

Sviluppo sostenibile nell'industria del petrolio e del gas

9.2.1 Definizione di sviluppo sostenibile

Al centro del concetto di sviluppo sostenibile vi è l'idea di assicurare una migliore qualità di vita per tutti, oggi e per le generazioni a venire. L'espressione *sviluppo sostenibile* deriva da un rapporto della Commissione delle Nazioni Unite su ambiente e sviluppo, nota anche come Commissione Brundtland. Essa definì lo sviluppo sostenibile come uno «sviluppo che soddisfa i bisogni del presente, senza compromettere la capacità delle generazioni future di soddisfare i propri» (WCED, 1987). Vent'anni dopo l'introduzione del termine, ogni organizzazione sembra avere una propria definizione di sostenibilità, sebbene molte definizioni condividano alcuni elementi ricorrenti. Nell'ambito dell'impresa, lo sviluppo sostenibile è spesso considerato sinonimo di assunzione di responsabilità societaria in termini sociali. In genere, con questa terminologia, si intende uno sviluppo che sfrutta e perturba il meno possibile la terra, l'acqua e l'aria.

In seguito al rapporto WCED, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha convocato la Conferenza su ambiente e sviluppo (UNCED, United Nations Conference on Environment and Development), nota come Earth Summit, tenutasi a Rio de Janeiro nel 1992. Lo scopo principale del summit consisteva nella definizione di uno sviluppo che supportasse la crescita socio-economica, prevenisse il deterioramento dell'ambiente e ponesse le fondamenta per una cooperazione globale tra paesi industrializzati e paesi emergenti, sulla base di bisogni reciproci e interessi comuni, in modo da assicurare un futuro migliore al pianeta. Al summit i governi concordarono che l'attenzione all'ambiente e allo sviluppo avrebbe portato alla soddisfazione dei bisogni fondamentali, a un miglioramento generale degli standard di vita, a una migliore protezione e gestione degli ecosistemi e a un più sano e prospero futuro. Nessuna nazione può raggiungere questi obiettivi da sola; lo sviluppo

sostenibile si persegue solamente mediante una cooperazione mondiale (United Nations, 1992a).

In uno studio più recente sulla sostenibilità, questa è stata descritta come una *triple bottom-line* che bilancia prosperità economica, qualità ambientale e giustizia sociale. Questo concetto ha riscosso consenso nel mondo industriale, tra le Organizzazioni Non Governative (ONG) e tra i governi, in quanto permette una certa flessibilità nel bilanciare i tre obiettivi, a seconda del livello di sviluppo sociale ed economico delle comunità (Elkington, 1997).

Lo sviluppo sostenibile appare come l'approccio migliore per affrontare il degrado dell'ambiente naturale. Esso è per natura un concetto interdisciplinare, basato su scienze fisiche e sociali, che coinvolge settori quali la tecnologia, l'amministrazione, la politica e la giurisprudenza. Secondo la Commissione Brundtland lo sviluppo sostenibile è inoltre un approccio dinamico «in cui lo sfruttamento delle risorse, l'orientamento degli investimenti e dell'avanzamento tecnologico e i cambiamenti istituzionali sono in armonia tra loro e promuovono le potenzialità attuali e future, per venire incontro ai bisogni e alle aspirazioni degli uomini».

Non deve sorprendere che l'interpretazione del concetto di sostenibilità vari da una disciplina all'altra. Gli ambientalisti si preoccupano della conservazione delle risorse naturali. Gli economisti si concentrano sull'efficienza economica, ossia sul valore sociale di un bene in rapporto alle risorse impiegate per la sua produzione. L'industria agricola punta all'autosufficienza alimentare e, nei casi più estremi, alla produzione di colture interamente biologiche. I sociologi cercano di preservare le culture, i valori e le istituzioni tradizionali e di promuovere l'uguaglianza, la giustizia e un sentimento di cittadinanza globale. Alcuni gruppi difensori dello sviluppo sostenibile hanno aggiunto obiettivi politici, a volte scarsamente o per nulla riconducibili al concetto originario (Scott, 2004). La maggior parte delle persone concorda

sul fatto che, sebbene non si possa essere sicuri riguardo alle prospettive future, un futuro sostenibile è certamente auspicabile.

Persino nel contesto più limitato dell'industria petrolifera e del gas il concetto di sostenibilità mantiene un significato molto ampio. Esso spazia da esplorazioni e perforazioni del terreno accettabili dal punto di vista ambientale, a uno sfruttamento più efficiente dei giacimenti di petrolio e di gas, fino alla raffinazione di combustibili ultrapuliti. Fra questi argomenti ve n'è una miriade di altri, tra i quali uno dei principali è il riscaldamento globale, comunemente attribuito all'emissione di gas di scarico dovuta ai combustibili fossili.

Il concetto di sviluppo sostenibile è stato portato avanti negli ultimi vent'anni da una serie di organizzazioni internazionali, come le Nazioni Unite, la Banca Mondiale e le ONG, che rappresentano gruppi ideologici diversi tra loro. Alcune di esse sono apertamente anticapitalistiche e antiglobalizzazione. Uno dei problemi principali, per chi non sia uno scienziato e si trovi a scegliere di sostenere o meno i programmi proposti dagli ambientalisti, è decidere a quale scienziato credere: a coloro che prevedono un disastro imminente che può essere prevenuto o a quelli che negano tale posizione. Il tono acceso dei dibattiti sullo sviluppo sostenibile può essere ben esemplificato dalle due fonti, tra le più famose e citate, riportate di seguito.

Nel suo libro L.R. Brown (2003), il fondatore dell'Earth Policy Institute, afferma che la nostra produzione economica è basata in parte sull'abbattimento degli alberi attuato con una velocità maggiore della loro ricrescita, sullo sfruttamento eccessivo dei terreni per il pascolo, con conseguente desertificazione, e delle falde acquifere, sul prosciugamento dei fiumi. La maggior parte del terreno agricolo è soggetta a un'erosione del suolo che supera la sua formazione privando il terreno della sua naturale fertilità. Peschiamo dagli oceani a un ritmo tale da non consentire ai pesci la normale riproduzione. Emettiamo nell'atmosfera una quantità di biossido di carbonio superiore a quella che può essere assorbita, dando luogo all'effetto serra. L'aumento dei livelli di CO₂ può produrre un incremento di temperatura, da qui alla fine del secolo, pari a quello che si è avuto dall'ultima glaciazione a oggi.

Nel suo libro W. Beckerman (1995), un ex membro della Royal Commission on Environmental Pollution di Oxford, sostiene invece che lo sviluppo sostenibile non sia un concetto razionale: non conoscendo quali saranno le inclinazioni e le preferenze delle popolazioni future, non possiamo prendere decisioni per loro. Lo sviluppo sostenibile è un concetto completamente amorfo e potrebbe essere utilizzato per giustificare qualunque tipo di politica. In ogni caso, poiché esso sembra aver catturato l'immaginazione degli intellettuali, proprio come i liberali sono stati costretti a entrare nel dibattito

sullo stato sociale, sembra essere inevitabile il nostro coinvolgimento nel dibattito sulla sostenibilità.

Tra queste due prese di posizione estreme vi sono molte sfumature possibili. La maggior parte degli scienziati in genere concorda sul fatto che la produzione e in particolar modo l'utilizzazione del petrolio e del gas portano ad alcuni cambiamenti climatici, come per esempio il riscaldamento globale, che non sono reversibili nell'arco di una vita umana.

All'inizio del 21° secolo sono apparse diverse importanti pubblicazioni incentrate sulle cause, gli effetti e le dimensioni relative delle variazioni climatiche. I geoscienti hanno compreso la fondamentale correlazione tra l'attività solare e il clima terrestre. Oltre al Sole, esistono molti fattori minori di cambiamento climatico di origine naturale, come le grandi eruzioni vulcaniche, gli impatti dei meteoriti, i cambiamenti nella circolazione oceanografica, le variazioni dell'orbita terrestre, il sollevamento tettonico e il relativo posizionamento dei continenti. Secondo gli scienziati della Terra è evidente che la variabilità del clima terrestre sia molto maggiore degli effetti indotti dall'uomo, e che non sia possibile controllare tale variabilità con la tecnologia attuale (Gerhard, 2004). I geoscienti sostengono che uno dei concetti più difficilmente assimilabili dai mezzi di comunicazione e dai governi è il fatto che il clima terrestre è cambiato frequentemente nel recente passato, senza alcun contributo umano. Una nuova audace e controversa ipotesi suggerisce che le pratiche agricole dei nostri antenati abbiano dato il via al riscaldamento globale, migliaia di anni prima che cominciasimo a bruciare carbone e a guidare automobili (Ruddiman, 2005).

Lo sviluppo sostenibile è ovviamente molto più che la semplice preoccupazione per i cambiamenti climatici globali; esso include temi come l'accordo tra più persone per andare al lavoro usando, a turno, una sola automobile, la qualità dei prodotti, la riduzione degli sprechi e il risparmio energetico.

9.2.2 L'esigenza di uno sviluppo sostenibile

La soluzione non può che essere un cambiamento generale nelle abitudini e nelle aspettative future dell'intera società. Al giorno d'oggi, grazie alla comunicazione globale, ai media e a speciali gruppi di interesse impegnati nell'analisi meticolosa di ogni attività, tutte le grandi organizzazioni operano in una 'cultura del sospetto'. Dalle imprese, oltre ai normali obblighi finanziari, ci si attende una maggiore responsabilità nei confronti dell'impatto sociale e ambientale delle loro attività.

Per quanto riguarda l'industria petrolifera e del gas, tre fattori primari inducono all'attenzione verso le tematiche concernenti lo sviluppo sostenibile: l'aumento della

popolazione mondiale, l'esaurimento delle risorse naturali e l'impatto ambientale dell'uomo sulla Terra.

L'effetto di questi tre fattori diventa tanto più critico, quanto più si guarda al futuro. L'aumento della popolazione causa una serie di problemi come l'incremento della domanda di risorse naturali e il conseguente impoverimento, l'inquinamento di aria e acqua, i rischi maggiori per la salute, la deforestazione, i cambiamenti climatici globali e molti altri. L'attività dell'uomo è causa di rapidi cambiamenti sulla Terra a causa dell'accumulo di biossido di carbonio nell'aria e nell'acqua, di clorofluorocarburi, di pesticidi, polveri sottili e altri composti chimici, mentre diverse sostanze tossiche si accumulano nei tessuti degli organismi vicini al vertice della catena alimentare, noi compresi. Il riconoscimento di questi cambiamenti e del loro impatto sulla vita, la salute e il benessere degli uomini ha indotto la società a rivolgere l'attenzione verso la sostenibilità a livello globale.

Il caso seguente rappresenta un buon esempio: alla metà degli anni Novanta Shell Oil fu oggetto di una fortissima pressione per il tentativo di realizzare l'eliminazione in mare aperto della piattaforma di accumulo Brent Spar nel Mare del Nord, al largo della costa del Regno Unito. In seguito alla consultazione di esperti e membri del governo, la società scelse l'eliminazione in mare aperto come l'opzione migliore dal punto di vista ambientale. Nonostante il supporto dell'analisi scientifica, per molti tale scelta rappresentava la distruzione degli oceani a opera dell'uomo. Lo sdegno pubblico in tutta l'Europa fu tale che l'unica alternativa fu quella di adottare una soluzione differente (Cook, 2003).

Lo sviluppo sostenibile non si esaurisce in una semplice serie di regole e direttive, ma è piuttosto un processo continuo, fatto di lavoro e impegno per la formazione di una strategia commerciale che contribuisca al benessere del pianeta e della sua popolazione. Né può essere altrimenti. Uno degli ostacoli allo sviluppo di una gestione internazionale dei cambiamenti climatici è la paura che oggi i costi sarebbero eccessivi. Alcuni temono la perdita di posti di lavoro e si pensa che i paesi che prendono provvedimenti per primi siano poi meno competitivi rispetto agli altri. In realtà lo sviluppo sostenibile può essere anche una fonte di guadagno e si possono adottare soluzioni che non necessitano di investimenti. Per esempio, British Petroleum ha raggiunto l'obiettivo di portare le emissioni a un livello inferiore a quello del 1990, riuscendo in questo modo a risparmiare denaro – circa 600 milioni di dollari – in quanto la maggior parte dei provvedimenti presi comprendeva l'eliminazione di sprechi e di perdite. Il risultato è stato un aumento dei profitti (Lord Browne of Madingley, 2004).

Una domanda frequente è come possa l'industria far credere di perseguire lo sviluppo sostenibile quando la sua attività principale si basa sull'estrazione e la produzione di risorse non rinnovabili, come il petrolio o il

gas naturale. Lo sviluppo sostenibile è il mezzo attraverso cui l'industria può giocare un ruolo positivo per la realizzazione di un mondo completamente sostenibile. Gli idrocarburi continueranno a fornire la maggior parte dell'energia mondiale per decenni e la tecnologia sta rendendo la loro applicazione sempre più efficiente. Le fonti energetiche rinnovabili stanno tuttavia diventando più competitive e il loro consumo è in aumento. L'industria fornisce un ponte verso un mondo nuovo, in cui le fonti alternative di energia possano diventare sempre più comuni.

9.2.3 Il principio di precauzione

Il *principio di precauzione* o *approccio di precauzione* è una risposta all'incertezza nell'affrontare situazioni rischiose per la salute o per l'ambiente. Esso implica un'azione volta a evitare un potenziale danno irreversibile, pur in mancanza di una certezza scientifica riguardo alla probabilità, all'entità o alla causa di tale pericolo.

Il principio di precauzione è uno standard sempre più diffuso nelle politiche ambientali, così come nella legislazione e nella gestione di tali tematiche, a livello locale, nazionale e internazionale, e trova applicazione in aree diverse come l'energia, l'inquinamento, il trattamento dei composti chimici tossici, la gestione della pesca, l'introduzione di specie sul territorio e molto altro. Esso deriva dalla nostra conoscenza incompleta della natura e delle complesse dinamiche del suo ecosistema. La precauzione implica, di fronte all'incertezza, un atteggiamento di attiva anticipazione del pericolo potenziale rappresentato da un uso delle risorse naturali che possa portare al degrado ambientale. In caso contrario, siamo destinati a subire le conseguenze del fatto di non aver adottato provvedimenti tecnicamente possibili.

Precauzione, prevenzione e valutazione sono i punti di partenza per un autentico sviluppo sostenibile; essi devono essere parte integrante nel disegno e nell'attuazione di ogni progetto di sviluppo. I responsabili dei progetti devono trasformare in prassi comune il fatto di prevedere e affrontare l'impatto ambientale delle loro iniziative. Le misure attuali di protezione dell'ambiente sono di tipo precauzionale; in molti casi, tuttavia, sono puramente palliative e spesso incompatibili con il concetto di sviluppo sostenibile, soprattutto in una prospettiva di lungo termine. I concetti di precauzione, prevenzione e valutazione sono difficili da far assimilare, in quanto spesso sono scollegati dalla realtà di ogni giorno e promettono benefici in un futuro più o meno lontano. È indispensabile che le aziende, le società e i paesi adottino queste tre parole d'ordine, in modo da trasformare lo sviluppo odierno in uno sviluppo sostenibile (Canada. Parliamentary Information and Research Service, 2002).

9.2.4 Attività industriali collegate allo sviluppo sostenibile

Esplorazione

Le immagini satellitari e le indagini aeromagnetiche possono individuare i giacimenti di petrolio e di gas in modo molto più rapido ed economico del rilevamento sul terreno. Poiché la superficie terrestre non viene toccata, il rilevamento a distanza minimizza inoltre l'impatto ambientale. Quando la raccolta di informazioni a terra è indispensabile, si utilizza la tecnologia sismica tridimensionale, spesso accoppiata con tecniche di visualizzazione sofisticate. Questi metodi permettono ai geologi una migliore localizzazione dei giacimenti, aumentando drasticamente la percentuale di successo nell'esplorazione, riducendo i costi di perforazione e minimizzando l'impatto ambientale. La pianificazione avanzata e le tecnologie sismiche tridimensionali a basso impatto, come i detonatori non esplosivi e i *backpack-sized equipments*, permettono un impatto quanto più localizzato possibile. Al giorno d'oggi un singolo geofisico è in grado di raccogliere e analizzare informazioni relative a un'area dieci volte maggiore che negli anni Ottanta. Dall'apertura del primo centro di visualizzazione tridimensionale, nel 1997, sono stati avviati oltre 125 centri in tutto il mondo. Il risultato è una riduzione sostanziale dei pozzi perforati a fronte di un aumento dei volumi di petrolio e di gas rinvenuti.

L'applicazione della tecnologia sismica 3D nel tempo (la cosiddetta tecnologia sismica 4D) è stata sperimentata per la prima volta durante gli anni Ottanta e si è sviluppata enormemente negli ultimi dieci anni. La tecnologia sismica 4D permette di ottimizzare le operazioni sul campo e di aumentare le percentuali di recupero nei giacimenti produttivi, riducendo allo stesso tempo l'impatto sul territorio (Lumley, 2001).

Perforazione: impatto sul territorio

Grazie agli sviluppi nel campo dell'informatica e dei sensori a fibra ottica, i perforatori possono oggi avere informazioni reali su ciò che avviene all'interno di un giacimento sotterraneo. I piccoli e leggeri sistemi a fibra ottica, capaci di sopportare temperature, pressioni e shock molto elevati, misurano e riportano le caratteristiche sotterranee, permettendo agli operatori di rispondere in tempo reale a eventuali variazioni di condizioni. Il monitoraggio è di inestimabile valore per guidare la perforazione direzionale, permettendo di perforare fino a 35 pozzi orizzontali in un campo di perforazione di soli 20 km². Queste innovazioni comportano vantaggi in termini sia di produttività sia di sicurezza e rispetto dell'ambiente.

Un'altra tecnica che sta modificando il metodo di esplorazione e di produzione è quella della perforazione di piccolo diametro, che comporta la trivellazione di fori con un diametro inferiore a 15 cm. La perforazione

di piccolo diametro può essere impiegata per l'esplorazione preliminare di un terreno o per riaprire piccoli pozzi preesistenti, in modo da raggiungere riserve nuove in campi maturi. Se confrontata con la perforazione tradizionale, la perforazione di piccolo diametro permette di abbattere i costi, minimizzare l'impatto ambientale e ridurre gli sprechi, il rumore, l'impatto visivo, il consumo di carburante e le emissioni.

Un'ulteriore riduzione dell'impatto ambientale si può ottenere mediante la cosiddetta microperforazione con *coiled tubing*. L'uso della microelettronica per il controllo guidato e per la valutazione della formazione permetterà il sondaggio di obiettivi posti a una profondità tra 1.500 e 2.100 m, con fori di sonda del diametro di 5 cm. L'attrezzatura e l'equipaggiamento per la perforazione producono un impatto minore sul terreno, riducendo l'impatto ambientale e rendendo il sistema particolarmente vantaggioso per le aree più sensibili (DOE, 2004).

In alcune aree sensibili dal punto di vista ecologico, come il *permafrost* (strato compatto e particolarmente duro di terreno ghiacciato) in Alaska, è molto importante ridurre la dimensione dei campi di perforazione. I siti di perforazione e di produzione odierni hanno una dimensione pari al 20% di quelli di venti anni fa. L'utilizzazione di strade e isole temporanee di ghiaccio nei periodi invernali ha eliminato i costi della ghiaia. Alcune innovazioni, come la perforazione orizzontale, a lungo raggio o di piccolo diametro, hanno permesso la concentrazione di più pozzi in un'unica area, riducendo notevolmente i costi e l'impatto sul territorio.

Attualmente le dimensioni dei centri per la separazione di petrolio e di gas in Alaska sono pari a meno della metà rispetto a quelle dei centri costruiti precedentemente nella Prudhoe Bay. Un altro approccio utilizza per il trasporto veicoli fuoristrada dotati di grandi ruote a bassa pressione. Questi veicoli possono portare carichi pesanti attraverso la tundra, senza lasciare praticamente alcuna traccia. Inoltre queste operazioni di trasporto sono condotte in inverno, quando il suolo è ghiacciato e la fauna e la flora sono assenti.

Trattamento e smaltimento dei frammenti di roccia

Durante le operazioni di perforazione per il petrolio o per il gas naturale, vengono prodotte significative quantità di frammenti rocciosi. Questi sono rivestiti di un agente lubrificante noto come fango di perforazione. I fanghi di perforazione sono miscele complesse, composte da additivi chimici a base d'acqua o di olio, che prevengono il collasso dei pozzi durante le operazioni di rimozione dei frammenti. Nelle aree in cui le analisi dei rischi abbiano evidenziato una maggiore sensibilità ambientale, l'uso dei fanghi a base di olio è spesso minimizzato o abolito, a causa della loro potenziale pericolosità ambientale.

I frammenti e gli altri residui di perforazione vengono generalmente tritati finemente in presenza di acqua, in modo da ottenere lo *slurry*. Questo viene quindi trattato chimicamente e pompato ad alta pressione all'interno di fessure sotterranee, generate durante lo stesso processo di pompaggio. Le dimensioni del problema dello smaltimento dei residui sono confermate, per esempio, dai dati relativi alla produzione di frammenti sulla piattaforma continentale britannica del Mare del Nord, pari a 50.000 t/a (Page *et al.*, 2004). Verso la fine degli anni Ottanta si è iniziato a iniettare i frammenti e altri residui all'interno delle fratture sotterranee e sin dai primi anni Novanta questa tecnica era ormai impiegata in tutto il mondo come metodo di smaltimento economico e sicuro dal punto di vista ambientale.

Spesso una soluzione rispettosa dell'ambiente si può rivelare anche la più vantaggiosa dal punto di vista economico. Ne è un esempio la soluzione innovativa per lo smaltimento dei residui di perforazione adottata da British Petroleum in Columbia. I frammenti di roccia vengono infatti impiegati per la produzione di mattoni, utilizzati nell'edilizia. Ciascun pozzo produce frammenti a sufficienza per la fabbricazione di 700.000 mattoni. La produzione dei mattoni ha un costo uguale allo smaltimento dei rifiuti e il processo ha avuto un tale successo che British Petroleum sta pensando di commercializzarlo (Browne, 1997).

Trattamento delle acque

All'interno dei giacimenti, il petrolio e il gas naturale coesistono con grandi quantità di acqua, in genere molto più salina dell'acqua degli oceani. Con la maturazione di un giacimento e la riduzione della sua resa aumentano le percentuali di acqua che vengono pompate in superficie e alla fine la produzione di acqua supera quella di petrolio. In pratica, ciò implica la necessità di processi di separazione dell'acqua, di purificazione da tracce di petrolio e di reiniezione dell'acqua all'interno dei giacimenti. Questo processo, noto come flussaggio con acqua, spesso aumenta il recupero di petrolio dai giacimenti. Per lo smaltimento dell'acqua esistono regole e standard molto severi.

In futuro, la separazione dell'acqua direttamente all'interno dei giacimenti di gas o di petrolio potrebbe ridurre drasticamente le quantità di acqua estratta, permettendo di tagliare i costi operativi e diminuire la possibilità di contaminazione delle falde freatiche.

Ripristino del territorio, prevenzione e trattamento delle fuoriuscite di petrolio

La perforazione e la produzione di petrolio e di gas sono potenzialmente pericolose per l'ambiente. Una fuoriuscita accidentale di idrocarburi può danneggiare il suolo e le acque circostanti, comprese le falde acquifere, con eventuali seri problemi di contaminazione.

Nell'eventualità di una tale contaminazione, gli specialisti del settore hanno definito e messo in atto misure di prevenzione dell'inquinamento, controllando la maggior parte dei processi di pulizia. Il loro lavoro consiste nell'armonizzare le procedure con le regole vigenti, sovrintendere alle operazioni tecniche in modo da accertarsi che soddisfino gli standard di sicurezza nel rispetto dell'ambiente e rendere la zona contaminata di nuovo produttiva.

La prevenzione delle perdite è di vitale importanza per le industrie che si occupano della gestione dei gasdotti, degli oleodotti e del trasporto. L'industria petrolifera ha sviluppato e sperimentato procedure generali di emergenza, che assicurano un'immediata risposta per prevenire, mitigare e minimizzare l'impatto delle fuoriuscite di petrolio. Questi piani sono sufficientemente flessibili da fornire risposte appropriate alla natura dell'operazione, alle dimensioni dell'evento, al tipo di petrolio e alle differenze geografiche, climatiche e ambientali. Allo stesso tempo le varie opzioni di intervento sono pianificate in modo tale da integrare il più possibile le forze naturali.

Nella costruzione degli oleodotti oggi si utilizzano laser, robot, materiali altamente resistenti, immagini satellitari e computer ad alta velocità, per garantire sicurezza e affidabilità. Gli *smart pig* ad alta risoluzione ne sono un esempio. Questi apparecchi robotizzati si muovono all'interno delle condutture per individuare fenomeni di corrosione o altre anomalie, mediante l'uso di magneti o sensori ultrasonici. Il prossimo passo sarà la possibilità per questi pig di effettuare direttamente le riparazioni all'interno delle tubature.

Dagli anni Settanta il numero di grandi fuoriuscite di greggio dalle petroliere è significativamente diminuito. Le industrie petrolifere e navali hanno alzato gli standard relativi alla costruzione e all'impiego delle petroliere, alle prestazioni delle imbarcazioni e all'addestramento degli equipaggi, implementando standard internazionali per la gestione e la manutenzione delle flotte. Le imbarcazioni sono ispezionate regolarmente da organizzazioni internazionali e i dati delle ispezioni vengono raccolti in un sistema centralizzato.

Sebbene la frequenza delle grandi fuoriuscite di petrolio sia decisamente diminuita negli ultimi venti anni, ulteriori passi in avanti possono essere fatti solo mediante una più efficace cooperazione tra le industrie e i governi, in particolare per quanto riguarda la pianificazione delle procedure di emergenza. Ciononostante il pericolo di disastri ambientali rimane, a causa della sempre maggiore richiesta di petrolio e del conseguente aumento del traffico navale.

Negli Stati Uniti la legge prevede che, a partire dal 2015, solo le petroliere a doppio scafo avranno diritto di attracco nei porti. Le strutture a doppio scafo forniscono un'ulteriore garanzia contro le perdite di greggio.

Diversamente dalle altre imbarcazioni, questi doppi scafi inglobano il vano motore, lo spazio per i macchinari, i serbatoi per il carburante e le pompe di sentina, così come le pareti e il fondo delle imbarcazioni stesse. Le nuove petroliere a doppio scafo presentano molte innovazioni per proteggere l'ambiente e per aumentare la sicurezza, come motori a bassa emissione, un sistema speciale di zavorre e un sistema di protezione dello scafo che soddisfa e spesso supera le norme sulla sicurezza marina e le pratiche standard. Alcune organizzazioni internazionali responsabili nel settore, composte da 158 stati membri, hanno pianificato l'eliminazione della maggior parte delle petroliere a scafo singolo entro il 2015.

Trattamento dei rifiuti

I rifiuti hanno due conseguenze principali: l'inutile impoverimento delle risorse naturali e l'impatto ambientale delle procedure di smaltimento. I rifiuti derivati dal petrolio vengono in genere interrati in discariche o inceneriti. Nelle discariche, in caso di infiltrazioni, può avvenire la contaminazione delle falde freatiche. Inoltre vi è una sempre minore disponibilità di zone adatte allo scopo. D'altro canto l'incenerimento può produrre metalli pesanti e diossina, il che genera avversione verso tale processo in molti paesi. Le emissioni possono essere ridotte o eliminate con apparecchiature speciali, recuperando il calore prodotto per uso diretto o per la generazione di elettricità.

Tutti possiamo contribuire a ridurre i rifiuti: individui, aziende, governi e altre organizzazioni. Le soluzioni a lungo termine dipendono da politiche che promuovano e supportino la conservazione e il recupero dei materiali. Un ruolo importante è inoltre giocato dalle strategie innovative tese a rendere più efficiente l'utilizzo delle risorse sia nelle abitazioni sia nei luoghi di lavoro.

Smantellamento degli impianti

Lo smantellamento consiste nella rimozione delle strutture per la produzione di petrolio e di gas, una volta esaurita la loro utilità. Lo smantellamento e la rimozione delle strutture offshore è oggi una prassi comune. Le strutture più piccole vengono portate sulla costa, dove il 95% circa del materiale è impiegato nuovamente o riciclato; quelle più grandi, come le piattaforme di acciaio e di cemento, vengono portate a galla e trasportate sulla terraferma per essere a loro volta riciclate. Quando lo smantellamento e il riciclaggio non sono percorribili, tali strutture vengono impiegate per costruire scogliere artificiali. Questa soluzione è stata appoggiata dalle agenzie per la conservazione della natura e dalle ONG, con la supervisione di organismi di regolamentazione e il coinvolgimento dei dipartimenti ittici e di biologia. Studi sul campo hanno verificato i benefici delle scogliere artificiali sulla biodiversità marina e sulla pesca commerciale e ricreativa.

Nella maggior parte dei casi, lo smantellamento delle strutture onshore comprende la chiusura dei pozzi per evitare fuoriuscite di petrolio o di gas residui e la rimozione delle attrezzature e dei materiali di scarto. Gli impianti possono anche essere spostati in altre località o destinati a un uso differente, come strutture di appoggio per la navigazione, stazioni meteorologiche o centrali eoliche. È pratica comune prevedere le operazioni di ripristino del territorio fin dai primi stadi della progettazione di un impianto, a prescindere dal fatto che esso sorga in una foresta tropicale, nel Circolo Polare Artico o all'interno di una città. L'industria petrolifera ha sviluppato nuove tecniche di ripristino del territorio, molte delle quali sono state adottate dai governi.

Emissioni e combustione dei gas

Le industrie hanno particolarmente a cuore il problema delle emissioni di gas naturale, ossidi di zolfo (SO_x), ossidi di azoto (NO_x), monossido di carbonio e polveri sottili. È opinione condivisa che le emissioni di gas serra, tra i quali il biossido di carbonio e il metano, contribuiscano al cambiamento climatico globale.

Le emissioni gassose hanno un'influenza diretta sull'ambiente e sulla salute degli esseri umani. Il problema ha assunto dimensioni globali, ma è ragionevole affrontarlo alla radice, a livello locale. La maggior parte degli ossidi di zolfo e di azoto è prodotta dalle centrali a carbone. Nell'industria petrolifera le emissioni di ossidi sono principalmente dovute alle fonti prime di energia e agli impianti chimici e vengono generalmente ridotte mediante bruciatori o per mezzo di riduzione catalitica selettiva. Nel settore esplorativo e produttivo dell'industria petrolifera, le perdite accidentali dalle cisterne possono essere una rilevante fonte di emissioni gassose. Quando il greggio viene prodotto e processato attraverso separatori e/o trattato termicamente, vengono rimossi molti idrocarburi leggeri. Piccole perdite si possono verificare nel trasferimento del greggio in cisterne a pressione atmosferica.

Le unità di recupero del vapore (Vapour Recovery Units, VRU) possono catturare più del 95% delle emissioni di idrocarburi provenienti dalle cisterne di greggio. Oltre a ridurre le emissioni, il recupero del vapore ha il vantaggio economico di recuperare gas prezioso che può essere venduto o impiegato come combustibile per operazioni *in situ*. Durante le attività di esplorazione e di produzione avvengono necessariamente alcune emissioni di gas, che viene quindi combusto. Ciò avviene, come misura precauzionale, anche durante lo spegnimento di un impianto o quando non sono disponibili infrastrutture per la cattura e il trasporto del gas per la vendita.

I gas di scarico contengono quantità significative di metano, un gas serra circa 21 volte più potente del biossido di carbonio. La combustione di tale gas, sebbene non riduca le emissioni, ha il beneficio di convertire il

metano nel meno pericoloso biossido di carbonio. In mancanza di alternative migliori, la combustione dei gas naturali è preferibile alla loro emissione diretta anche dal punto di vista della sicurezza (Ritter *et al.*, 2003). Quando possibile, la combustione è sempre eliminata o ridotta mediante l'utilizzazione del gas in centrali energetiche o attraverso la sua reiniezione all'interno dei giacimenti.

Un ulteriore passo verso il gas naturale

Il gas naturale è il combustibile fossile più pulito. Per questo motivo, laddove possibile, le compagnie energetiche hanno aumentato l'uso del gas naturale per l'alimentazione degli impianti. Fortunatamente il gas naturale è più abbondante del petrolio, sebbene scarseggi nelle aree di maggiore utilizzazione. Attualmente sono in atto ingenti investimenti per liquefare il gas naturale alla sorgente e trasportarlo in fase liquida verso i mercati. Ciò comporta la costruzione di petroliere specializzate LNG (Liquefied Natural Gas) e terminali di scarico e rigassificazione in mare aperto.

Un'altra tecnologia prossima alla commercializzazione è la tecnologia GTL (Gas To Liquids). Il processo GTL converte il gas remoto in carburanti liquidi ultrapuliti per il trasporto; è possibile che in futuro si possa produrre metano a partire dai suoi idrati. In natura questi si trovano nelle aree di permafrost e negli oceani all'esterno delle piattaforme continentali in tutto il mondo. Le quantità di idrati di metano sono così ingenti che, in confronto, i depositi di gas naturale appaiono modesti. Tuttavia, la tecnologia attuale non permette ancora lo sfruttamento di queste risorse.

9.2.5 Gas serra e riscaldamento globale

Il cambiamento climatico globale è il problema più discusso in relazione allo sviluppo sostenibile e i combustibili fossili (carbone, petrolio e gas naturale) sono al centro del dibattito. I gas serra, come il vapor d'acqua, il biossido di carbonio e il metano, sono presenti naturalmente nell'atmosfera. Essi agiscono da isolanti termici, assorbendo le radiazioni infrarosse (circa 8-15 μm) emesse dalla superficie terrestre. Senza di essi la Terra sarebbe più fredda di 33 °C. In tal senso questi gas sono necessari per la sopravvivenza delle specie viventi. Il problema non è la loro presenza, ma la loro concentrazione; all'aumentare della loro concentrazione, infatti, la temperatura della superficie terrestre aumenta, portando al riscaldamento globale.

Gli effetti prevedibili del riscaldamento globale includono una maggiore frequenza delle condizioni meteorologiche estreme – siccità, ondate di calore, alluvioni, aumento del livello del mare – che potrebbero condizionare

seriamente l'ambiente e la qualità di vita degli esseri umani. Le concentrazioni atmosferiche di questi gas sono aumentate da circa 280 ppm prima della rivoluzione industriale ai 370 ppm di oggi. Nello stesso periodo la temperatura della superficie terrestre è aumentata di circa 0,6 °C e l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ritiene che essa possa continuare a crescere, prevedendo aumenti di temperatura compresi tra 1,4 e 5,8 °C nel corso del 21° secolo (IPCC, 2001). L'IPCC è presieduto da scienziati governativi, ma coinvolge diverse centinaia di scienziati e ricercatori accademici. Esso ha il compito di elaborare le informazioni disponibili sul cambiamento climatico e sul riscaldamento globale.

L'aumento nella concentrazione dei gas serra viene attribuito ad alcune attività umane, tra cui l'impiego di combustibili fossili. Questo evidenzia il cosiddetto *paradosso energetico*: il fatto che un aumento del consumo energetico porti a un incremento delle emissioni di gas serra. La sfida che ci aspetta non è solo quella di comprendere i cambiamenti climatici, quanto piuttosto quella di trovare vie percorribili per la soluzione del paradosso energetico. Al momento non esiste alcuna formula magica in grado di rimpiazzare i combustibili fossili con fonti di energia rinnovabile e a emissione zero. Al contrario, la maggior parte delle previsioni indica che nei prossimi venti anni l'energia rinnovabile avrà un ruolo solo lievemente maggiore rispetto a oggi. Questo è principalmente dovuto a un rallentamento nello sviluppo del settore idroelettrico. Altre fonti rinnovabili forniranno il 3% dell'energia mondiale nel 2020, a meno che non si adottino misure speciali per stimolarne il consumo. Al summit di Johannesburg del 2002 sono falliti i tentativi di raggiungere un accordo su obiettivi molto più importanti e vincolanti per l'impiego di fonti energetiche rinnovabili.

Collegamento tra coalbed methane ed emissione di gas serra

Il *CoalBed Methane* (CBM) è una sorgente non convenzionale di metano intrappolato nei micropori e nelle microfratture all'interno dei giacimenti di carbone. Per ragioni di sicurezza, nelle miniere di carbone tale gas viene di norma fatto sfiatare nell'atmosfera. Poiché il metano è un gas serra 21 volte più potente del biossido di carbonio, il suo contributo al riscaldamento globale è enormemente elevato. Non solo è possibile impiegare come combustibile il metano recuperato da tali giacimenti, ma anche reiniettare il biossido di carbonio così prodotto negli strati del giacimento non sfruttabili, aumentando ulteriormente il recupero del metano.

Lo sfruttamento del CBM ha molti elementi in comune con la produzione di petrolio e di gas. Negli Stati Uniti il CBM contribuisce significativamente alla produzione totale di gas, rappresentando l'8% del totale, con un trend in crescita. Tale produzione rappresenta

una situazione singolare, in cui la produzione di energia contribuisce alla riduzione delle emissioni nocive per l'aria e all'aumento degli standard di sicurezza nelle attività minerarie.

Collegamento tra un migliore sfruttamento dei giacimenti di petrolio e gas e il confinamento geologico del CO₂

Il processo di estrazione di petrolio e di gas è spesso poco efficiente. In media, all'interno di un giacimento, solo un terzo del petrolio viene effettivamente recuperato; il resto viene abbandonato in quanto economicamente non accessibile.

Un'alternativa interessante è l'accoppiamento tra un più efficiente recupero di petrolio mediante l'impiego di CO₂ e lo smaltimento delle emissioni di questo gas. Tale alternativa offre l'opportunità di combinare due obiettivi primari: una maggiore efficienza nel recupero del petrolio e uno smaltimento sicuro del CO₂. In questa situazione di totale vantaggio, le compagnie petrolifere aumentano la resa di un giacimento e allo stesso tempo grandi quantità di gas serra vengono immagazzinate definitivamente nel sottosuolo per iniezione.

Un esempio è costituito dal più grande progetto di recupero assistito di petrolio mediante iniezione di CO₂ nel sottosuolo a Weyburn, in Canada. Fino a 2,7 milioni di m³ al giorno di CO₂ provenienti da un impianto di gassificazione del carbone sono accumulati e trasportati a Weyburn attraverso un gasdotto di circa 30 km. Tale progetto prevede il recupero di 190 milioni di barili di petrolio mediante lo smaltimento di 14 milioni di tonnellate di CO₂. Il progetto è sviluppato da una collaborazione tra settore pubblico e privato, con il supporto di diversi paesi e dell'International Energy Agency (Adair, 2003).

Cogenerazione

Con il termine cogenerazione si intende la produzione di elettricità mediante l'utilizzazione del calore prodotto nei processi industriali o l'impiego, come fonte di riscaldamento, del vapore proveniente dalle centrali elettriche. La cogenerazione appare come una delle soluzioni più promettenti ed economiche al problema del cambiamento del clima. Un buon esempio è costituito dall'aumento del numero di unità di cogenerazione negli impianti per la produzione di vapore e nelle maggiori strutture industriali, come le raffinerie di petrolio. Le unità ricevono energia elettrica da una grande turbina alimentata in genere da gas naturale. I gas ad alta temperatura emessi dalla turbina possono essere impiegati per produrre vapore o acqua calda, che agiscono a loro volta come fonte di energia in nuovi processi, senza dover ricorrere a ulteriori carburanti. L'efficienza complessiva di questo processo può essere doppia rispetto alle soluzioni precedenti, in cui il petrolio e il gas venivano

bruciati per produrre vapore e l'elettricità era acquistata presso compagnie esterne. Le unità di cogenerazione sono convenienti, consentono un risparmio energetico e riducono le emissioni di carbonio.

9.2.6 Biodiversità ed estinzione degli habitat

Il nostro pianeta si trova ad affrontare il problema dell'estinzione degli habitat naturali e della conseguente scomparsa delle specie vegetali e animali. Alcuni biologi temono l'inizio di una fase di estinzione causata dall'uomo, paragonabile alle estinzioni di massa causate dagli impatti di meteoriti durante le varie ere geologiche. Molte di queste specie a rischio trasformano materia ed energia attraverso i diversi anelli della catena alimentare; la perdita di alcune specie potrebbe condizionare alcune forme di vita superiore, tra cui l'uomo.

Piuttosto che focalizzarsi sulla protezione di una singola specie in pericolo, l'approccio moderno alla gestione della biodiversità consiste nel salvaguardare i processi che ne sono alla base. In pratica questo si traduce nella conservazione di grandi habitat naturali, in grado di ospitare interi ecosistemi, anche se magari in condizioni non ottimali. Sfortunatamente la gestione e il miglioramento di tali ecosistemi richiedono investimenti che pochi governi possono affrontare. Spesso inoltre mancano studi scientifici adeguati, il che rende l'avvio di tali progetti ancora più difficile.

L'industria petrolifera e del gas sta affrontando il tema della biodiversità e dell'estinzione degli habitat naturali in molti modi. Alcuni di questi sono: *a*) la riduzione dell'impatto sul territorio (per esempio mediante la trivellazione di più pozzi trasversali a partire da un unico sito); *b*) la minimizzazione del numero di alberi abbattuti (tramite la costruzione di oleodotti e gasdotti); *c*) la minimizzazione del pericolo di infestazione di nuove specie invasive (mediante processi di quarantena); *d*) lo sviluppo e l'applicazione di tecniche avanzate; *e*) la cooperazione con le organizzazioni preposte al monitoraggio del territorio.

9.2.7 Il ruolo della tecnologia e della ricerca e sviluppo

Nell'immaginario collettivo il processo di perforazione di un pozzo petrolifero è una questione riguardante operai sporchi di olio ed emulsioni di liquido dai pozzi, con annessi immagini di degrado. In realtà si tratta di un processo condotto con strumentazioni automatiche, rilevamento a distanza e sistemi di controllo avanzati. L'industria del petrolio e del gas investe moltissimo sull'elettronica, sull'information technology e sulla creatività.

I progressi nel campo della comunicazione permettono lo scambio immediato di informazioni, per esempio tra i lavoratori nel Golfo del Messico e il personale di una piattaforma al largo della costa occidentale africana, a più di 9.000 km di distanza. Al giorno d'oggi è possibile manovrare in tempo reale, da una distanza di 16 km, la punta di una trivella in un giacimento, per colpire un bersaglio delle dimensioni di un piatto da cucina (per le tecnologie all'avanguardia impiegate nell'esplorazione e nella perforazione, v. cap. 9.1).

Un esempio del ruolo della ricerca e sviluppo è lo sviluppo di particolari microbi in grado di ridurre le emissioni di metano, potente gas serra, prodotte dal bestiame. Mediante tecniche di sequenziamento simili a quelle utilizzate per lo studio del genoma umano, sono state scoperte 1.800 nuove specie di microbi, che potrebbero servire a tale scopo (Thompson, 2005). Scopo della ricerca è lo sviluppo di nuovi mangimi e l'identificazione di virus capaci di eliminare selettivamente i batteri metanigeni nel rumine degli animali. Il bestiame, che produce grandi quantità di metano, è responsabile da solo di più della metà delle emissioni totali di gas serra della Nuova Zelanda.

L'innovazione e la tecnologia sono i punti di forza per raggiungere alti livelli di sostenibilità a fronte delle limitate dimensioni terrestri, dell'aumento inesorabile della popolazione mondiale, dell'esigenza di migliorare gli standard di vita e di combattere la povertà. I progressi nei campi della ricerca di combustibili puliti, del riscaldamento globale, delle risorse alimentari e della salute dipendono in gran parte dall'innovazione e dallo sviluppo di nuove tecnologie. La direzione in cui ci porterà tale sviluppo non è né prevedibile né priva di rischi. La società globale deve determinare quali forme di innovazione adottare e quali usi della tecnologia siano accettabili; in breve, quale sia il giusto equilibrio tra benefici e rischi (Stigson, 2004). Un esempio è costituito dalla produzione di biossido di carbonio rispetto al cambiamento climatico globale. Sfortunatamente molti vedono la tecnologia come una causa e non come una soluzione ai problemi ambientali e allo sviluppo sostenibile.

Rispetto al ruolo della tecnologia nello sviluppo sostenibile, bisogna considerare anche le politiche di prevenzione. Per esempio, la riduzione drastica delle emissioni di biossido di carbonio andrebbe perseguita anche in assenza di dati scientifici completi? Un intervento del genere potrebbe richiedere costi spropositati e non necessari; d'altro canto però il riscaldamento globale potrebbe causare danni ambientali irreparabili. Alcuni pensano che lo sviluppo di misure urgenti per la prevenzione del riscaldamento globale non sia necessario, in quanto manca una conoscenza completa del problema. Altri sostengono che il mondo non può permettersi di aspettare tutte le risposte o la soluzione perfetta. Questa indecisione potrebbe minacciare il futuro delle prossime generazioni.

Il cambiamento del clima è un problema di lungo termine e necessita pertanto di una soluzione di lungo termine. La ricerca scientifica mirata alla comprensione dell'equilibrio climatico dovrebbe essere responsabilità dei governi, in quanto tali cambiamenti hanno un impatto diretto sull'intera società. Le imprese devono tuttavia partecipare alle attività di ricerca collegate al proprio business e a una migliore comprensione delle possibili strategie per la riduzione delle emissioni di CO₂.

9.2.8 Processi regolatori a livello aziendale, nazionale e globale

L'energia continuerà a essere una risorsa globale, soggetta a politiche internazionali e allo sviluppo economico. È pertanto compito dei governi nazionali e delle organizzazioni internazionali promulgare e applicare leggi che riguardino l'industria del petrolio e del gas e la sua gestione nei confronti dello sviluppo sostenibile.

Esistono molti modi in cui i governi e le imprese possono assumersi la responsabilità di assicurare che le operazioni industriali siano rispettose dell'ambiente e della popolazione. L'esperienza ci ha insegnato che l'idea di un singolo standard, da applicare ovunque e in tutte le situazioni, non è compatibile con la realtà e le esigenze delle industrie e della società. Per ottenere i risultati migliori è necessario utilizzare lo strumento o gli strumenti più adeguati a ogni circostanza. Una legislazione ottimale dovrebbe prendere in considerazione le grandi diversità nell'ecologia, nelle condizioni atmosferiche e nelle culture e abilità locali per determinare e far rispettare le regole. Tra le norme standard più comuni vi sono: le norme tecniche, le *best practices*, gli accordi volontari e le convenzioni, le norme relative ai rischi, le norme prescrittive e le politiche aziendali.

Il sistema legislativo più adeguato per una particolare area del pianeta è probabilmente una combinazione di alcuni degli strumenti precedenti. Casi diversi richiedono soluzioni differenti.

La formulazione di obiettivi propri è preferibile, per molti aspetti, a un regime prescrittivo; essa include, per esempio, la possibilità per un operatore di modificare i parametri di un processo massimizzando la resa e raggiungendo gli obiettivi fissati in un modo creativo e flessibile. La trasparenza è un prerequisito per la credibilità e l'affidabilità delle operazioni.

I regolamenti dovrebbero essere definiti a livello locale e nazionale, accogliendo i suggerimenti provenienti dal mondo industriale e globale. La dichiarazione di Rio de Janeiro sull'ambiente e lo sviluppo (United Nations, 1992b) lo spiega in modo esemplare: «Le norme ambientali, gli obiettivi aziendali e le priorità dovrebbero corrispondere al contesto ambientale e di sviluppo nel quale vengono

applicati. Le norme applicate da alcuni paesi possono risultare inappropriate e insostenibili in termini di costi economici e sociali in altri paesi, in particolare nei paesi in via di sviluppo».

Bibliografia citata

- ADAIR R. (2003) *En Cana. The Weyburn CO₂ flood performance update*, in: *Proceedings of the CO₂ conference*, Midland (TX), 9-12 December.
- BECKERMAN W. (1995) *Small is stupid: blowing the whistle on the greens*, London, Duckworth.
- BROWN L.R. (2003) *Plan B: rescuing a planet under stress and a civilization in trouble*, New York, Norton.
- BROWNE J. (1997) *Science, technology and responsibility*, Speech at the Royal Society of London, London, 28 October.
- BROWNE OF MADINGLEY, Lord J. (2004) *Squaring the circle: the role of energy in sustainable development*, 4th John Collier Memorial Lecture, «Process Safety and Environmental Protection», 82, 69-71.
- CANADA. PARLIAMENTARY INFORMATION AND RESEARCH SERVICE (2002) *Sustainable development: conditions, principles and issues*, BP-458E.
- COOK L. (2003) *Sustainable development and corporate social responsibility in the energy industry*, Kansas City (KS), University of Kansas International Leadership Forum.
- DOE (US Department of Energy) - Office of Fossil Energy (2004) *Microhole systems R&D*, DOE.
- ELKINGTON J. (1997) *Cannibals with forks the triple bottom line of 21st century business*, Oxford, Capstone.
- GERHARD L.C. (2004) *Climate change: conflict of observational science, theory and politics*, «American Association of Petroleum Geologists. Bulletin», 88, 1211-1220.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001) *Third assessment report*, «Climate Change 2001. The Scientific Basis».
- LUMLEY D. (2001) *Concept represents next wave in 4-D*, «The American Oil & Gas Reporter», January.
- PAGE P. et al. (2004) *Options for the recycling of drill cuttings*, in: *Proceedings of the SPE/EPA/DOE exploration and production environmental conference*, San Antonio (TX), 10-12 March, SPE 80583.
- RITTER K. et al. (2003) *Application of the American Petroleum Institute compendium to examine potential emission reduction opportunities for upstream operations*, in: *Proceedings of the SPE/EPA/DOE exploration and production environmental conference*, San Antonio (TX), 10-12 March, SPE 80576.
- RUDDIMAN W. (2005) *How did humans first alter global climate?*, «Scientific American», 3, 46-53.
- SCOTT C.E. (2004) *Sustainable development pros and cons*, «B Quest».
- STIGSON B. (2004) *Technology: a key tool for a sustainable future*, in: *Proceedings of the 2nd World Engineers' Convention*, Shanghai, 2-6 November.
- THOMPSON M.J. (2005) *Engineering climate. How technology can help the planet*, «Technology Review», March, 22-23.
- UNITED NATIONS (1992a) *The Earth summit. United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)*, Rio de Janeiro, 3-14 June.
- UNITED NATIONS (1992b) *Report of the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED). Annexe 1: Rio Declaration on environment and development*, Rio de Janeiro, 3-14 June.
- WCED (World Commission on Environment and Development) (1987) *Our common future*, Oxford, Oxford University Press.

GEORGE J. STOSUR
Consulente scientifico