

Direttore

Sergio PINNA

Università degli Studi di Pisa

Comitato scientifico

Carlo DA POZZO

Università degli Studi di Pisa

Carmelo FORMICA

Università degli Studi di Napoli Federico II

Jean-Pierre LOZATO-GIOTART

Université Sorbonne Nouvelle Paris 3

Luigi MARIANI

Università degli Studi di Milano

Giuseppe SCANU

Università degli Studi di Sassari

AMBIENTE FISICO E TERRITORIO

La Geografia è la disciplina che studia le relazioni fra uomo e ambiente; essa si propone quindi di osservare e classificare i molteplici fatti e fenomeni – fisici e antropici – che si sviluppano sulla superficie terrestre, per arrivare a un'interpretazione relativa all'organizzazione che le società umane hanno dato, o progettano di dare, al territorio. Questa collana vuole pertanto accogliere testi con contenuti di geografia umana e di geografia fisica, in quanto entrambi indispensabili per realizzare tale analisi interpretativa e poter così spiegare i processi sociali, economici e culturali che caratterizzano il territorio stesso.

Classificazione Decimale Dewey:

333.794 (23.) RISORSE DI ENERGIA RINNOVABILI

Soggetto:

THV. Fonti di energia alternative e tecnologie per le risorse rinnovabili

Qualificatore:

3MR. XXI secolo, 2000-2100

CARMELO FORMICA

LE FONTI DI ENERGIA ALTERNATIVE NELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA

**IMPLICAZIONI AMBIENTALI, ETICHE,
GIURIDICHE, POLITICHE, GEOPOLITICHE**





ISBN
979-12-218-2482-7

PRIMA EDIZIONE
ROMA 28 OTTOBRE 2026

INDICE

11 CAPITOLO I

Fonti di energia e transizione energetica

1. L'energia come parametro di sviluppo, 11 – 2. Il concetto di risorse e riserve in economia, 15 – 3. Risorse rinnovabili, risorse non rinnovabili e risorse globali, 17 – 4. L'energia, riscaldamento globale e impatti ambientali, 18 – 5. Riscaldamento globale e protocollo di Kyoto, 21 – 6. I costi economici e umani della transizione energetica, 23 – 7. Bisogni energetici dell'umanità futura e transizione energetica, 27

35 CAPITOLO II

Dalla transizione energetica allo sviluppo sostenibile

1. Dalla transizione energetica alla transizione ecologica, 35 – 2. Tecnologia per processi di resilienza e adattamento, 40 – 3. La transizione ecologica: un imperativo categorico non indilazionabile, 44 – 4. Modelli di consumo e produzione nella transizione ecologica, 46 – 5. Crescita economica e sviluppo: concetti di diverso contenuto, 50 – 6. Il nuovo concetto di sviluppo sostenibile: equo, solidale e giusto, 51 – 7. Verso un nuovo assetto geopolitico: dai Petro-Stati agli elettro-Stati, 58

65 CAPITOLO III

Fonti di energia non rinnovabili e loro impatto ambientale

1. Il carbon fossile: protagonista della prima rivoluzione industriale, 65 – 2. Il carbone ancora oggi è la principale fonte di energia, 69 – 3. Gli idrocarburi: composti di carbonio e ossigeno, 72 – 4. I maggiori Paesi produttori e consumatori di petrolio e gas, 74 – 5. Il diverso ruolo di petrolio e gas nella transizione energetica, 79 – 6. Il ruolo svolto dall'ENI, con Enrico Mattei, nel mercato petrolifero mondiale, 81 – 7. Nascita e politica dell'OPEC: Organizzazione dei Paesi Esportatori di Petrolio, 83 – 8. L'energia nucleare: molto rischiosa, sebbene apparentemente pulita, 87 – 9. I maggiori Paesi produttori di energia nucleare, 92

99 **CAPITOLO IV**

L'energia idrica e idroelettrica

1. L'energia dei fiumi e la ruota idraulica, 99 – 2. La rivoluzione prodotta dall'avvento dell'energia idroelettrica, 103 – 3. Tipologie delle centrali idroelettriche, 104 – 4. Le aree più favorevoli per la produzione idroelettrica, 108 – 5. Potenzialità e attualità dell'industria idroelettrica a scala mondiale, 110 – 6. Potenzialità e produzione d'energia idroelettrica in Europa e in Italia, 113 – 7. Le grandi dighe trattengono il 50% del deflusso idrico globale, 116

119 **CAPITOLO V**

Controllo delle acque e idroconflitti

1. I vantaggi delle grandi dighe: acqua più regolare e difesa dalle esondazioni, 119 – 2. Impatti ambientali delle grandi dighe: interrimento, cedimento, erosione dei litorali, 123 – Grandi dighe e impatti sociali: trasferimenti forzati e negazione dei diritti umani, 128 – 4. Dighe e conflitti per le acque transfrontaliere di fiumi e laghi, 132 – 5. Il controllo delle acque del sottosuolo, 136 – 6. La privatizzazione delle acque: l'acqua petrolizzata e i «futures», 138 – 7. Idroconflitti tra città e campagna: il caso degli Stati Uniti di Sud-Ovest, 142 – 8. Gli scenari idrici nei prossimi decenni: metà dell'umanità assetata, 147 – 9. Risorse idriche inutilizzabili per l'inquinamento e mafie dell'acqua, 150

155 **CAPITOLO VI**

Gli idroconflitti in Africa e nel Vicino Oriente

1. Gli idroconflitti del passato e quelli in atto, 155 – 2. Gli idroconflitti tra Egitto, Sudan ed Etiopia per le acque del Nilo, 157 – 3. Gli idroconflitti nel Sahel e nel resto dell'Africa, 162 – 4. Gli idroconflitti nel Vicino Oriente, dove fiorì la prima civiltà idraulica, 165 – 5. Gli idroconflitti per le acque del Giordano, 166 – 6. Gli idroconflitti tra Turchia, Iraq e Siria per le acque del Tigri-Eufrate, 171 – 8. Un caso emblematico: i piccoli Stati del Golfo Persico, 178

181 **CAPITOLO VII**

Gli idroconflitti in Asia del Sud e del Sud-Est

1. La posizione strategica della Cina nel controllo dei fiumi tibetani, 181 – 2. Gli idroconflitti tra Cina e Sud-Est asiatico per il fiume Mekong, 185 – 3. Sul Mekong molte più dighe che città, 189 – 4. La catena di dighe minaccia la scomparsa del delta del Mekong, 192 – 5. Gli idroconflitti tra India e Cina per il Brahmaputra, 197 – 6. Gli idroconflitti tra India e Pakistan per l'Indo, 205 – 7. Gli idroconflitti tra India e Bangladesh per il Brahmaputra, 214

217 CAPITOLO VIII

Gli idroconflitti nell'Asia Centrale

1. Il ruolo della Sinohydro Corporation nell'idropolitica della Cina, 217 – 2. La tragedia del Lago d'Aral sotto il regime sovietico, 218 – 3. Paesi a monte e a valle: Kirghizistan e Tagikistan contro Kazakistan, Uzbekistan e Turkmenistan, 221 – 4. Il pallino idropolitico passa ora nelle mani della Russia?, 227 – 5. Necessità impellente: creare una governance di scala globale, 231

235 CAPITOLO IX

L'energia geotermica

1. L'interno della Terra: un'immensa fonte di calore, 235 – 2. La Terra: motore termico che invia flussi di energia all'esterno, 236 – 3. Risorse geotermiche ad alta, media e bassa entalpia, 239 – 4. Tipologie di centrali geotermoelettriche, 243 – 5. Geotermia a bassa entalpia e sistemi geotermici artificiali, 245 – 6. La produzione di energia geotermoelettrica in Europa, 249 – 7. Gli Stati Uniti: primi produttori di elettricità geotermica, 251 – 8. Le potenzialità geotermiche dell'America Latina, 253 – 9. Il potenziale geotermico nelle isole del «Pacific Rim», 257 – 10. L'energia geotermica nell'East African Rift System e nel resto del mondo, 264 – 11. L'impatto ambientale delle centrali geotermiche, 267 – 12. La geotermia a medio-bassa entalpia: terme e teleriscaldamento, 270 – 13. L'uso della geotermia a bassa entalpia per l'agricoltura e l'acquacoltura, 272 – 14. La minigeotermia per il condizionamento degli ambienti domestici, 274

277 CAPITOLO X

L'energia solare

1. Il Sole: causa prima di tutte le fonti di energia, 277 – 2. Il potenziale elettrico globale dell'energia solare, 279 – 3. Un'energia inesauribile, gratuita e sicura, 283 – 4. Nel futuro il Sole potrebbe eliminare la povertà, 284 – 5. Le utilizzazioni più semplici d'energia solare: saline, lastre di vetro e distillatori, 287 – 6. I pannelli solari ad uso domestico, 290 – 7. Le celle fotovoltaiche e i grandi parchi fotovoltaici, 292 – 8. L'Europa tra i maggiori produttori mondiali di energia solare, 296 – 9. Le centrali termosolari a «concentrazione», 298 – 10. Le torri solari: impianti che sfruttano l'effetto serra, 300 – 11. Progetti solari avveniristici: Desertec Foundation e centrali orbitanti, 302 – 12. Le centrali solari orbitali: verso la militarizzazione dello spazio?, 306

311 CAPITOLO XI

L'energia mareomotrice o energia blu

1. Il mare: enormi masse che si rimescolano generando energia, 311 – 2. L'energia ricavata dalle onde, 314 – 3. L'energia ricavata dalle maree, 322 – 4. L'energia ricavata dalle correnti marine, 325 – 5. L'energia talassotermica

o energia OTEC, 330 – 6. L'energia osmotica o a gradiente salino, 331 – 7. L'impatto ambientale delle centrali mareomotrici, 334

337 CAPITOLO XII

L'energia eolica

1. La circolazione planetaria dei venti, 337 – 2. Potenzialità e produzione di energia eolica a scala mondiale, 340 – 3. La tipologia degli aerogeneratori, 343 – 4. I parchi eolici o fattorie del vento on shore, offshore e nearshore, 347 – 5. La batteria oceanica: energia marina accumulata con la forza del vento, 354 – 6. I progetti avveniristici: l'eolico d'alta quota o troposferico, 356 – 7. Impatto ambientale degli impianti eolici, 359 – 8. Puntare più sull'energia eolica o su quella solare?, 361 – 9. Energia dall'acqua, dal vento e dal sole per l'idrogeno verde, 363

369 CAPITOLO XIII

Energia ricavata dalla biomassa

1. La più sofisticata forma di accumulo d'energia solare, 369 – 2. Il legno come fonte di calore: il teleriscaldamento, 370 – 3. La filiera delle coltivazioni agricole: i biocarburanti, 376 – 4. La filiera dei rifiuti e degli scarti: il biogas, 381 – 5. L'impatto dell'energia da biomassa sull'ambiente e sulla salute, 384 – 6. Energia da biomassa, land grabbing e problemi etico-sociali, 385 – 7. Un caso emblematico: il deserto lasciato dalle palme da olio, 391 – 8. Il manifesto delle bioenergie, 394

397 CAPITOLO XIV

Conclusioni: energia e futuro del pianeta

1. Inquinamento atmosferico: piogge acide, danni alla salute e agli ecosistemi, 397 – 2. Cambiamenti climatici e scenari apocalittici, 400 – 3. Cambiamenti climatici e assetti territoriali in Europa, 402 – 4. Come scongiurare scenari così catastrofici per le generazioni future?, 405 – 5. La decarbonizzazione energetica non basta per salvare il pianeta, 407 – 6. Massimizzare l'economia circolare per un nuovo paradigma ecologico, 411 – 7. Lo sviluppo sostenibile come decrescita felice?, 418 – 7. Globalizzazione o decrescita felice: due processi entrambi in fase critica, 423 – 9. Il glocalismo: una via di mezzo tra globalizzazione e localismo, 431

CAPITOLO I

FONTI DI ENERGIA E TRANSIZIONE ENERGETICA

1. L'energia come parametro di sviluppo

L'energia è una realtà difficile da definire perché si manifesta in forme e dimensioni diverse, talvolta non percepite dai nostri sensi o, apparentemente, senza alcun rapporto tra loro. Tutta la materia, in effetti, è energia altamente concentrata. Essa, cioè, è costituita da atomi soggetti a quattro forze: forza gravitazionale, in virtù della quale tutti i corpi materiali si attirano reciprocamente; forza elettromagnetica attrattiva e repulsiva, che è prodotta dalle cariche elettriche; forza nucleare debole, che agisce all'interno dei nuclei atomici ed è responsabile della radioattività; forza nucleare forte, che agisce anch'essa all'interno dei nuclei atomici e tiene assieme protoni e neutroni.

La materia, in breve, si comporta come un magazzino di diverse forme di energia (cinetica e potenziale) e ognuna delle sue trasformazioni rappresenta un mutamento dell'energia. Senza energia, quindi, nulla potrebbe esistere e gli stessi uomini, come esseri coscienti e spirituali, sono una realizzazione estremamente complessa, sottile e interattiva di energia. Essi, nel corso della loro storia, hanno realizzato vari tipi di macchine capaci di produrre energia o, meglio, di trasformare l'energia nella forma più utile alle loro necessità. Da questo punto di vista, pertanto, gli uomini possono considerarsi come macchine che «bruciano combustibili» per ottenere l'energia necessaria per la loro vita biologica.

L'energia, insomma, rappresenta il motore dell'economia e costituisce uno degli strumenti fondamentali per la vita dell'uomo. L'industria ne consuma una grande quantità sia per azionare i macchinari che per produrre i beni di consumo; ma, oltre all'industria, ogni altro aspetto della civiltà moderna si fonda su un impiego massiccio di energia. Così scrivono Piero Angela e Lorenzo Pinna: «Siamo talmente abituati a schiacciare un bottone e veder partire una lavatrice, un ascensore, un registratore, una motocicletta, o anche una sonda interplanetaria, che difficilmente riusciamo ad immaginare cosa vorrebbe dire vivere senza energia... Se si riflette sul ruolo determinante di questa rete di tecnologie ed energie che fa da supporto ad una società avanzata, ci si rende conto che è difficilissimo ormai produrre le cose per proprio conto, e rendersi indipendenti dal sistema tecno-energetico»⁽¹⁾.

È sufficiente un breve «black-out», cioè una temporanea interruzione nell'erogazione di energia, per paralizzare la vita di intere città, creando gravi disagi e danni: gli ascensori dei condomini e degli alti grattacieli si bloccano, lasciando nel panico le persone che vi sono rinchiusi, i treni si fermano, i servizi telematici si disattivano, togliendo la possibilità di comunicare e trasmettere informazioni, la vita di persone sotto interventi chirurgici è messa in pericolo. Un «black-out» piuttosto prolungato, oltre a gravi disservizi, può provocare anche notevoli danni ai cibi refrigerati o ai tipi di farmaci che devono essere tenuti a bassa temperatura e che, in assenza di tali condizioni, si alterano e diventano tossici, con conseguenze negative sulla salute. La città con il territorio circostante, che soprattutto nel passato era sede di forti concentrazioni industriali, è sempre stata il luogo specifico, fisicamente circoscritto, in cui si dispiegano gli usi energetici ed i loro effetti sull'economia, sull'ambiente, sulla cultura e sulla società in generale⁽²⁾.

L'evoluzione umana e il corso della storia, sotto alcuni aspetti, sono guidati da una continua ricerca di procedimenti per controllare

(1) ANGELA P. - PINNA L., *La sfida del secolo*, Milano, Mondadori, 2006, pp. 1-9.

(2) DE PASCALI P., *Città ed energia. La valenza energetica dell'organizzazione insediativa*, Milano, Franco Angeli, 2008; COLOMBO R., *Energia. Storia e scenari*, Roma, Donzelli, 2000; COLOMBO R. (a cura di), *Città Energia. Atti del Convegno Nazionale*, Brienza, Edizione Le Penseur, 2012; MUNDULA L. (a cura di), *Energia della e per la città*, Cagliari, UNICA PRESS, 2021; BATTISTON R., *Energia. Una storia di creazione e distruzione*, Milano, Raffaello Cortina Editore, 2025.

depositi e flussi di sempre più concentrate e sempre più versatili fonti di energia per convertirle, in modalità più accessibili, a costi più bassi e con efficienza maggiore, in calore, luce e movimento. Václav Smil così scrive: «I progressi della civiltà possono essere interpretati come la ricerca di un maggiore uso di energia, necessaria per produrre maggiori quantità di cibo, per mobilitare una maggiore produzione e varietà di materiali, per produrre un numero maggiore e più diversificato di beni, per consentire una maggiore mobilità e per dare accesso a una quantità virtualmente illimitata di informazioni»⁽³⁾.

Il consumo pro capite di energia, infatti, mostra una stretta correlazione con il prodotto interno lordo di una comunità umana e perciò costituisce uno dei parametri principali con cui gli economisti e i sociologi misurano il grado di sviluppo di un Paese. In base a ciò, infatti, il mondo è stato diviso in due grandi blocchi: Paesi sviluppati e Paesi sottosviluppati o, come oggi si preferisce dire, in via di sviluppo.

Il blocco dei Paesi sviluppati, detto anche Nord del Mondo, comprende l'insieme dei Paesi situati quasi tutti nella cosiddetta «fascia energetica», cioè nella zona dell'emisfero settentrionale che va dall'America settentrionale al Giappone, in cui si consuma l'80-85% dell'energia meccanica mondiale. Il blocco dei Paesi sottosviluppati o in via di sviluppo, invece, abbraccia il resto del mondo, con esclusione dell'Australia e della Nuova Zelanda. Per avere un'idea della differenza che separa questi due blocchi, basta notare che la Norvegia consuma in media 25.000 kWh/anno pro capite, mentre il consumo medio di molti Paesi africani (Angola, Benin, Congo, Costa d'Avorio, Repubblica Democratica del Congo, Kenya, Nigeria, Senegal, Sudan, Tanzania, Eritrea, Etiopia) oscilla tra 50 e 200 kWh/anno.

(3) SMIL V., *Energia e civiltà. Una storia*, Milano, Feltrinelli, 2021; IDEM, *I numeri non mentono: brevi storie per capire il mondo*, Torino, Einaudi, 2021; IDEM, *Come funziona davvero il mondo. Energia, cibo, ambiente, materie prime: le risposte della scienza*, Torino, Einaudi, 2023; PAGNOTTA G., *Prometeo a Fukushima. Storia dell'energia dall'antichità ad oggi*, Torino, Einaudi, 2020; MANI F., *La storia dell'energia nell'avventura umana. Il costo del progresso e l'illusione dell'energia pulita*, Firenze University Press, 2024; VIANELLO A.-ZANCANI M., *In principio era l'energia. Storia dell'evoluzione energetica della vita*, Sesto San Giovanni, Maltemi, 2024; FIORITO G., *L'energetica dell'ossimorico. Breve storia dell'energia. Dicotomie. Sentieri e possibili speranze*, Roma, Palombi & Partner, 2024; SMILL V., *Invenzione e innovazione. Breve storia di entusiasmi e fallimenti*, Milano, Hoepli, 2024.



Fig. 1. Veduta notturna delle città maggiori e delle grandi agglomerazioni urbane dell'Europa. Le grandi metropoli sono grosse consumatrici di elettricità, necessaria sia per i bisogni domestici che per i sistemi di trasporto collettivo, per le industrie e per ogni altro tipo di attività. Un improvviso black out elettrico, oltre a generare panico e disagi tra la popolazione, paralizza quindi tutta la vita urbana e l'apparato produttivo. Il consumo pro capite di elettricità presenta i valori massimi nell'America settentrionale e nell'Europa Scandinava, dove il consumo individuale supera anche più di cento volte quello di molti Paesi africani e asiatici. Si passa, infatti, da circa 53.000 kWh in Islanda e da 25.000 kWh in Norvegia ad appena 7-8 kWh nel Ciad in Africa e nell'Afghanistan in Asia. Esiste, insomma, una forte correlazione tra bassi consumi energetici e bassi redditi, per cui ci si domanda se sia la povertà a richiedere poca energia o la carenza di energia a generare povertà. Per molti Paesi la seconda ipotesi sembra più rispondente alla realtà. Oltre il 30% della popolazione mondiale, infatti, è senza elettricità. La situazione è particolarmente grave in Africa, dove in molti Paesi la popolazione ne è priva o scarsamente servita con percentuali inaccettabili che arrivano fino al 90% (Fonte: <https://giorgiosonnante.altervista.org/geografia/umana/urbs/conurbazioni-europa.html>).

Più del 10% della popolazione mondiale, concentrata in massima parte nell'Africa subsahariana e in Asia, è ancora senza elettricità e circa 2,3 miliardi di persone in queste due parti del mondo consumano combustibili e tecnologie inquinanti per cucinare. L'uso di biomasse tradizionali per le necessità domestiche, pertanto, obbliga i componenti delle famiglie, soprattutto donne e bambini, a trascorrere fino a 40 ore la settimana per raccogliere legna da ardere e cucinare, con conseguenze gravi sulla produttività del lavoro femminile e sulla scolarità minorile.

La mancanza di elettricità, tuttavia, non sempre è correlata alla carenza di fonti energetiche, ma alle condizioni socio-culturali di un popolo e, pertanto, alla carenza di adeguate conoscenze tecniche che impediscono di valorizzare le proprie risorse tramutandole in riserve: cioè in beni effettivamente utilizzabili. Per esempio l'Africa, che è un continente ricchissimo di risorse energetiche e di altre importanti materie prime, è anche il continente con il più alto tasso di povertà energetica: possiede il 16% della popolazione mondiale, ma consuma soltanto il 6% dell'energia globale e il 3% dell'energia elettrica⁽⁴⁾.

2. Il concetto di risorse e riserve in economia

Per «risorse», in senso economico, si intendono tutti gli elementi dell'ambiente fisico che sono utili per soddisfare i bisogni dell'uomo, sia materiali che spirituali. Non tutte le risorse, però, possono essere utilizzate dall'uomo. Molte di esse, in effetti, restano solo allo stato potenziale e non vengono sfruttate per motivi diversi: o perché non si

(4) La povertà energetica dell'Africa, che affligge quasi un miliardo di persone, di cui 600 milioni non hanno accesso all'energia elettrica, dipende dal fatto che il 75% del petrolio e il 40% del gas estratti quotidianamente sono esportati. Tra gli scritti più recenti sui problemi energetici dell'Africa cfr.: COLOMBO E., *Energia e sviluppo: persone e innovazione nel futuro energetico*, in «Atlantide», novembre 2020; SPERONELLO E., *La questione energetica africana*, in «ilbolive.unipd.it», 6 luglio 2020; LAPEGNA A., *La transizione energetica dell'Africa: tra sfide demografiche ed energia pulita*, in «Aspeniaonline», 26 agosto 2024; MARTIN P., *Si fa presto a dire transizione: per buona parte dell'Africa l'energia elettrica è un miraggio*, in «Domani», 21 dicembre 2023; DATO P., *Le esigenze dell'Africa sono trascurate nella ricerca sulle transizioni energetiche?*, in «Clean Air Task Force», 7 giugno 2023; NAIM M., *Chi finanzia lo sviluppo energetico dell'Africa?*, in «Linkiesta», 16 aprile 2024; TOMADA F., *L'Africa e la sua energia*, in «Focus on Africa», 11 giugno 2024; CAMOIN C., *L'Africa e la sfida energetica: tra l'urgenza di decarbonizzare e l'imperativo dell'industrializzazione*, in «Africa e Affari», 29 gennaio 2026.

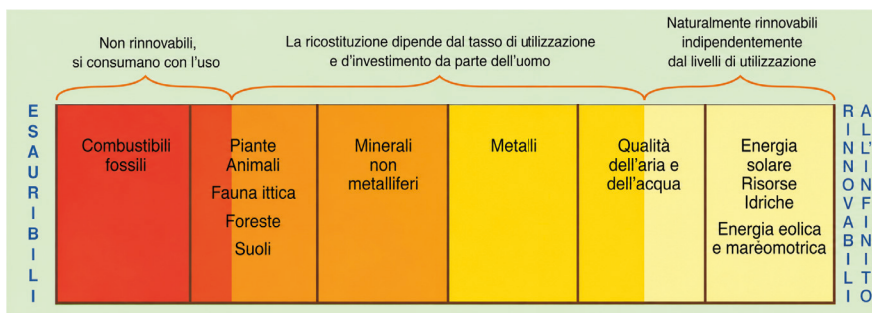


Fig. 2. La figura illustra le categorie di risorse naturali rinnovabili e non rinnovabili. Essa mostra come anche le risorse teoricamente rinnovabili, cioè metalli e minerali non metalliferi, i quali si formano in tempi geologici lunghissimi non comparabili con l'intensità dello sfruttamento fatto dall'uomo, in effetti sono da considerarsi esauribili. Così anche l'acqua e l'aria, teoricamente rinnovabili, possono subire deterioramenti tali che, sebbene siano quantitativamente disponibili, di fatto qualitativamente sono poco utilizzabili o addirittura dannose (Fonte della figura: Formica C., *Lo spazio geoeconomico. Struttura e problemi*, Torino, Utet, 2012).

possiedono i mezzi tecnici per utilizzarle o perché non si ha la convenienza economica o perché non se ne conoscono le reali applicazioni.

La litosfera, per esempio, racchiude oltre 2.000 tipi di minerali e la biosfera ospita un'immensità di organismi viventi: finora gli scienziati hanno individuato e classificato oltre un milione di specie animali e 250.000 specie vegetali. Eppure l'uomo sfrutta solo un centinaio di minerali per l'attività industriale ed un numero ancora minore di piante e di animali per la sua alimentazione.

Per «riserve», invece, si intendono le risorse che l'uomo è effettivamente in grado di utilizzare in maniera economicamente conveniente. Molti minerali ora conosciuti soltanto dal punto di vista scientifico, pertanto, potranno diventare riserve se i progressi della tecnologia consentiranno di poterne ricavare prodotti utilizzabili per l'industria, così come molte specie di piante e di animali, che ora si trovano allo stato selvatico, potranno diventare risorse e quindi potranno essere coltivate e allevate, se si scoprirà che esse possono fornire sostanze commestibili o utilizzabili, per esempio, nell'industria farmaceutica.

Risorse e riserve, pertanto, sono due categorie non statiche, ma intercambiabili a seconda dei tempi e degli ambienti. Le risorse, cioè, possono

tramutarsi in riserve quando l'uomo è in grado di utilizzarle in maniera economicamente conveniente. Perché una risorsa diventi riserva, in altri termini, occorrono soprattutto le seguenti condizioni: conoscenza delle tecnologie adatte (*know how*) alla sua valorizzazione, capitali necessari alla sua utilizzazione, non sostituibilità con altre risorse e richieste di mercato tali da consentire un suo sfruttamento con ricavi superiori ai costi di produzione⁽⁵⁾.

3. Risorse rinnovabili, risorse non rinnovabili e risorse globali

Sotto l'aspetto della loro utilizzazione, le risorse naturali si dividono in due categorie fondamentali: rinnovabili e non rinnovabili.

Sono «non rinnovabili» le risorse che si sono formate nelle ere geologiche molto antiche e che, una volta utilizzate, non si riproducono più, almeno sulla scala dei tempi umani, per cui sono destinate ad esaurirsi. Sono «rinnovabili», invece, le risorse che la natura ci fornisce in abbondanza e non si esauriscono con l'utilizzazione che ne fa l'uomo, come per esempio l'aria che respiriamo, la quale viene continuamente purificata e ricreata dalla vegetazione, il suolo agrario, dal quale tramite l'agricoltura e l'allevamento si ricavano continuamente gli alimenti, oppure l'acqua del mare che, pur evaporando costantemente, viene integrata con l'acqua dei fiumi che è continuamente alimentata dalle piogge.

Occorre osservare, però, che anche le risorse rinnovabili, sottoposte ad una utilizzazione irrazionale, possono diventare inutilizzabili e, praticamente, è come se si esaurissero. Per esempio: l'acqua di certe regioni, pur essendo abbondante, a causa dell'inquinamento non può essere utilizzata; allo stesso modo il suolo agrario di alcune zone, se è coltivato con sistemi poco appropriati o con eccessivi concimi chimici, può diventare sterile.

Recentemente, a causa dei gravi rischi ambientali che minacciano l'estinzione e/o il deterioramento di alcune risorse e che quindi richiedono una politica di protezione da parte di tutti gli Stati, è stato anche introdotto il concetto di «risorse globali». Esse comprendono quei beni che costituiscono una sorta di patrimonio comune dell'umanità: per esempio il clima, i mari, l'atmosfera, l'Antartide, le foreste tropicali, l'acqua dolce e così via. In molti casi essi sono beni privati o

(5) C. FORMICA, *Lo spazio geoeconomico. Struttura e problemi*, Torino, Utet Università, 2012.

appartenenti a una specifica nazione, come i fiumi o le foreste; ma, di fatto, costituiscono risorse essenziali per la vita dell'umanità e, in quanto tali, dovrebbero essere oggetto di una gestione comune.

Per quanto concerne in maniera specifica le fonti di energia, si dicono non rinnovabili, e quindi destinate ad un esaurimento in tempi più o meno lunghi, quelle di natura fossile (carbone, petrolio, gas, uranio, torio, deuterio, plutonio). Si dicono rinnovabili, invece, le fonti di energia che si rigenerano con la stessa velocità con cui vengono consumate e, quindi, non si esauriscono con l'utilizzazione umana: sono disponibili, cioè, anche per le generazioni future. Esse comprendono l'irraggiamento solare, le acque dei fiumi, i cui deflussi sono continuamente rifusi dalle precipitazioni meteoriche, i movimenti e le caratteristiche termiche del mare, il vento, i fenomeni secondari del vulcanesimo e le biomasse⁽⁶⁾. I tipi di energia ricavati dalle singole fonti rinnovabili e non rinnovabili sono sintetizzati nel grafico sottostante.

4. L'energia, riscaldamento globale e impatti ambientali

La disponibilità di energia, come già si è detto, costituisce un fattore fondamentale per lo sviluppo economico-sociale di una comunità

(6) L'energia prodotta attraverso la combustione dei minerali e dei rifiuti solidi urbani si chiama genericamente «energia termoelettrica», mentre quella prodotta dalle fonti alternative prende nomi specifici a seconda della fonte utilizzata (idroelettrica, geotermica, solare, eolica, mareomotrice ecc.). Un'altra distinzione che viene fatta è tra fonti primarie e secondarie. Si dicono primarie quelle utilizzabili direttamente così come si trovano in natura, come il carbone, il petrolio grezzo, il gas naturale, il Sole, il vento, l'acqua, il calore della Terra e le biomasse; secondarie, invece, quelle che derivano dalla trasformazione delle fonti primarie, come l'idrogeno, il metano, la benzina, che deriva dal trattamento del petrolio grezzo o l'energia elettrica ottenuta dal vento, dall'acqua o bruciando le fonti primarie. Cfr. MAUGERI L., *Con tutta l'energia possibile. Petrolio, nucleare, rinnovabili: i problemi e il futuro delle diverse fonti energetiche*, Sperling & Kupfer, 2011; TERMINI V., *Il mondo rinnovabile. Come l'energia può cambiare l'economia, la politica, la società*, Roma, Luiss University Press, 2018; TAGLIAPIETRA S., *L'energia del mondo. Geopolitica, sostenibilità, Green New Deal*, Bologna, Il Mulino, 2020; TERMINI V., *La grande trasformazione*, Bari, Laterza, 2020; MOCCIA A., *Cercasi energia*, Milano, Cairo, 2022; CASALE F.-DOMINICI LOPRIENO G., *Le sfide dell'energia: le fonti, le tecnologie, il nucleare*, Milano, 21/ secolo, 2022; SILVESTRINI G., *Che cos'è l'energia rinnovabile oggi*, Milano, Edizioni Ambiente, 2022; MALACRIDA S., *L'energia tradita*, Milano, StreetLib, 2023; MANZ D., *Storia delle energie rinnovabili: Raccolta storico biografica delle fonti e trasformazioni energetiche pulite non fossili*, Independently published, 2025.

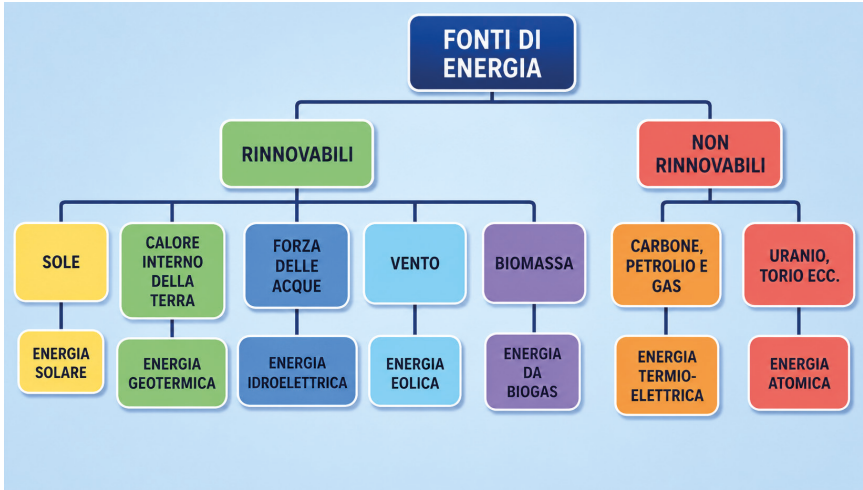


Fig. 3. Tipologie di fonti di energia rinnovabili e non rinnovabili. Come si può osservare, le fonti di energia rinnovabili sono più diversificate rispetto a quelle non rinnovabili, ma allo stato attuale contribuiscono poco a soddisfare la domanda mondiale di energia (Fonte della figura: Formica C.).

umana. Dapprima il carbone, poi il petrolio e il gas, l'uranio e il torio sono stati il propellente di un eccezionale sviluppo economico, i cui effetti però sono risultati contraddittori. Infatti, se da un lato si è determinato il miglioramento delle condizioni di vita per alcuni miliardi di persone, dall'altro si stanno manifestando prepotentemente i segni di un peggioramento delle condizioni ambientali che mostrano l'effetto più evidente nei cambiamenti climatici: mutamenti così veloci e di portata planetaria tale da rappresentare una minaccia per la stessa sopravvivenza dell'umanità.

Il deterioramento dell'ambiente è iniziato intorno alla metà del secolo XVIII, cioè a partire dalla rivoluzione industriale, ma si è manifestato in misura sempre più grave a partire dal 1970, a causa delle forti concentrazioni urbano-industriali che sono forti consumatrici di energia e producono grandi quantità di anidride carbonica (CO_2). Sporadiche variazioni nei livelli di concentrazione di anidride carbonica, in verità, si verificavano anche prima della rivoluzione industriale. Esse erano causate essenzialmente da eventi naturali, come le grandi eruzioni vulcaniche, le quali influivano sul clima locale e globale, innalzandone la temperatura, per qualche tempo.

Con il massiccio impiego dei combustibili fossili, invece, la concentrazione di anidride carbonica e di altre sostanze chimiche immesse dall'attività antropica nell'atmosfera è aumentata di almeno il 40% rispetto all'era preindustriale, con conseguente aumento della temperatura globale. Questa quantità aggiuntiva di gas, alterando la composizione chimica dell'atmosfera e il funzionamento dell'«effetto serra» che regola l'equilibrio termico della Terra, ha provocato un riscaldamento globale dell'atmosfera, o «global warming», innalzandone la temperatura media di 1°C rispetto ai valori dell'era preindustriale. Le proiezioni degli esperti prevedono che, in assenza di adeguati provvedimenti riguardanti la «governance» dell'economia mondiale e gli stili di vita dei Paesi più industrializzati, la temperatura dell'aria potrebbe aumentare di valori variabili tra 1,1 e 6,4 °C entro la fine del nostro secolo. Si tratta, quindi, di scenari raccapriccianti⁽⁷⁾.

Il riscaldamento globale ha effetti sia di lungo periodo che improvvisi non solo sui cambiamenti climatici e sull'evoluzione degli ecosistemi della superficie terrestre, ma anche sulla salute fisica e mentale degli uomini. Sotto il profilo fisico, in poche parole, esso influisce sul processo di desertificazione della zona intertropicale, sullo scioglimento dei ghiacciai delle zone polari e delle alte catene montuose, sull'innalzamento del

(7) Sulle cause, sulle responsabilità, sulle conseguenze e sui tempi di intervento per fermare il processo del riscaldamento globale i pareri degli studiosi sono spesso differenti. Tra i vari scritti cfr.: FLANNERY T., *I signori del clima: come l'uomo sta alterando gli equilibri del pianeta*, Milano, Corbaccio, 2006; LYNAS M., *Sei gradi. La sconvolgente verità sul riscaldamento globale*, Roma, Fazi, 2008; KOLBERT E., *La sesta estinzione*, Milano, Neri Pozza, 2014; GIDDENS A., *La politica del cambiamento climatico*, Milano, Il Saggiatore, 2015; MERCALLI L., *Il clima che cambia. Perché il riscaldamento globale è un problema vero e come fare per fermarlo*, Milano, BUR Rizzoli, 2019; MASTROJENI G.-PASINI A., *Effetto serra, effetto guerra. Il clima impazzito, le ondate migratorie, i conflitti. Il riscaldamento globale, i ricchi, i poveri*, Milano, Chiarelettere, 2020; BORGOMEIO E., *Oro blu. Storie di acqua e cambiamento climatico*, Bari, Laterza, 2020; PRESTININZI A., *Dialoghi sul clima: Tra emergenza e conoscenza*, Soveria Mannelli, Rubbettino, 2022; KRAUS L. M., *La fisica del cambiamento climatico*, Milano, Raffaello Cortina Editore, 2022; CONVERSI D., *Cambiamenti climatici. Antropocene e politica*, Milano, Mondadori Università, 2022; HOPE J., *Il lato oscuro dell'abbondanza. Come siamo arrivati al cambiamento climatico e dove andare da qui in poi*, Milano, Mondadori, 2023; GIULIACCI A., *Nella peggiore delle ipotesi. Come il clima cambierà il mondo se non faremo nulla per evitarlo*, Milano, Rizzoli, 2023; FOCARDI S., *Il clima che cambia. Necessità di uno sviluppo sostenibile*, Siena, Betti Editrice, 2024; SMERALDO A., *Cambiamenti climatici: la verità inconfutabile*, Indipendently Published, 2023; KOLBERT E., *La sesta estinzione. Una storia innaturale*, Milano, Neri Pozza, 2024; BALDI M.-PASQUI M., *Un clima nuovo. Perché dobbiamo prendere sul serio il cambiamento climatico*, Roma, Città Nuova, 2024; PIZZUTI M., *Emergenze climatiche non autorizzate*, Vicenza, Edizioni il Punto d'Incontro, 2024.