

**Pierluigi Mancarella
Aldo Canova
Gianfranco Chicco
Giuseppe Genon**

**COGENERAZIONE
DISTRIBUITA
A GAS NATURALE**

**Modelli e tecniche
per valutazioni energetiche,
ambientali ed economiche**

FrancoAngeli

ECONOMIA E POLITICA INDUSTRIALE

**Pierluigi Mancarella
Aldo Canova
Gianfranco Chicco
Giuseppe Genon**

**COGENERAZIONE
DISTRIBUITA
A GAS NATURALE**

**Modelli e tecniche
per valutazioni energetiche,
ambientali ed economiche**

FrancoAngeli

Copyright © 2009 by FrancoAngeli s.r.l., Milano, Italy.
L'opera, comprese tutte le sue parti, è tutelata dalla legge sul diritto d'autore. L'Utente nel momento in cui effettua il download dell'opera accetta tutte le condizioni della licenza d'uso dell'opera previste e comunicate sul sito www.francoangeli.it.

A tutti quelli che mi vogliono bene... nonostante tutto...
Pierluigi

A mia moglie Simona, che rappresenta la mia "fonte di energia primaria".
Aldo

*Alla mia famiglia per il continuo, paziente ed impareggiabile sostegno a tutte le mie
decisioni e attività.*
Gianfranco

Ai molti bravi allievi, nostro costante riferimento.
Giuseppe

SOMMARIO

Prefazione	pag.	13
Nomenclatura	»	15
Indice delle figure	»	21
Indice delle tabelle	»	29
1. INTRODUZIONE	»	31
2. MODELLI ENERGETICI, AMBIENTALI ED ECONOMICI PER LA PRODUZIONE DI ELETTRICITÀ E CALORE	»	36
2.1. Considerazioni modellistiche: il modello “a scatola nera” per analisi energetiche e ambientali	»	36
2.1.1. <i>La caratterizzazione energetica dei componenti di un sistema energetico: il modello dell'efficienza di primo principio</i>	»	37
2.1.2. <i>La caratterizzazione emissiva dei dispositivi di combustione: il modello dei fattori di emissione</i>	»	38
2.1.3. <i>Considerazioni generali sul modello dei fattori di emissione</i>	»	39
2.2. L'approccio “tradizionale” alla produzione di energia elettrica e termica per analisi energetiche ed ambientali	»	40
2.2.1. <i>Il modello di produzione separata di energia elettrica</i>	»	40
2.2.2. <i>Il modello di produzione separata di calore</i>	»	43
2.2.3. <i>Considerazioni generali sulla caratterizzazione emissiva del parco macchine elettrico e termico</i>	»	45
2.3. Il modello “distribuito” della produzione di energia	»	47
2.3.1. <i>Generazione distribuita di energia elettrica e termica: la cogenerazione</i>	»	47
2.3.2. <i>La generazione distribuita di energia elettrica, termica e frigorifera: la trigenerazione</i>	»	50
2.4. Valutazione economica di sistemi di generazione	»	52
2.4.1. <i>Valutazione della convenienza di un investimento</i>	»	52
2.4.2. <i>Criteri di valutazione</i>	»	56
2.4.3. <i>Sistemi di cogenerazione: metodologie per il confronto dei risultati ed analisi delle incertezze</i>	»	61
2.4.4. <i>Esempio di valutazioni economiche applicate ad impianti cogenerativi</i>	»	63

2.5. Confronto rispetto alla produzione separata e benefici della generazione distribuita	»	65
2.5.1. <i>Benefici economici della generazione distribuita e della cogenerazione</i>	»	65
2.5.2. <i>Benefici apportati al sistema elettrico dalla generazione distribuita</i>	»	67
2.5.3. <i>Benefici ambientali e in termini di risparmio energetico apportati dalla generazione distribuita</i>	»	67
2.6. Esternalità, costi esterni e valutazione economica integrale	»	68
2.6.1. <i>Definizione di esternalità</i>	»	68
2.6.2. <i>Il concetto di costo esterno in ambito energetico</i>	»	69
2.6.3. <i>Incentivi fiscali, sconti, tasse, e altre tecniche di internalizzazione dei costi esterni</i>	»	71
3. GENERALITÀ SULLE EMISSIONI DI INQUINANTI DA IMPIANTI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA E LORO IMPATTO AMBIENTALE	»	73
3.1. Combustione, energia ed emissioni	»	73
3.1.1. <i>Generalità sugli inquinanti da combustione</i>	»	73
3.1.2. <i>Un caso rilevante: emissioni da gas naturale</i>	»	75
3.2. Caratteristiche di emissione dei principali inquinanti atmosferici da combustione	»	76
3.2.1. <i>Composti ossigenati del carbonio</i>	»	76
3.2.2. <i>Anidride carbonica (CO₂)</i>	»	77
3.2.3. <i>Ossido di carbonio (CO) e idrocarburi incombusti (SOV, VOC, UHC, THC)</i>	»	78
3.2.4. <i>Ossidi di azoto (NO_x)</i>	»	79
3.2.5. <i>Composti ossigenati dello zolfo (SO_x)</i>	»	81
3.2.6. <i>Particelle solide (PM)</i>	»	81
3.2.7. <i>Microinquinanti</i>	»	82
3.3. Trasporto, dispersione e trasformazioni degli inquinanti	»	82
3.3.1. <i>Trasporto e dispersione su scala locale</i>	»	82
3.3.2. <i>Inquinamento regionale e fenomeni globali</i>	»	84
3.3.3. <i>Fenomeni di ricaduta secca ed umida</i>	»	86
3.3.4. <i>Ruolo della meteorologia</i>	»	88
3.3.5. <i>Inquinanti primari ed inquinanti secondari</i>	»	89
3.4. Impatti sulla salute umana e sull'ambiente	»	90
3.4.1. <i>Effetti sulla salute umana dei vari inquinanti</i>	»	90
3.4.2. <i>Valutazione del rischio sanitario connesso all'inquinamento</i>	»	92
3.4.3. <i>Altre conseguenze dell'inquinamento</i>	»	93
3.5. Quadro normativo	»	94
3.5.1. <i>Gas serra e Protocollo di Kyoto</i>	»	94
3.5.2. <i>Qualità dell'aria e direttive comunitarie</i>	»	95
3.5.3. <i>Qualità dell'aria e normativa nazionale</i>	»	96
3.5.4. <i>Procedure normative per grandi impianti: Valutazione di Impatto Ambientale (VIA)</i>	»	97
3.6. Trattamento delle emissioni	»	97

4. MODELLI DI VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE E AMBIENTALI DEGLI IMPIANTI COGENERATIVI	»	100
4.1. Modelli energetici di valutazione di “primo principio”	»	100
4.1.1. <i>Rendimento globale di primo principio</i>	»	100
4.1.2. <i>Rendimento “misto” energetico-economico di primo principio</i>	»	101
4.2. Modelli energetici di valutazione di “secondo principio”	»	102
4.2.1. <i>Rendimento cogenerativo di secondo principio</i>	»	102
4.2.2. <i>Criterio Razionale (RC)</i>	»	103
4.3. Modelli energetici di valutazione incrementale	»	103
4.3.1. <i>Rendimento artificiale e “heat rate” incrementale (IHR)</i>	»	103
4.3.2. <i>Gli “heat rate” incrementali elettrico (EIHR) e termico (TIHR)</i>	»	105
4.4. Modelli di valutazione del risparmio energetico	»	106
4.5. Generalità sulla modellistica di dispersione degli inquinanti in atmosfera	»	107
4.5.1. <i>Caratteristiche generali dei modelli e delle valutazioni di dispersione degli inquinanti in atmosfera</i>	»	107
4.5.2. <i>Influenza dell’atmosfera nel calcolo delle dispersioni</i>	»	108
4.5.3. <i>Classificazione dei modelli di dispersione</i>	»	111
4.6. Modelli semplificati di valutazione delle emissioni da cogenerazione rispetto alla produzione separata	»	112
4.6.1. <i>Considerazioni introduttive</i>	»	112
4.6.2. <i>Emissioni locali ed emissioni globali</i>	»	112
4.6.3. <i>Il modello del bilancio emissivo globale e del bilancio emissivo locale</i>	»	113
4.6.4. <i>Considerazioni sui due modelli differenziali spaziali</i>	»	115
4.6.5. <i>Applicabilità dei bilanci emissivi semplificati e margini di incertezza</i>	»	117
4.7. Valutazione delle emissioni di gas serra	»	118
4.7.1. <i>Il caso rilevante dell’anidride carbonica: l’Indice di Riduzione delle emissioni di CO₂ (IRCO₂)</i>	»	118
4.7.2. <i>L’indicatore IRCO₂ esteso ad altri gas serra</i>	»	119
5. CARATTERIZZAZIONE DELLE PRESTAZIONI DEI MOTORI PRIMI COGENERATIVI OGGETTO DELLO STUDIO	»	121
5.1. Confronto generale tra microturbine e motori a combustione interna	»	121
5.2. Motori alternativi a combustione interna	»	123
5.2.1. <i>Caratteristiche di cogenerazione</i>	»	124
5.2.2. <i>Caratteristiche di cogenerazione in condizioni di fuori progetto</i>	»	125
5.2.3. <i>Caratterizzazione delle emissioni di motori a combustione interna a gas naturale</i>	»	127
5.3. Microturbine	»	128
5.3.1. <i>Caratteristiche di cogenerazione</i>	»	128
5.3.2. <i>Caratteristiche di cogenerazione in condizioni di fuori progetto</i>	»	130

5.3.3. <i>Caratterizzazione delle emissioni di microturbine alimentate a gas naturale</i>	»	133
6. VALUTAZIONI GENERALI PER IL CONFRONTO ENERGETICO E AMBIENTALE TRA COGENERAZIONE E PRODUZIONE SEPARATA	»	136
6.1. Considerazioni generali	»	136
6.2. Modelli di confronto energetico	»	137
6.2.1. <i>Risparmio energetico in cogenerazione</i>	»	137
6.2.2. <i>Considerazioni generali sull'indicatore FESR</i>	»	138
6.3. Risparmio energetico: analisi tecnica e normativa	»	141
6.3.1. <i>Evoluzione storica degli indicatori di cogenerazione utilizzati nel quadro normativo italiano</i>	»	141
6.3.2. <i>Quale FESR come strumento di valutazione delle prestazioni energetiche?</i>	»	146
6.4. Valutazione di impianti di cogenerazione tramite indicatori incrementali	»	150
6.5. Confronto emissivo	»	152
6.5.1. <i>Considerazioni generali</i>	»	152
6.5.2. <i>Valutazione parametrica "di pareggio": le mappe di emissione</i>	»	154
6.5.3. <i>Esempi di analisi di pareggio per bilanci emissivi di NO_x</i>	»	154
6.5.4. <i>Esempi di analisi di pareggio per bilanci emissivi di CO</i>	»	158
6.6. Esempi di valutazione dell'impatto emissivo di sistemi di cogenerazione tramite mappe di emissione	»	161
6.6.1. <i>Impiego delle mappe di emissione per la valutazione dell'impatto ambientale</i>	»	161
6.6.2. <i>Caratteristiche emissive nominali di alcuni sistemi di generazione distribuita e confronto con le mappe di emissioni locali: il caso degli NO_x</i>	»	162
6.6.3. <i>Considerazioni specifiche sulla valutazione di impatto ambientale delle microturbine</i>	»	165
6.6.4. <i>Considerazioni specifiche sulla valutazione di impatto ambientale di motori a combustione interna</i>	»	168
6.7. Valutazione del bilancio emissivo di gas serra tramite l'indicatore IRCO₂	»	170
7. CONFRONTO ENERGETICO-EMISSIVO TRA COGENERAZIONE DISTRIBUITA E PRODUZIONE SEPARATA PER DIVERSI SCENARI	»	173
7.1. Descrizione dei modelli di analisi di scenari utilizzati	»	173
7.1.1. <i>Possibili scenari di carico</i>	»	173
7.1.2. <i>I possibili scenari di generazione distribuita per soddisfare i carichi</i>	»	174
7.1.3. <i>I possibili scenari di confronto per la produzione separata</i>	»	176
7.1.4. <i>Dimensionamento e strategie di regolazione della generazione distribuita</i>	»	177
7.2. Scenari con carico termico invernale e macchine a pieno carico	»	179

7.2.1. Descrizione degli scenari	»	179
7.2.2. Scenari di penetrazione elettrica e termica della generazione distribuita	»	181
7.2.3. Analisi delle prestazioni energetico-ambientali globali per i diversi scenari	»	183
7.2.4. Analisi delle prestazioni ambientali locali per i diversi scenari	»	185
7.2.5. Analisi delle prestazioni energetico-ambientali per scenari rilevanti	»	188
7.3. Scenari con carico termico invernale e macchine a carico variabile	»	194
7.3.1. Descrizione dei nuovi scenari di generazione	»	194
7.3.2. Analisi di scenari rilevanti	»	195
7.4. Scenari con carico termico intermedio	»	201
7.4.1. Descrizione del nuovo scenario di carico	»	201
7.4.2. Risultati delle analisi per scenari rilevanti: macchine a pieno carico	»	202
7.4.3. Risultati delle analisi per scenari rilevanti: macchine a carico parziale	»	207
7.5. Scenari con carico termico estivo	»	209
7.5.1. Descrizione dello scenario di carico estivo	»	209
7.5.2. Risultati delle analisi per scenari rilevanti	»	210
7.6. Scenari con carico termico intermedio e confronto con lo stato dell'arte per la produzione separata	»	212
8. VALUTAZIONI DELL'IMPATTO AMBIENTALE E DELLE ESTERNALITÀ DOVUTI A SISTEMI DI COGENERAZIONE DISTRIBUITA	»	215
8.1. Inquinanti ed esternalità da produzione di energia: concetti introduttivi	»	215
8.1.1. Modelli di valutazione del rischio sanitario-ambientale	»	215
8.1.2. Modelli e scenari basati su analisi dei cammini di impatto e dei flussi emissivi	»	216
8.2. Indicatori di impatto ambientale ed esternalità	»	219
8.2.1. Alcune possibili classificazioni degli indicatori di impatto ambientale	»	219
8.2.2. Indicatori di pressione lato generazione: i fattori di emissione	»	220
8.2.3. Indicatori di pressione lato recettore: il calcolo delle dispersioni	»	221
8.2.4. Altre esternalità non dovute ad emissioni di inquinanti	»	222
8.3. Indicatori aggregati di impatto ambientale: valutazione dei costi esterni ambientali con l'approccio "control costing"	»	223
8.4. Indicatori integrati di impatto ambientale: la valutazione dei costi esterni ambientali con la metodologia "ExternE"	»	224
8.4.1. Generalità sul progetto ExternE	»	224
8.4.2. Prima fase: definizione degli scenari emissivi	»	225
8.4.3. Seconda fase: analisi di dispersione	»	225
8.4.4. Terza fase: impatto sui recettori	»	227
8.4.5. Quarta fase: monetizzazione dei danni fisici	»	231

8.4.6. Valutazione dei danni da riscaldamento globale	»	232
8.4.7. Considerazioni di sintesi sulla procedura ExternE	»	233
8.4.8. Esempio di applicazione dei risultati del progetto ExternE: le esternalità della produzione centralizzata dell'energia elettrica nel Nord Italia	»	234
8.5. Le tecniche di monetizzazione dei danni fisici	»	236
8.5.1. Generalità sui metodi di monetizzazione	»	236
8.5.2. Metodo della valutazione contingente	»	237
8.5.3. Metodo dei prezzi edonici	»	237
8.5.4. Metodo dei costi di viaggio	»	239
8.6. Valutazione di costi esterni ambientali da generazione distribuita per diversi scenari	»	239
8.7. Valutazione di costi esterni ambientali da generazione distribuita con l'approccio "control costing"	»	240
8.7.1. Scenari di generazione con macchine operanti a pieno carico	»	240
8.7.2. Scenari di generazione con macchine operanti a carico parziale	»	247
8.8. Valutazione dei costi esterni ambientali da generazione distribuita con l'approccio "damage costing" di ExternE	»	249
8.8.1. Dati di costo esterno in ingresso	»	249
8.8.2. Valutazione di scenari di generazione distribuita	»	250
8.9. Considerazioni sulle analisi dei costi esterni effettuate e confronto tra approcci	»	254
8.10. Internalizzazione dei costi esterni: un esempio applicativo	»	256
9. ANALISI DELLA DISPERSIONE DI SOSTANZE INQUINANTI: UN ESEMPIO APPLICATIVO	»	259
9.1. Studio di massima finalizzato al progetto di un sistema di teleriscaldamento	»	259
9.2. Aspetti del progetto di massima	»	260
9.3. Confronto globale tra la situazione iniziale e il caso con teleriscaldamento	»	262
9.4. Analisi della dispersione degli inquinanti	»	269
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	»	275
APPENDICE: MODELLI DI VALUTAZIONE DELLE DISPERSIONI DEGLI INQUINANTI E LORO IMPLEMENTAZIONE IN SOFTWARE COMMERCIALI	»	285
A.1. Il modello gaussiano di dispersione degli inquinanti	»	285
A.2. Alcuni software per la valutazione di dispersione di inquinanti	»	288
A.2.1. AERMOD	»	288
A.2.2. ISC3	»	289
A.2.3. ECOSENSE	»	291
INDICE	»	293

PREFAZIONE

I contenuti trattati in questo testo sono basati su parte del lavoro svolto nell'ambito del progetto di ricerca "Vittorio Alfieri" intitolato "Valutazione tecnica, economica e ambientale degli scenari di diffusione della generazione distribuita nel territorio regionale", finanziato dalla Fondazione CRT, le cui attività sono state condotte nel biennio marzo 2005-febbraio 2007. Ulteriori contributi provengono da attività riguardanti il progetto triennale "Sostenibilità territoriale della generazione distribuita di energia e interazione con i sistemi elettroenergetici", finanziato dalla Regione Piemonte, svolte a partire dal mese di giugno 2006.

Le principali motivazioni che hanno portato alla stesura del testo derivano dall'intenzione degli autori di offrire un quadro ampio e multidisciplinare su problematiche energetiche di particolare rilevanza, sulle quali il dibattito in ambito tecnico-scientifico è particolarmente aperto. Le tecnologie attuali permettono di realizzare sistemi per la generazione di energia elettrica e termica di piccola scala (con potenza nominale elettrica non superiore al megawatt) in grado di garantire rendimenti accettabili e relativamente basse emissioni di inquinanti nei fumi. Lo sviluppo di queste tecnologie apre la possibilità di ipotizzare nuovi scenari energetici sul territorio, con l'obiettivo di sfruttare al meglio le possibilità offerte da un sistema distribuito, quali il recupero dell'energia termica e la riduzione delle perdite elettriche nelle reti di distribuzione.

Gli argomenti specifici inseriti nella presente trattazione riguardano la valutazione della produzione di energia distribuita sul territorio attraverso un insieme di gruppi di generazione di piccola e media potenza. I bilanci energetici e ambientali ottenibili sono confrontati con la tipica situazione attuale in cui la generazione di energia è prevalentemente concentrata in centrali di grande potenza.

Lo studio dei vari aspetti connessi alla produzione energetica richiede l'impiego di un vasto insieme di competenze riferite ad aree diverse. La letteratura tecnico-scientifica contiene vari testi che trattano in modo approfondito tematiche riguardanti le singole aree. L'approccio seguito dagli autori di questo vo-

lume è invece orientato a fornire un quadro complessivo dei concetti con un approccio sistemistico pluridisciplinare, privilegiando l'integrazione degli argomenti rispetto all'approfondimento dei dettagli specifici. In tal modo, si intende favorire l'ampliamento del bagaglio di conoscenze degli operatori dei settori elettrico, energetico e ambientale. Da un punto di vista più applicativo, si intende supportare l'azione dei decisori e dei formatori, fornendo contributi oggettivi e neutrali al dibattito sulle problematiche energetiche attuali. Vengono fornite numerose informazioni su modelli energetici, emissivi ed economici. Per rendere più immediata e fruibile la trattazione, il testo comprende riferimenti al quadro normativo ed esempi applicativi tratti da casi reali, con valutazioni numeriche relative all'impiego di tecnologie disponibili (motori a combustione interna e microturbine).

Il testo riporta numerosi spunti originali formulati dagli autori nel corso della ricerca. In particolare, i modelli e gli indicatori energetici e ambientali sviluppati permettono di sintetizzare le caratteristiche dei sistemi per la produzione locale di energia e rendono più agevole il confronto tra diverse soluzioni e il riferimento dato dalla produzione centralizzata. In questo modo, gli autori intendono coprire la carenza nella definizione di tecniche di analisi energetico-emissive *integrate* per valutare gli effetti della generazione distribuita di energia. A questo proposito, la trattazione è segnatamente innovativa dal punto di vista delle metodologie (con riferimenti a costi esterni per la generazione distribuita, bilanci emissivi locali e globali come strumento semplificato di analisi di scenario, mappe emissive per condurre analisi di impatto estese sul territorio) e condotta con taglio scientifico, rimanendo però nell'ambito di formulazioni matematiche sintetiche per consentire la fruibilità del testo ad un insieme di lettori relativamente ampio.

Riferimenti

Dott. Pierluigi Mancarella: Dipartimento di Ingegneria Elettrica, corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Tel. 011 090 7141, Fax 011 090 7199, e-mail pierluigi.mancarella@polito.it.

Prof. Aldo Canova: Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Elettrica, corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Tel. 011 090 7158, Fax 011 090 7199, e-mail aldo.canova@polito.it.

Prof. Gianfranco Chicco: Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria Elettrica, corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Tel. 011 090 7141, Fax 011 090 7199, e-mail gianfranco.chicco@polito.it.

Prof. Giuseppe Genon: Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie, corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Tel. 011 090 7660, Fax 011 090 7699, e-mail giuseppe.genon@polito.it.

NOMENCLATURA

Acronimi

<i>AW</i>	Annual Worth
<i>CESI</i>	Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano
<i>CHP</i>	Cogenerazione (“ <i>Combined Heat and Power</i> ”)
<i>CIP</i>	Commissione Interministeriale Prezzi
<i>CW</i>	Capitalized Worth
<i>DG</i>	Distributed Generation
<i>DLN</i>	Dry Low NO _x
<i>DPBT</i>	Discounted Pay-Back Time
<i>DPT</i>	Direzione Produzione Termoelettrica
<i>ECU</i>	Unità di conto europea (“ <i>European Currency Unit</i> ”)
<i>EHR</i>	Electrical Heat Rate
<i>EIHR</i>	Electrical Incremental Heat Rate
<i>EPA</i>	Environmental Protection Agency
<i>ERR</i>	External Rate of Return
<i>EUUF</i>	Fattore di Utilizzazione dell’Energia (“ <i>Energy Utilisation Factor</i> ”)
<i>FESR</i>	Fuel Energy Saving Ratio
<i>FW</i>	Future Worth
<i>GD</i>	Generazione Distribuita
<i>GHG</i>	Gas serra (“ <i>GreenHouse Gas</i> ”)
<i>GWP</i>	Potenziale di Riscaldamento Globale (“ <i>Global Warming Potential</i> ”)
<i>GPL</i>	Gas petrolifero liquido
<i>HR</i>	Heat Rate
<i>ICE</i>	Motore a combustione interna (“ <i>Internal Combustion Engine</i> ”)
<i>Ien</i>	Indice energetico
<i>IHR</i>	Incremental Heat Rate
<i>IPA</i>	Idrocarburi policiclici aromatici
<i>IRCO2</i>	Indice di Riduzione delle Emissioni di CO ₂

<i>IRCO2T</i>	Indice di Riduzione delle Emissioni di CO ₂ in trigenerazione
<i>IRE</i>	Indice di Risparmio Energetico
<i>IRR</i>	Internal Rate of Return
<i>LCC</i>	Life Cycle Costing
<i>LHV</i>	Potere Calorifico Inferiore (“ <i>Lower Heating Value</i> ”)
<i>LT</i>	Limite Termico
<i>MT</i>	Microturbina (“ <i>Micro-Turbine</i> ”)
<i>MARR</i>	Minimum Attractive Rate of Return
<i>MPVC</i>	Maximum Prospective Value Criterion
<i>NMOC</i>	Non-Methane Organic Compounds
<i>NSCR</i>	Riduzione Catalitica Non Selettiva (“ <i>Non-Selective Cathalytic Reduc- tion</i> ”)
<i>NPV</i>	Net Present Value
<i>PBL</i>	Planetary Boundary Layer
<i>PBT</i>	Pay Back Time
<i>PCDD</i>	Policlorodibenzodiossine
<i>PCDF</i>	Policlorodibenzofurani
<i>PCI</i>	Potere Calorifico Inferiore
<i>PCS</i>	Potere Calorifico Superiore
<i>PES</i>	Risparmio di Energia Primaria (“ <i>Primary Energy Saving</i> ”)
<i>PI</i>	Profitability Index
<i>PIR</i>	Profit to Investment Ratio
<i>PM</i>	Particelle solide (“ <i>Particulate Matter</i> ”)
<i>PP</i>	Payback Period
<i>PTS</i>	Polveri totali sospese
<i>PW</i>	Present Worth
<i>PWP</i>	Premium Worth Percentage
<i>RC</i>	Criterio Razionale (“ <i>Rational Criterion</i> ”)
<i>REP</i>	Risparmio di Energia Primaria
<i>RfC</i>	Reference Concentration
<i>RfD</i>	Reference Dose
<i>SCR</i>	Riduzione Catalitica Selettiva (“ <i>Selective Cathalytic Reduction</i> ”)
<i>SOV</i>	Sostanze Organiche Volatili
<i>SP</i>	Produzione Separata (“ <i>Separate Production</i> ”)
<i>SPBT</i>	Single Pay Back Time
<i>THC</i>	Total HydroCarbons
<i>TR</i>	Tempo di Ritorno
<i>TIHR</i>	Thermal Incremental Heat Rate
<i>TIT</i>	Turbine Inlet Temperature
<i>UHC</i>	Unburned HydroCarbons

<i>VAN</i>	Valore Attuale Netto
<i>VIA</i>	Valutazione di Impatto Ambientale
<i>VOC</i>	Volatile Organic Compounds
<i>WTP</i>	Willingness To Pay
<i>WTA</i>	Willingness To Accept

Pedici

I *pedici* rappresentano sorgenti di energia, usi finali, oppure tipologia di inquinante o patologia, e specificano le unità di misura:

<i>c</i>	frigorifera (“ <i>cooling</i> ”)
<i>d</i>	domanda
<i>e</i>	elettrica
<i>f</i>	combustibile (“ <i>fuel</i> ”)
<i>g</i>	gas
<i>i</i>	variabile generica
<i>j</i>	variabile generica
<i>k</i>	variabile generica
<i>ℓ</i>	recettore
<i>p</i>	inquinante generico (“ <i>pollutant</i> ”)
<i>t</i>	termica
<i>u</i>	utile
<i>v</i>	patologia
<i>y</i>	cogenerazione

Apici

Gli *apici* indicano le macchine e i sistemi di produzione utilizzati.

Simboli

<i>a</i>	tasso di attualizzazione
<i>k</i>	costante di Von Karman
<i>m</i>	massa di inquinanti emessa da combustione [g]
<i>n</i>	numero di anni (incognito)
<i>p</i>	fattore riferito alle perdite elettriche di trasmissione e distribuzione evitate (nella definizione dell’ <i>IRE</i>)
<i>r</i>	funzione dose-risposta [numero di casi/(persone·anno·(μg/m ³))]
<i>u</i>	velocità [m/s]

x	coordinata spaziale [m]
y	coordinata spaziale [m]
z	coordinata spaziale [m]
B	numero di celle per la discretizzazione del territorio
C	importo economico [€]
D	danno [€/anno]
E	energia (nella normativa) [kWh]
F	energia termica oraria contenuta nel combustibile [kWh _t] ovvero potenza media oraria [kW _t]
H	altezza [m]
I	costo di investimento [€]
K	numero di anni (dato)
L	lunghezza di Monin-Obukhov [m]
M	numero di sostanze inquinanti
N	numero di anni di vita utile
P	popolazione della cella nella zona geografica considerata [persone]
Q	energia termica oraria [kWh _t] ovvero potenza media oraria [kW _t]
R	energia frigorifera oraria (o di “refrigerazione”) [kWh _c] ovvero potenza media oraria [kW _c]
T	temperatura assoluta [K]
U	costo unitario di una patologia [€/caso]
V	numero di patologie
W	energia elettrica oraria [kWh _e] ovvero potenza media oraria [kW _e]
Y	costo di funzionamento [€]
Z	ricavo o costo evitato [€]

Lettere greche

α	frazione della popolazione recettrice di un impatto
β	costante positiva per la valutazione della velocità del vento [m/s]
χ	concentrazione di inquinante [g/m ³]
δ	fattore di sconto (<i>discount factor</i>)
γ	percentuale di rischio
η	efficienza
φ	flusso di inquinante emesso [g/s]
κ	frazione dei soggetti presi in considerazione per valutazioni di impatto
λ	rapporto di cogenerazione
μ	fattore di emissione (emissione specifica in massa per unità di energia [g/kWh])
π	profitto [€]

\mathcal{I}	<i>MARR</i>
ρ	densità dell'aria [kg/m^3]
σ	coefficiente di dispersione direzionale [m]
τ	sforzo di taglio del vento per unità di superficie [N/m^2]
ν	densità del recettore [persone/ km^2]
ξ	prezzo [€/kWh]
ζ	tasso di incidenza di una data patologia [numero casi/(persone·anno)]
Δ	differenza finita
Λ	numero di recettori
Φ	flusso di cassa (<i>cash flow</i>) [€]