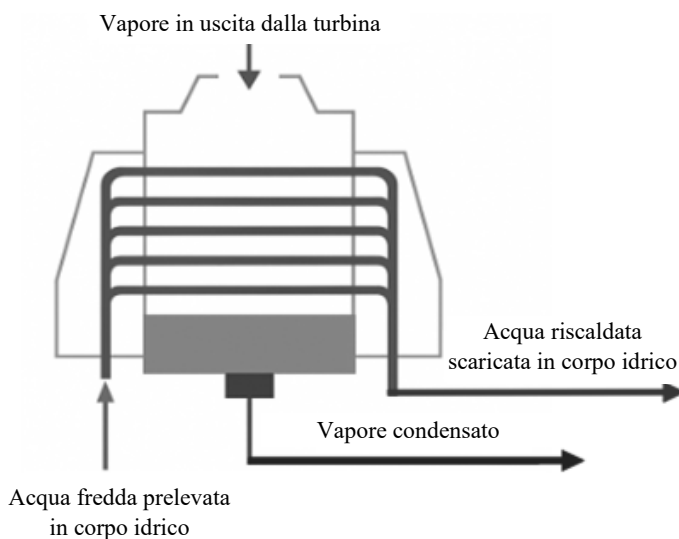
2.2.2. Raffreddamento ad acqua in un circuito aperto

Nei sistemi di raffreddamento ad acqua operanti in circuito aperto, c.d. *once-through* (Figura 4), il calore viene trasferito a un flusso continuo di acqua fredda, che viene poi scaricata in un bacino di ricezione. Nei sistemi *once-through*, l'acqua viene pompata da una fonte naturale di acqua direttamente al processo. Dopo aver passato gli scambiatori di calore, l'acqua riscaldata viene scaricata direttamente in un bacino di ricezione, che spesso coincide con il bacino da cui l'acqua di raffreddamento viene prelevata. Il calore viene trasferito dal processo all'acqua di raffreddamento attraverso uno scambiatore di calore a fasci tubieri o a piastre. L'acqua di raffreddamento passa attraverso lo scambiatore di calore solo una volta, quindi la sua composizione chimica rimane per lo più invariata. Tuttavia, ciò causa un aumento della temperatura

dell'acqua e porta a un aumento dell'evaporazione dall'acqua superficiale del bacino di ricezione. La perdita d'acqua causata dall'evaporazione non è ben definibile e dipende fortemente da sito in cui in bacino si colloca, ma questa quantità si stima tra 0,5% e 2% dell'acqua prelevata.

I sistemi *once-through* risultano particolarmente utili negli impianti per la produzione di energia con potenza nominale maggiore di 1000 MW, nei quali la quantità di acqua prelevata può variare tra i 100 e i 200 m³/MWh. Come già anticipato, il principale svantaggio di questi sistemi è legato agli scarichi termici che possono compromettere la qualità del corpo idrico ricevente. L'inquinamento termico risulta particolarmente rilevante quando la fonte idrica è costituita da un fiume o da un bacino con volume limitato poiché l'acqua utilizzata nel ciclo di raffreddamento dell'impianto può rappresentare una percentuale significativa del flusso idrico totale e, una volta reimpressa nel corpo idrico, può causarne un aumento significativo della temperatura. Come discusso al § 2.1.3, l'incremento della temperatura dell'acqua porta a una riduzione della concentrazione di ossigeno disciolto, con possibili effetti negativi sull'ecosistema del bacino. Inoltre, le opere di presa utilizzate nei sistemi a circuito aperto possono impattare sulla fauna ittica, bloccando gli organismi acquatici più piccoli sulle griglie dell'impianto, causandone la lesione o la morte.

Figura 4. – **Rappresentazione schematica di un sistema di raffreddamento ad acqua in un circuito aperto**



2.2.3. Raffreddamento ad acqua in un circuito chiuso

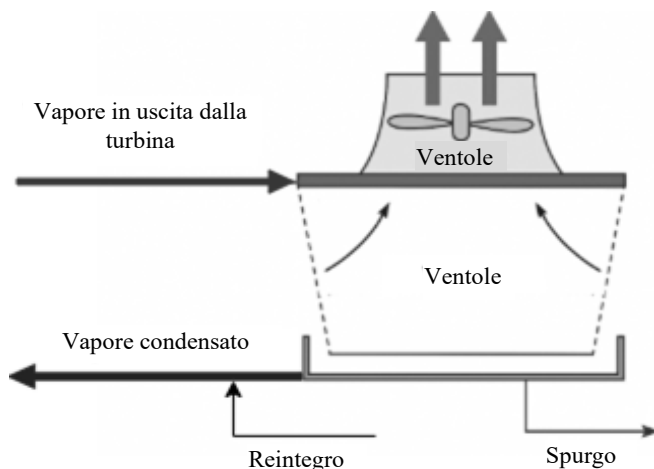
Nei sistemi di raffreddamento con ricircolo (Figura 5), l'acqua di raffreddamento scorre all'interno di uno scambiatore di calore portando il vapore a condensazione. L'acqua riscaldata, in uscita dallo scambiatore, viene indirizzata a un dispositivo di raffreddamento, e.g. una torre di raffreddamento, dove l'acqua diminuisce di temperatura attraverso l'evaporazione di una piccola porzione dell'acqua stessa e mediante lo scambio termico con l'aria, che trasporta anche l'acqua evaporata. L'acqua restante viene così raffreddata e riutilizzata nell'impianto in un ciclo chiuso. Con questo sistema di raffreddamento, l'energia termica sottratta al processo viene trasferita all'aria che circola nella torre sia come calore latente di evaporazione, sia come calore sensibile.

In base alla tecnologia utilizzata per aspirare l'aria ambiente, le torri di raffreddamento si distinguono in due tipologie: a tiraggio naturale e a tiraggio meccanico. Le torri di raffreddamento a tiraggio naturale sfruttano il principio della convezione naturale per garantire il raffreddamento dell'acqua di processo. L'acqua calda di processo viene distribuita dalla sommità della torre ed entra a contatto con l'aria ambiente più fredda che viene immessa dalla base: in questo modo avviene lo scambio termico tra i due fluidi che causa inoltre l'evaporazione di una parte di acqua di processo. Il riscaldamento dell'aria ne riduce la densità, determinando un flusso ascensionale spontaneo che consente il ricambio d'aria senza l'ausilio di ventilatori. L'acqua di processo raffreddata, invece, viene raccolta alla base della torre e reimpressa nel circuito. Al contrario, le torri a tiraggio meccanico impiegano un ventilatore nella parte superiore che spinge l'aria verso l'alto attraverso la torre.

Nonostante i vantaggi legati al ricircolo dell'acqua di raffreddamento all'interno del processo, le torri evaporative si caratterizzano per una significativa perdita di acqua che avviene principalmente attraverso l'evaporazione nella torre di raffreddamento e il c.d. *blowdown*, ovvero lo spurgo dell'acqua di ricircolo, che rappresenta complessivamente il 2-3% dell'acqua di raffreddamento del condensatore. Generalmente, il flusso d'acqua di reintegro è circa l'1-3% del flusso

di un sistema *once-through* avente la stessa capacità di raffreddamento ²⁵.

Figura 5. – Rappresentazione schematica di un sistema di raffreddamento ad acqua in un circuito chiuso



2.2.4. Raffreddamento in un circuito ibrido

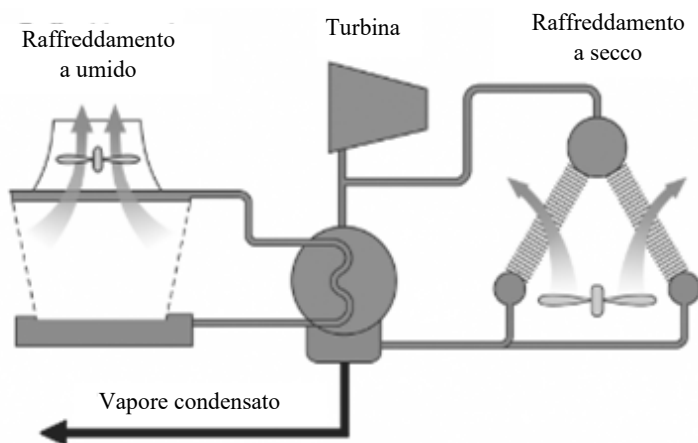
Il circuito di raffreddamento ibrido (Figura 6) è una combinazione di un processo evaporativo con un ulteriore processo non evaporativo. L'acqua di raffreddamento riscaldata passa inizialmente attraverso una sezione secca della torre di raffreddamento, dove parte del carico termico viene rimosso tramite un flusso d'aria. Successivamente, l'acqua viene ulteriormente raffreddata in una sezione umida della torre. L'aria riscaldata dalla sezione secca si mescola con il vapore proveniente dalla sezione umida, riducendo così l'umidità relativa prima che l'aria lasci la torre di raffreddamento. I sistemi di raffreddamento combinati possono essere operati sia come una torre di raffreddamento

²⁵ S.-Y. PAN, S.W. SNYDER, A.I. PACKMAN, Y.J. LIN, P.-C. CHIANG, *op. cit.* T. WAGNER, P. SAHA, H. BRUNING, H. RIJNAARTS, *Lowering the fresh water footprint of cooling towers: A treatment-train for the reuse of discharged water consisting of constructed wetlands, nanofiltration, electrochemical oxidation and reverse osmosis*, in *J Clean Prod*, n. 364/2022.

completamente umida, sia come una torre di raffreddamento combinata umida/secca, a seconda della temperatura ambiente. La principale differenza tra una torre di raffreddamento ibrida e una torre di raffreddamento convenzionale è rappresentata dalla quantità di acqua di reintegro relativamente inferiore, che ammonta a circa il 20% in meno rispetto a quello di una torre di raffreddamento umida (IPPC 2001).

Il raffreddamento tramite circuito aperto viene spesso utilizzato negli impianti termoelettrici di grande taglia realizzati in prossimità del mare, di grandi fiumi o laghi, poiché la minore temperatura di condensazione del vapore porta significativi vantaggi in termini di efficienza del ciclo termodinamico. Tuttavia, negli impianti a vapore di taglie inferiori (10-20 MW) la necessità di ridurre al minimo le emissioni termiche nei corpi idrici o la scarsa disponibilità di acqua per il raffreddamento rendono necessario l'utilizzo di altri sistemi, come quelli a circuito chiuso. In altri casi, gli impianti termoelettrici vengono realizzati in zone particolarmente soggette a scarsità idrica, per cui i sistemi di raffreddamento a secco, pur avendo un minore rendimento e maggiori complicazioni impiantistiche, rappresentano l'unica soluzione.

Figura 6. – Rappresentazione schematica di un sistema di raffreddamento in un circuito ibrido



2.3. *Water-Energy Nexus* negli impianti termoelettrici italiani

Lo studio pubblicato nel 2020 da RSE²⁶ offre un'analisi approfondita della relazione tra acqua ed energia (WEn) in Italia. In particolare, viene riportata la stima del prelievo d'acqua, del consumo e dello scarico per ciascuna categoria di centrale termoelettrica. I dati raccolti derivano da casi di studio reali, ricerca bibliografica e stime. I risultati indicano che il prelievo complessivo di acqua è inferiore quando viene utilizzata una torre di raffreddamento, ma il consumo di acqua è significativamente più alto. Le tecnologie di raffreddamento a ciclo aperto si caratterizzano per un impiego particolarmente elevato di acqua, sia negli impianti con torri di raffreddamento sia in quelli privi di esse, con il sistema *once-through* che si distingue per il maggior volume di acqua gestito direttamente nel processo.

Considerando i cicli combinati a gas naturale, che nel 2023 secondo Terna S.p.A.²⁷ rappresentavano la principale fonte di elettricità nel sistema elettrico italiano, il prelievo di acqua nei processi che utilizzano torri di raffreddamento è massimo quando la tecnologia di raffreddamento applicata è quella *once-through*, raggiungendo un valore medio di 93,6 m³/kWh, che invece diventa 130,7 m³/kWh per gli impianti senza torre di raffreddamento. Il consumo medio di acqua negli impianti con torre di raffreddamento è più elevato rispetto agli impianti senza torre di raffreddamento per tutte le tecnologie di raffreddamento considerate; nello specifico, per i sistemi di raffreddamento *once-through* è pari a 0,5 m³/kWh, mentre il consumo più elevato si riscontra nei sistemi di raffreddamento ad acqua con ricircolo, dove il consumo è di 1,1 m³/kWh.

3. Metodologia

A partire dal 2018, la strategia ambientale europea ha intrapreso con decisione il percorso verso l'economia circolare, con il Piano d'Azione

²⁶ L. MANCUSI, S. MORANDI, A. GARGIULO, *La Risorsa Idrica Nel Sistema Energetico Italiano*, 2020, disponibile in: <https://www.rse-web.it/rapporti/la-risorsa-idrica-nel-sistema-energetico-italiano/>.

²⁷ Terna S.p.A. Produzione termoelettrica per categoria [GWh], 2024.

del 2020 e le numerose misure attuate dal 2020 a oggi in coerenza con il Green New Deal. Per il monitoraggio dei risultati di tale strategia e per la valutazione delle performance ambientali degli impianti sono stati sviluppati, già da diversi anni, vari indicatori e linee guida²⁸. L'Indice di Circolarità dell'acqua rappresenta uno strumento finalizzato a misurare il peso ambientale di un determinato processo o impianto, con particolare riferimento alle centrali termoelettriche per la produzione di energia. Esso mette in relazione i principali aspetti dell'uso dell'acqua all'interno degli impianti con i principi dell'economia circolare e consente di quantificare anche dimensioni qualitative, quali le caratteristiche ambientali del territorio in cui l'impianto è localizzato, la qualità delle acque reflue, la presenza di contaminanti e la loro rilevanza. Inoltre, l'Indice supporta i gestori degli impianti e le amministrazioni locali nell'individuazione degli aspetti del processo produttivo che comportano il maggiore impatto ambientale e che possono essere oggetto di ottimizzazione.

Nel presente lavoro viene illustrato lo sviluppo dell'Indice di Circolarità dell'acqua, insieme ai dati necessari e alle linee guida per la sua applicazione.

Lo sviluppo dell'Indice è stato condotto a partire dal rapporto IMPEL²⁹ che ha fornito una base metodologica per identificare i principali aspetti legati alla gestione sostenibile delle risorse idriche. A partire da tale documento, sono dunque stati elaborati una serie di fattori-chiave e sottofattori-chiave e si sono definiti dei Descrittori di Performance (DP) per dare adeguata rappresentazione dei fenomeni indagati. In seguito, sono state costruite delle funzioni di utilità, associando i valori dei DP con un punteggio, in modo da quantificare la circolarità di tale fenomeno. Infine, si sono attribuiti dei pesi per aggregare tutti i risultati ottenuti in un singolo valore: l'Indice di Circolarità. La nuova versione

²⁸ Asso Ambiente S.r.l., *Misurare la circolarità: riflessioni sui principali indicatori utilizzati e proposte per un sistema di misura coerente*, 2024. A. DELGADO, D.J. RODRIGUEZ, C. A. AMADEI, M. MAKINO, *Water in Circular Economy and Resilience (WICER) Framework*, in *Util Policy*, n. 87/2024.

²⁹ A. REBELO *et al.*, *Report on Good Practices to Promote the Transition to Circular Economy in Urban and Industrial Water Management: A New Water Circularity*, 2019, index.www.impel.eu.

dell'Indice di Circolarità è stata sviluppata con l'obiettivo di fornire uno strumento semplice e immediato, il più possibile sintetico ma al tempo stesso completo rispetto alle informazioni necessarie per una valutazione esaustiva delle performance dell'impianto. L'Indice è stato inoltre concepito per essere quanto più possibile quantificabile, basandosi principalmente su valori misurabili piuttosto che su dati qualitativi del processo produttivo. Infine, è stato strutturato in forma modulare, così da consentire eventuali adattamenti in funzione delle esigenze dell'utilizzatore, e tale da restituire risultati facilmente interpretabili anche da soggetti non tecnici.

3.1. Definizione preliminare dei fattori e dei sottofattori-chiave

Nel caso degli impianti termoelettrici, i sistemi di raffreddamento, i dispositivi di abbattimento ausiliari e i trattamenti idrici in situ generano flussi interdipendenti. La circolarità di tali flussi dipende da tre dimensioni tra loro collegate: il volume di acqua prelevato, l'efficienza con cui l'acqua è utilizzata e riutilizzata all'interno del perimetro impiantistico e la qualità dell'acqua restituita al corpo idrico recettore. In parallelo, le modalità con cui l'acqua è monitorata, gestita e pianificata attraverso strategie operative, pratiche gestionali e politiche applicabili concorrono a definire il quadro complessivo della circolarità idrica a livello di impianto.

Per valutare la circolarità in modo completo, si distinguono quindi fattori-chiave e sottofattori-chiave. Un fattore-chiave è un aspetto tematico pertinente alla circolarità dell'acqua negli impianti termoelettrici. Ogni fattore-chiave è sufficientemente ampio da ricomprendere i principali *driver* fisici, operativi, regolatori o organizzativi del relativo ambito, ed è definito in modo da non sovrapporsi agli altri, così da ridurre doppi conteggi e preservare la leggibilità a livello decisionale.

Un sottofattore-chiave è un attributo (o un indicatore) misurabile di un fattore-chiave, che rappresenta un aspetto specifico del relativo dominio. Ad esempio, nel fattore-chiave "*Riutilizzo e riciclo dell'acqua*", il "*Tasso di riutilizzo interno*" esprime quantitativamente il grado di

chiusura dei cicli, mentre il “*Livello di pretrattamento*” riguarda l’idoneità qualitativa dell’acqua al riuso previsto.

Tali criteri sono stati organizzati in modo da coprire le diverse dimensioni della circolarità, consentendo di confrontare gli impianti e orientare l’analisi verso le aree dove gli interventi possono produrre i maggiori benefici, rendendo possibile indirizzare politiche e investimenti verso i veri *hotspot*.

Ai fini della valutazione della circolarità dell’uso dell’acqua nelle centrali termoelettriche di generazione dell’energia, si sono individuati sette fattori-chiave:

- gestione degli input idrici;
- efficienza nell’uso dell’acqua;
- riutilizzo e riciclo dell’acqua;
- qualità degli effluenti e degli scarichi;
- tecnologia e innovazione;
- governance e strategia;
- rischio e resilienza.

La fase iniziale della ricerca ha portato all’individuazione dei suddetti 7 fattori chiave principali, articolati in 32 sottofattori, in grado di coprire in modo ampio ed esaustivo gli aspetti legati all’uso circolare dell’acqua in un impianto termoelettrico. In un secondo momento, i 32 sottofattori individuati sono stati sottoposti a revisione e riformulazione, fino a giungere a una sintesi in 7 sottofattori definitivi. Nei seguenti paragrafi sono riportati tutti i sottofattori inizialmente individuati e i criteri che hanno portato alla selezione e all’impiego dei 7 sottofattori definitivi.

3.1.1. Gestione degli input idrici (*Water input management*)

La “Gestione degli input idrici” (*Water Input Management*) descrive l’interazione tra l’impianto e i corpi idrici, considerando i volumi prelevati, la provenienza delle risorse e le condizioni idrologiche entro cui questo avviene. I relativi sottofattori delineano il quadro degli input, includendo la quantità dell’acqua captata, la composizione delle fonti e il contesto idrologico del bacino.

a) Prelievo totale di acqua dolce (*Total freshwater withdrawal*)

Rappresenta il volume annuo di acqua dolce in ingresso all'impianto e comprende quindi i prelievi diretti da corpi idrici (acque superficiali e sotterranee) e gli approvvigionamenti da acquedotto. I prelievi da altre fonti (e.g. acqua di mare) sono considerati separatamente. Il sottofattore, dunque, consente di esprimere quantitativamente la pressione esercitata sulle risorse di acqua dolce.

b) Tipologia della fonte (*Source type*)

Caratterizza il mix dell'acqua prelevata: acque superficiali, sotterranee, provenienti da acquedotto, marine e altre fonti non convenzionali (e.g. acque meteoriche raccolte o acque reflue trattate, provenienti da altri impianti/strutture).

c) Estrazione evitata tramite sostituzione (*Avoided extraction through substitution*)

Quantifica il prelievo di acqua dolce evitato grazie all'impiego di fonti alternative (e.g. riciclo e riuso di acque reflue trattate).

d) Livello di stress idrico locale (*Local water stress level*)

Associa il sito nel quale vi è prelievo di acqua a classi di siccità o stress idrico nel periodo di riferimento, quantificando il valore di una certa risorsa idrica in funzione dello stress idrico locale.

e) Variabilità temporale del prelievo (*Temporal variability of intake*)

Descrive se la fonte disponibile è stabile nel corso dell'anno oppure variabile, evidenziando come le fluttuazioni stagionali o meteorologiche possano influenzare la disponibilità delle risorse idriche.

f) Distanza dalla fonte al punto di utilizzo (*Distance from source to point of use*)

Riporta la distanza tra il sito in cui viene impiegata l'acqua e il punto di prelievo. Questo sottofattore può essere utilizzato anche per stimare le eventuali perdite nel trasporto e il fabbisogno energetico di pompaggio.

g) Coordinamento del bacino condiviso (*Shared basin coordination*)

Riporta la partecipazione a meccanismi di allocazione o *stewardship* con altri utilizzatori e con l'autorità di bacino, indicando il quadro istituzionale entro cui si collocano i prelievi.

3.1.2. Efficienza nell'uso dell'acqua (*Water use efficiency*)

Il fattore-chiave "Efficienza nell'uso dell'acqua" (*Water use efficiency*) mette in relazione l'impiego di acqua con l'energia generata dalla centrale. In questo ambito sono considerati cinque sottofattori.

a) Consumo idrico per MWh prodotto (*Water consumption per MWh produced*)

Consiste nel consumo netto di acqua per unità di energia prodotta (m^3/MWh).

b) Tasso di ricircolo nei sistemi di raffreddamento (*Recirculation rate in cooling systems*)

Esprime la frazione di acqua di raffreddamento ricircolata internamente prima dello scarico.

c) Tecnologia di raffreddamento (*Cooling technology type*)

Classifica il sistema di raffreddamento utilizzato nell'impianto per la dissipazione del calore. La configurazione di raffreddamento influenza prelievi e consumi, come riportato al § 2.2. Di conseguenza, la

tecnologia adottata può influenzare l'intensità idrica osservata e fornisce un riferimento per interpretarne i valori.

d) Uso dell'acqua nei sistemi ausiliari (*Water use in auxiliary systems*)

Rappresenta l'acqua impiegata nei processi non legati al raffreddamento, come il trattamento dei fumi, la pulizia dei filtri, la gestione delle ceneri o i lavaggi.

e) Perdite d'acqua non contabilizzate (*Unaccounted-for water losses*)

Indica la quota non attribuita ai flussi misurati nel bilancio idrico. Segnala possibili perdite fisiche o lacune di misurazione e fornisce un riscontro sulla coerenza del bilancio e sul controllo del sistema idrico di sito.

3.1.3. Riutilizzo e riciclo dell'acqua (*Water reuse and recycling*)

Il fattore-chiave "Riutilizzo e riciclo dell'acqua" (*Water reuse and recycling*) riguarda la misura in cui l'acqua viene fatta circolare all'interno dell'impianto prima dello scarico e le condizioni tecniche che rendono praticabile il riuso. Il fattore comprende la quota di acqua trattata reindirizzata ai servizi interni, le destinazioni di riuso, nonché l'assetto organizzativo in relazione ai vincoli di processo e regolatori. Per un impianto termoelettrico si considerano cinque sottofattori.

a) Tasso di riutilizzo interno dell'acqua trattata (*Internal reuse rate of treated water*)

Rappresenta la quota di acqua trattata che rientra nei servizi d'impianto anziché essere scaricata all'esterno dell'impianto, indicando il grado di riduzione del fabbisogno di nuovo approvvigionamento e dei volumi scaricati.

b) Qualità del riutilizzo (*Reuse quality*)

Esprime l'allineamento tra le caratteristiche dell'acqua riutilizzata e i requisiti tecnici della destinazione (e.g. compatibilità con materiali e apparecchiature, propensione a incrostazione o accumulo di sporco).

c) Destinazione del riutilizzo (*Reuse destination*)

Identifica le aree d'impiego del riuso all'interno del sito (per il processo stesso o per usi ausiliari). La composizione per destinazione segnala in che misura il riuso risponde alla domanda di qualità o volume più elevati e, di conseguenza, come incide sul prelievo complessivo.

d) Cicli di riutilizzo multipli in cascata e profondità (*Cascaded water systems and reuse cycle depth*)

Indica la presenza di sequenze pianificate in cui la stessa porzione d'acqua è impiegata in multipli utilizzi sequenziali a livelli di qualità decrescenti e ne quantifica la profondità, ovvero il numero di riusi sequenziali prima della linea di scarico. Le configurazioni in cascata evidenziano un'impostazione di progetto orientata a estrarre maggiore utilità da una data portata prima dello scarico finale e la profondità consente di valutare fino a che punto la chiusura dei cicli è perseguita e di osservare eventuali rendimenti decrescenti con l'aumentare dei passaggi.

3.1.4. Qualità degli effluenti e degli scarichi (*Effluent and discharge quality*)

Il fattore-chiave "Qualità degli effluenti e degli scarichi" (*Effluent and discharge quality*) descrive lo stato dell'acqua al punto di rilascio e la sua interazione con il corpo recettore. Riguarda quindi la portata di deflusso, le caratteristiche termiche, la composizione chimica e l'eventuale coordinamento temporale degli scarichi con le condizioni ecologiche. Nella valutazione della circolarità, oltre ai prelievi e ai riusi interni, rientra anche l'esito qualitativo del rilascio e la potenziale interazione con l'ambiente ricevente.

a) Volume di scarico degli effluenti (*Effluent discharge volume*)

Rappresenta la quantità d'acqua che esce dal perimetro impiantistico. Esprime in che misura gli usi interni si traducono in deflussi esterni.

b) Conformità agli standard nazionali/locali sugli effluenti (*Compliance with national/local effluent standards*)

Indica la relazione tra le caratteristiche dello scarico e le soglie o condizioni previste dalla normativa applicabile.

c) Gestione dello scarico termico e aumento della temperatura nel corpo ricevente (*Thermal discharge management and temperature rise in the receiving body*)

Descrive la differenza di temperatura tra la portata emessa e il valore di riferimento, e l'eventuale incremento termico nel corpo idrico ricevente.

d) Inquinanti nell'effluente (*Pollutants in effluent*)

Caratterizza la qualità dell'acqua scaricata in termini di composizione chimica e di inquinanti presenti. Inoltre, mette in relazione tali caratteristiche con i potenziali effetti sul corpo idrico ricevente.

3.1.5. Tecnologia e innovazione (*Technology and innovation*)

Il fattore "Tecnologia e innovazione" (*Technology and innovation*) descrive la capacità tecnica, disponibile in situ, per ridurre la dipendenza da acqua dolce, ampliare le opzioni di riuso e gestire la qualità degli scarichi. Il fattore considera la presenza e la portata di soluzioni che definiscono l'insieme delle strategie attuabili per configurare riuso, recupero e controllo degli effluenti.

a) Adozione di tecnologie idriche BAT o oltre le BAT (*Adoption of BAT or beyond-BAT water technologies*)

Indica il grado di allineamento delle configurazioni e delle pratiche di impianto alle migliori tecniche disponibili (BAT) o a misure che migliori i requisiti di legge. L'adozione di tali tecniche non solo garantisce la conformità normativa, ma dimostra anche un impegno proattivo verso il miglioramento continuo.

b) Presenza di trattamento avanzato, rimozione di contaminanti e recupero di materiali (*Presence of advanced treatment, contaminant removal and material recovery*)

Si riferisce a operazioni che consentono separazione, affinamento o trasformazione dei contaminanti utilizzando tecniche di trattamento delle acque reflue innovative e ottimizzate. Tali operazioni possono ampliare le destinazioni di riuso e, ove applicabili, includere soluzioni per la rimozione di contaminanti emergenti e il recupero di materiali da flussi idonei (ad esempio nutrienti).

c) Partecipazione a progetti di ricerca o innovazione sul riutilizzo dell'acqua (*Participation in research or innovation projects on water reuse*)

Riguarda il coinvolgimento in iniziative di ricerca o collaborazione orientate al riuso, recupero o controllo degli scarichi. La partecipazione segnala un percorso evolutivo delle configurazioni impiantistiche e delle pratiche operative verso portafogli di riuso più ampi e minori carichi residui.

3.1.6. Governance e strategia (*Governance and strategy*)

La sezione dedicata alla "Governance e strategia" (*Governance and strategy*) descrive gli assetti organizzativi attraverso cui gli obiettivi idrici sono definiti, monitorati e integrati nella pianificazione. Il fattore comprende sistemi di gestione, pratiche di *disclosure*, responsabilità interne e l'impostazione strategica dell'impianto per orientare l'evoluzione verso una maggiore circolarità.

a) Certificazione ISO 14001 o EMAS ³⁰ (*ISO 14001 or EMAS certification*)

La certificazione ISO 14001 o l'adesione al sistema EMAS rappresentano l'implementazione di un sistema strutturato e formalizzato di gestione ambientale, conforme a standard internazionali riconosciuti. Questi strumenti attestano l'impegno dell'organizzazione nel monitorare, controllare e migliorare in modo continuo le proprie performance ambientali. In particolare, lo schema EMAS prevede anche la redazione e la pubblicazione di una Dichiarazione Ambientale verificata da un ente terzo, garantendo trasparenza e affidabilità nei confronti di stakeholder, clienti e autorità competenti.

b) Sistemi di gestione ambientale (SGA) o indicatori di prestazione (KPI) specifici per l'acqua (*Water-specific EMS or KPIs*)

Stabilisce se gli obiettivi relativi alla gestione idrica sono tradotti in indicatori chiave di prestazione (KPI) dedicati (e.g. prelievo, consumo, riutilizzo o qualità allo scarico) e inseriti nei cicli gestionali ordinari. Valuta quindi l'esistenza di punti di controllo focalizzati sull'acqua all'interno del Sistema di Gestione Ambientale (SGA), ovvero un quadro strutturato di procedure e responsabilità che l'impianto adotta per monitorare e migliorare le proprie prestazioni ambientali.

c) Rendicontazione e divulgazione pubblica sull'acqua (*Public water reporting and disclosure practices*)

Valuta la qualità e il dettaglio della rendicontazione pubblica sui bilanci idrici: prelievi, consumi, riusi e caratteristiche dello scarico. Il sottofattore analizza anche la trasparenza e la coerenza terminologica impiegata nella comunicazione pubblica, con riferimento all'adozione di standard riconosciuti, alla verificabilità dei dati e alla chiarezza delle definizioni utilizzate.

³⁰ Eco-Management and Audit Scheme.

d) Partecipazione a iniziative volontarie di risparmio idrico (*Participation in voluntary water-saving initiatives*)

Valuta l'adesione a iniziative settoriali o territoriali volte a migliorare in modo coordinato l'uso dell'acqua e la gestione degli scarichi. Promuove un approccio integrato tra imprese, favorendo sinergie e vantaggi competitivi, ad esempio attraverso lo scambio e il riutilizzo di acque reflue.

e) Responsabile o unità organizzativa dedicata alla circolarità idrica (*Dedicated water circularity officer or unit*)

Riporta se le responsabilità in materia di circolarità idrica sono concentrate in un ruolo o in una unità organizzativa definita. Il sottofattore riguarda l'attribuzione chiara del compito di individuare opportunità di riuso e ottimizzazione e di coordinare le relative azioni operative

f) Rendicontazione dei rischi idrici nei rapporti ESG o finanziari (*Disclosure of water risks in ESG or financial reports*)

Rileva se rischi e dipendenze legati all'acqua sono esplicitati nelle *disclosure* societarie, incluse le possibili implicazioni su operatività, conformità e costi. Il sottofattore colloca l'acqua nel più ampio quadro di gestione del rischio e di comunicazione verso gli investitori.

3.1.7. Rischio e resilienza (*Risk and resilience*)

Il "Rischio e resilienza" (*Risk and resilience*) riguarda la capacità dell'impianto di mantenere le prestazioni idriche in condizioni di variabilità idrologica e altre perturbazioni. Il fattore comprende pianificazione, coordinamento e controlli adattivi che collegano le condizioni operative alle variazioni di disponibilità e qualità dell'acqua e ai vincoli ambientali applicabili.

a) Piani di adattamento per siccità o stress stagionale (*Adaptation plans for seasonal drought or stress*)

Descrive la presenza e l'estensione di misure adottate per affrontare periodi di ridotta disponibilità o qualità dell'acqua. L'attenzione è rivolta alla coerenza delle azioni lungo l'intera filiera idrica (dal prelievo, alla gestione interna delle portate, fino agli scarichi) nei periodi in cui la risorsa è più scarsa.

b) Valutazione dei rischi idrici o piani di continuità operativa (*Water-related risk assessments or business continuity plans*)

Valuta come l'acqua possa rappresentare un rischio per l'attività aziendale. Si analizzano i possibili problemi (come carenze o contaminazioni), il modo in cui possono colpire gli impianti, e le conseguenze sul funzionamento e sulla conformità. Viene considerato, ad esempio, come le parti più vulnerabili dei sistemi, quali i circuiti di raffreddamento, vengano identificate e protette per garantire la continuità operativa.

c) Integrazione con la pianificazione regionale acqua-energia (*Integration with regional water-energy planning*)

Riguarda l'allineamento con gli obiettivi di gestione di bacino e, ove pertinente, con le esigenze operative del sistema elettrico. Il sottofattore considera se prelievi, pratiche di riuso e modalità di scarico siano coordinati con vincoli e target regionali.

3.1.8. Sintesi e definizione finale dei fattori e dei sottofattori-chiave

Non tutti i 7 fattori articolati in 32 sottofattori possono essere impiegati nel calcolo dell'indicatore di circolarità per gli impianti termoelettrici a causa di determinate limitazioni e dei criteri di inclusione ed esclusione adottati. La selezione è avvenuta in base ai criteri descritti di seguito.

1. Mancanza di dati open-source: l'approccio adottato (illustrato nei capitoli successivi) si basa su fonti pubblicamente disponibili.

Sebbene certi dati siano oggetto di obblighi di *disclosure* a livello nazionale o regionale, non esiste ancora un modello di rendicontazione univoco. I report variano per struttura e dettaglio, alcune informazioni sono assenti o difficili da reperire e taluni operatori pubblicano solo la minima quantità di dati richiesta, mentre altri offrono maggiore granularità. In questo contesto sono stati esclusi i sottofattori non osservabili in modo sistematico.

2. Non rilevanza: alcuni aspetti, come il rispetto della normativa ambientale vigente, non distinguono le prestazioni tra impianti, poiché la conformità alle normative è condizione necessaria per l'operatività dell'impianto.
3. Estraneità agli scopi dell'indice: in questo lavoro, l'indice di circolarità dell'uso dell'acqua ha come scopo descrivere le prestazioni della centrale, senza mirare a prescrivere strumenti gestionali o scelte di investimento. Aspetti quali policy interne, certificazioni, piani e iniziative volontarie restano utili come contesto (per comprendere la traiettoria gestionale), ma non sono inclusi nel calcolo dell'indicatore.
4. Criterio di disponibilità informativa e non sovrapposizione: ogni fattore incluso deve apportare informazioni aggiuntive senza sovrapporsi ad altri indicatori (evitando doppi conteggi o ridondanza). I sottofattori che riflettono contenuti già considerati (e.g. configurazioni tecnologiche già riflesse nelle intensità d'uso) o che duplicano informazioni già presenti sono stati esclusi.

Dunque, i 32 sottofattori inizialmente individuati sono stati ridotti a 7 sottofattori selezionati in quanto rappresentativi di differenti aspetti dell'impianto, caratterizzati da oggettività e misurabilità, privi di ridondanze e, nella loro combinazione, in grado di restituire un quadro completo del livello di circolarità nell'utilizzo dell'acqua all'interno dell'impianto. I 7 sottofattori utilizzati nell'indicatore sono elencati di seguito:

- SF1 – Prelievo totale di acqua dolce per MWh prodotto (*Total fresh-water withdrawal per MWh produced*);
- SF2 – Tipo di acqua impiegata (*Source type (surface, groundwater, seawater, rainwater)*);
- SF3 – Consumo idrico per MWh prodotto (*Water consumption per MWh produced*);

- SF4 – Tasso di riuso interno dell'acqua trattata (*Internal reuse rate of treated water*);
- SF5 – Tasso di consumo dell'acqua (*Water consumption rate*);
- SF6 – Gestione dello scarico termico (*Thermal discharge management*);
- SF7 – Inquinanti negli effluenti (*Pollutants in effluent*).

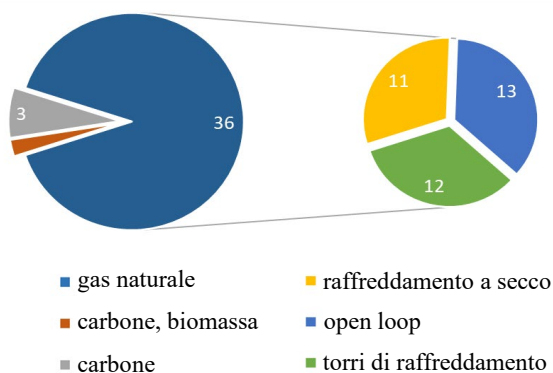
3.2. Raccolta e selezione dei dati

La costruzione dell'indicatore ha avuto inizio con la raccolta di dati provenienti da fonti aperte (*open source*), in particolare dalle Dichiarazioni Ambientali pubblicate dai gestori degli impianti termoelettrici attivi in Italia. Sono stati pertanto inclusi nell'analisi unicamente gli impianti per i quali tali documenti risultavano facilmente reperibili online. Per tali impianti sono stati estrapolati i dati relativi agli anni 2021, 2022, 2023 e 2024 (quando disponibili). Tra questi, il 2022 è risultato l'anno con le informazioni più complete e affidabili, e pertanto è stato scelto come anno di riferimento. Infatti, si è riscontrato come per vari impianti le Dichiarazioni Ambientali del 2023 riportassero meno dati rispetto a quelle dell'anno precedente. Inoltre, la scelta è stata dettata anche da ragioni di cautela: il 2022 rappresenta infatti un anno eccezionale dal punto di vista idroclimatico, caratterizzato da una siccità di intensità straordinaria. È stato l'anno meno piovoso dal 1961, con una riduzione delle precipitazioni pari a circa il 22% rispetto alla media climatologica 1991-2020. La scarsità di piogge, combinata a temperature elevate, ha determinato una drastica riduzione della disponibilità idrica: il volume annuo disponibile è sceso del 50% rispetto alla media degli ultimi trent'anni, raggiungendo così il minimo storico dal 1951. Analizzare le performance degli impianti in questo contesto ha permesso di assumere come riferimento un quadro di gestione idrica in condizioni di forte stress, evidenziando pratiche di uso più efficiente delle risorse idriche e fornendo indicazioni rilevanti per scenari simili che con elevata probabilità si potranno verificare in futuro.

Le centrali termoelettriche considerate ai fini della costruzione dell'Indice di Circolarità sono state innanzitutto classificate sulla

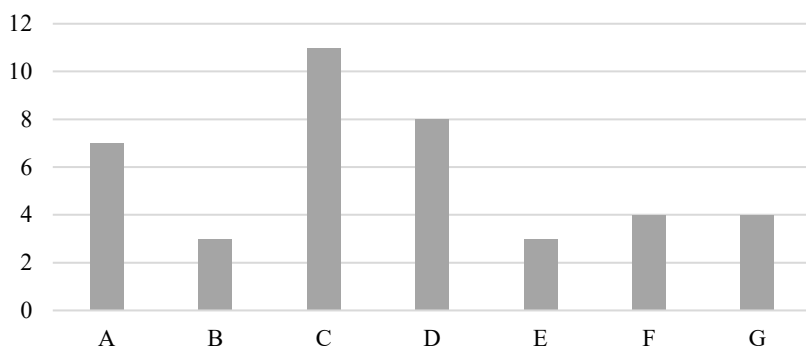
base di due elementi: il tipo di combustibile e la tecnologia di raffreddamento, come sintetizzato nella Figura 7. In una prima fase di selezione dei dati sono state considerate 40 centrali, di cui 36 alimentate a gas naturale, 3 alimentate a carbone e una alimentata a carbone e biomassa. Le 3 centrali a carbone e quella a carbone e biomassa utilizzano tutte un ciclo di raffreddamento aperto con acqua marina. Delle 36 centrali a gas naturale, invece, 13 sono raffreddate a ciclo aperto, 11 con sistemi di raffreddamento a secco e 2 mediante torri evaporative.

Figura 7. – Classificazione degli impianti presi in esame nello studio per tipo di combustibile e tecnologia di raffreddamento



Le diverse centrali appartengono a 7 aziende, identificate con lettere da “A” a “G” e associate a un colore specifico (A = giallo, B = arancione, C = rosso, D = viola, E = blu, F = azzurro, G = verde). Ogni azienda gestisce un numero variabile di centrali, codificate progressivamente: ad esempio, l’azienda “A” gestisce 7 centrali e queste sono identificate come “A1”, “A2”, ..., “A7”. Il numero di impianti gestiti da ciascuna azienda è riportato nella Figura .

Figura 8. – Classificazione degli impianti presi in esame classificati per azienda



Dai dati emerge anche una differenza nelle dimensioni degli impianti:

- da 50 a 100 MW → 5 impianti;
- da 100,1 a 500 MW → 14 impianti;
- da 500,1 a 1000 MW → 15 impianti;
- da 1000,1 a 2000 MW → 6 impianti.

La potenza installata complessiva delle centrali considerate è pari a 25.692,2 MWe, a fronte di un totale nazionale di 62.111,37 MWe nel 2024, rappresentando quindi il 41,36% della capacità installata in Italia. La potenza installata non cogenerativa è di 22.669,0 MW su un totale di 35.420,97 MW, pari al 64,00%. La potenza cogenerativa installata è invece di 3.023,2 MW su 26.690,40 MW, ossia l'11,33% della capacità cogenerativa complessiva.

I dati raccolti sono di varia natura e comprendono:

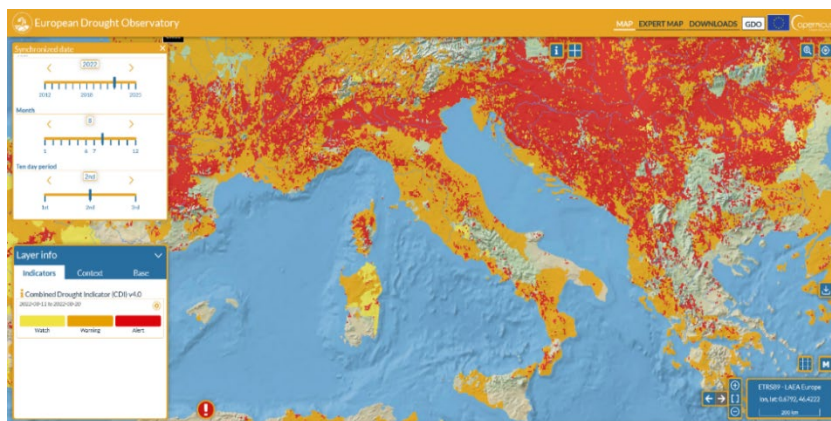
- potenza installata: “potenza elettrica” e “potenza termica” (nel caso di impianti cogenerativi);
- energia generata: “energia elettrica generata netta”, “energia termica fornita”;
- tipo di impianto: “ciclo combinato”, “cogenerativo”;
- stress idrico locale: sono stati consultati i dati dell’*European Drought Observatory*, basati sulle rilevazioni effettuate dal programma

satellitare Copernicus ³¹. Il portale riporta, sovrainpressa sulla mappa del Continente Europeo, una codifica colorata che rappresenta il valore dell’“Indice Composito di Siccità”: dal livello di “normalità” (nessun colore), passando per i livelli di “attenzione” (colore giallo) e “allarme” (colore arancio), al livello di “pericolo” (colore rosso). Il portale permette di osservare una istantanea corrispondente a un periodo limitato nel tempo, ovvero 2 settimane. In questo lavoro, scegliendo un approccio conservativo, si è deciso di considerare la seconda decade di agosto (verosimilmente il peggiore scenario per lo stress idrico) dell’anno in esame, visibile in Figura 9. Ciò fatto, si sono geolocalizzati tutti gli impianti considerati. A ciascuno è stato assegnato un valore numerico, sulla base dell’“Indice Composito di Siccità” rilevato: da 0 (nessuno stress) a 3 (livello di allarme);

- acqua prelevata dall’esterno: adottando il lessico riscontrato nelle Dichiarazioni Ambientali, si sono considerati i dati “fabbisogno industriale”, “di falda”, “da acquedotto”, “da fiume”, “da pozzo”, “da mare”, “da pioggia”, e anche “di secondo utilizzo”, quest’ultimo corrispondente all’acqua già utilizzata da altri impianti e quindi non prelevata dall’ambiente;
- scarichi: le acque reflue sono state classificate come “acqua scaricata in fiume/canale”, “acqua processata da ITAR” (Impianto di Trattamento Acque Reflue), “acque reflue industriali” (nel caso in cui non sia specificato il tipo di corpo idrico in cui l’acqua viene scaricata), “acqua meteorica scaricata”, “spurgo da torre evaporativa”, “acque reflue dagli scarichi” (quando non è specificato il tipo di acqua che viene scaricato), “acque di processo cedute ad altri impianti” quando le acque utilizzate nei processi industriali, anziché essere scaricate in corpi idrici superficiali o in fognatura, vengono trasferite ad altri impianti per essere riutilizzate.

³¹ <https://drought.emergency.copernicus.eu/tumbo/edo/map/>.

Figura 9. – Mappa dell'Italia con sovrappreso l'indicatore di stress idrico



La scelta di utilizzare le Dichiarazioni Ambientali come fonte di dati è dettata da varie ragioni: prima di tutto la maggiore accessibilità rispetto ad altri documenti ufficiali (come i Rapporti Annuali), che sono stati invece utilizzati solo in alcuni casi per approfondire singoli dati. Inoltre, le Dichiarazioni Ambientali rappresentano documenti convalidati da enti certificatori, come ad esempio EMAS (Eco-Management and Audit Scheme). Poiché i dati contenuti in tali Dichiarazioni sono quindi verificati, garantiscono un certo grado di affidabilità.

Nonostante i vantaggi, queste fonti presentano alcuni limiti significativi. La principale criticità riguarda l'eterogeneità dei documenti: ogni azienda li struttura in modo diverso, rendendo necessaria un'analisi accurata di ciascuna Dichiarazione per individuare i dati rilevanti. A questo si aggiunge la variabilità della nomenclatura: lo stesso indicatore può comparire con denominazioni diverse, oppure voci simili possono riferirsi a contenuti non coincidenti. Nonostante l'esistenza di linee guida per la redazione delle Dichiarazioni Ambientali EMAS, manca ancora una convenzione che assicuri una rappresentazione univoca e non ambigua dei flussi di materia ed energia. Di conseguenza, in alcuni casi è stata adottata un'interpretazione, come per la distinzione tra "acqua di secondo utilizzo" (considerata proveniente da impianti esterni) e

“acqua recuperata” (trattata internamente dall’ITAR e reimpressa nel ciclo).

3.3. Costruzione dell’indice: approccio multicriterio e descrittori di performance

La misurazione dell’uso circolare dell’acqua nel settore della produzione di energia, in particolare negli impianti termoelettrici, richiede la sintesi di informazioni complesse e multidimensionali in un formato interpretabile e utile per la valutazione comparativa. La circolarità, infatti, non è una grandezza fisica diretta misurabile con un singolo strumento, ma un concetto sistemico che emerge dall’interazione di processi tecnici, ambientali e gestionali. Per quantificare e confrontare oggettivamente questo concetto in impianti diversi, è necessario ricorrere alla costruzione di un indice composito, ovvero sia un indicatore sintetico che aggrega una molteplicità di dati eterogenei, specifici del sistema in esame.

La costruzione di un indice implica quindi una serie di scelte metodologiche che devono essere coerenti con gli obiettivi dell’analisi e con la natura dei dati disponibili. Nel caso specifico, l’approccio seguito si ispira ai principi della *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA), una metodologia ampiamente utilizzata per affrontare problemi decisionali complessi in presenza di molteplici criteri, spesso in conflitto tra loro. La MCDA consente di strutturare il processo decisionale in modo trasparente e sistematico, facilitando la comparazione tra alternative e la comprensione delle implicazioni delle diverse scelte³².

Applicando questo approccio al contesto degli impianti termoelettrici, si è proceduto innanzitutto all’identificazione e selezione dei fattori-chiave e sottofattori-chiave riportati nel § 3.1, ciascuno dei quali rappresenta una dimensione rilevante della circolarità dell’uso dell’acqua.

Per ciascun sottofattore sono stati definiti dei DP, delle metriche

³² D.E. BELL, R.L. KEENEY, H. RAIFFA, *Conflicting Objectives in Decisions*, Chichester, John Wiley & Sons, 1977.

quantitative che sintetizzano le informazioni raccolte dalle Dichiarazioni Ambientali e di esercizio degli impianti. Questi descrittori sono stati costruiti combinando dati di diversa natura – quali ad esempio volumi e tipologia di acqua prelevata, percentuali di riutilizzo, taglia dell'impianto ed energia generata – in modo da ottenere un valore numerico rappresentativo della performance dell'impianto rispetto al sottofattore considerato.

I DP presentano unità di misura e scale molto diverse (percentuali, concentrazioni, volumi assoluti, rapporti), rendendo impossibile un loro confronto diretto e una loro aggregazione. Si è adottato perciò un sistema basato sulle funzioni di utilità (*utility functions*, o funzioni di valore). Una funzione di utilità è uno strumento matematico che trasforma il dato originale di un DP in un punteggio normalizzato, tipicamente compreso tra 0 e 1 (o tra 0 e 100), dove 0 rappresenta la performance peggiore osservabile (o minima accettabile) e 1 (o 100) rappresenta la performance ideale o di eccellenza per quello specifico descrittore.

Il risultato di questo processo è una matrice di punteggi, in cui ogni impianto è caratterizzato da un insieme di valori che descrivono la sua performance rispetto ai diversi sottofattori. Per ottenere un indice sintetico è necessario attribuire un peso a ciascun sottofattore, in modo tale che i valori di ciascuno possano essere aggregati in un punteggio globale. La determinazione dei pesi è una fase cruciale del processo, poiché influisce direttamente sul valore finale dell'indice e sulla gerarchia tra gli impianti.

Un peso non è altro che una costante di proporzionalità che permette di convertire le unità di valore locale (specifiche per il sottofattore) in unità di valore globale. I pesi non rappresentano un'indicazione diretta dell'"importanza" dei sottofattori (o di criteri), poiché tale concetto prescinde dagli intervalli di esistenza dei rispettivi descrittori di performance³³.

³³ C.A. BANA E COSTA, J.C. LOURENÇO, M.D. OLIVEIRA, J.C. BANA E COSTA, *A Socio-technical Approach for Group Decision Support in Public Strategic Planning: The Pernambuco PPA Case*, in *Group Decis Negot*, n. 23/2014, 5-29.

3.3.1. Descrittori di performance

Nei paragrafi successivi saranno illustrati i descrittori di performance ricavati per ciascun sottofattore, la metodologia di costruzione delle funzioni di valore, e infine il processo di attribuzione dei pesi.

3.3.1.1. Prelievo totale di acqua dolce per MWh prodotto

Il descrittore di performance “Prelievo totale di acqua dolce” è definito come la somma dei prelievi di acqua da acquedotto, fiume/canale, lago e pozzo effettuati nell’anno in esame.

$$\text{Acqua dolce totale} = \text{acquedotto} + \text{fiume/canale} + \text{lago} + \text{pozzo} \quad (2)$$

Per quanto riguarda l’energia prodotta, è opportuno considerare anche l’energia termica generata dagli impianti cogenerativi, in aggiunta all’energia elettrica generata. Energia termica ed elettrica non possono essere semplicemente sommate tra di loro, essendo prodotti fondamentalmente differenti, ma è necessario seguire un approccio di tipo diverso³⁴. In termodinamica, l’exergia è la massima frazione di energia che può essere convertita in lavoro. Per l’elettricità, l’exergia corrisponde all’energia (tutta l’energia elettrica può essere trasformata in lavoro), mentre per il calore l’exergia dipende dalla temperatura a cui questo viene fornito e dalla temperatura ambiente.

Assumendo che il calore generato dalla centrale cogenerativa sia fornito a $T_1 = 120^\circ\text{C}$ (393 K), e che la temperatura media ambientale durante l’anno sia pari a $T_0 = 15^\circ\text{C}$ (288 K), l’exergia di una unità di calore sarà pari a:

$$\begin{aligned} \text{Exergia} &= \text{Energia termica} \times \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) = 1 \text{ MWh} \times \\ &\times \left(1 - \frac{288\text{K}}{393\text{K}}\right) = 0,2671 \text{ MWh} \end{aligned} \quad (3)$$

Semplificando, si può dire che una unità di energia termica a 120°C “vale” (nel senso che può produrre lo stesso lavoro) come 0,2671 unità

³⁴ T. TERESHCHENKO, N. NORD, *Uncertainty of the allocation factors of heat and electricity production of combined cycle power plant*, in *Appl Therm Eng*, n. 76/2015, 410-422.

di energia elettrica. Pertanto, si utilizza il rapporto di proporzionalità calcolato mediante l'Eq. (3) per aggregare le energie elettrica e termica prodotte da un impianto cogenerativo, Eq. (4).

$$\begin{aligned} & \text{Energia totale generata} = \\ & = \text{Energia elettrica} + 0,2671 \times \text{Energia Termica} \end{aligned} \quad (4)$$

Tutte le grandezze sono in MWh.

L'indicatore di performance si ottiene infine dividendo l'acqua dolce totale per l'energia totale generata:

$$\text{Acqua dolce per MW installato} = \frac{\text{Acqua dolce totale}}{\text{Energia totale generata}} \quad (5)$$

Il risultato è espresso in (m³/MWh).

Si evidenzia che, al fine di garantire una maggiore accuratezza nel calcolo dell'indicatore, il metodo ottimale per la determinazione dell'exergia prevede l'impiego dei valori misurati di T_1 e T_0 . Solo in assenza di uno di questi dati, o di entrambi, è consigliabile ricorrere alle temperature di riferimento indicate nella presente trattazione.

3.3.1.2. Tipo di acqua impiegata

Il descrittore di performance "Tipologia di acqua impiegata" consiste nel rapporto tra i vari tipi di acqua impiegata nei processi e l'acqua totale prelevata. Le diverse tipologie di acqua sono riportate in ordine di valore ambientale e di pregio, pertanto l'acqua di falda, essendo limitata e destinata sia all'agricoltura sia alla produzione di acqua potabile, è considerata di maggior valore rispetto all'acqua di mare, disponibile in quantità abbondantissime, ma utilizzabile per un numero più ridotto di impieghi. Tuttavia, l'impiego di acqua recuperata all'interno dell'impianto è valutato come più virtuoso rispetto all'utilizzo di acqua marina, poiché rappresenta una gestione maggiormente circolare della risorsa e non comporta prelievo da fonti naturali, anche se di scarso valore. L'acqua meteorica, pur classificandosi come migliore dell'acqua marina in quanto dolce, presenta un valore inferiore rispetto alle acque superficiali o di falda, poiché, una volta intercettata dall'impianto, deve in parte essere trattata (a causa dei fenomeni di lisciviazione sulle aree impermeabili dell'impianto), mentre la restante quota tende a infiltrarsi

nelle aree permeabili reimmettendosi nel ciclo idrologico naturale. L'acqua superficiale e l'acqua di falda costituiscono le risorse idriche di maggior pregio, in quanto impiegabili per una vasta gamma di utilizzi, che spaziano dalla potabilizzazione per uso umano all'irrigazione agricola.

Le diverse tipologie di acqua individuate sono state quindi classificate come segue:

1. Acqua recuperata, definita come somma tra:
 - a. Acqua di secondo utilizzo. In assenza di specifiche indicazioni nelle Dichiarazioni Ambientali, si assume che tale acqua sia stata impiegata e trattata all'esterno dell'impianto, e che questa sia poi immessa nell'impianto.
 - b. Acqua recuperata. In assenza di specifiche indicazioni nelle Dichiarazioni Ambientali, si assume che questa sia acqua trattata da ITAR, all'interno della centrale, e successivamente reimpiegata.
2. Acqua di mare.
3. Acqua piovana.
4. Acqua superficiale (definita come somma di acqua prelevata da lago e da fiume/canale).
5. Acqua di falda (ovvero acqua proveniente da pozzo).

L'acqua totale prelevata è definita come:

$$\begin{aligned} \text{Acqua totale prelevata} = & \text{Acqua dolce totale} + \\ & + \text{pioggia} + \text{mare} + \text{falda} + \text{superficiale} \end{aligned} \quad (6)$$

Tutte le quantità finora riportate si riferiscono ai volumi di acqua prelevati nel corso dell'anno in esame.

Il DP, pertanto, risulta essere l'insieme dei rapporti di ciascun tipo di acqua con l'acqua totale prelevata:

Impianto	<i>Recuperata</i>	<i>Marina</i>	<i>Piovana</i>	<i>Superficiale</i>	<i>Falda</i>
	<i>Totale</i>	<i>Totale</i>	<i>Totale</i>	<i>Totale</i>	<i>Totale</i>

Il risultato di ciascuna voce è adimensionale.

3.3.1.3. Consumo di acqua per MWh prodotto

Per consumo di acqua si intende l'acqua dolce che non viene ritornata nel corpo idrico superficiale.

Il consumo di acqua viene calcolato come bilancio tra l'acqua dolce prelevata e l'acqua scaricata in corpo idrico superficiale. Poiché nelle Dichiarazioni Ambientali la voce "Scarichi in corpo idrico superficiale" include anche l'acqua di raffreddamento (prelevata da fiume/canale o dal mare), tale componente è stata sottratta.

$$\text{Consumo di acqua (m}^3\text{/anno)} = \text{Acqua dolce totale} - (\text{scarichi idrici in corpo superficiale} - \text{acqua scaricata in mare}) \quad (7)$$

Il DP risultante corrisponde al rapporto tra il consumo annuale di acqua, calcolato mediante l'"energia totale generata" nel corso dell'anno in analisi, calcolata mediante la (4):

$$\text{Consumo di acqua per MWh prodotto} = \frac{\text{Consumo di acqua}}{\text{Energia totale generata}} \quad (8)$$

Il risultato è espresso in (m³/MWh).

3.3.1.4 Tasso di riuso interno dell'acqua trattata

Si è assunto che la voce "Acqua recuperata" delle Dichiarazioni Ambientali facesse riferimento all'acqua trattata internamente dall'ITAR e reimpressa in circolo, escludendo quindi i fanghi residui del trattamento.

$$\begin{aligned} \text{Riuso interno dell'acqua trattata (\%)} &= \\ &= \frac{\text{Acqua recuperata (m}^3\text{/anno)}}{\text{Acqua processata da ITAR (m}^3\text{/anno)}} \times 100 \end{aligned} \quad (9)$$

3.3.1.5. Tasso di consumo dell'acqua

Le acque reflue totali sono definite come la somma delle seguenti voci: acqua processata dall'ITAR, acque reflue industriali, acque meteoriche scaricate, spurghi da torre evaporativa, acque reflue dagli scarichi.

$$\begin{aligned} \text{Totale acque reflue} = & \text{Acqua processata da ITAR} + \\ & + \text{Acque reflue industriali} + \text{Acque meteoriche scaricate} + \\ & + \text{Spurghi da torre evaporativa} + \text{Acque reflue dagli scarichi} \quad (10) \end{aligned}$$

Tutte le grandezze sono espresse in (m³/anno).

Non si considera come “acqua consumata” quella prelevata da fiume/canale, impiegata come acqua di raffreddamento al condensatore, e reimpressa nel corpo idrico senza particolari alterazioni, se non l’incremento di temperatura. Per questa ragione, il totale delle acque reflue è diviso per la differenza tra l’acqua dolce prelevata, calcolata mediante l’Eq. (2), e l’acqua scaricata in corpo idrico superficiale (inteso come fiume/canale).

$$\begin{aligned} \text{Tasso di consumo di acqua} = \\ = \frac{\text{Totale acque reflue}}{\text{Acqua dolce prelevata} - \text{Acqua scaricata in corpo superficiale}} \times 100 \quad (11) \end{aligned}$$

I termini nella frazione sono tutti in (m³/anno), mentre il risultato è in percentuale (%).

3.3.1.6. Gestione dello scarico termico

Per tenere conto dell’inquinamento termico, il descrittore di performance impiegato per questo aspetto è il delta di temperatura dal limite previsto.

Come anticipato nel § 2.1.3, l’inquinamento termico in Italia è normato dal Decreto n. 152 del 2006, noto come Testo Unico Ambientale. Relativamente ai valori limite di emissione in acque superficiali, si stabilisce che, per i corsi d’acqua, la variazione tra le temperature a monte e a valle del punto di immissione dello scarico non deve superare i 3°C e che per i canali artificiali il massimo valore della temperatura di qualsiasi sezione non deve superare i 35°C. In aggiunta a quanto stabilito dal decreto sopra citato, è opportuno considerare che ulteriori restrizioni agli scarichi termici nei corpi idrici possono essere imposte da normative regionali o locali, che spesso impongono limiti più restrittivi, soprattutto in aree sensibili o protette. Pertanto, ai fini del calcolo dell’indicatore, il limite da applicare è quello vigente nell’area di ubicazione dell’impianto, come specificato nell’Autorizzazione Integrata Ambientale.

Per i motivi sopra detti, il delta di temperatura è calcolato con la formula seguente:

$$\text{Delta } T (^{\circ}\text{C}) = 35 - T_{\text{scarico}} \quad (12)$$

3.3.1.7. Inquinanti negli effluenti

Anche per i limiti relativi alle sostanze inquinanti presenti nelle acque di scarico, il principale riferimento normativo è costituito dal Testo Unico Ambientale. A tali parametri si aggiungono quelli specificamente indicati nell'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), che tiene conto delle caratteristiche dell'impianto e del contesto ambientale in cui esso opera. I parametri prescritti nell'AIA sono selezionati in base alla maggiore probabilità che tali sostanze vengano effettivamente rilasciate dall'impianto, oppure in quanto rappresentativi della qualità ecologica dell'effluente o del corpo idrico ricevente. Nel presente DP, si assume che una maggiore distanza tra la concentrazione rilevata e il limite imposto dall'AIA corrisponda a una migliore qualità dell'acqua scaricata. Di conseguenza, l'indicatore è strutturato in funzione del numero di sostanze la cui concentrazione supera il 50% del limite autorizzato, premiando gli impianti che, nel periodo di osservazione, mantengono livelli di inquinanti inferiori alla metà del valore soglia previsto.

3.4. Funzioni di utilità

Le funzioni di utilità mettono in relazione i valori assunti dai DP con un punteggio normalizzato, in una scala che – in questo lavoro – va da 0 (pessima circolarità) a 100 (circolarità eccellente).

Le funzioni di utilità sono state costruite mediante il processo partecipato di un ristretto gruppo di esperti. Tale gruppo è composto da:

- due ingegneri energetici, di cui uno con dottorato di ricerca in Ingegneria Industriale;
- un ingegnere ambientale;
- un ingegnere chimico, con master in “Studi di sostenibilità ed economia circolare”.

Un membro del gruppo (ingegnere energetico) ha assunto il ruolo di moderatore, intervistando il resto dei partecipanti.

Per i sottofattori SF1, SF3, SF5 si è seguita la procedura illustrata nei paragrafi che seguono.

Il primo passo consiste nell'ordinare gli impianti in base al grado di circolarità, dal più circolare al meno circolare, utilizzando il valore del DP relativo alla funzione di utilità che si intende costruire. Al valore di DP più circolare viene assegnato un punteggio di 100, mentre al valore di DP meno circolare viene assegnato un punteggio di 0, definendo così i due estremi della scala di utilità. Successivamente, si identifica un punto intermedio a cui attribuire un punteggio proporzionato, seguito dalla fase di valutazione complessiva. La Tabella 1 mostra un esempio relativo ai primi due punti della scala.

Tabella 1. – Esempio del processo di identificazione dei valori soglia per la costruzione di una funzione di utilità

Descrittore di performance	Valore	Domanda per validazione
x_{inizio}	100	Avete assegnato i valori v_1 e v_2 ai rispettivi valori del DP. Confermate che, in termini di circolarità, la <i>differenza</i> dei valori corrispondenti a x_{inizio} e x_1 (10 punti) è il doppio della differenza tra x_1 e x_2 (20 punti)? Confermate altresì che la differenza di circolarità tra x_{inizio} e x_2 è il triplo (30 punti) rispetto a quella tra x_{inizio} e x_1 ?
x_1	$v_1 = 90$	
x_2	$v_2 = 70$	
x_{fine}	0	

Se alla domanda di cui alla Tabella 1 non vi è una conferma da parte del gruppo, i punteggi e/o gli intervalli sono ricalibrati finché non si è formato un consenso.

A titolo di esempio si riporta qui sotto il processo impiegato per SF1 – Prelievo totale di acqua dolce per MWh prodotto.

In primo luogo, sono stati identificati i valori estremi della scala: 0 m³/MWh, corrispondente all'estremo più circolare in quanto indica un prelievo nullo di acqua dolce, e 200 m³/MWh, corrispondente all'estremo meno circolare, poiché rappresenta il prelievo massimo tra le aziende considerate. Di conseguenza, al DP pari a 0 m³/MWh è stato assegnato un punteggio di 100, mentre al DP pari a 200 m³/MWh è stato assegnato un punteggio di 0.

In seconda battuta si è definito il punto intermedio $x_1 = 0,10 \text{ m}^3/\text{MWh}$. Il moderatore ha chiesto:

“Se il prelievo di acqua dolce specifico pari a $0 \text{ m}^3/\text{MWh}$ corrisponde a 100 punti, e un valore pari a 200 corrisponde a 0 punti, quanti punti dovrebbero essere associati a un prelievo specifico di acqua dolce pari a $0,10 \text{ m}^3/\text{MWh}$?”

Il gruppo ha concordato che fosse adeguato associare un punteggio pari a 85 punti.

La domanda è stata posta per il valore-soglia immediatamente successivo: $1,00 \text{ m}^3/\text{MWh}$, e il consenso è stato di attribuire il valore di 70 punti. Dopodiché, vi è stato il primo passaggio di validazione delle scelte finora espresse. Il moderatore ha chiesto:

“Immaginando di poter modificare il prelievo specifico di acqua dolce di un impianto, ritenete che una riduzione del prelievo specifico di acqua dolce da $1,00 \text{ m}^3/\text{MWh}$ a $0,10 \text{ m}^3/\text{MWh}$ sia, in termini di circolarità, equivalente rispetto a una riduzione da $0,10 \text{ m}^3/\text{MWh}$ a $0 \text{ m}^3/\text{MWh}$?”

Infatti, sulla base di quanto espresso dal gruppo, vale il sistema di equazioni:

$$\begin{cases} v(0,10) - v(1,00) = 85 - 70 = 15 \\ v(0) - v(0,10) = 100 - 85 = 15 \end{cases}$$

Rappresentando i punteggi la circolarità di ciascun DP, le differenze tra i valori dei punteggi devono adeguatamente rappresentare la differenza tra la circolarità del fenomeno. In questo caso il gruppo ha confermato i punteggi assegnati.

Successivamente, si è definito il valore per un nuovo punto, e validato in modo continuo i valori soglia del DP e i punteggi attribuiti. Il risultato è mostrato in Tabella 2. Ottenuto questo elenco di valori soglia, la funzione di utilità consiste nell'interpolazione lineare tra i punti. Si riportano qui sotto la Tabella 2, Tabella 3 e Tabella 4 con i valori soglia e le funzioni di utilità per i SF1, SF3, SF5.

Tabella 2. – Valori soglia del SF1

Prelievo di acqua dolce per MWh generato	
Performance (m ³ /MWh) x	Valore n.a. v(x)
0	100
0,10	85
1,00	70
10,00	50
100,00	20
200,00	0

Figura 10. – Funzione di utilità otte-
nuta per il SF1

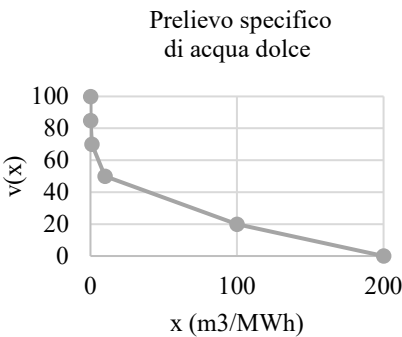


Tabella 3. – Valori soglia del SF3

Consumo idrico per MWh generato	
Performance (m ³ / MWh) x	Valore n.a. v(x)
0	100
0,10	90
1,00	70
10,00	40
100,00	10
190,00	0

Figura 11. – Funzione di utilità otte-
nuta per il SF3

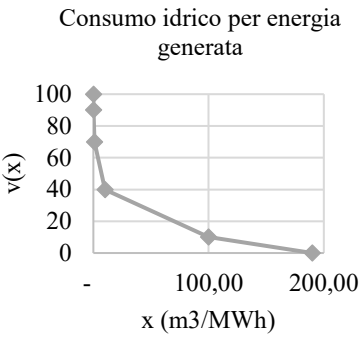


Tabella 4. – Valori soglia del SF5

Tasso di consumo idrico	
Performance (%) x	Valore n.a. $v(x)$
0	100
10	60
35	30
60	10
100	0

Figura 12. – Funzione di utilità ottenuta per il SF5

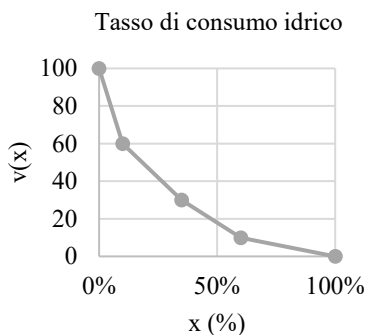
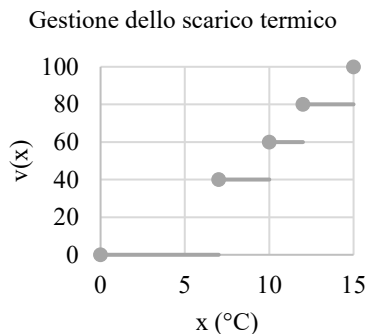


Tabella 5. – Valori soglia del SF6

Gestione dello scarico termico (delta di temperatura)		
Performance (°C) x	Intervallo	Valore n.a. $v(x)$
7	$0 < x \leq 7$	0
10	$7 < x \leq 10$	40
12	$10 < x \leq 12$	60
15	$12 < x \leq 15$	80
15+	$x > 15$	100

Figura 13. – Funzione di utilità ottenuta per il SF6



Per il SF4 – Riutilizzo interno dell'acqua trattata, si è considerata una relazione lineare tra i due estremi, poiché SF4 è espresso in percentuale. In altre parole, a ogni punto percentuale di riutilizzo corrisponde un punto percentuale del punteggio associato. La tabella dei valori soglia e il grafico della funzione di utilità non sono stati riportati, in quanto la rappresentazione risulta ovvia.

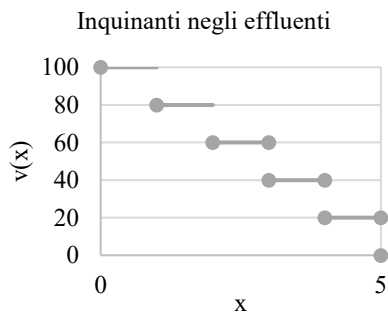
Per SF6 – Gestione dello scarico termico e SF7 – Inquinanti negli effluenti, si sono definite, rispettivamente, due funzioni di utilità a

gradino. Nel caso in cui le Dichiarazioni Ambientali non riportassero la temperatura, o le concentrazioni degli inquinanti agli scarichi, cautelativamente si è assegnato il punteggio minimo (0) in questi sottofattori.

Tabella 6. – Valori soglia del SF7

Inquinanti negli effluenti	
Performance (n.a.) x	Valore (n.a.) v(x)
0	100
1	80
2	60
3	40
4	20
> = 5	0

Figura 14. – Funzione di utilità ottenuta per il SF7



La costruzione della funzione di valore del SF2 merita una descrizione a sé.

Per ciascun impianto, il descrittore di performance è determinato dalla quantità totale di acqua utilizzata. Tale acqua viene preliminarmente classificata in base alla provenienza (ad esempio marina, dolce, piovana) e al livello di stress idrico locale (§ 3.3.1.2). La metodologia completa per la definizione del descrittore di performance è riportata di seguito.

Innanzitutto, sono state ordinate le tipologie di acqua impiegata, dalla più circolare alla meno circolare, come descritto al § 3.3.1.2. Il risultato è il seguente:

- recuperata/di secondo utilizzo;
- marina;
- piovana;
- superficiale;
- di falda.

In seguito, si è proceduto ad immaginare una centrale fittizia che impiegasse solamente acqua recuperata/di secondo utilizzo nei propri processi (la più circolare). A questo impianto è stato attribuito un punteggio pari a 100. Successivamente, per ciascun tipo di acqua, il moderatore ha posto la seguente domanda al gruppo:

“Immaginate che una ipotetica centrale impieghi unicamente acqua piovana (marina/di falda/superficiale). Se improvvisamente fosse possibile sostituire completamente tale tipologia di acqua con acqua recuperata, sapendo che con ciò il punteggio di circolarità diventerebbe 100, che magnitudine avrebbe il miglioramento, in termini di circolarità?”

Come nel caso descritto poco sopra, per ogni assegnazione di un punteggio è stata eseguita una validazione, in modo tale che il gruppo confermasse che le differenze tra i vari punteggi assegnati fossero coerenti con le differenze percepite in termini di circolarità di tipo di acqua impiegata.

Si è poi deciso di includere, nella funzione di utilità, una componente legata alla condizione di stress idrico locale. Infatti, l'impiego di un tipo di acqua può essere più o meno circolare anche sulla base della disponibilità di acqua.

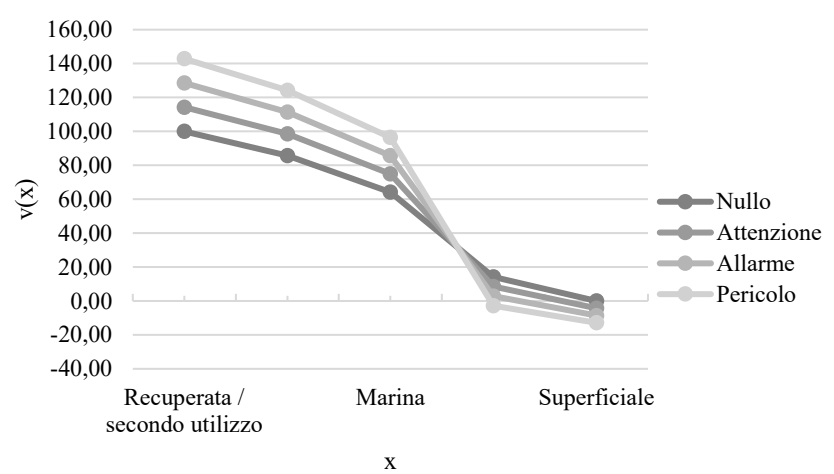
Il livello di stress idrico, come definito al § 3.2 e mappato nella Figura , è stato impiegato in un sistema di bonus/malus: per ciascun livello (da 0 a 3), il punteggio delle categorie “Recuperata”, “Piovana” e “Marina” è stato incrementato del 10% per livello, poiché in contesti con crescente stress idrico locale aumenta l'importanza di utilizzare fonti idriche meno pregiate, riducendo così il prelievo di acqua destinata ad altri usi. Contestualmente, il punteggio legato alle acque “Di falda” e “Superficiale” è stato diminuito del 10% per ciascun livello, andando dunque a sfavorire l'uso di acque dolci e potabilizzabili in aree con scarsità.

Infine, i punteggi sono stati normalizzati in una scala da 0 a 100 (riferiti al caso di stress idrico nullo). La Tabella mostra e riepiloga quanto illustrato finora.

Tabella 7. – **Punteggi attribuiti ai diversi tipi di acqua per il SF2**

	Valori assegnati dal gruppo di esperti					
<i>Livello di stress idrico</i>	Bonus/ malus	Recupe- rata/di secondo utilizzo	Marina	Piovana	Superfi- ciale	Di falda
<i>0 – nullo</i>	0%	100	90	75	40	30
<i>1 – attenzione</i>	± 10%	110	99	82,5	36	27
<i>2 – allarme</i>	± 20%	120	108	90	32	24
<i>3 – pericolo</i>	± 30%	130	117	97,5	28	21
	Valori normalizzati (100 e 30 come riferimenti)					
<i>0 – nullo</i>	0%	100	85,71	64,29	14,29	0,00
<i>1 – attenzione</i>	± 10%	114,29	98,57	75,00	8,57	– 4,29
<i>2 – allarme</i>	± 20%	128,57	111,43	85,71	2,86	– 8,57
<i>3 – pericolo</i>	± 30%	142,86	124,29	96,43	– 2,86	– 12,86

Figura 15. – **Rappresentazione grafica dei punteggi attribuiti per ciascuna tipologia di acqua impiegata e il livello di stress idrico**



È evidente come questi punteggi associati si posizionino in una scala aperta (i valori possono essere negativi). Ciò è ritenuto desiderabile,

poiché in una condizione di elevato stress idrico è preferibile non impiegare una fonte di acqua preziosa come quella superficiale o di falda.

Il punteggio finale per il SF2 è ottenuto moltiplicando ciascun elemento del vettore-DP con il rispettivo moltiplicatore (Tabella).

3.5. Metodologia di attribuzione dei pesi

Come detto nel § 3.3, per convertire i punteggi di ciascun sottofattore, relativi a ogni centrale termoelettrica, in valori globali la cui somma costituisce l'Indice di Circolarità, è necessario applicare un sistema di pesi.

I pesi non sono rappresentazione del grado di importanza di ciascun sottofattore, poiché questo è un concetto assoluto, che prescinde dagli intervalli definiti dai valori dei descrittori di performance.

A titolo di esempio, si immagini che un'azienda stia valutando l'acquisto di un nuovo ufficio e, dopo un'attenta analisi, siano stati selezionate due opzioni candidate. L'opzione A ha un costo di 200.000€ e una superficie di 100mq. L'opzione B ha un costo di 210.000€ e una superficie di 150mq. Immaginando due semplici funzioni di utilità che attribuiscono 100 punti all'alternativa migliore, e 0 alla peggiore,

Opzione	Prezzo	Superficie	v(prezzo)	v(superficie)
A	200.000€	100m ²	100	0
B	210.000€	150m ²	0	100

Se si decidesse di attribuire i pesi sulla base dell'importanza, e si ritenesse che, tra i due criteri, quello più "importante" fosse il prezzo d'acquisto del nuovo ufficio, l'opzione A sarebbe la preferibile. Tale approccio, tuttavia, non tiene conto delle *differenze* tra le due opzioni in ciascun criterio. In altre parole, con tale metodologia si trascura che a una differenza del 5% del prezzo tra le due opzioni (10.000€) corrisponde una differenza del 50% della superficie (50mq). Un errore concettuale di questo tipo risulta in distorsioni più marcate in presenza di numerosi criteri (o sottofattori) e numerose opzioni.

La metodologia di attribuzione dei pesi, in questo lavoro, si sviluppa in 3 fasi. Inizialmente il moderatore ha posto al gruppo il seguente quesito:

“Immaginate che esista una centrale termoelettrica le cui caratteristiche siano tali da far sì che il valore ottenuto in ciascun sottofattore sia nullo (un impianto pessimo in tutti gli ambiti). Immaginate di poter migliorare le performances di tale impianto, dal livello peggiore al livello migliore in assoluto, in un solo sottofattore. Quale scegliereste?”

Dopo aver raggiunto un consenso sul sottofattore, si procede a chiedere:

“Fatta eccezione del sottofattore precedentemente selezionato, quale altro sottofattore scegliereste affinché la centrale fittizia migliorasse la sua performance dal livello peggiore al livello migliore?”

In questo modo, si crea una gerarchia tra i sottofattori in ordine di impatto sulla circolarità dell’impiego di acqua.

Successivamente, si attribuisce un punteggio di 100 al primo sottofattore selezionato. Si procede poi a chiedere al gruppo:

“Assumendo che al peso del primo sottofattore selezionato sia attribuito un valore di 100, che valore andrebbe attribuito al peso del <sottofattore>?”

Dove <sottofattore> indica quello di cui si sta quantificando il peso (dal secondo all’ultimo, seguendo l’ordine determinato dal passaggio precedente. Questa fase ha come obiettivo la quantificazione delle “distanze” tra i vari sottofattori; pertanto, ci si aspetta che i punteggi siano decrescenti, in accordo con la gerarchia definita in precedenza. Si sottolinea come la domanda consideri il miglioramento fittizio “dal livello peggiore al livello migliore”, in modo tale che i soggetti che rispondono formulino il proprio giudizio anche sulla base dell’ampiezza dell’intervallo di esistenza dei descrittori di performance.

Per ciascun valore attribuito, si è chiesto al gruppo di confermare i valori precedentemente fissati, eventualmente modificando quanto

determinato in precedenza per riflettere in modo più calzante le “distanze” tra i sottofattori.

L'ultimo passaggio consiste nella normalizzazione dei pesi: siano k_i i valori numerici dei pesi determinati dal gruppo per ciascun sottofattore, con $i = 1, \dots, 7$ il numero del sottofattore considerato, il peso finale per l' i -esimo sottofattore è determinato dalla formula seguente:

$$K_i = \frac{k_i}{\sum_{j=1}^7 k_j} \quad (13)$$

Tabella 8. – **Tabella con i pesi risultanti per ciascun sottofattore**

<i>Sottofattore</i>	<i>Se potessi trasformare la performance dell'impianto fittizio da pessimo a ottimo in un solo sottofattore, quale sceglieresti? Escluso quello che hai appena scelto, quale miglioreresti in seguito?</i>	<i>In che misura quantificherebbe l'oscillazione dal livello peggiore al livello migliore di performance nel SF#, sapendo che è stato assegnato un peso di 100 all'oscillazione dal livello peggiore a quello migliore nel primo sottofattore?</i>	<i>Pesi risultanti</i>
<i>SF5</i>	1	100	33,11%
<i>SF4</i>	2	70	23,18%
<i>SF2</i>	3	50	16,56%
<i>SF1</i>	6	27	8,94%
<i>SF3</i>	7	22	7,28%
<i>SF7</i>	8	18	5,96%
<i>SF6</i>	9	15	4,97%

4. Risultati

A partire dall'analisi delle Dichiarazioni Ambientali con i dati del 2022, per le 24 centrali termoelettriche considerate in questo lavoro (§

3.2), si sono calcolati i descrittori di performance elencati nel § 3.3.1. La Tabella 9 riporta l'elenco degli impianti e i rispettivi descrittori di performance, con evidenziati i rispettivi sottofattori.

I punteggi locali di ciascun sottofattore sono stati ottenuti dando come input i valori dei DP delle centrali alle funzioni di utilità. I rispettivi punteggi sono riportati in Tabella .

Infine, moltiplicando i punteggi locali ai rispettivi pesi, si ottengono i punteggi globali che, sommati, compongono l'Indice di Circolarità. Tali risultati sono mostrati nella Tabella , gli impianti sono ordinati per valori decrescenti dell'Indice.

I primi 5 impianti, in ordine di Indice di Circolarità, sono:

1. G3.
2. D2.
3. D8.
4. G2.
5. A3.

I primi due impianti (G3 e D2) hanno uno scarto di 0,27 punti, mentre gli scarti tra il resto delle centrali migliori sono più ampi. Tutte le prime cinque centrali hanno in comune il punteggio massimo (100) nel SF5 (tasso di consumo idrico). Questo sottofattore è anche quello con il peso maggiore. I primi quattro impianti hanno inoltre un punteggio locale pari a 100 nel SF4 (tasso di riuso interno dell'acqua), l'impianto A3 ha un punteggio nullo.

Gli impianti G3 e A3 impiegano in larga parte acqua recuperata/di secondo utilizzo, e si situano in un contesto di stress idrico di livello 2. Ciò li avvantaggia molto, rispetto agli altri impianti, nel punteggio finale, anche se per A3 ciò non è sufficiente a compensare il basso punteggio nel SF4.

Si nota inoltre come la centrale G3 risulti penalizzata dai SF6 e SF7, poiché non si è riusciti a recuperare le informazioni relative alla temperatura e agli inquinanti negli scarichi. Lo stesso vale per le centrali di G2, D8 e A3 (limitatamente alla concentrazione di inquinanti). Tuttavia, se nel caso della centrale D8 basterebbero 3 punti globali per ottenere la prima posizione nell'elenco, per A3 questi punti non basterebbero per guadagnare una posizione. Se non altro, tale risultato evidenzia come, per migliorare la circolarità nell'uso dell'acqua, l'attenzione andrebbe rivolta

verso un maggior riuso interno dell'acqua trattata (SF4).

Si rileva altresì che le centrali G3, G2, G1 – aventi tutte lo stesso gestore – ottengono dei punteggi elevati per il basso tasso di consumo idrico (SF5), poiché in esse è attivo il sistema di trattamento delle acque reflue *Zero Liquid Discharge* (ZLD), che permette di recuperare l'acqua reflua cosicché l'unico prodotto in uscita dall'impianto sia un rifiuto solido non pericoloso. Anche l'impianto G4, è operato dallo stesso gestore ma è privo del sistema ZLD e ha ottenuto un punteggio sensibilmente inferiore, riflettendo l'importanza che ha il trattamento e il recupero delle acque reflue per la circolarità dell'acqua.

Gli ultimi 9 impianti della classifica (A2, G4, D6, D5, F3, B2, A6, A1, D4) hanno in comune un punteggio negativo nel SF2 (tipo di acqua impiegata): sono infatti centrali che impiegano largamente acqua superficiale o di falda in contesti di livello 2 o 3 di stress idrico. Inoltre, sono tutti caratterizzati da un tasso elevato di consumo di acqua dolce: dal 25,89% (G4) al 68,50% (F3).

Nel complesso, l'Indice di Circolarità dell'uso dell'acqua in impianti termoelettrici che è stato ottenuto risulta adeguato ad una valutazione comparativa di impianti diversi. Scomporlo nelle sue componenti (i punteggi globali dei sottofattori) permette altresì di identificare possibili aree di intervento prioritarie per migliorare la circolarità dell'uso dell'acqua e di individuare aspetti di eccellenza che caratterizzano un impianto ed eventualmente premiare i gestori della centrale. Inoltre, si ritengono degni di nota questi cinque aspetti fondamentali dell'indice:

1. Facilità di applicazione: può essere calcolato anche da personale senza competenze ingegneristiche specifiche.
2. Versatilità: altri gruppi di esperti potrebbero voler rivedere le funzioni di utilità e/o i pesi di ciascun sottofattore, magari per privilegiare maggiormente un sottofattore sulla base di esigenze dettate da un contesto diverso.
3. Modularità: è possibile aggiungere fattori-chiave e sottofattori in modo semplice.
4. Trasparenza: ogni passaggio è ben documentato ed è semplice vedere come tutto concorre a ottenere il risultato finale, i dati sono stati ricavati da fonti aperte e verificabili.

5. Limitazione nel tempo: l'indice può essere calcolato di anno in anno e riflettere gli sforzi di chi gestisce la centrale per un uso più circolare dell'acqua.

Inoltre, per quanto riguarda altri impianti di generazione dell'energia non considerati in questo documento (e.g. impianti fotovoltaici ed eolici), sarebbe possibile calcolare l'Indice di Circolarità, posto che siano disponibili i dati minimi necessari per il computo.

Questo approccio, d'altra parte, non è privo di limitazioni.

I dati impiegati sono stati ricavati dalle Dichiarazioni Ambientali: alcune centrali non sono state incluse in questo rapporto perché nelle rispettive Dichiarazioni i dati erano incompleti. L'anno considerato è il 2022 in quanto quello con il maggior numero di impianti aventi Dichiarazioni Ambientali con tutti i dati necessari, e si è riscontrato come alcuni impianti considerati per l'anno successivo riportassero maggiori lacune di informazioni. Inoltre, per quanto le Dichiarazioni Ambientali siano pubbliche e verificate da enti terzi, riportano informazioni non sempre chiare. A titolo esemplificativo: un impianto riceve in input una quota sostanziale di acqua da un consorzio di bonifica che serve tutta l'area industriale limitrofa. È stata necessaria una ricerca *ad hoc* per determinare se tale acqua fosse prelevata dal bacino idrico nei pressi della città, o fosse acqua proveniente dalle varie industrie, trattata, e riciclata nell'impianto termoelettrico. Una terminologia standardizzata, eventualmente corredata da un glossario, sarebbe senza dubbio utile per confrontare centrali diverse e per estrapolare i dati necessari alla costruzione dell'Indice di Circolarità.

Infine, questo lavoro si è avvalso delle Dichiarazioni Ambientali come fonte dei dati, dei documenti prodotti su base volontaria da parte dei gestori delle centrali. Ciò è un vantaggio, perché sono documenti verificati da enti terzi e perché il loro impiego riduce di molto i tempi per la raccolta delle informazioni (sarebbe stato impossibile analizzare tutti questi impianti se si fossero dovute organizzare delle interviste ad-hoc ai gestori delle centrali), tuttavia, come accennato in precedenza, è altamente improbabile che sia reso pubblico un documento dal quale emergono delle criticità nell'operazione degli impianti di una centrale. In tal senso, utilizzare come fonte le Relazioni Annuali di esercizio (la cui redazione è obbligatoria) sarebbe preferibile. Si è riscontrato,

tuttavia, che queste ultime sono di difficile reperibilità dal sito del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, a causa della loro mancata indicizzazione nel portale online.

Riassumendo, l'Indice di Circolarità qui elaborato non richiede competenze specifiche per poter essere compilato e interpretato, offre indicazioni chiare e concise sui vari aspetti che impattano la circolarità dell'uso dell'acqua, risultando così uno strumento utile a supporto delle Istituzioni, dei gestori di impianto, o dei portatori di interesse in generale per identificare le linee di maggiore efficacia verso cui indirizzare sforzi e risorse per rendere maggiormente circolare l'uso dell'acqua.

Tabella 9. – Valori dei descrittori di performance degli impianti considerati

SF1		SF2					SF3	SF4	SF5	SF6	SF7
IMPIANTO	(m³/ MWh)	Recuperata/ secondo utilizzo	Marina	Piovana	Superficiale	Di falda	(m³/M Wh)	(%)	(%)	(°C)	AIA
A1	91,725	—	—	—	0,002	0,998	0,197	0%	44,85%	13,83	—
A2	86,299	0,000	—	—	0,001	0,999	0,115	49%	31,47%	15,37	—
A3	0,005	0,456	0,279	—	0,229	—	0,005	0%	0,00%	12,50	—
A4	78,879	—	—	—	—	1,000	0,001	0%	0,00%	15,67	—
A5	0,949	—	—	0,994	0,006	—	0,949	0%	49,35%	16,69	—
A7	184,127	0,001	—	—	—	0,999	0,146	78%	34,04%	—	—
A6	125,212	—	—	—	0,003	0,997	0,340	0%	41,27%	14,73	—
B2	0,875	—	—	—	—	0,991	0,875	0%	34,63%	—	—
D4	145,069	—	—	—	—	1,000	0,316	0%	61,16%	15,01	0
D6	1,006	—	—	—	—	0,998	1,006	0%	33,86%	16,54	1
D8	0,018	0,000	—	1,000	—	—	0,018	100%	0,00%	13,28	—
D5	6,450	0,019	—	—	—	1,000	6,450	9%	23,63%	18,44	—
D1	4,484	—	—	0,998	0,002	—	4,484	0%	7,84%	12,80	—
D2	0,097	0,001	0,000	1,000	0,000	0,000	0,097	100%	0,00%	11,99	1
F1	0,038	—	—	—	—	—	0,038	0%	40,82%	18,00	0
F3	0,032	—	—	—	1,000	—	0,032	0%	68,50%	—	2
E1	69,707	—	—	—	0,004	0,995	0,325	0%	0,00%	15,70	—
E2	0,222	0,387	—	—	0,644	—	0,222	100%	52,72%	—	1
E3	0,220	0,196	—	—	0,811	—	0,220	100%	51,40%	—	2
E4	125,602	—	—	—	0,000	1,000	0,101	0%	0,00%	—	0
G1	0,025	—	0,276	—	0,691	—	0,025	0%	0,00%	—	—
G2	0,028	0,025	0,025	—	0,914	—	0,028	100%	0,00%	—	—
G3	0,036	0,964	—	—	0,964	—	0,036	100%	0,00%	—	—
G4	1,185	—	—	—	—	1,000	1,185	0%	25,89%	14,85	—

Tabella 10. – **Punteggi ottenuti dagli impianti in ciascun sottofattore**

IMPIANTO	SF1	SF2	SF3	SF4	SF5	SF6	SF7
A1	22,76	– 12,836	87,85	–	22,12	80	–
A2	24,57	– 12,787	89,66	49	34,24	–	–
A3	99,22	90,329	99,48	–	100,00	80	–
A4	27,04	– 12,857	99,89	–	100,00	–	–
A5	70,86	95,872	71,14	–	18,52	–	–
A7	3,17	– 12,647	88,97	78	31,15	–	–
A6	14,96	– 12,830	84,66	–	24,98	80	–
B2	72,09	– 12,738	72,78	–	30,44	–	–
D4	10,99	– 12,857	85,20	–	9,71	–	100
D6	69,99	– 8,553	69,98	–	31,37	–	80
D8	97,34	85,747	98,23	100	100,00	80	–
D5	57,89	– 6,096	51,83	9,325	43,64	–	–
D1	62,26	64,206	58,39	–	68,66	80	–
D2	85,48	85,857	90,32	100	100,00	60	80
F1	94,34	–	96,23	–	25,35	–	100
F3	95,17	– 2,857	96,78	–	7,88	–	60
E1	30,10	– 12,810	85,01	–	100,00	–	–
E2	82,96	51,560	87,28	100	15,83	–	80
E3	83,01	25,670	87,34	100	16,88	–	60
E4	14,88	– 12,855	89,97	–	100,00	–	100
G1	96,32	32,753	97,55	–	100,00	–	–
G2	95,77	4,191	97,18	100	100,00	–	–
G3	94,58	126,728	96,39	100	100,00	–	–
G4	69,59	– 8,568	69,38	–	40,93	80	–

Tabella 11. – **Punteggi globali delle centrali oggetto dello studio e Indice di Circolarità risultante**

IMPIANTO	SF1	SF2	SF3	SF4	SF5	SF6	SF7	IC
G3	8,46	20,98	7,02	23,18	33,11	–	–	92,75
D2	7,64	14,21	6,58	23,18	33,11	2,98	4,77	92,48
D8	8,70	14,20	7,16	23,18	33,11	3,97	–	90,32
G2	8,56	0,69	7,08	23,18	33,11	–	–	72,63
A3	8,87	14,96	7,25	–	33,11	3,97	–	68,16
E2	7,42	8,54	6,36	23,18	5,24	–	4,77	55,50
G1	8,61	5,42	7,11	–	33,11	–	–	54,25
E3	7,42	4,25	6,36	23,18	5,59	–	3,58	50,38
D1	5,57	10,63	4,25	–	22,73	3,97	–	47,16
E4	1,33	– 2,13	6,55	–	33,11	–	5,96	44,83
A4	2,42	– 2,13	7,28	–	33,11	–	–	40,68
E1	2,69	– 2,12	6,19	–	33,11	–	–	39,88
A5	6,33	15,87	5,18	–	6,13	–	–	33,52
A7	0,28	– 2,09	6,48	18,00	10,32	–	–	32,99
F1	8,43	–	7,01	–	8,39	–	5,96	29,80
A2	2,20	– 2,12	6,53	11,29	11,34	–	–	29,24
G4	6,22	– 1,42	5,05	–	13,55	3,97	–	27,38
D6	6,26	– 1,42	5,10	–	10,39	–	4,77	25,09
D5	5,18	– 1,01	3,78	2,16	14,45	–	–	24,55
F3	8,51	– 0,47	7,05	–	2,61	–	3,58	21,27
B2	6,44	– 2,11	5,30	–	10,08	–	–	19,72
A6	1,34	– 2,12	6,17	–	8,27	3,97	–	17,63
A1	2,03	– 2,13	6,40	–	7,32	3,97	–	17,61
D4	0,98	– 2,13	6,21	–	3,21	–	5,96	14,24

5. Conclusioni

In questo lavoro si è costruito e applicato un indice composito di circolarità dell'uso dell'acqua a 24 centrali termoelettriche attive nel territorio italiano, utilizzando dati provenienti dalle Dichiarazioni Ambientali del 2022 (fonti pubbliche e verificabili), e traducendo i descrittori di performance in punteggi locali tramite funzioni di utilità specifiche per ciascun sottofattore. I punteggi locali sono stati infine aggregati mediante un sistema di pesi, ottenuto mediante l'intervista di un gruppo di esperti.

La matrice dei pesi riflette la priorità assegnata al tasso di consumo idrico (SF5, 33,11%) e al riuso interno (SF4, 23,18%), seguiti da tipologia di fonte idrica con aggiustamento per stress (SF2, 16,56%); gli altri sottofattori contribuiscono in misura minore, ma non trascurabile. Questa taratura rende l'indice sensibile alle leve tecniche più efficaci per ridurre i prelievi e incrementare l'uso ciclico interno.

I risultati mostrano una graduatoria guidata da G3, D2, D8, G2 e A3. Tra i primi due lo scarto è contenuto (0,27 punti), mentre i distacchi successivi sono più ampi. Le prime cinque centrali condividono un punteggio massimo in SF5, e le prime quattro anche 100 in SF4 (A3 presenta punteggio nullo in SF4).

Un elemento qualificante dell'approccio è l'integrazione del contesto idrico locale nel SF2: la funzione di utilità combina la tipologia di acqua impiegata con un sistema bonus/malus per livelli crescenti di stress idrico. La scala è aperta (possono occorrere valori negativi), scelta che enfatizza la preferibilità di fonti più circolari (acqua recuperata, marina e piovana) in aree più critiche e penalizza l'impiego di risorse pregiate (acqua superficiale, di falda).

L'analisi evidenzia anche limiti informativi. In più casi i punteggi di SF6-SF7 non risultano disponibili (assenza di dati sullo scarico termico e/o sugli inquinanti), con conseguente riduzione della completezza valutativa per alcuni impianti. Il quadro è comunque sufficiente a fornire una comparazione trasparente e replicabile tra siti.

Le leve che sostengono le migliori performance sono: (1) riduzione del consumo e chiusura dei cicli interni (SF5, SF4), (2) scelta della fonte orientata a opzioni più circolari, soprattutto in contesti ad alto stress

idrico (SF2). A valle di questa prima applicazione, tre passi rafforzerebbero ulteriormente l'utilità dello strumento:

- a. migliorare copertura e qualità dei dati per SF6-SF7;
- b. documentare in modo esplicito la base dati e l'assegnazione spaziale dello stress idrico adottata nel SF2;
- c. condurre una sensibilità su pesi e forme delle utilità per testare la robustezza del ranking. Queste azioni sono coerenti con l'impostazione metodologica assunta e ne accrescerebbero l'affidabilità applicativa nel tempo.

Nel complesso, l'Indice proposto fornisce un quadro sintetico ma informativo della circolarità idrica nel termoelettrico italiano, distinguendo i contributi di tecnologie, gestione e contesto territoriale. La struttura a DP, utilità e pesi consente tracciabilità del giudizio e offre una base solida per benchmark, priorità di intervento e aggiornamenti periodici.

Finito di stampare nel mese di gennaio 2026
nella LegoDigit s.r.l. – Via Galileo Galilei, 15/1
38015 Lavis (TN)

