



UNIVERSITA' DI PADOVA
FACOLTA' D'INGEGNERIA

SCUOLA DI DOTTORATO DI RICERCA IN
INGEGNERIA INDUSTRIALE

INDIRIZZO ENERGETICA

CICLO: XXIII

Scenari energetici di lungo periodo, vincoli tecnici ed ambientali

DIRETTORE DELLA SCUOLA:
Prof. Paolo F. Bariani

SUPERVISORE:
Prof. Arturo Lorenzoni

DOTTORANDO: Fabio Disconzi

31 gennaio 2011



*Ai miei genitori,
che mi hanno insegnato ad essere curioso.*

Scenari energetici di lungo periodo, vincoli tecnici ed ambientali

1.	Introduzione	1
2.	La situazione energetica italiana, dati storici.....	3
2.1.	Consumi finali e consumi energia primaria	3
2.2.	Settore elettrico.....	5
2.3.	Emissioni di gas serra	6
2.4.	Studi di previsione energetici italiani	7
2.4.1.	Scenario Tendenziale dei consumi e del fabbisogno al 2020 – MAP 2005	7
2.4.2.	Scenario ENEA.....	7
2.4.3.	Unione Petrolifera.....	8
3.	Modello DIEM	10
3.1.	Modelli di simulazione e modelli di ottimizzazione.....	10
3.2.	Principio di accumulazione.....	12
3.3.	Architettura del modello DIEM.....	12
3.3.1.	Trasformazione energia elettrica, import e bunkeraggi	14
3.4.	Interventi, misure ed opzioni	15
3.4.1.	Opzione nucleare	16
3.4.2.	Efficienza energetica nel settore civile	17
3.4.3.	Efficienza energetica nel settore industriale	17
3.4.4.	Efficienza nel settore trasporti	17
3.4.5.	Energia rinnovabile: potenziale geotermico per usi termici.....	17
3.4.6.	Energia rinnovabile: potenziale della fonte solare per usi termici	17
3.4.7.	Energia rinnovabile: potenziale della fonte biomassa per usi termici.....	18
3.4.8.	Energia rinnovabile: potenziale biocombustibili	18
3.4.9.	Energia rinnovabile: potenziale della fonte idroelettrica	18
3.4.10.	Potenziale fonte eolica	18
3.4.11.	Potenziale fonte solare, produzione elettrica	18
3.4.12.	Potenziale energia geotermica, produzione energia elettrica	18
3.4.13.	Potenziale biomassa, produzione elettrica	18
3.4.14.	Potenziale produzione energia elettrica energia marina, onde e maree.....	19
3.4.15.	Intervento sull'intensità energetica del settore civile.....	19
3.4.16.	Intensità elettrica nel settore civile.....	19
3.4.17.	Intensità energetica settore trasporti	19
3.4.18.	Opzione Carbon Capture and Storage (CCS).....	19
3.4.19.	Produzione di energia elettrica da rifiuti.....	20
3.4.20.	Crescita economica tendente a zero	21
3.5.	Scenari	21
3.5.1.	Scenario Business As Usual.....	21
3.5.2.	Effetti dei singoli interventi	23

3.5.3.	Scenario Grey.....	24
3.5.4.	Scenario Yellow.....	25
3.5.5.	Green scenario.....	26
3.5.6.	Scenario New World.....	28
3.6.	Confronti e osservazioni.....	29
4.	Modello NEF Global Futures 2009.....	31
4.1.	Struttura del modello.....	31
4.1.1.	Architettura del modello per ogni singola Regione.....	31
4.2.	Principali risultati.....	33
4.2.1.	Scenario “base case”.....	33
4.2.2.	Scenario “2020 peak”.....	42
4.3.	Considerazioni e conclusioni.....	43
5.	Efficienza in ambito residenziale.....	47
5.1.	Analisi economica degli interventi in ambito residenziale.....	48
5.1.1.	Metodo utilizzato.....	49
5.2.	Analisi interventi.....	49
5.2.1.	Isolamento, stagione invernale.....	49
5.2.2.	Isolamento, stagione estiva.....	50
5.2.3.	Sostituzione finestre, stagione invernale.....	51
5.2.4.	Sostituzione finestre, stagione estiva.....	52
5.2.5.	Ombreggiature e pellicole solari, stagione estiva.....	53
5.2.6.	Tetti ventilati.....	54
5.2.7.	Sistema di riscaldamento.....	54
5.2.8.	Sistemi di climatizzazione.....	56
5.2.9.	Valvole di regolazione.....	57
5.2.10.	Pannelli solari per la produzione di acqua calda.....	58
5.2.11.	Fotovoltaico.....	59
5.2.12.	Illuminazione.....	60
5.2.13.	Ventilazione meccanica controllata.....	60
5.2.14.	Recupero dell’acqua piovana.....	61
5.2.15.	Tetti verdi.....	61
5.3.	Classifica degli interventi.....	61
5.4.	Verso Case passive?.....	62
6.	Accettabilità sociale delle tecnologie energetiche.....	64
6.1.	La resistenza sociale.....	64
6.1.1.	Le tre dimensioni dell’accettabilità sociale.....	64
6.2.	Accettabilità sociale degli impianti a fonti rinnovabili: globale VS locale.....	65
6.3.	Ricerca sull’accettabilità sociale.....	66
6.3.1.	Struttura del questionario.....	66
6.3.2.	Percezioni.....	67
6.3.3.	Strategie proposte.....	68
6.3.4.	Aspettative.....	69
6.4.	Progettazione e diffusione del questionario.....	70

6.4.1.	Tecnologie considerate	71
6.5.	Descrizione del campione.....	72
6.6.	Analisi dati.....	74
6.6.1.	Dimensioni e rischio percepito	74
6.6.2.	Importanza percepita per le strategie considerate	74
6.6.3.	Aspettative: evoluzione tecnologica e nuova capacità	74
6.7.	Analisi delle differenti percezioni tra la popolazione	75
6.7.1.	Fattore sesso.....	75
6.7.2.	Fattore età	75
6.7.3.	Fattore titolo di studio.....	76
6.7.4.	Area professionale	76
6.7.5.	Responsabilità amministrativa	76
6.8.	Considerazioni e commenti	77
6.8.1.	Tecnologie conosciute	77
6.8.2.	Caratteristiche del campione.....	77
6.8.3.	Dimensioni e sul rischio percepito.....	77
6.8.4.	Aspettative evoluzione tecnologica e nuova capacità	78
6.8.4.1.	Aspettative per tecnologia	79
6.8.5.	Strategie proposte.	80
6.8.5.1.	Discussione per tecnologia	80
6.8.5.2.	Discussione per strategia	81
6.8.6.	Dipendenza dal sesso della popolazione.....	82
6.8.7.	Dipendenza dall'età	82
6.8.8.	Dipendenza dal titolo di studio	82
6.8.9.	Dipendenza dal settore professionale.....	83
6.9.	Discussione e considerazioni.....	83
7.	Situazione nucleare nel mondo.....	85
7.1.	Introduzione.....	85
7.2.	L'industria nucleare per la produzione di energia elettrica.....	85
7.2.1.	La consistenza del parco	85
7.2.2.	La produzione di energia elettrica.....	86
7.2.3.	Produzione ed affidabilità.....	87
7.3.	Aspetti economici della produzione elettrica nucleare	89
7.3.1.	I costi di investimento	89
7.3.2.	I costi del ciclo del combustibile	90
7.3.3.	I costi O&M.....	90
7.3.4.	I costi di smantellamento e recupero sito.....	91
7.3.5.	Costo produzione dell'energia	91
7.3.6.	La sensibilità ai principali fattori di costo.....	91
7.4.	Il costo energetico.....	93
7.5.	Sicurezza degli impianti	95
7.5.1.	Incidenti e rischio.....	95
7.5.2.	Dosi radioattive emesse dalle centrali nucleari.....	96

7.5.3.	Proliferazione nucleare.....	96
7.6.	Ambiente.....	97
7.6.1.	Produzione di rifiuti radioattivi.....	97
7.6.2.	Materiale stoccato e siti di stoccaggio.....	97
7.6.3.	Emissioni gas Serra.....	98
7.6.4.	Utilizzo di acqua.....	100
8.	Effetto dell'energia nucleare sul sistema energetico italiano.....	101
8.1.	Introduzione.....	101
8.2.	Cenni di storia del nucleare in Italia.....	101
8.3.	Accettabilità sociale degli impianti nucleari.....	102
8.4.	Come l'Italia sta "programmando" la ripresa nucleare?.....	102
8.5.	La popolazione a chi dà più fiducia?.....	105
8.6.	Effetto sul sistema elettrico.....	105
8.6.1.	La generazione di energia elettrica negli anni 2000 – 2009.....	105
8.6.2.	Previsioni domanda di energia elettrica 2009 – 2030: scenario tendenziale e scenario efficiente.....	106
8.6.3.	Import di energia elettrica.....	107
8.6.4.	Energia per servizi ausiliari.....	107
8.6.5.	Energia per pompaggi.....	107
8.7.	Produzione lorda di energia elettrica.....	107
8.7.1.	Produzione da fonti rinnovabili.....	108
8.8.	Introduzione generazione term nucleare.....	111
8.9.	Scenari generazione elettrica.....	111
8.9.1.	Scenario tendenziale (4 casi studio).....	112
8.9.2.	Scenario efficiente.....	113
8.10.	Accettabilità sociale – Differenti percezioni tra la popolazione.....	114
8.10.1.	Analisi dipendenza sesso.....	115
8.10.2.	Analisi "dipendenza età".....	115
8.10.3.	Analisi dipendenza livello educazione scolastica.....	118
8.11.	Discussione e conclusione.....	120
9.	Conclusioni.....	124
	Bibliografia.....	126

Indice delle Figure

Fig. 1 - Dati storici consumi finali 1970 – 2008 [Mtep].	3
Fig. 2 - Consumo interno lordo, dati storici [Mtep].	4
Fig. 3 - Dati storici per la generazione lorda di energia elettrica del sistema elettrico italiano [TWh].	6
Fig. 4 - Dati storici emissioni gas serra [Mt _{CO2eq}].	6
Fig. 5 - Analisi di scenario ENEA [Mtep].	8
Fig. 6 - Principio di accumulazione.	12
Fig. 7 - Serie storica delle intensità energetiche italiane.	13
Fig. 8 - Serie storica delle intensità elettriche italiane [tep/M€].	14
Fig. 9 - Architettura del Modello DIEM.	15
Fig. 10 - Architettura del settore rifiuti.	20
Fig. 11 - Crescita economica scenario "New World".	21
Fig. 12 - Scenario BAU, consumo interno lordo [Mtep].	22
Fig. 13 - Emissioni scenario BAU [Mt _{CO2eq}].	22
Fig. 14 - Scenario Grey, consumo interno lordo [Mtep].	24
Fig. 15 - Emissioni scenario Grey [Mt _{CO2eq}].	25
Fig. 16 - Scenario Yellow, consumo interno lordo [Mtep].	26
Fig. 17 - Emissioni scenario Yellow [Mt _{CO2eq}].	26
Fig. 18 - Scenario Green, consumo interno lordo [Mtep].	27
Fig. 19 - Emissioni scenario Green [Mt _{CO2eq}].	27
Fig. 20 - Scenario "New World", consumo interno lordo [Mtep].	28
Fig. 21 - Emissioni scenario "New World" [Mt _{CO2eq}].	29
Fig. 22 - Consumo interno lordo secondo gli scenari considerati [Mtep].	30
Fig. 23 - Differenze emissioni di gas serra negli scenari considerati [MtCO2eq].	30
Fig. 24 - Architettura del modello NEF GF 2009.	32
Fig. 25 - Panoramica del modello per una Regione.	32
Fig. 26 - Consumi energetici mondiali "base case" scenario [Gtep].	33
Fig. 27 - Previsioni domanda energetica mondiale [Gtep].	34
Fig. 28 - Consumo di elettricità come percentuale dei consumi totali di energia.	34
Fig. 29 - Previsioni domanda di energia elettrica OECD Europe, OECD Nord America e Cina [TWh].	35
Fig. 30 - Produzione di energia elettrica da fonti non rinnovabili [TWh].	35
Fig. 31 - Produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile [TWh].	36
Fig. 32 - Generazione energia elettrica, capacità installata al 2030 [GW].	37
Fig. 33 - Costo pannelli fotovoltaici [\$/W].	37
Fig. 34 - Capacità fotovoltaico installata [GW].	38
Fig. 35 - Installazione capacità fonte eolica [GW].	38
Fig. 36 - Capacità installata tecnologia Idroelettrico bassa capacità [GW].	39
Fig. 37 - Capacità installata settore biomassa [GW].	39
Fig. 38 - Capacità installata fonte geotermica [GW].	40
Fig. 39 - Capacità installata fonte marina [GW].	41
Fig. 40 - Capacità fonte nucleare [GW].	41
Fig. 41 - Investimenti fotovoltaico [G\$].	42
Fig. 42 - Confronto capacità installata fotovoltaico scenario "base case" e scenario "2020 peak" [GW].	42
Fig. 43 - Confronto capacità installata scenario "base case" e scenario "2020 peak" [GW].	43
Fig. 44 - Emissioni evitate grazie alla tecnologia CCS [MtCO ₂].	43
Fig. 45 - Emissioni scenario base NEF GF 2009.	44
Fig. 46 - Investimenti in tecnologie rinnovabili.	44
Fig. 47 - Emissioni scenario "2020 peak".	45
Fig. 48 - Investimenti annuali secondo lo scenario "2020 peak".	46
Fig. 49 - Confronto investimenti tecnologie rinnovabili.	46
Fig. 50 - Classifica interventi secondo il parametro Costo Energia Conservata.	62
Fig. 51 - Le tre dimensioni dell'accettabilità sociale.	65
Fig. 52 - Snapshot della prima pagina online del questionario.	71

Fig. 53 - Statistiche sulla conoscenza delle tecnologie in funzione del genere.....	73
Fig. 54 - Posizionamento delle tecnologie in un piano "dimensioni - rischio".....	78
Fig. 55 - Aspettative evoluzione tecnologica ed aspettative nuova capacità.....	79
Fig. 56 - Share di produzione di energia elettrica da nucleare (2006).....	87
Fig. 57 - Andamento EAF dal 1991 al 2006.....	88
Fig. 58 - Andamento del prezzo dell'Uranio [€/kg].	90
Fig. 59 - Costi di produzione dell'energia elettrica da fonte nucleare, carbone e gas secondo IEA/NEA.	93
Fig. 60 - Bilancio energetico di un impianto nucleare.....	93
Fig. 61 - Previsione della domanda di energia elettrica e generazione lorda [TWh].....	108
Fig. 62 - Generazione da fonte rinnovabile, caso studio BAU [GWh].....	109
Fig. 63 - Generazione da fonte rinnovabile, caso studio VERDE [GWh].....	110
Fig. 64 - Introduzione energia nucleare.....	111
Fig. 65 - Scenari considerati e casi studio.	112
Fig. 66 - Mix di generazione al 2030 nei 4 casi studio dello scenario tendenziale.	113
Fig. 67 - Mix di generazione al 2030 nei 4 casi studio dello scenario efficiente.....	114

Indice delle Tabelle

Tab. 1 - Dati storici consumi finali [Mtep].....	3
Tab. 2 - Dati storici consumo interno lordo [Mtep].	4
Tab. 3 - Dati storici domanda energia elettrica [TWh].....	5
Tab. 4 - Serie storica generazione lorda energia elettrica [TWh].....	5
Tab. 5 - Dati storici emissioni gas serra [Mt _{CO₂eq}]......	6
Tab. 6 - Fabbisogno energetico nazionale secondo il MAP 2005 [Mtep].	7
Tab. 7 - Domanda energetica secondo le previsioni di Unione Petrolifera [Mtep].	9
Tab. 8 - Previsioni di crescita economica utilizzate nel modello DIEM.	12
Tab. 9 - Serie storica intensità energetiche.....	13
Tab. 10 - Interventi ed opzioni considerate nel modello DIEM.	16
Tab. 11 - Assunzioni opzione nucleare.	16
Tab. 12 - Opzione efficienza energetica nel settore civile.	17
Tab. 13 - Opzione Efficienza energetica nel settore industriale.....	17
Tab. 14 - Assunzioni per il risparmio energetico settore trasporti.	17
Tab. 15 - Potenziale energia geotermica.	17
Tab. 16 - Potenziale energia solare.	17
Tab. 17 - Potenziale energia da biomassa.	18
Tab. 18 - Potenziale biocombustibili.....	18
Tab. 19 - Potenziale energia idroelettrica.....	18
Tab. 20 - Potenziale fonte eolica.	18
Tab. 21 - Potenziale produzione energia elettrica da fonte solare.....	18
Tab. 22 - Potenziale energia geotermica, produzione energia elettrica.....	18
Tab. 23 - Potenziale biomassa, produzione elettrica.	19
Tab. 24 - Potenziale energia da onde e maree.....	19
Tab. 25 - Assunzioni opzione tecnologica CCS.....	20
Tab. 26 - Consumo interno lordo Italia, scenario BAU [Mtep].	21
Tab. 27 - Emissioni gas serra scenario BAU [Mt _{CO₂eq}].	22
Tab. 28 - Effetti sul consumo interno lordo dei singoli interventi [Mtep].	23
Tab. 29 - Effetti sulle emissioni dei singoli interventi [Mt _{CO₂eq}].	23
Tab. 30 - Scenari considerati.....	24
Tab. 31 - Consumo interno lordo ed emissioni scenario Grey [Mtep].	24
Tab. 32 - Consumo interno lordo ed emissioni scenario Yellow [Mtep].	25
Tab. 33 - Consumo interno lordo ed emissioni scenario Green [Mtep].	26
Tab. 34 - Consumo interno lordo scenario ed emissioni "New World" [Mtep].	28
Tab. 35 - Suddivisione geografica del modello NEF GF 2009.	31
Tab. 36 - Sigle ed acronimi.	49
Tab. 37 - Analisi intervento involucro edilizio, stagione invernale.	50
Tab. 38 - Città considerate.	50
Tab. 39 - Radiazione solare media delle città considerate.	50
Tab. 40 - Analisi intervento involucro esterno stagione estiva.	51
Tab. 41 - Analisi intervento sostituzione vetri stagione invernale.	52
Tab. 42 - Irraggiamento zone climatiche considerate.....	52
Tab. 43 - Analisi intervento sostituzione vetri, stagione estiva.....	52
Tab. 44 - Analisi intervento ombreggiature e pellicole solari.....	53
Tab. 45 - Analisi intervento ombreggiature e pellicole solari, stagione estiva.....	53
Tab. 46 - Analisi tecnico – economica dell'intervento "tetto ventilato".	54
Tab. 47 - Fabbisogno energetico in funziona della zona climatica.	55
Tab. 48 - Analisi intervento sostituzione impianto di riscaldamento.	55
Tab. 49 - Condizioni di riferimento dell'analisi sostituzione impianto di climatizzazione.....	56
Tab. 50 - Analisi intervento "sistema di climatizzazione".	56
Tab. 51 - Fattori suggeriti dalle linee guida AEEG.....	57
Tab. 52 - Prestazioni del sistema in funziona del tipo di abitazione.	57

Tab. 53 - Costi e Costo dell'Energia Conservata in funzione del tipo di abitazione.....	57
Tab. 54 - Valutazione economica in funzione del tipo di abitazione e del tipo di distribuzione.....	58
Tab. 55 - Analisi intervento installazione pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria.....	58
Tab. 56 - Analisi intervento installazione pannelli fotovoltaici.....	60
Tab. 57 - Analisi intervento "sostituzione sistema di illuminazione".....	60
Tab. 58 - Analisi intervento "ventilazione meccanica controllata".....	60
Tab. 59 - Analisi intervento "recupero acqua piovana".....	61
Tab. 60 - Analisi intervento "tetto verde".....	61
Tab. 61 - Applicazione degli interventi, costi e risparmio energetico.....	62
Tab. 62 - Domande sulle percezioni.....	67
Tab. 63 - Domande relative alla valutazione dell'importanza di una strategia.....	68
Tab. 64 - Domande inerenti le aspettative.....	69
Tab. 65 - Traccia del questionario.....	70
Tab. 66 - Tecnologie considerate.....	71
Tab. 67 - Statistiche tecnologie conosciute.....	72
Tab. 68 - Statistiche e profilatura del campione.....	73
Tab. 69 - Statistiche percezioni.....	74
Tab. 70 - Statistiche valutazioni strategie proposte.....	74
Tab. 71 - Statistiche per le aspettative.....	75
Tab. 72 - Fattori che presentano differenze significative tra maschi e femmine.....	75
Tab. 73 - Fattori che dipendono dall'età.....	75
Tab. 74 - Fattori che dipendono dal titolo di studio.....	76
Tab. 75 - Fattori che dipendono dall'area professionale.....	76
Tab. 76 - Classifica delle strategie.....	80
Tab. 77 - Reattori in funzione nel mondo.....	85
Tab. 78 - Reattori in costruzione.....	86
Tab. 79 - Reattori nucleari chiusi.....	86
Tab. 80 - Costi di investimento.....	89
Tab. 81 - Costi del ciclo del combustibile.....	90
Tab. 82 - Costi di esercizio e manutenzione.....	90
Tab. 83 - Costi di smantellamento e recupero sito.....	91
Tab. 84 - Costo di produzione dell'energia elettrica da fonte nucleare.....	91
Tab. 85 - Costo produzione energia elettrica studio MIT.....	92
Tab. 86 - Costo energia elettrica da nucleare in funzione del fattore di carico e tempo di costruzione.....	92
Tab. 87 - Costo energia elettrica da nucleare in funzione delle politiche governative.....	92
Tab. 88 - Costo energia elettrica da nucleare in funzione delle politiche governative.....	92
Tab. 89 - Rapporto di ritorno energetico.....	94
Tab. 90 - Efficienza energetica ciclo di vita.....	94
Tab. 91 - Debito energetico e tempo di ritorno energetico.....	94
Tab. 92 - Sensibilità del tempo di ritorno energetico verso la concentrazione dell'uranio nel minerale estratto.....	95
Tab. 93 - Probabilità di evento catastrofico.....	95
Tab. 94 - Elenco dei maggiori incidenti nucleari.....	95
Tab. 95 - Classificazione rifiuti radioattivi.....	97
Tab. 96 - Emissioni di gas serra nel ciclo di vita di un impianto nucleare per la produzione di energia elettrica.....	98
Tab. 97 - Emissioni di CO2 del ciclo del combustibile, scenario "base" durata 30 anni e fattore di carico 0.82.....	99
Tab. 98 - Emissioni di CO2 per la costruzione e lo smantellamento della centrale, scenario "base" durata 30 anni e fattore di carico 0.82.....	99
Tab. 99 - Rapporto di emissione medio per tipologia di impianto.....	99
Tab. 100 - Consumo di acqua nel ciclo del combustibile.....	100
Tab. 101 - Di quali enti ti fidi maggiormente per ricevere informazioni riguardanti l'energia nucleare ed in particolar modo riguardanti la sicurezza dell'energia nucleare?.....	105
Tab. 102 - Previsioni domanda di energia elettrica [TWh].....	106
Tab. 103 - Previsioni importazioni energia elettrica [GWh].....	107

Tab. 104 - Energia per pompaggi 2000 – 2009 [GWh].	107
Tab. 105 - Domanda di energia elettrica e produzione lorda [TWh].	108
Tab. 106 - Produzione da fonte rinnovabile caso studio “BAU” [GWh].	109
Tab. 107 - Produzione da fonte rinnovabile caso studio “verde” [GWh].	110
Tab. 108 - Ipotesi generazione energia elettrica da fonte nucleare.	111
Tab. 109 - Generazione elettrica scenario tendenziale [TWh].	112
Tab. 110 - Generazione elettrica scenario efficiente [TWh].	113
Tab. 111 - Emissioni gas serra [MtCO ₂ eq].	114
Tab. 112 - Tecnologia nucleare, fattori con differenze significative tra maschi e femmine.	115
Tab. 113 - Tecnologia nucleare, fattori che presentano differenze significative in relazione all’età.	115
Tab. 114 - Tecnologia nucleare, percezione delle dimensioni in funzione dell’età del campione.	115
Tab. 115 - Tecnologia nucleare, percezione del rischio per la tecnologia nucleare a seconda della fascia di età.	116
Tab. 116 - Tecnologia nucleare, valutazione strategia “informazioni” a seconda della fascia di età.	116
Tab. 117 - Tecnologia nucleare, valutazione strategia “partecipazione decisione” in funzione della fascia di età.	116
Tab. 118 - Tecnologia nucleare, valutazione strategia “ambiente” in funzione della fascia d’età.	117
Tab. 119 - Tecnologia nucleare, valutazione strategia “indipendenza energetica” in funzione della fascia d’età.	117
Tab. 120 - Tecnologia nucleare, valutazione strategia “opinione scienziati” in funzione della fascia d’età.	117
Tab. 121 - Tecnologia nucleare, valutazione strategia “opinione dei politici” in funzione della fascia d’età.	117
Tab. 122 - Tecnologia nucleare, valutazione aspettative di evoluzione tecnologica in funzione della fascia d’età.	118
Tab. 123 - Tecnologia nucleare, statiche aspettative nuova capacità in relazione all’età della popolazione.	118
Tab. 124 - Tecnologia nucleare, fattori che presentano differenze significative in funzione del titolo di studio.	118
Tab. 125 - Tecnologia nucleare, percezione delle dimensioni in relazione al titolo di studio.	118
Tab. 126 - Tecnologia nucleare, percezione del rischio in funzione del titolo di studio.	119
Tab. 127 - Tecnologia nucleare, aspettative evoluzione tecnologica in funziona del livello di educazione scolastica.	119
Tab. 128 - Tecnologia nucleare, valutazione strategia “condivisione benefici economici” in relazione al livello di educazione scolastica.	119
Tab. 129 - Tecnologia nucleare, valutazione strategia “indipendenza energetica” in relazione al livello di educazione scolastica.	120
Tab. 130 - Tecnologia nucleare, valutazione strategia “opinione dei politici” in relazione al livello di educazione scolastica.	120

Sommario

Il ricorso alle fonti fossili per la soddisfazione della domanda energetica mondiale rilascia in atmosfera quantità di gas ad effetto serra tali da comportare modifiche al clima terrestre. Per limitare il surriscaldamento terrestre è necessario accelerare, rispetto i ritmi attuali, gli investimenti nelle fonti rinnovabili e nelle tecnologie a basso impatto ambientale. Con lo sviluppo di un modello energetico su scala mondiale sono stati valutati gli investimenti necessari per invertire la crescita delle emissioni entro l'anno 2020 e mantenere l'incremento globale di temperatura rispetto ai livelli pre - era industriale sotto i 2.8°C.

La Comunità Europea, secondo mercato energetico mondiale con una serie di politiche energetiche ha fissato degli importanti obiettivi di carattere energetico entro il 2020: ridurre la domanda di energia finale del 20% rispetto le previsioni tendenziali, ridurre le emissioni di gas serra del 20% rispetto ai livelli del 2005, produrre il 20% dell'energia finale da fonti rinnovabili, utilizzare almeno il 10% di carburanti non tradizionali nel settore dei trasporti. Affinché lo sforzo sia equamente ripartito tra gli Stati Membri, ognuno di essi ha un proprio obiettivo: per l'Italia gli obiettivi sono una produzione di energia da fonte rinnovabile pari al 17% dei consumi finali ed una riduzione delle emissioni del 13% rispetto i livelli del 2005.

Tenendo in considerazione gli obiettivi italiani, il modello energetico descritto in questa tesi analizza le inerzie, le criticità, le difficoltà per il conseguimento degli obiettivi e le possibili evoluzioni del sistema energetico italiano considerando l'introduzione di nuove tecnologie e di nuove politiche energetiche.

L'efficienza energetica, soprattutto nel settore civile, ha un buon potenziale: essa è stata analizzata studiando una serie di interventi energetici applicabili agli edifici, valutandone gli aspetti tecnico economici.

La trasformazione dell'attuale sistema energetico basato sulla produzione di energia da grandi impianti alimentati a fonti fossili verso un sistema in cui la generazione di energia è sempre più distribuita e basata su tecnologie rinnovabili incontra degli ostacoli di carattere sociale. In questa tesi sono riportati i dati raccolti con un questionario inerenti le percezioni e le aspettative della popolazione italiana su temi riguardanti le tecnologie energetiche.

Dai risultati emerge che ci sono delle consistenti differenze tra la tecnologia nucleare e le altre tecnologie. Considerato il rinnovato interesse del Governo italiano nella fonte nucleare il suo impatto sul sistema elettrico italiano e la sua accettabilità sociale sono state analizzate con particolare dettaglio.

Executive Summary

The use of fossil fuels to satisfy the growth of energy demand is the main reason of the global warming issue. For avoiding the increase of the temperature over 2.8°C it is necessary to speed up the investments in renewable and low environmental impact technologies. An estimation of the investments has been analyzed by developing a global energy model whose results are presented in this thesis.

The European Community represents the second energy market in the world. It delivered a set of energy policies in the last few years which main targets are: to reduce the energy demand of 20% in comparison to the trends by 2020, to reduce the Green House Gases emissions of 20% in comparison to the 2005 level by 2020, to produce 20% of final energy from renewable sources and to use 10% of non conventional fuels in the transport sector by 2020. For ensuring a balanced effort between Member States, each Country has its own targets. Italy has to generate 17% of its final energy consumption from renewable sources and to reduce its GHG emissions of 13% in comparison to the 2005 level.

The energy model developed in this study analyzes the dynamics and the difficulties to reach the targets and the evolutions of the Italian energy system. A list of 20 policy and technology options have been simulated and these can be applied by grouping them in 4 main configurations in order to deliver 4 main scenarios.

Energy efficiency in civil sectors has shown to have a big potential in order to reduce the final energy demand. A set of energy measures that can be applied in the civil buildings have been analyzed assessing their technical and economic aspects.

The transformation of the present energy system based on big capacity plants fueled by fossil fuels towards a distributed generation system based on renewable energy sources could crash against social opposition. A survey with the aim to measure the perceptions and expectations of the population has been delivered in 2009-2010. In this thesis the main results of the survey are presented and some recommendations and highlights are given.

The survey shows that nuclear power technology is perceived in a significant different way in comparison to other energy technologies. Considering the interest of the current Italian Government towards the nuclear energy source a focus of its impact on the electrical energy system and a focus on its social acceptability have been delivered.

1. Introduzione

La domanda mondiale di energia è in crescita e si prevede che entro il 2030 essa superi i livelli del 2007 di circa il 40% (1). L'utilizzo delle fonti fossili per il soddisfacimento della domanda energetica mondiale causa il rilascio in atmosfera di ingenti quantità di gas ad effetto serra. L'attività antropica dell'uomo sta modificando le concentrazioni di gas ad effetto serra in atmosfera e questo potrebbe causare una modifica sul clima terrestre.

In collaborazione con un'azienda inglese operante nel settore energetico è stato sviluppato uno studio di previsione energetica su scala mondiale. Il mercato energetico mondiale è stato suddiviso geograficamente in 26 regioni e per ognuna di esse è stato realizzato un modello in grado di calcolare la domanda di energia primaria, le emissioni di gas serra e gli investimenti relativi. Si sono perfezionati due scenari, uno scenario "base case" rappresentante l'evoluzione del sistema considerando le politiche ed iniziative attive nel 2008 ed uno scenario "2020 peak" in cui si ipotizza che gli investimenti in tecnologie rinnovabili crescano maggiormente. In accordo con la International Panel on Climate Change (2) per riuscire a limitare l'innalzamento della temperatura media della superficie terrestre tra 2.4 e 2.8°C è necessario ottenere un'inversione nell'andamento delle emissioni dei gas serra entro l'anno 2020. Lo studio ha evidenziato come questo obiettivo non sia raggiungibile proseguendo con gli attuali ritmi di investimento in tecnologie rinnovabili ed a basso impatto ambientale, scenario "base case". L'obiettivo è invece raggiungibile con un'accelerazione degli investimenti la cui entità viene stimata nello scenario "2020 peak".

L'unione Europea, che rappresenta il secondo mercato energetico mondiale, deve affrontare importanti sfide di ordine energetico – economico: dipendenza crescente dalle importazioni, volatilità del prezzo degli idrocarburi, cambiamento climatico, aumento della domanda e ostacoli sul mercato interno dell'energia.

A tal fine la Commissione Europea nel Libro Verde "Una strategia europea per un'energia sostenibile, competitiva e sicura" (3) individua tre obiettivi principali da raggiungere:

- la sostenibilità, per lottare attivamente contro il cambiamento climatico, promuovendo le fonti di energia rinnovabili e l'efficienza energetica;
- la sicurezza dell'approvvigionamento, per coordinare meglio l'offerta e la domanda interne di energia dell'UE nel contesto internazionale;
- la competitività, per migliorare l'efficacia della rete europea tramite la realizzazione del mercato interno dell'energia.

Tenendo in considerazione questi obiettivi la Commissione Europea nella comunicazione al Consiglio Europeo e al Parlamento Europeo (4) propone che la politica energetica si fondi sugli elementi seguenti:

- un obiettivo per l'Unione europea, nei negoziati internazionali, di ridurre del 30% le emissioni di gas serra al 2020 (rispetto ai livelli del 1990); inoltre le emissioni di gas serra a livello mondiale dovranno, al 2050, essere ridotte del 50% rispetto al 1990 e ciò presuppone riduzioni che vanno dal 60 all'80% nei paesi industrializzati nello stesso periodo;
- un impegno da parte dell'UE di conseguire comunque una riduzione di almeno 20% dei gas serra nel 2020 rispetto ai valori del 1990.

Il Consiglio Europeo l'8-9 marzo 2007 (5) approva quanto proposto dalla Commissione Europea e decide di procedere all'attuazione di una politica energetica integrata che combini l'azione a livello europeo con quella a livello nazionale. Il Consiglio Europeo nel Piano di Azione che sostanzia la Politica Energetica per l'Europa, ha fissato una serie di obiettivi da conseguirsi entro il 2020:

- risparmio energetico: "necessità di aumentare l'efficienza energetica nell'UE in modo da raggiungere l'obiettivo di risparmio dei consumi energetici dell'UE del 20% rispetto alle proiezioni per il 2020, come stimato dalla Commissione nel suo Libro verde sull'efficienza energetica (6)";
- riduzione gas serra: "l'UE si impegni in modo fermo ed indipendente a realizzare una riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra di almeno il 20% entro il 2020 rispetto al 1990"
- energie rinnovabili: "un obiettivo vincolante che prevede una quota del 20% di energie rinnovabili nel totale dei consumi energetici dell'UE entro il 2020,"
- biocarburanti "un obiettivo vincolante che prevede una quota minima del 10% per i biocarburanti nel

totale dei consumi di benzina e gasolio per autotrazione dell'UE entro il 2020, che dovrà essere conseguito da tutti gli Stati membri”.

Per garantire che lo sforzo necessario per conseguire l'obiettivo del 20% sia ripartito equamente tra gli Stati Membri occorre una strategia integrata a livello europeo ed è necessario garantire agli investitori sicurezza per quanto riguarda gli obiettivi e informazioni certe su come realizzarli. Nelle Direttive (7), (8) sono stati definiti gli obiettivi per gli stati europei, in particolare per l'Italia gli obiettivi sono:

- fonti rinnovabili: 17% di produzione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili entro il 2020 sui consumi finali;
- emissioni: -13% di emissioni gas serra (settore non ETS) rispetto il livello 2005.

Alla luce degli obiettivi imposti all'Italia, per esplorare le potenzialità e le criticità del sistema energetico italiano è stato progettato e sviluppato un modello energetico basato sulla metodologia della “dinamica dei Sistemi”. Il modello elabora le previsioni energetiche, consumi di energia primaria ed emissioni, per uno scenario tendenziale rappresentante l'evoluzione del sistema energetico italiano con le stesse dinamiche pre - politiche 2007; a tale scenario viene dato il nome di “Business As Usual (BAU)”. Sono stati simulati 20 interventi di tipo energetico – tecnologico i quali possono essere applicati singolarmente o in gruppo alla configurazione BAU.

Applicando gli interventi simulati con una certa sequenza sono stati elaborati 4 macro – scenari in cui si sono analizzati i seguenti fattori: potenziale delle fonti rinnovabili, potenziale dell'efficienza energetica, effetto dell'introduzione di tecnologie quali nucleare, CCS e produzione di energia elettrica da rifiuti, cambiamenti sociali e loro implicazioni sulla domanda di energia ed è stata considerato uno scenario con una differente crescita economica.

I risparmi conseguibili nel settore civile hanno un buon potenziale (9). Considerando il peso sul bilancio energetico nazionale del settore civile (10), il quale concorre per circa un terzo dei consumi finali italiani, è stato eseguito uno studio volto a valutare la fattibilità tecnico – economica degli interventi che si possono applicare ad un edificio per migliorare le sue prestazioni economiche. Si è visto che per particolari zone del nostro Paese con una spesa sull'ordine del 10 – 20% della spesa di costruzione di un nuovo edificio è possibile raggiungere le condizioni di casa passiva o di consumi energetici annui estremamente bassi.

Considerando la volontà espressa dall'attuale Governo in carica nel nostro Paese di tornare a produrre energia elettrica da fonte termoelettrica (11), (12), tale opzione energetica è stata analizzata con particolare dettaglio. Per il sistema elettrico italiano sono stati elaborati due possibili scenari per la domanda di energia elettrica e sono stati valutati gli effetti sul mix energetico e sulle emissioni derivanti da una re-introduzione dell'energia nucleare in Italia.

Il percorso di trasformazione del sistema energetico attuale, principalmente basato su impianti alimentati a fonte fossili, isolati e di grande capacità, verso un sistema in cui la generazione è distribuita, condivisa e con impianti alimentati da fonti rinnovabili potrebbe incontrare ostacoli di tipo sociale.

La questione dell'accettabilità sociale degli impianti energetici è stata analizzata progettando e sviluppando un questionario mediante il quale sono state misurate le percezioni e le aspettative della popolazioni su una serie di 13 tecnologie energetiche: 10 rinnovabili, nucleare, CCS e termoelettrico tradizionale. Sono state inoltre raccolte le valutazioni sull'importanza di alcune strategie volte a favorire l'accettabilità sociale degli impianti energetici.

Dall'analisi dei risultati si sono potute analizzare e sottolineare le differenti percezioni, aspettative e valutazioni della popolazione in particolare tra il gruppo delle tecnologie rinnovabili e tecnologia nucleare.

2. La situazione energetica italiana, dati storici

In questo paragrafo si desidera fornire una panoramica dell'andamento dei consumi energetici italiani degli ultimi 30 anni. Sono analizzati i consumi finali, i consumi di energia primaria e la domanda di energia elettrica.

2.1. CONSUMI FINALI E CONSUMI ENERGIA PRIMARIA

Con riferimento al Bilancio Energetico Nazionale (13) e grazie ai database disponibili sul sito di ENEA (10), è stato possibile ricostruire la storia dei consumi energetici Nazionali degli ultimi decenni.

L'andamento dei consumi finali per l'Italia è rappresentato in Fig. 1 mentre in Tab. 1 sono esplicitati i dati suddivisi per settore economico.

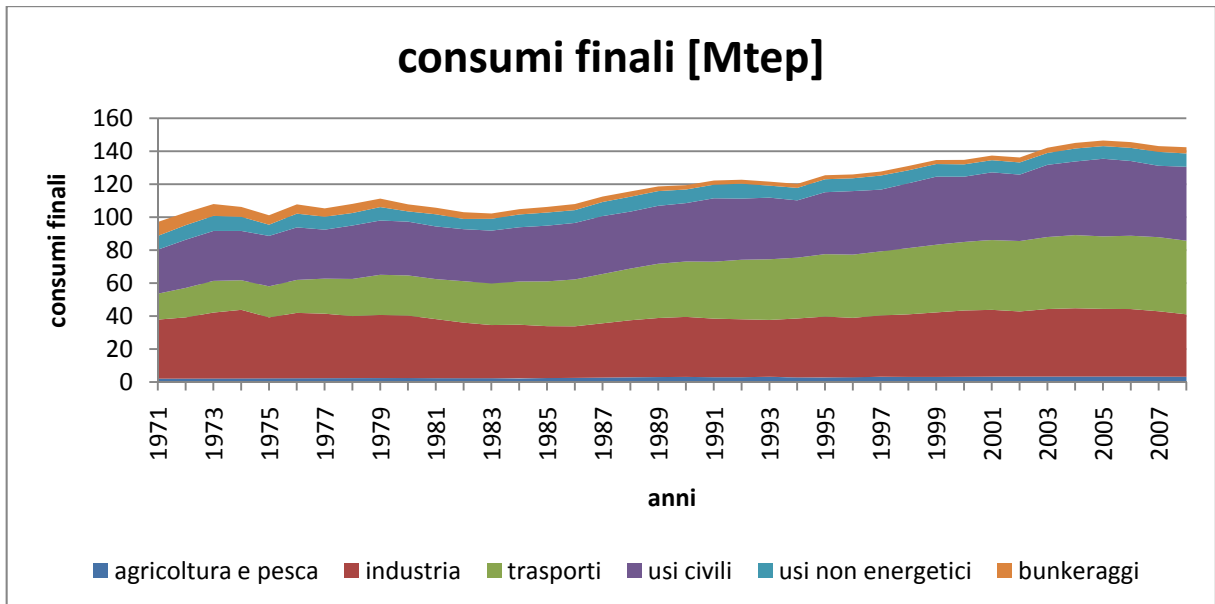


FIG. 1 - DATI STORICI CONSUMI FINALI 1970 – 2008 [MTEP].

TAB. 1 - DATI STORICI CONSUMI FINALI [MTEP].

[Mtep]	agricoltura e pesca	industria	trasporti	usi civili	usi non energetici	bunkeraggi	consumi finali
1971	2.08	35.87	15.66	26.79	8.29	8.52	97.20
1972	2.12	37.17	17.87	29.21	8.82	7.71	102.88
1973	2.17	40.00	19.24	30.27	9.12	7.22	108.02
1974	2.31	41.53	17.99	29.85	8.61	6.02	106.31
1975	2.29	36.99	18.79	30.60	6.81	5.77	101.25
1976	2.29	39.67	20.03	31.87	8.34	5.62	107.82
1977	2.37	39.18	21.26	29.68	7.87	5.09	105.46
1978	2.37	37.70	22.47	32.52	7.54	5.56	108.17
1979	2.57	38.17	24.40	32.85	8.24	5.09	111.33
1980	2.43	37.91	24.35	32.69	6.22	4.20	107.79
1981	2.36	35.83	24.31	31.96	7.41	3.93	105.79
1982	2.36	33.71	25.14	31.60	6.14	4.09	103.04
1983	2.38	32.27	25.21	32.04	7.16	3.23	102.31
1984	2.22	32.57	26.28	32.88	7.77	3.20	104.92
1985	2.53	31.45	27.13	33.80	7.94	3.46	106.31
1986	2.54	31.32	28.42	34.27	7.82	3.66	108.04
1987	2.74	32.93	29.97	35.12	8.49	3.30	112.55
1988	2.90	34.65	31.36	34.59	9.02	3.15	115.67

1989	3.07	35.81	32.93	35.15	8.91	2.83	118.69
1990	3.11	36.45	33.60	35.43	8.29	2.61	119.50
1991	2.92	35.55	34.58	38.46	8.29	2.55	122.34
1992	3.00	35.14	36.08	37.08	9.09	2.45	122.83
1993	3.25	34.47	36.84	37.36	7.26	2.44	121.61
1994	2.85	35.70	36.90	34.80	7.60	2.40	120.25
1995	2.89	36.90	37.80	37.60	7.90	2.40	125.49
1996	2.90	36.10	38.30	38.60	7.80	2.30	126.00
1997	3.20	37.20	38.90	37.50	8.50	2.40	127.70
1998	3.19	37.92	40.27	39.29	7.84	2.65	131.15
1999	3.14	39.13	41.22	41.17	7.62	2.45	134.72
2000	3.23	40.18	41.51	39.70	7.50	2.70	134.81
2001	3.35	40.53	42.33	41.02	7.39	2.85	137.47
2002	3.30	39.55	42.80	40.24	7.39	3.02	136.30
2003	3.38	40.96	43.68	43.80	7.20	3.25	142.26
2004	3.37	41.39	44.39	44.70	7.87	3.39	145.12
2005	3.40	41.06	43.96	47.06	7.68	3.42	146.59
2006	3.38	40.90	44.54	45.30	8.02	3.52	145.66
2007	3.32	39.68	44.93	43.34	8.38	3.56	143.21
2008	3.27	37.83	44.66	44.90	8.11	3.76	142.52

I consumi di energia primaria del sistema energetico italiano a partire dall'anno 1971 sono riportati in Tab. 2 e sono rappresentati in Fig. 2.

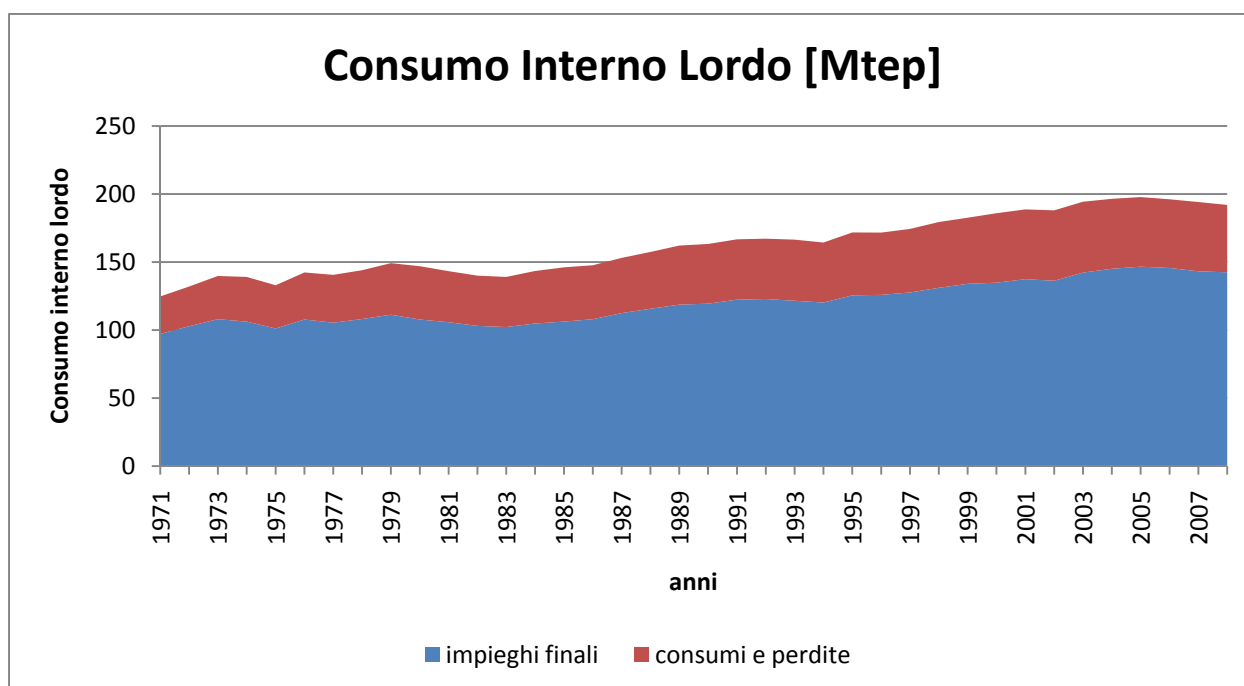


FIG. 2 - CONSUMO INTERNO LORDO, DATI STORICI [MTEP].

TAB. 2 - DATI STORICI CONSUMO INTERNO LORDO [MTEP].

[Mtep]	Impieghi finali	Consumi e perdite	Consumo interno lordo	[Mtep]	Impieghi finali	Consumi e perdite	Consumo interno lordo
1971	97.2	27.6	124.8	1990	119.5	43.87	163.37
1972	102.88	29.12	132	1991	122.34	44.44	166.78
1973	108.02	31.78	139.8	1992	122.84	44.34	167.18
1974	106.31	32.79	139.1	1993	121.61	44.97	166.58
1975	101.25	31.75	133	1994	120.3	44.12	164.42
1976	107.82	34.58	142.4	1995	125.6	46.19	171.79
1977	105.46	35.14	140.6	1996	125.9	45.79	171.69
1978	108.17	35.93	144.1	1997	127.7	46.71	174.41
1979	111.33	37.87	149.2	1998	131.16	48.27	179.43
1980	107.79	39.24	147.03	1999	134.09	48.58	182.67
1981	105.79	37.55	143.34	2000	134.85	51.05	185.9
1982	103.04	36.98	140.02	2001	137.47	51.31	188.77

1983	102.31	36.8	139.11	2002	136.29	51.77	188.07
1984	104.92	38.5	143.42	2003	142.26	52.12	194.38
1985	106.31	39.9	146.21	2004	145.12	51.41	196.53
1986	108.04	39.7	147.74	2005	146.59	51.19	197.78
1987	112.55	40.5	153.05	2006	145.66	50.53	196.19
1988	115.67	41.82	157.49	2007	143.21	50.98	194.19
1989	118.69	43.49	162.18	2008	142.52	49.55	192.07

2.2. SETTORE ELETTRICO

Particolare attenzione è riservata in questa tesi al settore elettrico. Con riferimento ai bilanci dell'energia elettrica forniti da TERNA (14) l'andamento della domanda elettrica, della quantità di energia importata e delle generazione lorda per il sistema elettrico italiana è riportato in Tab. 3 e in Fig. 3.

La domanda di energia elettrica in Italia viene soddisfatta grazie alla generazione da fonti fossili, da fonti rinnovabili e grazie all'importazione di energia elettrica dall'estero. Con generazione da fonti rinnovabili si intende la produzione di energia elettrica da impianti idroelettrici, geotermici, eolici e fotovoltaico.

Una parte dell'energia elettrica prodotta dal sistema elettrico italiano viene utilizzata per alimentare i sistemi ausiliari della produzione e per alimentare gli impianti di pompaggio. La serie dei dati storici della generazione lorda italiana è illustrata in Tab. 4.

TAB. 3 - DATI STORICI DOMANDA ENERGIA ELETTRICA [TWh].

[TWh]	Domanda energia elettrica	Import	Generazione fonti fossili	Generazione rinnovabili	Energia ausiliari	Energia pompaggi	Generazione lorda
2000	298.5	44.35	220.45	56.17	13.34	9.13	276.63
2001	304.8	48.38	219.38	59.62	13.03	9.51	278.99
2002	310.7	50.60	231.07	53.33	13.62	10.65	284.40
2003	320.7	50.97	242.78	51.08	13.68	10.49	293.87
2004	325.4	45.63	246.13	57.20	13.30	10.30	303.32
2005	330.4	49.15	253.07	50.60	13.06	9.32	303.67
2006	337.5	44.98	262.16	51.93	12.86	8.75	314.09
2007	339.9	46.28	265.76	48.12	12.59	7.65	313.89
2008	339.5	40.03	261.33	57.80	12.07	7.62	319.13
2009	320.3	44.96	226.64	66.00	11.53	5.80	292.64

TAB. 4 - SERIE STORICA GENERAZIONE LORDA ENERGIA ELETTRICA [TWh].

[TWh]	termoelettrico	idroelettrico	geotermico	eolico	fotovoltaico
2000	220.45	50.90	4.71	0.57	0.00
2001	219.38	53.93	4.51	1.18	0.00
2002	231.07	47.26	4.66	1.40	0.00
2003	242.78	44.28	5.34	1.46	0.00
2004	246.13	49.91	5.44	1.85	0.00
2005	253.07	42.93	5.32	2.35	0.00
2006	262.16	43.43	5.53	2.97	0.00
2007	265.76	38.48	5.57	4.03	0.04
2008	261.33	47.23	5.52	4.86	0.19
2009	226.64	53.44	5.34	6.54	0.68

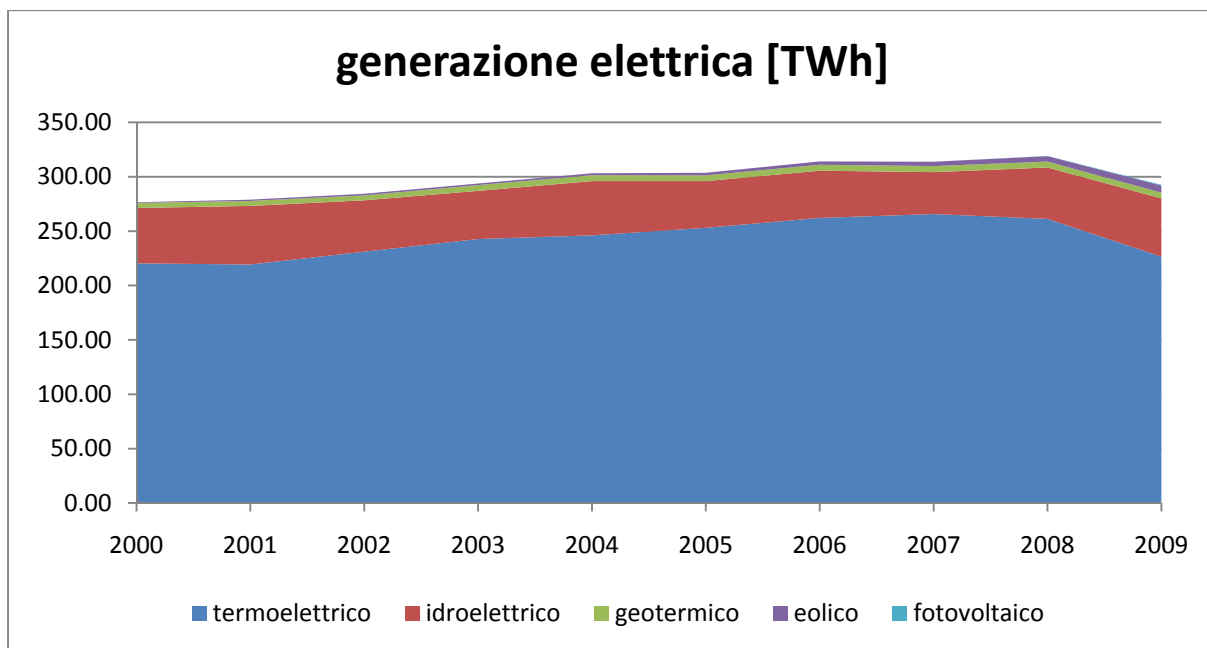


FIG. 3 - DATI STORICI PER LA GENERAZIONE LORDA DI ENERGIA ELETTRICA DEL SISTEMA ELETTRICO ITALIANO [TWh].

2.3. EMISSIONI DI GAS SERRA

Secondo l'inventario delle emissioni di gas serra (15) l'andamento delle emissioni di gas serra dagli anni 2000 all'anno 2007 è rappresentato in Fig. 4 mentre i dati sono esplicitati in Tab. 5.

TAB. 5 - DATI STORICI EMISSIONI GAS SERRA [Mt_{CO2eq}].

[Mt _{CO2eq}]	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
settore energetico	418945	450722	455290	457264	471623	473756	474506	469586	458673
settore non energetico	97373	98787	99656	98482	98783	100059	99179	93396	94099
Totale*	516318	549509	554946	555746	570406	573815	573685	562982	552771

*: escluso assorbimento ed emissioni da piantagioni e foreste

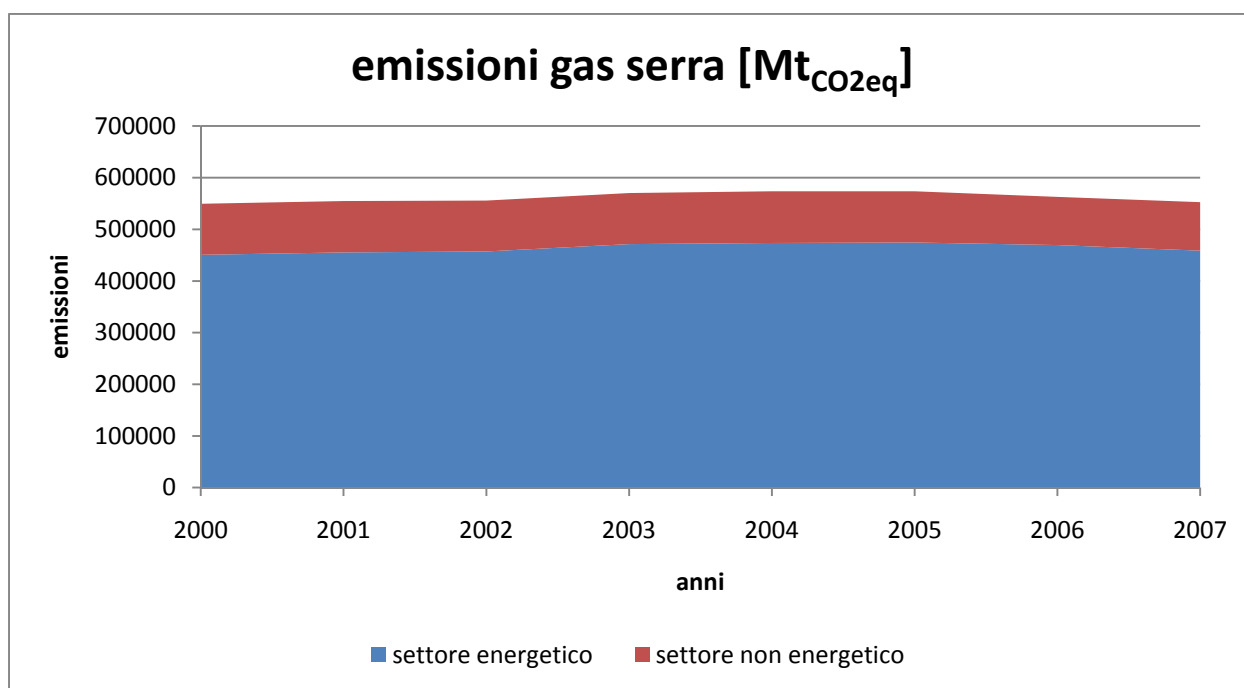


FIG. 4 - DATI STORICI EMISSIONI GAS SERRA [Mt_{CO2eq}].

Le emissioni di gas serra in CO₂ equivalente, escludendo le operazioni di assorbimento ed emissioni derivante da piantagioni e foreste, sono aumentate di più del 7% dal 1990 (516 Mt_{CO₂eq}) al 2007 (552.7 Mt_{CO₂eq}). Per il settore energetico le emissioni nell'anno 2007 (459 Mt_{CO₂eq}) sono superiori di quasi il 10% rispetto il 1990 (419 Mt_{CO₂eq}).

L'obiettivo del protocollo di Kyoto prevede una riduzione del 6.5% rispetto il 1990 entro il periodo 2008 – 2012.

2.4. STUDI DI PREVISIONE ENERGETICI ITALIANI

In questo capitolo vengono presentati i più importanti studi pubblici di previsione dei consumi energetici per l'Italia. Per ogni studio viene riportato un breve commento ed una tabella riassuntiva dei principali risultati.

2.4.1. Scenario Tendenziale dei consumi e del fabbisogno al 2020 – MAP 2005

Uno dei principali studi di previsione energetica italiani è lo “Scenario tendenziale dei consumi e del fabbisogno al 2020” emanato dal Ministero delle Attività Produttive (MAP) nel 2005, (16). Lo scenario descrive l'evoluzione tendenziale di variabili sia energetiche che macroeconomiche. E' interessante riportare questa previsione in quanto è stata elaborata prima del periodo di recessione economica iniziato nel 2008.

Lo studio evidenzia gli elementi di criticità per il Paese in termini di sicurezza degli approvvigionamenti e delle forniture, di diversificazione delle fonti, di dipendenza dalle importazioni dall'estero e di rispetto dei vincoli ambientali.

Lo scenario è stato elaborato partendo dall'analisi dei dati storici dei consumi settoriali per ciascuna fonte, riportate alle relative variabili economiche di riferimento, ovvero sui valori storici delle intensità energetiche. Lo scenario tendenziale MAP 2005 utilizza un approccio “bottom – up”. Il principale vantaggio di un approccio “bottom – up” consiste nel poter tener conto delle specificità di ciascun settore per poter elaborare proiezioni che una volta aggregate consentano una valutazione dei fabbisogni complessivi del Paese. Questo approccio permette di fare singole valutazioni puntuali sul settore che complessivamente rendono la previsione più attendibile.

Lo scenario tendenziale del Ministero delle Attività Produttive considera i dati storici dal 1980 al 2004 e le previsioni sono estese fino all'anno 2020.

Nella Tab. 6 sono riportati i dati principali dello studio “Scenario tendenziale dei consumi e del fabbisogno al 2020” emanato dal Ministero delle Attività Produttive nel 2005.

TAB. 6 - FABBISOGNO ENERGETICO NAZIONALE SECONDO IL MAP 2005 [MTEP].

[Mtep]	1991	2000	2004	2010	2015	2020
Solidi	14.3	12.9	17.1	15.9	15.1	14.1
Gas naturale	41.4	58.4	66.2	77.1	87.2	98.2
Petrolio	91.8	91.3	88.0	84.1	86.9	90.4
Rinnovabili	11.5	12.9	14.1	18.1	20.6	24.1
Import energia elettrica	7.7	9.8	10.0	16.8	18.8	16.8
Totale fabbisogno	166.7	185.2	195.5	212.0	226.5	243.6

2.4.2. Scenario ENEA

ENEA, l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, da diversi anni presenta nel “Rapporto Energia – Ambiente” previsioni di carattere energetico per il sistema energetico italiano. In questo paragrafo sono illustrati i risultati fondamentali della versione più aggiornata attualmente disponibile.

Per una valutazione delle prospettive di evoluzione del sistema energetico nazionale, ENEA ha realizzato delle analisi di scenario in cui l'evoluzione tendenziale del sistema energetico italiano è stata confrontata con quella risultante da scenari di intervento, progettati per esplorare la realizzabilità e l'efficacia di misure volte a realizzare i seguenti obiettivi:

- massiccio ricorso all'efficienza energetica negli usi finali;

- incisiva promozione delle fonti rinnovabili;
- diversificazione del mix di combustibili per la generazione termoelettrica (nel medio – lungo periodo).

Lo scenario di riferimento (o tendenziale) tiene conto del quadro legislativo vigente all’inizio del 2008 ed ipotizza la sostanziale continuazione delle tendenze in atto in ambito demografico, tecnologico ed economico. Dal punto di vista delle politiche energetiche e ambientali, lo scenario di riferimento tiene conto solo delle misure pienamente implementate all’inizio del 2008, mentre non include tutte le misure che a quella data sono ancora ipotetiche, possibili o probabili. Lo scenario ACT si basa sull’ipotesi di un’accelerazione nella penetrazione sul mercato di tecnologie energetiche che già esistono o che sono già in una fase di sviluppo avanzato, include politiche e misure per rendere conveniente l’adozione di tecnologie low – carbon fino ad un costo aggiuntivo pari a circa 25€/t_{CO2} nel 2020 che salgono fino a 40/t_{CO2} dopo il 2030. Lo scenario BLUE si pone l’obiettivo di una riduzione delle emissioni di CO₂ del 50% su scala globale entro il 2050 e ipotizza la diffusione anche di tecnologie ancora in fase di sviluppo tecnologico, eleva a circa 75 €/t_{CO2} il costo aggiuntivo della CO₂ al 2020, osto che sale fino a 140 €/t_{CO2} dopo il 2030. Lo scenario ACT+ rappresenta uno scenario intermedio che nel medio periodo è rappresentativo dello scenario ACT mentre nel lungo periodo dello scenario BLUE.

(17), (18), (19) illustrano i risultati delle analisi svolte presso ENEA. Nella Fig. 5 sono riportati gli andamenti dei principali scenari energetici elaborati da ENEA: tendenziale, ACT, ACT+ e BLUE.

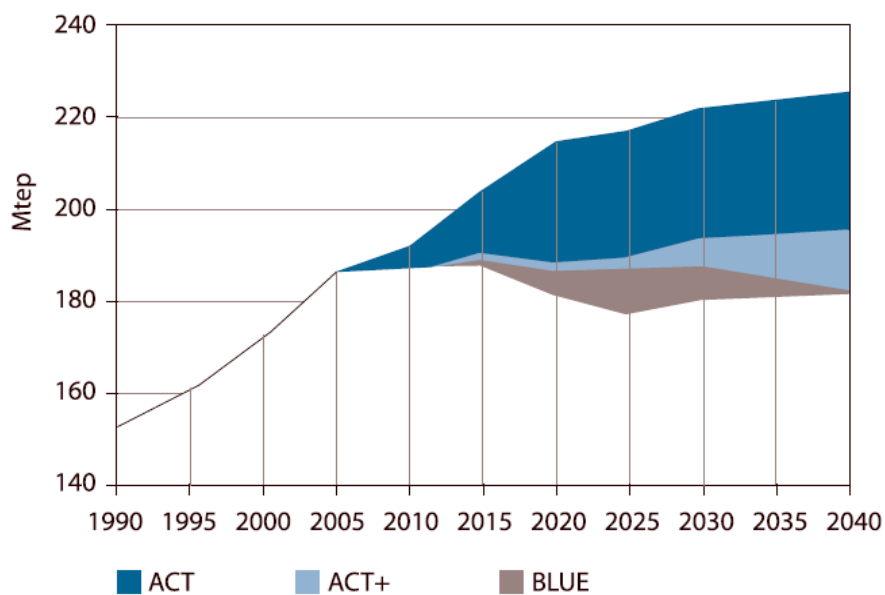


FIG. 5 - ANALISI DI SCENARIO ENEA [MTEP].

2.4.3. Unione Petrolifera

Unione Petrolifera elabora delle previsioni di domanda energetica e di domanda dei beni petroliferi. L’ultima versione delle loro previsioni (20) presenta una previsione della domanda energetica differente rispetto alla precedenti edizioni, la domanda è stata ridimensionata in seguito alla crisi finanziaria del 2008 – 2009 ed al conseguente rallentamento delle attività industriali, commerciali e alla flessione dei consumi della popolazione.

I trend fondamentali individuati nelle precedenti edizioni risultano tuttavia riconfermati. In particolare:

- la tendenza alla riduzione del “bisogno di mobilità” delle persone ed il maggior ruolo del mezzo pubblico nella soddisfazione dello stesso;
- il trasferimento dalla strada alla via marittima e ferroviaria di parte del trasporto merci;
- una evoluzione della produzione industriale verso settori “poco energivori”;
- il miglioramento della efficienza energetica in tutti i settori di impiego;
- il contributo crescente del gas naturale;

- la tendenza ad un relativo aumento della produzione termoelettrica da carbone, in considerazione della sua maggiore economicità nei confronti di combustibili alternativi;
- la realizzazione di impianti di cattura e stoccaggio del carbonio (Carbon Capture and Storage - CCS) in alcune centrali a carbone, con una riduzione di circa 2 milioni di tonn di CO₂.

Si è invece ritenuto non attuabile al 2010, ma solo successivamente al 2014-2015, il deciso sviluppo delle energie rinnovabili, secondo le indicazioni contenute nel “libro bianco” predisposto a suo tempo dal Governo e dalla Delibera Cipe per il recepimento del Protocollo di Kyoto.

TAB. 7 - DOMANDA ENERGETICA SECONDO LE PREVISIONI DI UNIONE PETROLIFERA [MTEP].

[Mtep]	2010	2015	2020	2025
Solidi	15.0	16.6	16.6	16.6
Gas naturale	65.5	72.7	77.6	81.4
Import en. Elettrica	7.3	5.9	5.3	5.3
Prodotti petroliferi	71.7	72.4	69.5	68.1
rinnovabili	14.6	17.8	19.7	21.9
biocarburanti	1.3	2.3	4.0	3.6
Totale domanda	175.4	187.7	192.7	196.9

3. Modello DIEM

In questo capitolo viene presentato il modello energetico progettato e sviluppato durante il triennio di dottorato. Il nome del modello è “DIEM”.

Il modello DIEM è basato sulla “dinamica dei sistemi – System Dynamics” ed analizza i consumi energetici e le emissioni del sistema energetico italiano. L’intervallo temporale considerato va dall’anno base 2007, scelta dettata dalla disponibilità degli ultimi dati ufficiali, fino all’anno 2035; il modello fornisce i dati per ogni anno.

3.1. MODELLI DI SIMULAZIONE E MODELLI DI OTTIMIZZAZIONE

Esistono essenzialmente due filosofie per creare modelli energetici: le simulazioni e le ottimizzazioni.

Le simulazioni sono rappresentazioni matematiche di sistemi (sistemi energetici, ambientali, idraulici, elettrici, meccanici, etc), generalmente tradotte in software ed elaborate tramite calcolatori, il cui obiettivo è di descriverne in modo quantitativo il funzionamento e l’evoluzione nel tempo (modelli “forward looking”). L’evoluzione del sistema segue le relazioni definite durante la fase di progettazione del modello ed è per questo motivo che è essenziale concettualizzare e progettare molto bene la struttura rappresentativa del sistema. E’ inoltre essenziale avere a disposizione una buona base di informazioni storiche in modo comprendere al meglio i fattori che influiscono maggiormente sulla dinamica del sistema.

Riferendoci all’ambito energetico, generalmente i modelli “forward looking” non hanno l’obiettivo di produrre dati e previsioni con un grado di attendibilità maggiore rispetto ad altri modelli previsionali bensì quello di produrre informazioni che permettano di comprendere ed analizzare al meglio gli sviluppi futuri ed il comportamento del sistema modellizzato. Le simulazioni sono una categoria di modelli particolarmente efficaci per realizzare analisi di scenario di lungo periodo: grazie alla loro struttura permettono di introdurre ed analizzare gli effetti di interventi anche piuttosto creativi o innovativi con relativa facilità.

In questa categoria di modelli rientrano quelli basati sulla metodologia della “Dinamica dei Sistemi”. Punti di forza di questa metodologia, la stessa usata per il modello DIEM, sono: la possibilità di inserire nel modello azioni di feedback retroattivo, la possibilità di modificare il modello aggiungendo variabili e parametri con una relativa semplicità e la possibilità di simulare sistemi piuttosto complessi. La principale difficoltà risiede nel processo di concettualizzazione del sistema, (21), e soprattutto nell’individuazione delle relazioni tra le variabili del sistema (22). Una lista di simulazioni in ambito energetico esistenti per la regione europea si può trovare in (23).

Una delle simulazioni più conosciute a livello mondiale è il “World Energy Model” (24), modello creato nel 1993 e continuamente aggiornato. Il World Energy Model è composto da più di 16000 equazioni e considera il sistema energetico mondiale suddiviso in 21 Regioni. I macro settori considerati sono: domanda energetica, capacità elettrica, raffinazione ed altre trasformazioni fossili, approvvigionamento delle fonti fossili, emissioni di gas serra e investimenti. Questo modello è utilizzato per la stesura del rapporto annuale della International Energy Agency, World Energy Outlook (25).

La simulazione basata sulla “Dinamica dei Sistemi” più conosciuta al mondo è il modello World3, che ha prodotto i risultati del rapporto commissionato dal Club di Roma al MIT (26). Il modello considera le interazioni tra popolazione, crescita industriale, inquinamento atmosferico, risorse non rinnovabili e produzione di cibo.

I modelli di ottimizzazione descrivono l’evoluzione di un sistema ricercando l’equilibrio di un sistema matematico tale da ottimizzare una funzione obiettivo. Uno dei modelli più conosciuti ed usati progettato secondo questa filosofia è il MARKAL (27). Le componenti fondamentali del MARKAL sono le tecnologie per la produzione di energia e per il controllo delle emissioni di gas serra. Ogni componente è descritto quantitativamente con un set di dati relativi alle prestazioni e alle caratteristiche di costo.

Input del modello sono la configurazione esistente (o di partenza) delle tecnologie ed una lista delle possibili tecnologie future. Il modello considera in modo integrato il settore della domanda di energia e il settore della generazione: modifiche in uno comportano automaticamente delle modifiche nell'altro. Il modello seleziona la combinazione delle tecnologie che minimizza il costo totale del sistema, per maggiori informazioni consultare (28).

Il modello viene utilizzato per elaborare analisi di scenario, solitamente si eseguono una serie di "run" del modello in modo da esaminare un ampio ventaglio di differenti sviluppi del sistema. Il modello richiede come input le proiezioni per i servizi che comportano un consumo di energia (per esempio: spazio che dovrà essere riscaldato, chilometri che saranno percorsi dalla popolazione) e le proiezioni dei costi delle risorse energetiche. Viene definito lo scenario di riferimento (per esempio uno scenario nel quale non si considerano le opzioni tecnologiche per la riduzione delle emissioni di gas serra) e successivamente si elaborano scenari alternativi considerando per ognuno delle riduzioni in termini di emissioni.

Per ogni caso studio il modello troverà la combinazione delle tecnologie, tra quelle fattibili, in grado di soddisfare la domanda di energia e di minimizzare il costo totale. Per ogni restrizione aggiuntiva il costo complessivo del sistema aumenta.

Altro modello di ottimizzazione è il TIMES (29) il quale è un modello nato dalla fusione di due distinti modelli, il MARKAL e l'EFOM (TIMES è l'acronimo di The Integrated Markal – Efom System). Il modello EFOM è un modello energetico che permette di simulare o ottimizzare la domanda di energia primaria e di calcolare i relativi investimenti in capacità di generazione e consumi di fonti energetiche in grado di soddisfare una data domanda di energia finale. Le caratteristiche principali di questo modello sono:

- le informazioni tecnico – economiche sono salvate in database progettati per permettere agli utenti di costruire particolari strutture energetiche rappresentative di sistemi energetici anche a livello nazionale;
- possibilità di eseguire sia simulazioni che ottimizzazioni.

Il modello TIMES incorpora le caratteristiche del modello MARKAL (descrizioni dettagliate delle tecnologie, il concetto per le tecnologie rinnovabili e le proprietà per la ricerca dell'equilibrio) ed eredita alcune delle caratteristiche del modello EFOM (rappresentazione dei flussi energetici). Il TIMES inoltre rispetto ai due modelli da cui deriva ha le seguenti funzionalità: periodi di tempo variabili; possibilità di considerare tecnologie obsolete, rappresentazione dettagliata del flusso di cassa nella funzione obiettivo, tecnologie con input ed output flessibili, modulo riguardante i cambiamenti climatici, modulo riguardante scambi energetici tra le regioni considerate.

PRIMES è un modello che ricerca una soluzione di equilibrio tra generazione e domanda di energia tra gli stati membri dell'Unione Europea (30). Il modello determina l'evoluzione di un sistema energetico ricercando un prezzo di equilibrio per le varie fonti energetiche tale per cui la quantità generata dai produttori soddisfi la domanda dei consumatori. L'equilibrio è statico all'interno di ogni step dell'analisi e si ripete per l'intero periodo di analisi. Una assunzione fondamentale del modello PRIMES è che sia i produttori che i consumatori rispondano ai cambiamenti nel prezzo di una fonte energetica.

Alcune caratteristiche del modello PRIMES:

- le regioni considerate corrispondono ai Paesi membri dell'Unione Europea;
- le fonti energetiche considerate sono 24;
- i settori del lato domanda sono: residenziale, commerciale, industria, trasporti;
- i settori del lato generazione sono: energia elettrica, raffinazione, gas naturale.

Lo sviluppo del modello PRIMES è stato supportato dai programmi di ricerca della Commissione Europea ed è stato progettato per essere uno strumento di analisi dell'impatto delle politiche energetiche sul mercato energetico.

Il modello DIEM rientra nella categoria delle simulazioni e per il suo sviluppo si è scelto di adottare la metodologia della "Dinamica dei Sistemi". Questo ha permesso di realizzare una configurazione base del sistema energetico italiano simulante lo scenario tendenziale (Business As Usual) dei consumi e delle emissioni e di analizzare l'effetto su tale sistema di una serie di interventi simulanti opzioni tecnologiche ed interventi di politica energetica.

3.2. PRINCIPIO DI ACCUMULAZIONE

La metodologia “System Dynamics” ovvero della “dinamica dei sistemi” è un approccio modellistico che permette di simulare sistemi molto complessi e di studiarne l’evoluzione nel tempo. Elementi essenziali di questa metodologia sono i serbatoi, i flussi e le relazioni.

Una variabile viene simulata collegandola al livello di un serbatoio. Le dinamiche che comportano una variazione del livello di quella variabile sono simulate tramite flussi. Quando il flusso entrante è maggiore di quello uscente il livello del serbatoio aumenta e quindi, nel modello, il valore della variabile rappresentata aumenta.

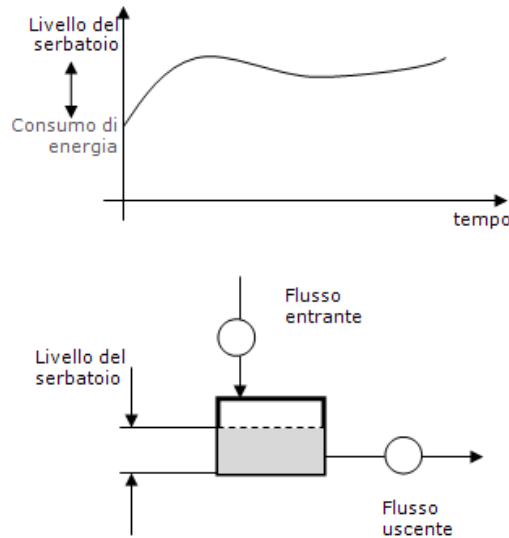


FIG. 6 - PRINCIPIO DI ACCUMULAZIONE.

La creazione di un modello consiste nella disposizione di elementi serbatoio, flussi e relazioni in grado di ricreare le dinamiche esistenti nel sistema reale.

3.3. ARCHITETTURA DEL MODELLO DIEM

La Fig. 9 descrive la struttura concettuale del modello DIEM, ogni riquadro rappresenta una serie di variabili e funzioni: come è possibile vedere le variabili considerate sono la crescita economica, le intensità energetiche dei principali settori economici (agricoltura, industria, trasporti, civile ed usi non energetici) e le intensità elettriche. Con riferimento alla Fig. 9, la crescita economica e l’intensità energetica determinano la domanda di energia finale. La domanda di energia elettrica viene calcolata moltiplicando la crescita economica per l’intensità elettrica. La domanda di energia termica è la differenza tra l’energia totale e l’energia elettrica.

Il mix energetico per il soddisfacimento della domanda di energia termica viene calcolato considerando la serie storica degli share (ovvero del mix energetico) e la loro evoluzione nel tempo.

La quantità di energia elettrica prodotta da fonte fossile viene calcolata come differenza tra la domanda di energia elettrica e la produzione da fonte rinnovabile.

Le emissioni di gas serra sono state calcolate con il metodo proposto dall’IPCC “Reference approach for estimating CO₂ emission from fossil fuel combustion” (31).

La Tab. 8 presenta le ipotesi di crescita usate per la crescita economica.

TAB. 8 - PREVISIONI DI CRESCITA ECONOMICA UTILIZZATE NEL MODELLO DIEM.

	2008	2009	2010	2010	2011-2012	2013-2014	2015-2020	>2020
%PIL _{crescita}	-1%	-5.1%	0.1%	1%	1.3%	1.2%	1.3%	1%

Analizzando le serie storiche dei consumi energetici forniti da ENEA (32) e la serie storica dei dati economici forniti da ISTAT (33) sono state calcolate per ogni settore le serie storiche dell'intensità energetica italiana e dell'intensità elettrica. Moltiplicando le previsioni delle intensità per le previsioni del valore aggiunto italiano (stesse previsioni percentuali del PIL) si sono ottenute delle previsioni di consumi di energia primaria e la domanda di energia elettrica italiana per il periodo temporale 2007- 2035.

La serie storica delle intensità energetiche per i settori agricoltura, industria, trasporti, civile e usi non energetici è riportata in Tab. 9 e rappresentata nella Fig. 7. Gli andamenti per il periodo 2007 – 2035 considerano un'approssimazione con funzione lineare ottenuta con il metodo dei minimi quadrati.

TAB. 9 - SERIE STORICA INTENSITÀ ENERGETICHE.

[ktep/M€]	intensità energetica					intensità elettrica			
	agricoltura	industria	trasporti	civile	usi non energetici	agricoltura	industria	trasporti	civile
1999	3.059	38.151	40.653	39.674	9.730	0.393	10.787	0.695	10.040
2000	3.031	37.759	39.343	36.970	9.516	0.397	11.021	0.688	9.952
2001	3.093	37.408	39.350	37.572	9.231	0.410	10.916	0.680	10.032
2002	3.025	36.293	39.566	36.622	8.718	0.386	10.816	0.708	10.397
2003	3.094	37.583	40.580	39.684	8.567	0.409	10.931	0.749	10.978
2004	3.047	37.459	40.597	40.024	9.042	0.404	10.736	0.747	11.106
2005	3.056	36.882	39.961	41.799	8.768	0.414	10.688	0.766	11.365
2006	2.977	36.010	39.699	39.411	8.890	0.417	10.667	0.774	11.517
2007	2.876	34.362	39.342	37.093	8.645	0.421	10.390	0.775	11.449

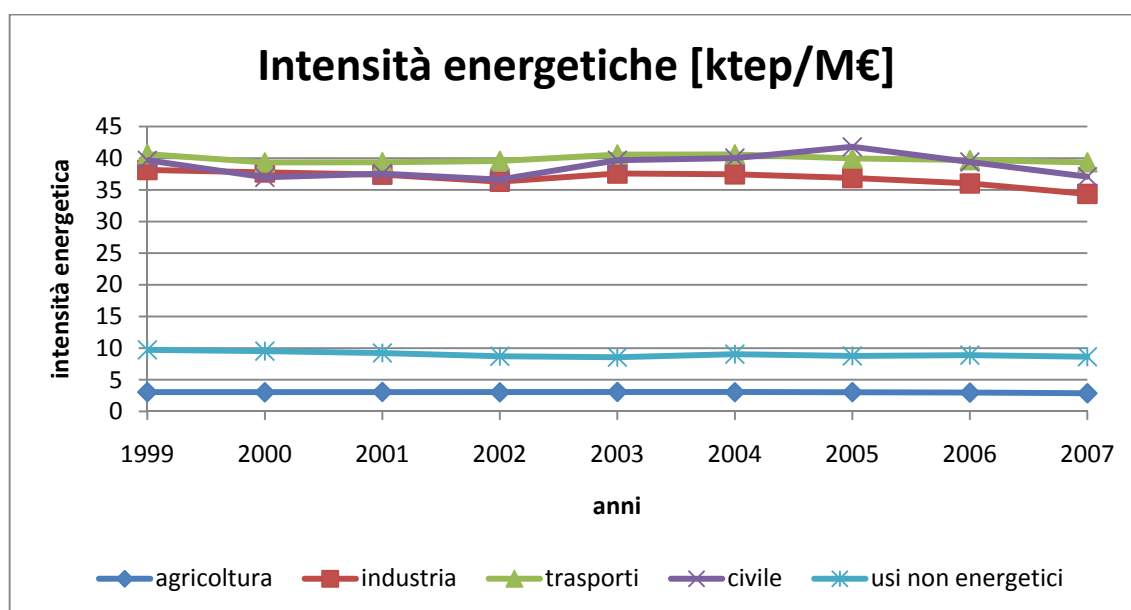


FIG. 7 - SERIE STORICA DELLE INTENSITÀ ENERGETICHE ITALIANE.

Le intensità elettriche sono state calcolate considerando gli archivi dei dati storici forniti da ENEA e da ISTAT (32), (33). La serie storica dell'intensità elettrica è rappresentata per i settori agricoltura, industria, trasporti e civile nella Fig. 8.

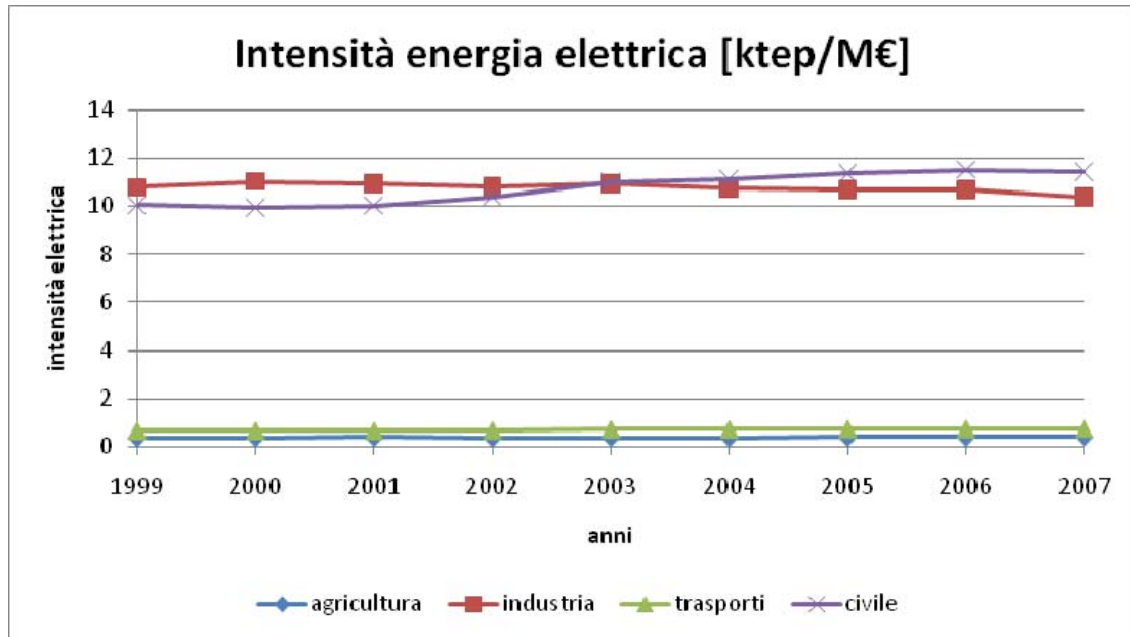


FIG. 8 - SERIE STORICA DELLE INTENSITÀ ELETTRICHE ITALIANE.

3.3.1. Trasformazione energia elettrica, import e bunkeraggi

Le trasformazioni di energia primaria in energia elettrica sono state valutate con un apposito settore nel modello DIEM. Per quanto riguarda il bilancio tra importazione ed esportazione di energia elettrica abbiamo considerato un bilancio nel quale il sistema elettrico italiano ricorrerà per tutto il periodo in esame ad importazioni di energia elettrica. La quantità di importazione di energia elettrica ipotizzata è stata di: 10.8 Mtep/anno. Bunkeraggi: in accordo con il documento del Ministero delle Attività Produttive (16) si è scelto di considerare un consumo di energia primaria dovuto ai bunkeraggi pari a 3.5 Mtep/anno costanti per tutto il periodo di simulazione.

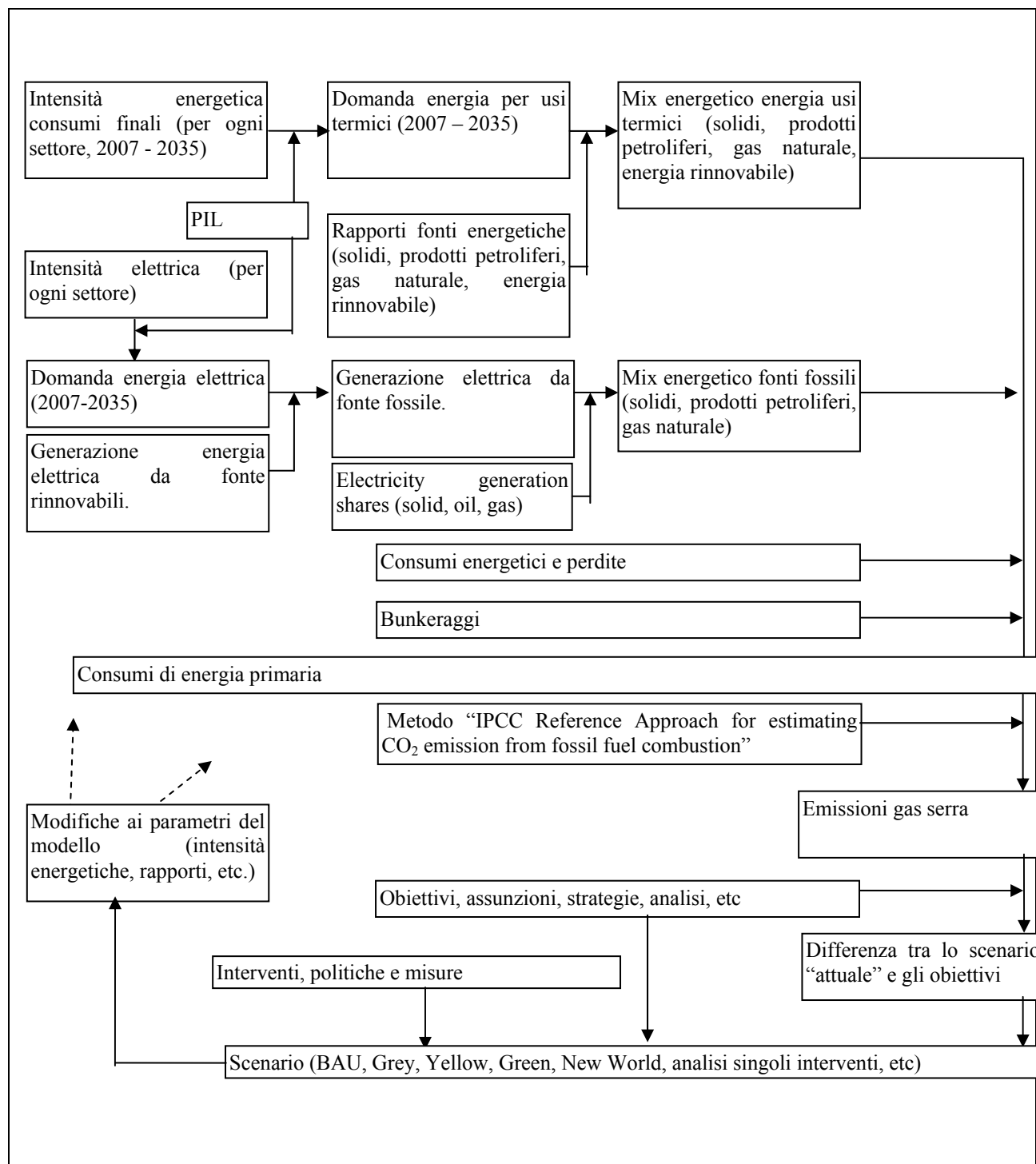


FIG. 9 - ARCHITETTURA DEL MODELLO DIEM.

3.4. INTERVENTI, MISURE ED OPZIONI

Lo scenario di riferimento denominato "Business As Usual (BAU)" è stato sviluppato considerando i dati storici dal 1990 al 2007. Delle serie storiche si sono calcolati i trend per il periodo 2007 - 2035 ricercando funzioni lineari o esponenziali calcolate con il metodo dei minimi quadrati.

L'evoluzione di questo scenario rappresenta l'evoluzione tendenziale del sistema energetico nel caso in cui il Paese proseguisse senza nuove politiche energetiche e con le stesse dinamiche degli ultimi decenni.

Uno degli scopi del modello è di analizzare l'impatto su consumi ed emissioni derivante dall'introduzione di specifiche misure energetiche e tecnologiche. Allo scopo si sono considerati 20 possibili opzioni che, quando

attivate, vanno ad agire in determinati settori del modello modificando, rispetto alla configurazione BAU, parametri e variabili o introducendo nuovi settori. Il modello è stato elaborato utilizzando uno dei più conosciuti software per sviluppare analisi con il metodo dei sistemi dinamici: ISEE Ithink. La gestione del modello avviene essenzialmente operando con due distinti pannelli di lavoro, uno operativo in cui si inseriscono nuovi oggetti, elementi e relazioni ed un pannello grafico in cui con una interfaccia molto intuitiva si possono attivare e disattivare parametri e variabili.

Gli interventi ed opzioni energetiche considerate sono le seguenti:

- sviluppo delle fonti rinnovabili e raggiungimento del potenziale indicato nel position paper italiano (34);
- misure di efficienza e raggiungimento del potenziale indicato nel documento (9);
- sviluppo e implementazione delle tecnologie nucleare, CCS e recupero di energia dai rifiuti;
- effetto di modifiche nelle abitudini: riduzione dell'intensità energetica in ambito civile e trasporti;
- evoluzione della crescita economica tendente ad una stabilizzazione del PIL.

Una panoramica delle misure ed opzioni energetiche simulate nel modello viene data in Tab. 10. Lo scenario BAU si ottiene eseguendo una simulazione del modello mantenendo tutte le opzioni disattivate.

TAB. 10 - INTERVENTI ED OPZIONI CONSIDERATE NEL MODELLO DIEM.

	Intervento/misura	Commento/potenziale al 2020
1	Opzione nucleare	Installazione di 6000 MW
2	Efficienza nel settore civile	7 Mtep risparmiati al 2016
3	Efficienza nel settore industriale	1.85 Mtep risparmiati entro il 2016
4	Efficienza nel settore trasporti	2 Mtep risparmiati entro il 2016
5	Produzione energia termica da fonte geotermica	0.96 Mtep al 2020
6	Potenziale fonte solare per la produzione di energia termica	1.12 Mtep al 2020
7	Potenziale biomassa per la produzione di energia termica	9.32 Mtep al 2020
8	Potenziale biofuel	4.20 Mtep al 2020
9	Potenziale idroelettrico per la produzione di energia elettrica	43.15 TWh al 2020
10	Potenziale energia eolica	27.54 TWh al 2020
11	Potenziale energia solare produzione di energia elettrica	13.20 TWh al 2020
12	Potenziale fonte geotermica per la produzione di energia elettrica	9.73 TWh al 2020
13	Potenziale biomassa per la produzione di energia elettrica	14.50 TWh al 2020
14	Potenziale energia marina per la produzione di energia elettrica	1 TWh al 2020
15	CCS	Installazione su centrali a carbone di capacità pari a 3000 MW al 2023.
16	Riduzione intensità elettrica nel settore civile	Riduzione dell'intensità energetica è proporzionale alla differenza fra emissioni correnti e target.
17	Riduzione intensità energetica nel settore civile	Riduzione di intensità energetica è proporzionale alla differenza tra emissioni correnti e target.
18	Riduzione intensità energetica nel settore trasporti	Riduzione dell'intensità è proporzionale alla differenza di emissioni correnti e target.
19	Energia elettrica dai rifiuti	Energia elettrica prodotta è proporzionale alla massa dei rifiuti utilizzati, al potere calorifico, al rendimento degli impianti.

3.4.1. Opzione nucleare

Il modello DIEM permette di attivare un'opzione che simula la reintroduzione della produzione di energia elettrica da fonte termonucleare nel sistema elettrico italiano. L'Italia decise la chiusura delle centrali nucleari con un referendum nel 1987. Nel modello si è ipotizzato di costruire 3 centrali termonucleari per un totale di 6 reattori. La produzione di energia elettrica inizierà dall'anno 2020.

TAB. 11 - ASSUNZIONI OPZIONE NUCLEARE.

	2020	2021	2022	2023	2024
Potenza installata [MW]	2000	0	2000	0	2000
Fattore di carico	0.82	0.83	0.83	0.85	0.85

Secondo il modello DIEM la fonte nucleare dopo l'anno 2024 produrrà circa 44676 GWh/anno. Il modello DIEM ha considerato che l'opzione nucleare generi energia elettrica senza emettere gas serra.

3.4.2. Efficienza energetica nel settore civile

Considerando il documento (9) entro il 2016 l'Italia può risparmiare circa 82000 GWh (7 Mtep) nei consumi finali del settore civile (residenziale + terziario). Circa il 75% dei risparmi conseguibili riguardano gli usi termici, 5.25 Mtep, il restante 25% riguarda il settore elettrico, 1.75 Mtep.

Il modello DIEM ha simulato queste stime di risparmio energetico dovuto ad interventi di in efficienza energetica sottraendo le quantità previste alla domanda di energia termica ed elettrica. Dopo il 2016 il modello considera che gli sforzi in efficienza energetica continuino ma con un tasso di crescita differente. I parametri usati per simulare gli interventi di efficienza energetica del settore civile sono rappresentati in Tab. 12.

TAB. 12 - OPZIONE EFFICIENZA ENERGETICA NEL SETTORE CIVILE.

	2007-2016	>2016
Risparmi usi termici	5.25 Mtep (risparmio complessivo)	+ 3%/a
Risparmi energia elettrica	1.75 Mtep (risparmio complessivo)	+ 3%/a

3.4.3. Efficienza energetica nel settore industriale

Secondo il documento (9) per l'anno 2016 il potenziale di risparmio d'energia per il settore industriale italiano è di circa 21537 GWh (circa 1.85 Mtep). Dopo l'anno 2016 il modello considera l'incremento di efficienza energetica crescente con i tassi espressi in Tab. 13.

TAB. 13 - OPZIONE EFFICIENZA ENERGETICA NEL SETTORE INDUSTRIALE.

	2007-2016	>2016
Risparmi usi termici	0.85 Mtep (risparmio complessivo)	+ 3%/a
Risparmi energia elettrica	1 Mtep (risparmio complessivo)	+ 2%/a

3.4.4. Efficienza nel settore trasporti

Secondo il documento "CESI Ricerca" (9) illustra che il potenziale risparmio di energia per il settore trasporti all'anno 2016 è di circa 2 Mtep. Dopo quest'anno il modello considera che il risparmio di energia nel settore trasporti cresca con un tasso pari al 3%/anno.

TAB. 14 - ASSUNZIONI PER IL RISPARMIO ENERGETICO SETTORE TRASPORTI.

	2007-2016	>2016
Risparmi energia	2 Mtep (risparmio complessivo)	+ 3%/a

3.4.5. Energia rinnovabile: potenziale geotermico per usi termici

Il Governo Italiano ha rilasciato un documento (34) che stima il potenziale per la produzione di energia elettrica e per usi termici delle fonti rinnovabili. Il modello DIEM permette di attivare delle opzioni grazie alle quali la produzione di energia da fonte rinnovabile raggiunge i valori descritti nel documento. Secondo il documento "Position Paper" il potenziale per la produzione di energia termica da fonte geotermica è pari a 0.96 Mtep per il 2020. Non si ipotizzano nuove installazioni dopo il 2020.

TAB. 15 - POTENZIALE ENERGIA GEOTERMICA.

	2007-2020	>2020
Fonte geotermica	0.96 Mtep	0

3.4.6. Energia rinnovabile: potenziale della fonte solare per usi termici

In accordo con il documento (34) il potenziale per l'anno 2020,odi produzione di energia per usi termici da fonte solare è pari a circa 1.12 Mtep. Dopo il 2020 il modello ha considerato un incremento annuale dell'1.2%. I parametri usati per il potenziale di produzione di energia per usi termici da fonte solare sono riassunti in Tab. 16.

TAB. 16 - POTENZIALE ENERGIA SOLARE.

	2007-2020	>2020
Fonte solare	1.12 Mtep	+1.2%/a

3.4.7. Energia rinnovabile: potenziale della fonte biomassa per usi termici

Secondo il Position Paper italiano (34) il potenziale di produzione di energia per usi termici al 2020 da biomasse è di circa 9.32 Mtep. Dopo l'anno 2020 il modello ha incrementato questa quantità con un tasso di incremento pari all'1.2% all'anno.

TAB. 17 - POTENZIALE ENERGIA DA BIOMASSA.

	2020 potenziale energetico	>2020
Biomassa	9.32 Mtep	+1.2%/a

3.4.8. Energia rinnovabile: potenziale biocombustibili

In accordo con il Position Paper (34) il potenziale da biocombustibile è di circa 4.20 Mtep per l'anno 2020.

TAB. 18 - POTENZIALE BIOCOMBUSTIBILI.

	2020 potenziale energetico	>2020
Biocombustibili	4.20 Mtep	+1.2%/a

3.4.9. Energia rinnovabile: potenziale della fonte idroelettrica

Considerando il Position Paper del Governo Italiano (34) il potenziale energetico per l'anno 2020 della fonte idroelettrica è pari 43.15 TWh. Dopo l'anno 2020 il modello DIEM non introduce nuove installazioni e mantiene una produzione di energia elettrica pari al potenziale del 2020.

TAB. 19 - POTENZIALE ENERGIA IDROELETTRICA.

	2020 potenziale energetico	>2020
Fonte idroelettrica	43.15 TWh (20200 MW)	0

3.4.10. Potenziale fonte eolica

Secondo il documento (34) il potenziale della produzione di energia elettrica da fonte eolica per l'anno 2020 è pari a 22.60 TWh e comprende gli impianti onshore ed offshore. Per la simulazione del modello DIEM sono stati utilizzati dei dati forniti da uno studio ENEA (35) più recente rispetto al Position Paper del Governo Italiano per il quale la produzione da fonte eolica per l'anno 2020 sarà pari a 27.54 TWh.

TAB. 20 - POTENZIALE FONTE EOLICA.

	2020 potenziale energetico	>2020
Eolico (Onshore + Offshore)	27.54 TWh (16200 MW)	500MW/a

3.4.11. Potenziale fonte solare, produzione elettrica

Per la fonte solare il modello DIEM considera una produzione di energia elettrica per l'anno 2020 pari a 13.20 TWh.

TAB. 21 - POTENZIALE PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE.

	2020 potenziale energetico	>2020
Elettricità da fonte solare	13.20 TWh (9500 MW)	+1.2%/y

3.4.12. Potenziale energia geotermica, produzione energia elettrica

Secondo il Position Paper del Governo Italiano il potenziale al 2020 della produzione di energia elettrica da fonte geotermica è di 9.73 TWh e la Potenza installata di 1300 MW. Nel modello DIEM abbiamo ipotizzato che dopo il 2020 non ci siano nuove installazioni.

TAB. 22 - POTENZIALE ENERGIA GEOTERMICA, PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA.

	2020 potenziale energetico	>2020
Fonte geotermica	9.73 TWh (1300 MW)	0

3.4.13. Potenziale biomassa, produzione elettrica

Secondo il Position Paper del Governo Italiano il potenziale delle biomasse per la produzione di energia elettrica per il 2020 è di 14.50 TWh.

TAB. 23 - POTENZIALE BIOMASSA, PRODUZIONE ELETTRICA.

	2020 potenziale energetico	>2020
Biomassa	14.50 TWh (2450 MW)	+1.2%/a

3.4.14. Potenziale produzione energia elettrica energia marina, onde e maree

Il potenziale per il 2020 per la produzione di energia elettrica da onde e maree secondo il Position Paper del Governo Italiano è di 1 TWh.

TAB. 24 - POTENZIALE ENERGIA DA ONDE E MAREE.

	2020 energy potential	>2020
Onde e maree	1 TWh (800 MW)	+1.2%/a

3.4.15. Intervento sull'intensità energetica del settore civile

Analizzando la serie di dati storici per l'intensità energetica del settore civile si nota un andamento crescente della stessa. In questo intervento il modello DIEM ha assunto che l'intensità energetica possa diminuire nel tempo. Quando l'opzione viene attivata la riduzione dell'intensità energetica viene fatta partire con qualche anno di ritardo.

Gli sforzi di riduzione dell'intensità energetica del settore civile possono essere collegati alla differenza tra le emissioni che ci sono nell'anno corrente della simulazione ed un valore obiettivo imposto per un determinato anno (per esempio il target delle emissioni per l'anno 2020). Lo sforzo nella riduzione dell'intensità è tanto maggiore quanto maggiore è la differenza fra target e valore corrente.

Questo intervento ipotizza di agire sui comportamenti sociali delle persone. Dopo una ricerca tra la letteratura corrente e dopo aver stimato il potenziale ottenibile con questo tipo di misure il modello DIEM ha introdotto questo intervento che ha lo scopo di analizzare come dei possibili interventi nella sfera sociale della popolazione possono riflettersi sui consumi energetici e sulle emissioni.

3.4.16. Intensità elettrica nel settore civile

Nella configurazione BAU l'intensità elettrica del settore civile presenta un andamento crescente nel tempo. L'effetto di una ipotetica politica che va ad agire nella sfera dei comportamenti delle persone potrebbe invertire la tendenza evidenziata dai dati storici. L'impegno nella riduzione dell'intensità elettrica potrebbe essere collegato alla differenza tra le emissioni correnti (anno per anno) ed un obiettivo (per esempio l'obiettivo emissioni al 2020). Quando la differenza è elevata l'impegno per la riduzione dell'intensità elettrica sarà elevato, quando la differenza sarà minore l'intensità elettrica diminuirà con minor sforzo.

Riprendendo l'esempio del serbatoio con un flusso uscente che va a ridurre il livello, si ha che quando la differenza è elevata il flusso drenante aumenterà la sua portata quando la differenza è minore il flusso drenante aumenterà la sua portata con un tasso minore al precedente. La variazione del tasso di crescita dell'intensità è legato alla differenza tra emissioni correnti e target.

3.4.17. Intensità energetica settore trasporti

Analogamente al caso delle intensità energetica ed elettrica del settore civile, anche nel settore trasporti è stata aggiunta un'opzione che diminuisce l'intensità energetica del settore trasporti con un tasso collegato alla differenza tra emissioni correnti e target.

3.4.18. Opzione Carbon Capture and Storage (CCS)

La tecnologia della cattura e sequestro dell'anidride carbonica prodotta da grandi impianti permette di ridurre la quantità di gas serra che vengono emessi in atmosfera. Nel modello DIEM è stata aggiunta questa opzione nel settore che considera gli impianti di generazione elettrica alimentati da combustibili solidi. Non ci sono documenti ufficiali riguardanti l'interesse delle Organizzazioni ed Istituzioni italiane verso il CCS. Il modello DIEM simula questa tecnologia considerando un serbatoio rappresentante le emissioni evitate ed un serbatoio rappresentante la quantità di energia elettrica consumata e quindi non resa disponibile per il soddisfacimento della domanda.

TAB. 25 - ASSUNZIONI OPZIONE TECNOLOGICA CCS.

[MW]	2019	2021	2023
Capacità in termini di potenza di impianti alimentati a fonte fossile nei quali è installata la tecnologia CCS.	1000	1000	1000

3.4.19. Produzione di energia elettrica da rifiuti

E' possibile generare energia termica ed elettrica dalla combustione dei rifiuti solidi urbani. Da alcuni studi, (36), (37), (38), sotto certe condizioni, con la combustione dei rifiuti è possibile generare circa il 3 – 5 % del fabbisogno elettrico italiano.

“il completo sfruttamento dei rifiuti solidi urbani può generare tra il 3 e il circa 5% del fabbisogno di elettricità, valore che aumenta significativamente, fino ad avvicinarsi al 10%, se ci aggiungono i rifiuti industriali”, (37).

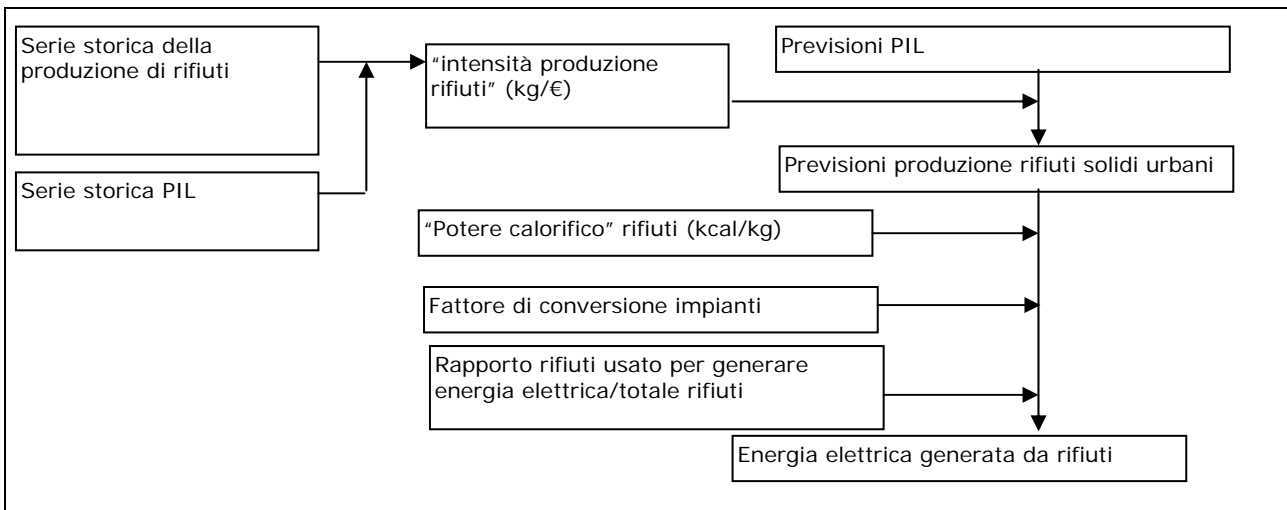


FIG. 10 - ARCHITETTURA DEL SETTORE RIFIUTI.

Usando la serie storica dei dati della produzione di rifiuti solidi urbani (38), considerando la serie storica del PIL italiano sono state calcolate le serie storiche del rapporto:

$$ipr = \frac{\text{produzione rifiuti}}{PIL} \left[\frac{kg}{\text{€}} \right]$$

Si è fatta la previsione al 2035 calcolando con il metodo dei minimi quadrati la funzione lineare che meglio approssimasse la serie storica. Moltiplicando le previsioni del prodotto interno lordo per l'intensità dei rifiuti il modello ha calcolato la quantità di rifiuti prodotta annualmente in Italia dal 2007 al 2035.

Attualmente il 10% della quantità di rifiuti prodotta annualmente viene usata per produrre energia elettrica. La produzione annuale di energia elettrica da rifiuti nel 2005 è stata di 2.6 TWh. Nell'anno 2005 il fattore di conversione medio degli impianti di conversione è stato pari al 22.4% mentre il valore potenzialmente raggiungibile è pari al 27-28%.

La quantità di energia elettrica annualmente prodotta dalla conversione dei rifiuti, per il periodo di simulazione, è stata calcolata secondo la relazione:

$$ee = kg_{rifiuti} \cdot DE \cdot \eta \cdot \alpha$$

dove:

- $kg_{rifiuti}$: la quantità annuale complessiva di rifiuti prodotti (kg);
- DE: potere calorifico medio dei rifiuti solidi urbani; il modello parte considerando un valore pari a 2200 kcal/kg che viene incrementato fino a raggiungere i 2800 kcal/kg nel 2035;
- η : fattore di conversione degli impianti; il modello considera un valore che va dal 22.4% dell'anno 2007 fino al 28% nel 2035;

- α : questo fattore rappresenta la quota dei rifiuti che vengono utilizzati per produrre energia elettrica sul totale dei rifiuti prodotti. Il valore di partenza è dell'11%, tale valore viene incrementato del 2%/anno a partire dal 2012.

3.4.20. Crescita economica tendente a zero

E' stato considerato un intervento che modifica la crescita economica. La crescita del PIL annuale è stata fatta diminuire progressivamente fino ad arrivare ad una crescita del PIL circa nulla dopo l'anno 2030.

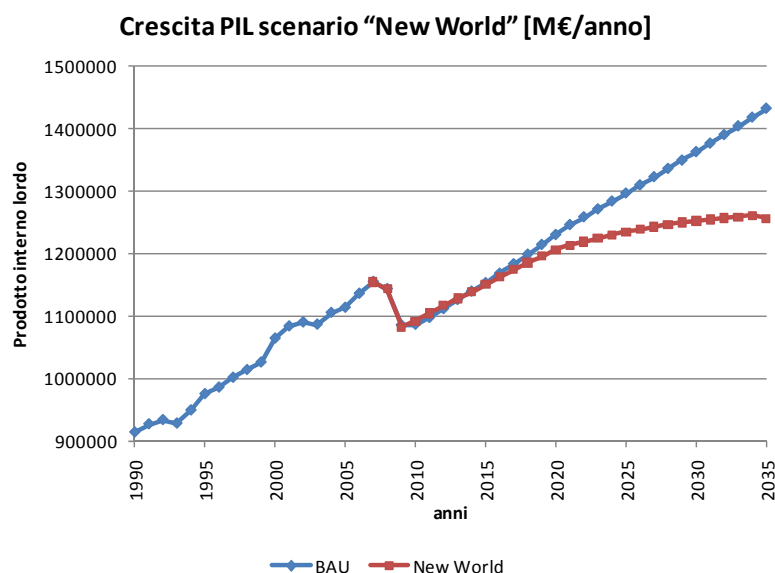


FIG. 11 - CRESCITA ECONOMICA SCENARIO "NEW WORLD".

3.5. SCENARI

In questa sezione sono presentati le analisi di scenario elaborate dal modello DIEM. Per ogni scenario sono riportati gli andamenti dei consumi di energia primaria e delle emissioni di gas serra. Per ogni scenario sono evidenziate le caratteristiche e le criticità.

3.5.1. Scenario Business As Usual

Lo scenario Business As Usual (BAU) rappresenta l'evoluzione del sistema nel caso in cui esso evolva con le stesse dinamiche (andamento intensità, mix energetici, etc) delle serie storiche. L'andamento dei consumi e delle emissioni nello scenario BAU rappresentato nelle Tab. 26, Tab. 27 e nelle Fig. 12 e Fig. 13.

I consumi per l'anno 2020 sono pari a 207.82 Mtep e le relative emissioni sono di 574.36 Mt_{CO2eq}, valore superiore al limite imposto dall'obiettivo che è pari al -14% sul livello delle emissioni dell'anno 2005, (39), (15).

TAB. 26 - CONSUMO INTERNO LORDO ITALIA, SCENARIO BAU [MTEP].

[Mtep]	solidi	gas naturale	prodotti petroliferi	rinnovabili	nucleare	importazioni nette	consumo interno lordo
2010	18.90	67.75	76.12	13.66	0	10.20	186.63
2015	22.10	73.43	76.96	14.09		10.20	196.78
2020	23.80	81.66	77.61	14.55		10.20	207.82
2025	24.70	90.03	77.28	14.89		10.20	217.10
2030	25.58	97.32	79.23	15.22		10.20	227.55
2035	26.50	105.15	82.02	15.56		10.20	239.43

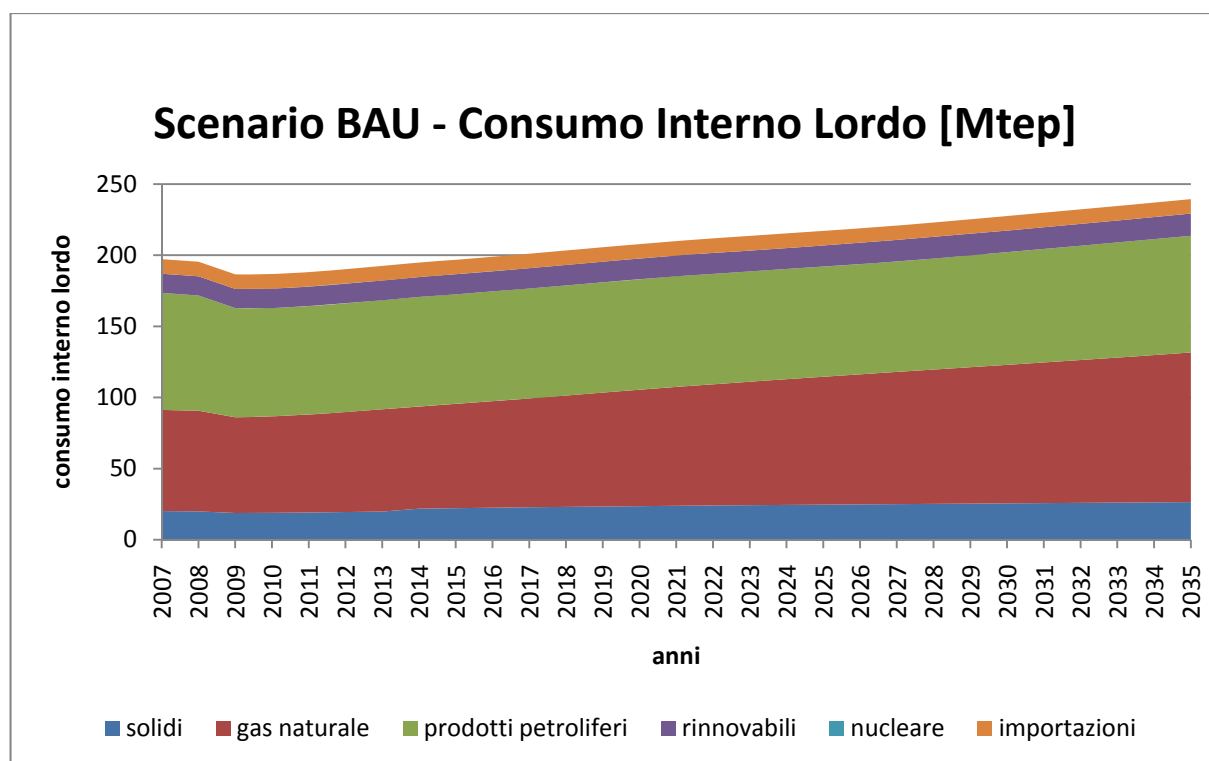


FIG. 12 – SCENARIO BAU, CONSUMO INTERNO LORDO [MTEP].

TAB. 27 - EMISSIONI GAS SERRA SCENARIO BAU [MtCO_{2eq}].

[Mt _{CO_{2eq}}]	Emissioni settore energetico	Altre emissioni	Emissioni totali
2010	449.24	73.44	522.68
2015	481.81	66.73	548.54
2020	514.35	60.01	574.36
2025	541.85	53.30	595.15
2030	570.78	46.59	617.37
2035	601.47	39.88	641.35

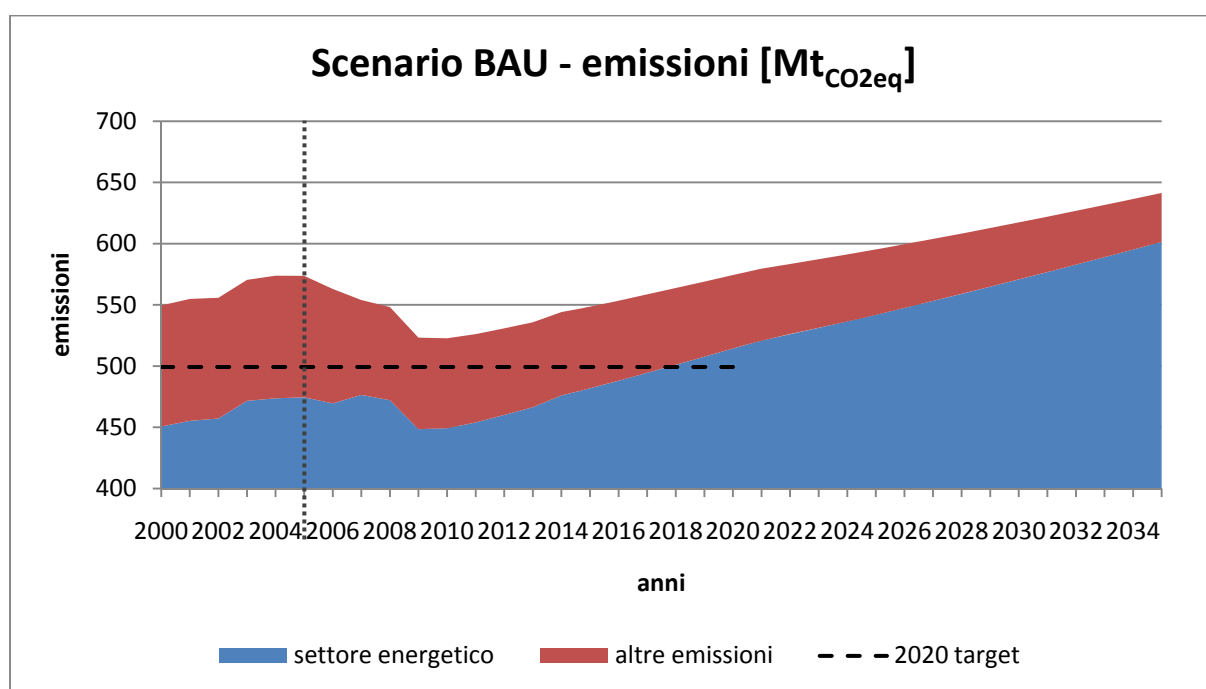


FIG. 13 - EMISSIONI SCENARIO BAU [MtCO_{2eq}].

3.5.2. Effetti dei singoli interventi

In questo paragrafo vengono riportati gli effetti che l'applicazione di ogni intervento applicato singolarmente comporta allo scenario BAU.

Gli interventi e le misure simulate applicano cambiamenti che agiscono modificando i consumi finali, i consumi interni lordi, il mix energetico, la domanda di energia, le emissioni, etc. Gli effetti sul consumo interno lordo di ogni singolo intervento sono riassunti in Tab. 28. Gli effetti sulle emissioni di gas serra sono riassunti in Tab. 29.

TAB. 28 - EFFETTI SUL CONSUMO INTERNO LORDO DEI SINGOLI INTERVENTI [MTEP].

[Mtep]	2010	2015	2020	2025	2030	2035
BAU	186.63	196.78	207.82	217.1	227.55	239.43
Nucleare	186.63	196.78	207.82	218.65	229.15	241.07
Recupero energia da rifiuti	186.2	196.14	206.68	215.39	225.18	236.29
CCS	186.63	196.78	208.19	218.56	229.02	240.90
Riduzione int. energ. settore civile	185.43	192.43	200.1	205.89	212.72	220.81
Riduzione int. elett. settore civile	186.19	195.09	204.77	212.61	221.52	231.75
Riduzione int. energ. settore trasporti	185.86	193.98	202.79	209.73	217.71	226.97
Misure di efficienza settore civile	184.18	190.23	199.55	207.53	216.51	226.65
Misure di efficienza settore industria	185.96	194.94	205.56	214.58	224.71	236.25
Misure di efficienza settore trasporti	185.96	195.00	205.58	214.50	224.55	235.96
Fonti rinnovabili (position paper)	186.95	197.73	209.55	219.10	229.82	241.98
Crescita economica tendente alla stabilizzazione	186.12	194.70	202.76	207.16	210.83	213.85

TAB. 29 - EFFETTI SULLE EMISSIONI DEI SINGOLI INTERVENTI [MtCO_{2eq}].

[MtCO _{2eq}]	2010	2015	2020	2025	2030	2035
BAU	522.68	548.54	574.36	595.15	617.37	641.35
Nucleare	522.68	548.54	574.36	571.57	594.09	618.35
Recupero energia da rifiuti	521.45	546.71	571.11	590.28	610.66	632.54
CCS	522.68	548.54	568.36	571.14	593.36	617.34
Riduzione int. energ. settore civile	519.72	538.00	555.95	568.88	582.59	597.69
Riduzione int. elett. settore civile	521.22	543.06	564.37	580.45	597.84	616.74
Riduzione int. energ. settore trasporti	520.23	539.6	558.32	571.64	585.98	601.60
Misure di efficienza settore civile	516.08	531.09	552.52	570.22	588.68	608.32
Misure di efficienza settore industria	520.69	543.25	567.87	587.94	609.34	632.41
Misure di efficienza settore trasporti	520.55	542.87	567.20	586.87	607.79	630.28
Fonti rinnovabili (position paper)	508.50	510.58	511.18	527.81	545.40	564.65
Crescita economica tendente alla stabilizzazione	521.26	542.86	560.41	567.56	570.24	569.51

Ogni intervento o opzione energetica è attivabile singolarmente o insieme con altri interventi. Per una valutazione organica e organizzata degli scenari di sviluppo possibili per il sistema energetico italiano si sono elaborati 4 scenari principali.

Il primo, chiamato scenario "Grey" applica gli interventi relativi alla produzione di energia da fonti rinnovabili espresse nel position paper (34) e considera le misure di efficienza energetica descritte nel documento (9).

Il secondo scenario, scenario Yellow, aggiunge analisi, oltre agli interventi ipotizzati nello scenario Grey, l'effetto dell'introduzione di una serie di opzioni tecnologiche: energia elettrica da fonte termoelettrica, grande penetrazione della tecnologia di produzione di energia elettrica da rifiuti ed introduzione della tecnologia CCS applicata alle centrali termoelettriche.

Le abitudini sociali hanno un buon potenziale per la riduzione della domanda di energia finale. Lo scenario Green, oltre a tutte le opzioni dello scenario Yellow, analizza gli effetti di una riduzione delle intensità energetiche nel settore trasporti e nel settore civile derivante da un cambiamento delle abitudini della popolazione. I trend per le intensità energetiche del settore civile e trasporti usati per lo scenario BAU vengono modificati applicando un tasso di riduzione annuale che dipende dalla differenza tra le emissioni attuali (dell'anno in corso durante la simulazione) e del target imposto per l'Italia. Maggiore è la differenza e maggiore sarà l'impegno della politica energetica. Questo intervento è utile per osservare come una riduzione dell'intensità energetica potrebbe andare ad influire sui consumi ed emissioni; difficilmente gli effetti di una politica di questo tipo sono prevedibili e simulabili mediante modelli matematici.

L'ultimo scenario, scenario New World, desidera osservare i possibili effetti di uno sviluppo economico tendente non più ad una crescita continua del Prodotto Interno Lordo, ma ad una sua stabilizzazione che tende ad un valore costante.

La Tab. 30 riassume per ogni scenario gli interventi che sono stati attivati.

TAB. 30 - SCENARI CONSIDERATI.

Scenario	Opzioni attivate
Grey	Raggiungimento del potenziale delle fonti rinnovabili espresso in (34) Misure di efficienza energetica presentate in (9)
Yellow	Grey scenario + CCS Energia nucleare Recupero di energia dai rifiuti
Green	Yellow scenario + Riduzione intensità energetica nei settori civile e trasporti
New world	Green scenario + Modifica nella dinamica di crescita economica

3.5.3. Scenario Grey

In questo scenario si considerano le fonti rinnovabili e le misure di efficienza energetica. Le emissioni al 2020 sono inferiori rispetto allo scenario BAU di 98.68 Mt_{CO2eq} e l'obiettivo per il 2020 viene raggiunto.

TAB. 31 - CONSUMO INTERNO LORDO ED EMISSIONI SCENARIO GREY [MTEP].

	solidi	gas naturale	prodotti petroliferi	rinnovabili	nucleare	importazioni i nette	consumo interno lordo	emissioni
	[Mtep]				[Mt _{CO2eq}]			
2010	17.75	62.44	73.61	19.15	0	10.20	183.15	497.78
2015	18.87	58.82	70.78	28.9	0	10.20	187.57	482.17
2020	18.89	58.93	69.28	39.48	0	10.20	196.78	475.68
2025	19.39	63.98	69.02	41.82	0	10.20	204.41	487.39
2030	19.85	68.34	70.34	44.20	0	10.20	212.93	499.12
2035	20.33	72.94	72.42	46.65	0	10.20	222.54	511.62

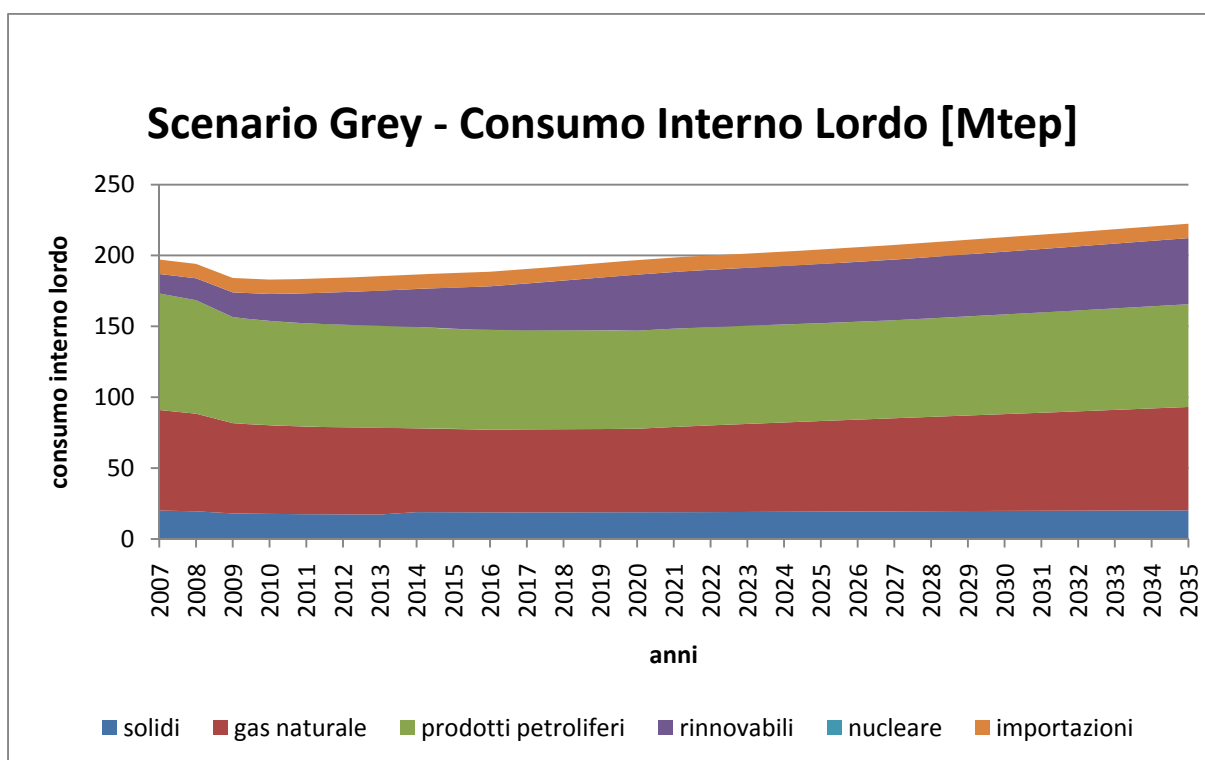
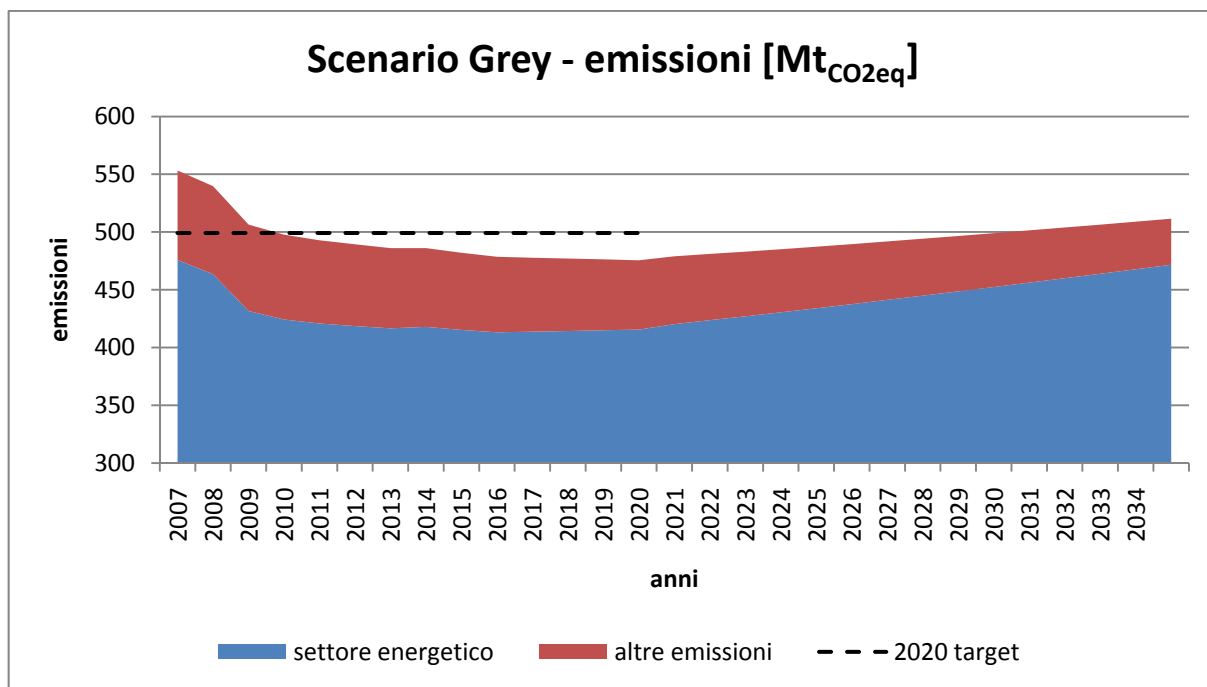


FIG. 14 - SCENARIO GREY, CONSUMO INTERNO LORDO [MTEP].

FIG. 15 - EMISSIONI SCENARIO GREY [MtCO₂Eq].

3.5.4. Scenario Yellow

Oltre alle misure implementate nello scenario Grey in questo scenario si considerano anche le tecnologie Nucleare, CCS e di recupero di energia dai rifiuti. Le emissioni nell'anno 2020 rispetto allo scenario BAU sono inferiori di 107.94 Mt_{CO₂eq}.

TAB. 32 - CONSUMO INTERNO LORDO ED EMISSIONI SCENARIO YELLOW [MTEP].

	solidi	gas naturale	prodotti petroliferi	rinnovabili	nucleare	importazioni nette	consumo interno lordo	emissioni
	[Mtep]							[MtCO ₂ eq]
2010	17.62	62.18	73.56	19.15	0	10.20	182.71	496.55
2015	18.69	58.44	70.72	28.9	0	10.20	186.95	480.35
2020	18.56	58.59	69.18	39.48	0	10.20	196.01	466.42
2025	16.54	59.09	68.24	41.82	9.83	10.20	205.72	434.93
2030	16.92	62.87	69.60	44.20	9.83	10.20	213.62	445.13
2035	17.29	66.82	71.72	46.65	9.83	10.20	222.51	455.82

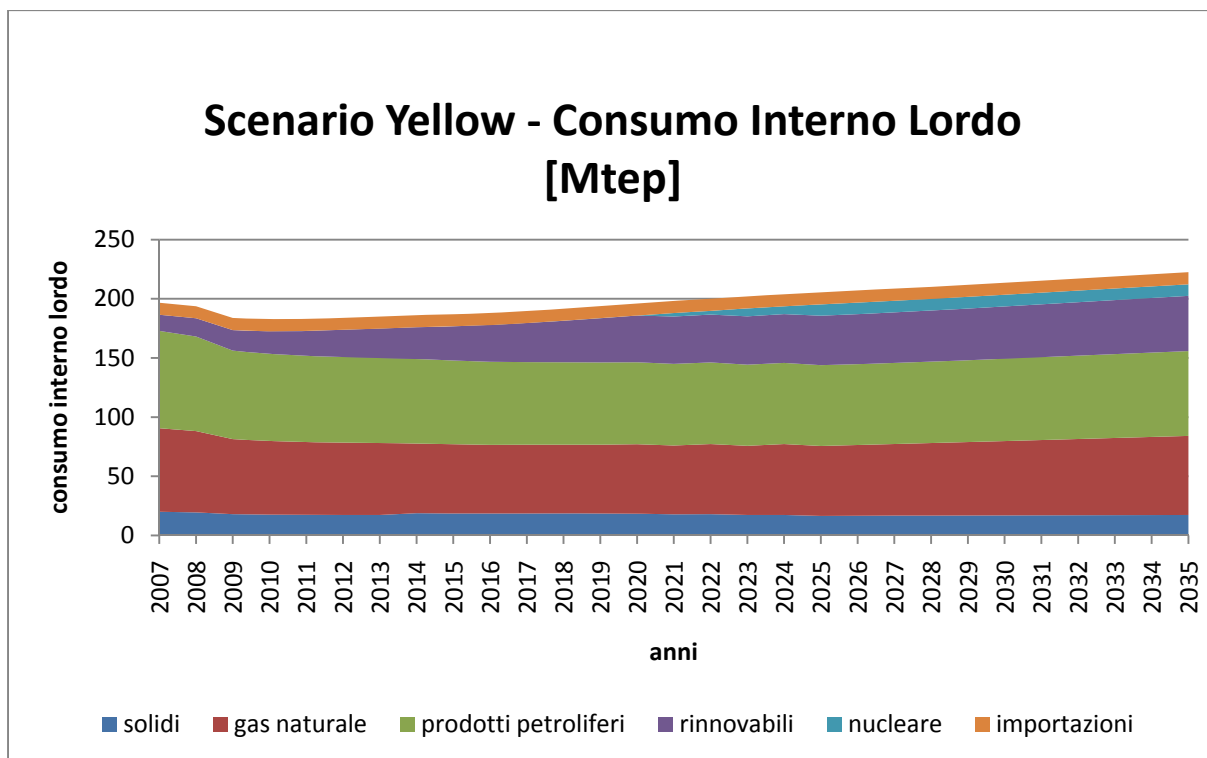


FIG. 16 - SCENARIO YELLOW, CONSUMO INTERNO LORDO [MTEP].

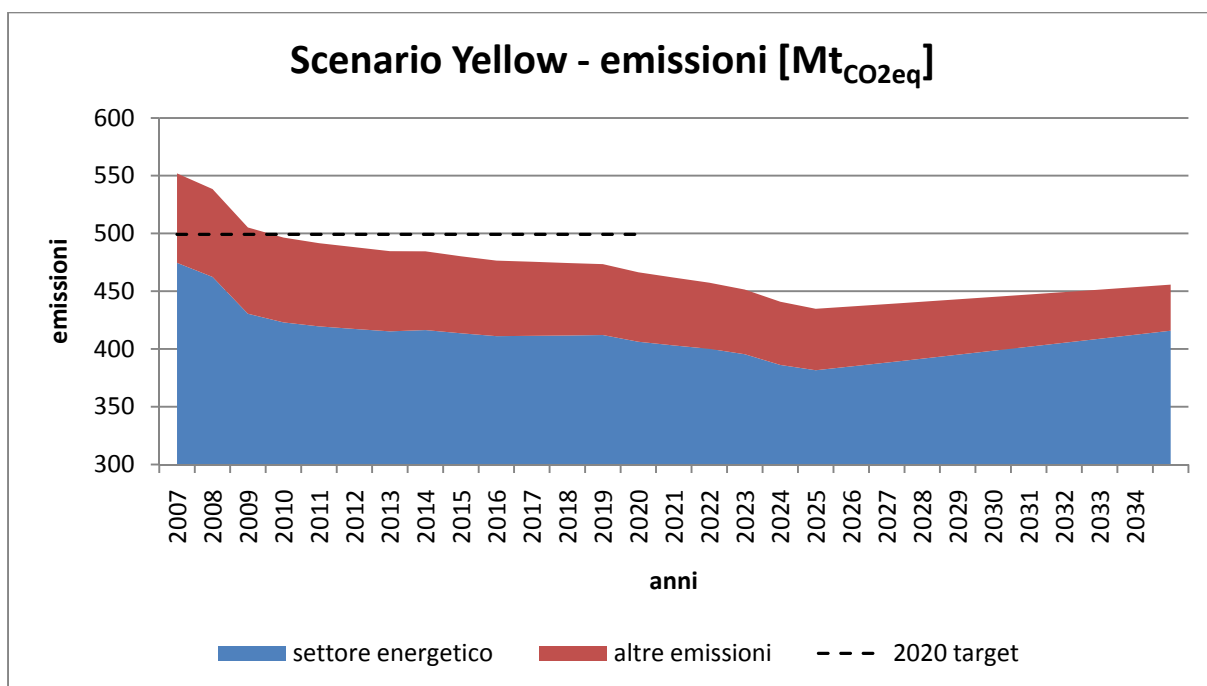


FIG. 17 - EMISSIONI SCENARIO YELLOW [MtCO₂eq].

3.5.5. Green scenario

Oltre alle misure considerate nello scenario Yellow, in questa configurazione si considerano anche gli interventi atti a ridurre le intensità energetiche nel settore civile e trasporti. Le emissioni all'anno 2020 sono inferiori di 131.93 Mt_{CO₂eq} rispetto lo scenario BAU.

TAB. 33 - CONSUMO INTERNO LORDO ED EMISSIONI SCENARIO GREEN [MTEP].

	solidi	gas	prodotti	rinnovabili	nucleare	importazioni	consumo	emissioni
--	--------	-----	----------	-------------	----------	--------------	---------	-----------

		naturale	petroliferi			i nette	interno lordo	
				[Mtep]				[Mt _{CO2eq}]
2010	17.46	61.55	73.07	19.15	0	10.20	181.43	492.86
2015	17.98	55.50	68.58	28.90	0	10.20	181.16	463.9
2020	17.52	54.14	66.20	39.48	0	10.20	187.54	442.43
2025	15.33	53.43	64.78	41.82	9.83	10.20	195.39	405.95
2030	15.68	56.86	66.02	44.20	9.83	10.20	202.79	414.87
2035	16.04	60.44	68.01	46.65	9.83	10.20	211.17	424.2

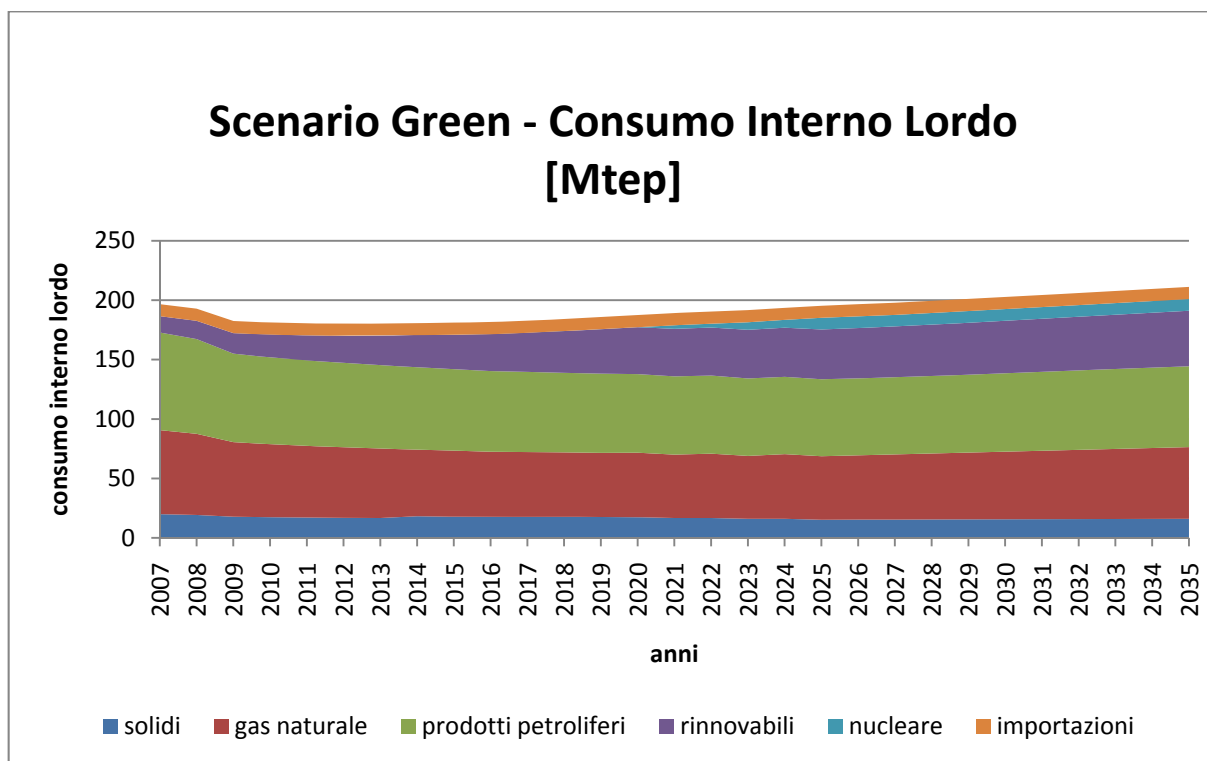


FIG. 18 - SCENARIO GREEN, CONSUMO INTERNO LORDO [MTEP].

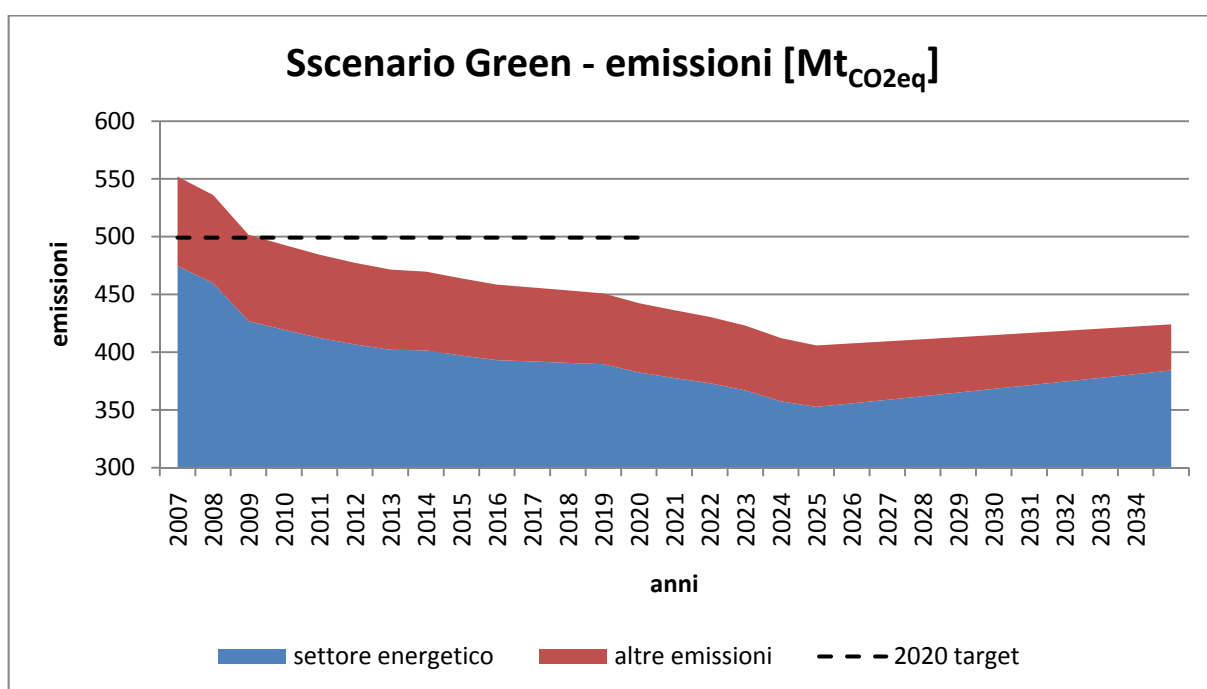


FIG. 19 - EMISSIONI SCENARIO GREEN [Mt_{CO2eq}].

3.5.6. Scenario New World

In questo scenario si considerano tutti gli interventi previsti e si considera una crescita economica che tende ad un valore costante per l'anno 2035. Le emissioni risparmiate rispetto allo scenario BAU nell'anno 2020 sono pari a 142 Mt_{CO2eq}.

TAB. 34 - CONSUMO INTERNO LORDO SCENARIO ED EMISSIONI "NEW WORLD" [MTEP].

	solidi	gas naturale	prodotti petroliferi	rinnovabili	nucleare	importazioni i nette	consumo interno lordo	emissioni
	[Mtep]							[Mt _{CO2eq}]
2010	17.39	61.32	72.86	19.14	0	10.2	180.91	491.46
2015	17.76	54.79	67.94	28.89	0	10.2	179.58	459.6
2020	17.03	52.31	64.69	39.45	0	10.2	183.68	431.91
2025	14.36	49.75	62.01	41.77	9.83	10.2	187.92	385.33
2030	13.92	49.77	61.22	44.11	9.83	10.2	189.05	376.08
2035	13.3	48.9	60.46	46.51	9.83	10.2	189.2	362.49

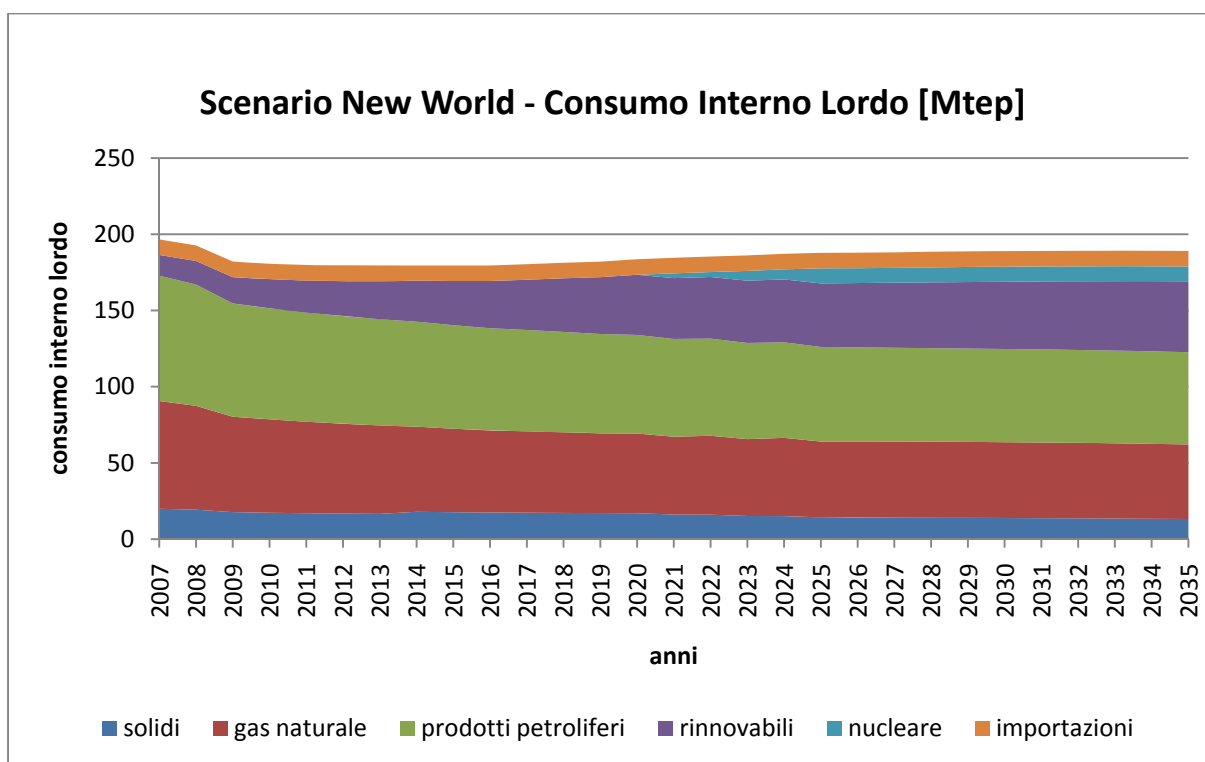


FIG. 20 - SCENARIO "NEW WORLD", CONSUMO INTERNO LORDO [MTEP].

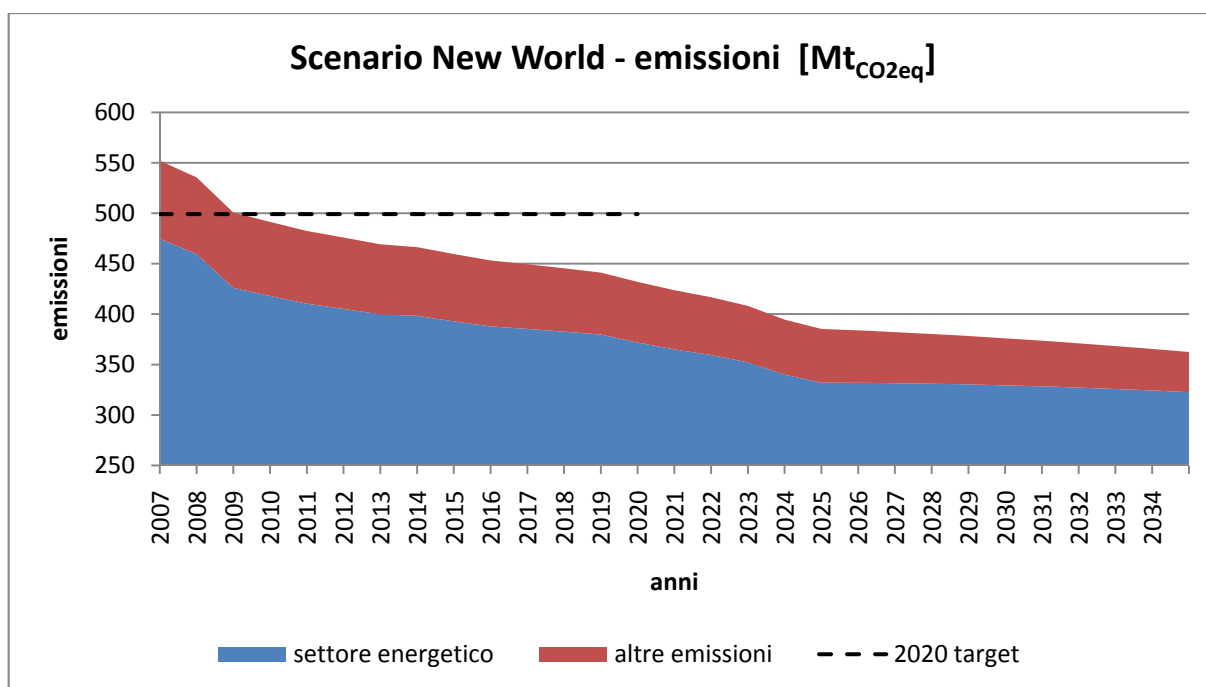


FIG. 21 - EMISSIONI SCENARIO "NEW WORLD" [MtCO2eq].

3.6. CONFRONTI E OSSERVAZIONI

E' utile sottolineare che gli studi energetici basati sul metodo della "dinamica dei sistemi" permettono di elaborare scenari che esplorano le possibili dinamiche che un sistema può intraprendere: definito il sistema e definite le ipotesi iniziali si analizza l'evoluzione dello stesso applicando per ogni simulazione diverse ipotesi ed opzioni.

Nello scenario BAU l'Italia non sarà in grado di raggiungere l'obiettivo sulle emissioni di gas serra per l'anno 2020. Uno sviluppo deciso delle fonti rinnovabili e l'implementazione di misure di efficienza energetica, come analizzato nello scenario Grey, permetteranno all'Italia di raggiungere l'obiettivo del 2020. Le tecnologie Nucleare, CCS e recupero di energia dai rifiuti porteranno dei benefici in termini di riduzione delle emissioni di gas serra in atmosfera.

Analizzato il potenziale tecnico/tecnologico, lo scenario Green analizza gli effetti derivanti da politiche sociali atte a ridurre l'intensità energetica dei settori civile e trasporti in cui le abitudini personali possono portare a dei consistenti risparmi di energia.

Poiché i consumi di energia sono strettamente legati alla crescita economica, lo scenario "New World" analizza l'evoluzione del sistema energetico italiano nel caso in cui il principale indicatore economico, il PIL, si stabilizzi ad un valore costante.

La Fig. 22 e Fig. 23 mostrano i consumi previsti nei vari scenari e le relative emissioni. Per lo scenario BAU i consumi sono costantemente crescenti. Si presume una ripresa dell'economia dopo l'anno 2010 con relativa crescita dei consumi di energia.

Lo scenario Grey considerando gli interventi di efficienza energetica previsti dal documento di CESI Ricerca (9) prevede un consumo di energia nettamente minore. Lo scenario Yellow prevede un andamento dei consumi di energia pressoché simile a quelli dello scenario Grey.

Lo scenario Green esplora l'effetto di una riduzione dell'intensità energetica nel settore civile e dei trasporti, settori in cui le abitudini personali potrebbero portare a notevoli risparmi di energia ed emissioni. In tutti gli scenari finora descritti per l'orizzonte temporale considerato, i consumi energetici aumentano nel tempo. Solamente nello scenario "New World" il quale applica al modello una ipotesi sulla crescita economica, i consumi energetici riuscirebbero ad avere un andamento pressoché costante dal 2030 in poi.

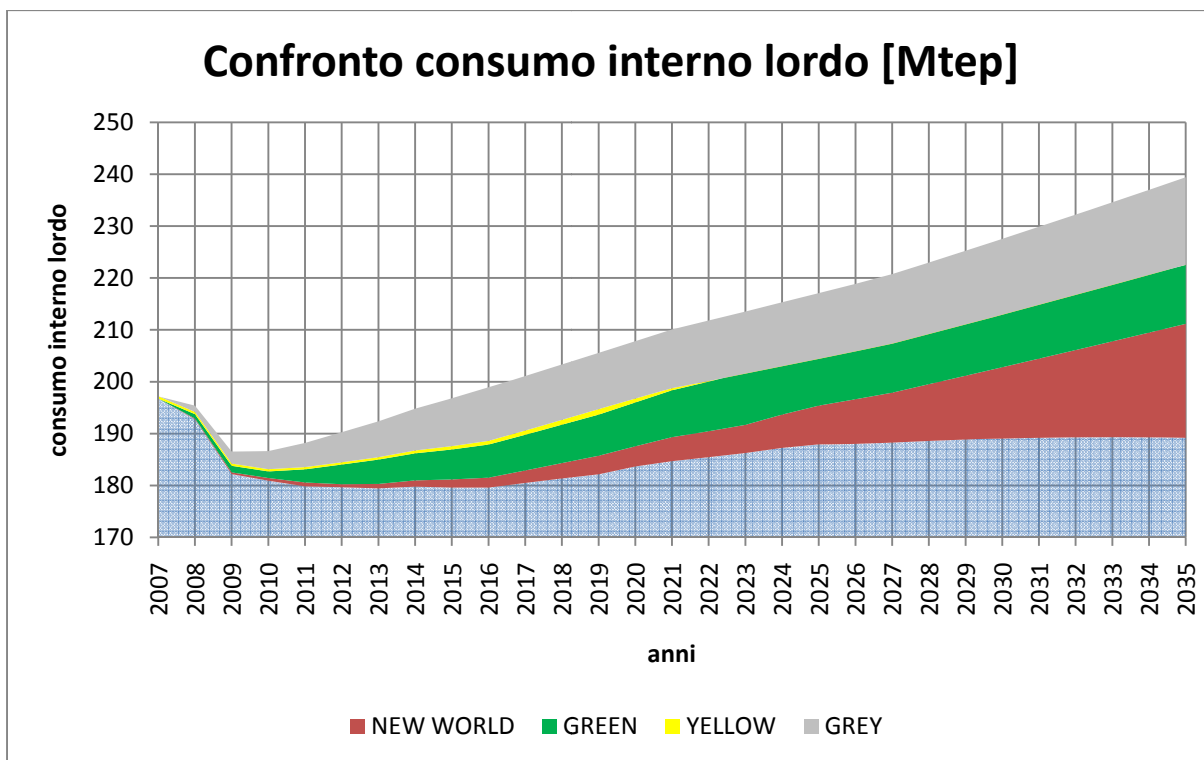


FIG. 22 - CONSUMO INTERNO LORDO SECONDO GLI SCENARI CONSIDERATI [MTEP].

Lo scenario BAU prevede un andamento delle emissioni di gas serra in atmosfera che torna a crescere dopo la crisi economica. Nel 2015 si tornerà ad emettere come nell'anno 2007 e l'andamento sarà crescente. Solamente lo scenario "New World" prevede un andamento delle emissioni continuamente decrescente.

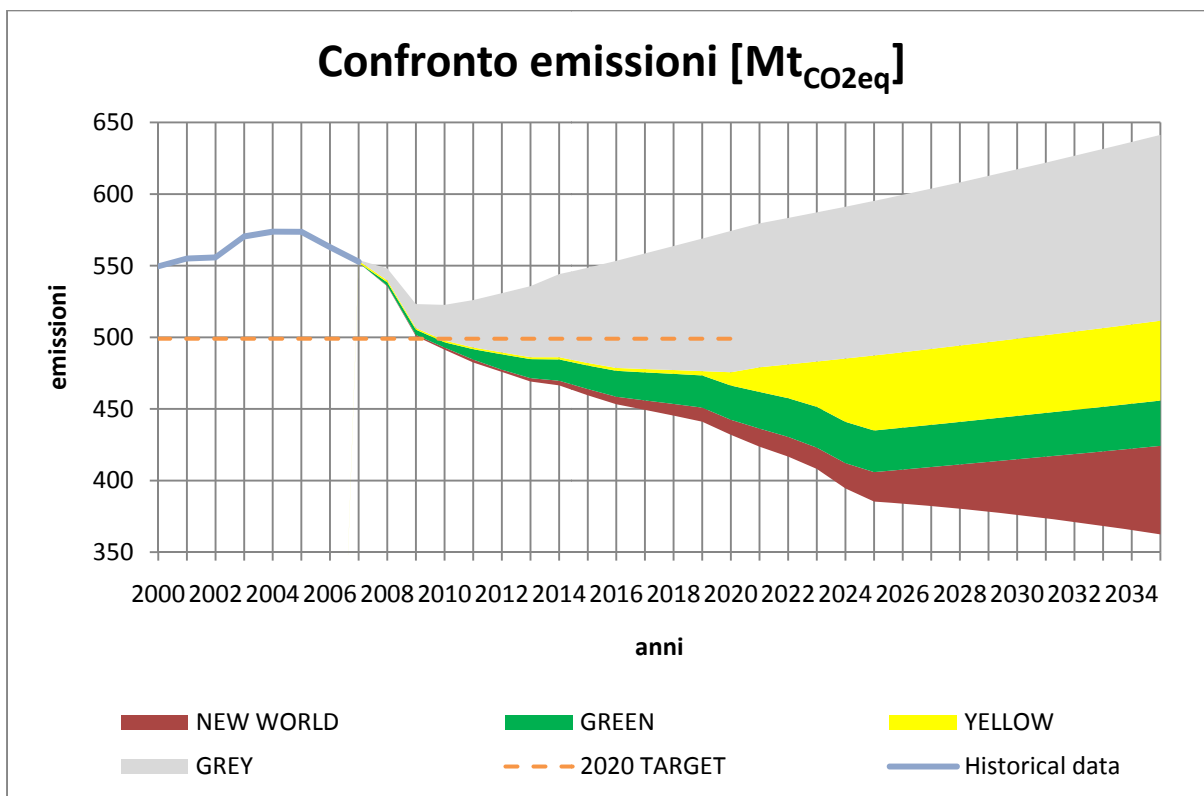


FIG. 23 - DIFFERENZE EMISSIONI DI GAS SERRA NEGLI SCENARI CONSIDERATI [MTCO2EQ].

4. Modello NEF Global Futures 2009

In collaborazione con la società “New Energy Finance” è stato progettato e sviluppato un modello energetico in grado di elaborare previsioni sulla domanda energetica mondiale e sulle emissioni di gas serra relative al settore energetico. Il modello permette inoltre di avere delle stime sugli investimenti in tecnologia.

Il modello, chiamato NEF Global Futures 2009 (NEF GF 2009), tiene in considerazione gli effetti della recessione e della crisi finanziaria del 2008 – 2009. Tale recessione ha un duplice effetto: da una parte comporta una riduzione a breve termine delle emissioni dovute ad un minor consumo di energia e quindi ad una minor combustione di fonti fossili, dall’altra parte comporta un effetto negativo sullo sviluppo delle fonti rinnovabili e sulle politiche di efficienza energetica proprio a causa della minor propensione degli investitori ad investire in tecnologie rinnovabili ed a basso impatto ambientale.

4.1. STRUTTURA DEL MODELLO

La suddivisione geografica dell’intero Pianeta è stata fatta considerando 26 regioni geografiche. Per ogni singola regione è stata replicata la struttura presentata nel prossimo paragrafo. La suddivisione geografica utilizzata nel modello “New Energy Finance, Global Futures 2009” (NEF GF 2009) è riportata in Tab. 35.

TAB. 35 - SUDDIVISIONE GEOGRAFICA DEL MODELLO NEF GF 2009.

1	USA	14	Russia
2	Canada	15	Other Europe (Europe non-OECD, former USSR excl. Russia)
3	Mexico	16	Japan
4	Brazil	17	Australia
5	Latin America (excluding Brazil and Mexico)	18	South Korea
6	United Kingdom	19	New Zealand
7	Germany	20	China
8	France	21	India
9	Italy	22	Other Asia (excl. China, India, and the Middle East)
10	Spain	23	Israel
11	Poland	24	Middle East (excl. Israel)
12	Portugal	25	South Africa
13	Other Europe OECD	26	Africa (excl. South Africa)

4.1.1. Architettura del modello per ogni singola Regione

Per ognuna delle 26 Regioni è stato progettato e sviluppato un modello basato sulla metodologia dei “sistemi Dinamici”. L’architettura del modello è presentata in Fig. 24.

Considerando la crescita economica di ogni Regione, per ogni settore economico (commercio e pubblici servizi, industria, agricoltura, residenziale e trasporti), vengono calcolate le domande di energia elettrica e termica. Considerando le perdite e l’energia necessaria per le trasformazioni energetiche viene fatta una stima della quantità di energia primaria necessaria per la Regione. Il modello calcola inoltre le relative emissioni di gas serra e calcola una stima degli investimenti necessari per soddisfare le domanda energetica.

Sono stati considerati due scenari, il primo chiamato “base case” scenario in cui l’evoluzione del sistema energetico prosegue secondo le dinamiche osservate negli ultimi anni e tiene in considerazioni le politiche in atto o in via di definizione (prima dell’anno 2009). Il secondo scenario chiamato “peak 2020” nel quale gli investimenti in tecnologie rinnovabili ed in impianti a bassa emissione di gas serra sono accelerati fino a raggiungere un’inversione di tendenza nell’andamento delle emissioni di gas serra all’anno 2020.

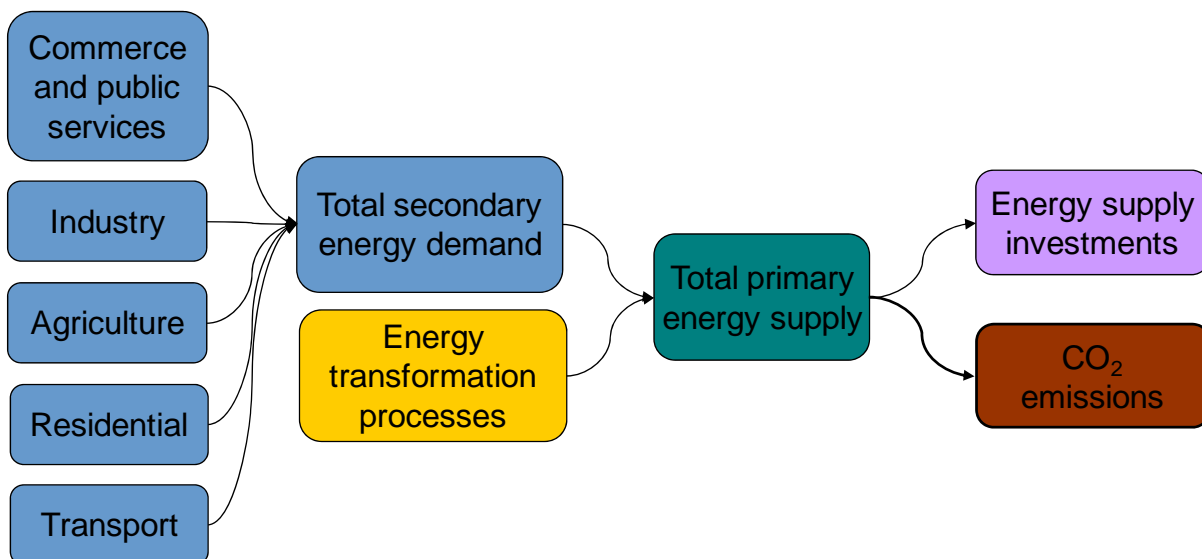


FIG. 24 - ARCHITETTURA DEL MODELLO NEF GF 2009.

L'architettura concettuale descritta nella Fig. 24 è stata modellizzata utilizzando 26 files nei quali ogni settore economico e tecnologia è stata descritta con i classici elementi della metodologia della "Dinamica dei Sistemi" ovvero serbatoi, flussi e relazioni. Nella Fig. 25 è riportata una panoramica di uno dei 26 files.

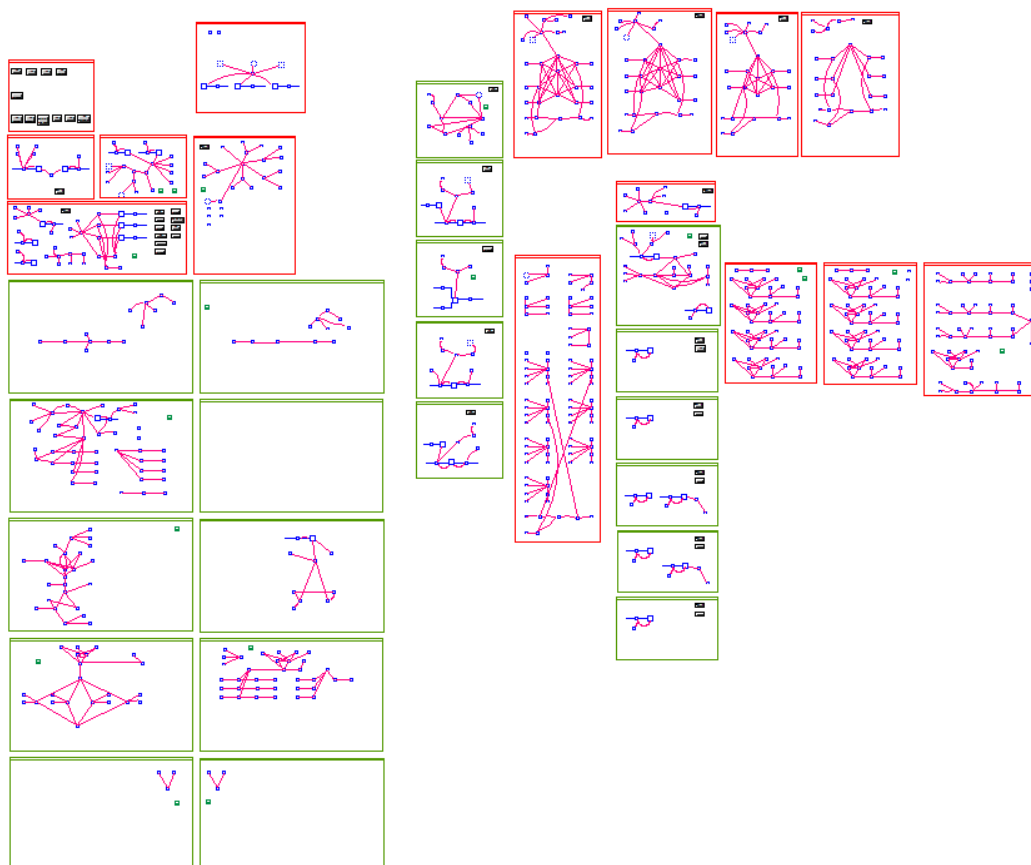


FIG. 25 - PANORAMICA DEL MODELLO PER UNA REGIONE.

4.2. PRINCIPALI RISULTATI

In questo paragrafo verranno illustrati i principali risultati ottenuti dal modello NEF GF 2009 per i due scenari principali: “base case” scenario e “2020 peak scenario”.

4.2.1. Scenario “base case”

La domanda di energia prevista dallo scenario “base case” è rappresentata in Fig. 26. L’andamento è simile a quanto previsto dallo scenario “reference scenario” del World Energy Outlook 2008 (40). La domanda è quantitativamente minore in quanto il “base case” scenario del modello NEF GF 2009 considera gli effetti della recessione e della crisi finanziaria.

La crescita della domanda dei primi anni del 2000 riflette la crescita economica della Cina, India e dei Paesi emergenti. Da osservare come la domanda di energia dei Paesi OECD resti pressoché costante per tutto il periodo di tempo considerato: questo è dovuto allo spostamento delle attività produttive verso settori meno “energivori” ed al continuo miglioramento dell’intensità energetica di quei Paesi.

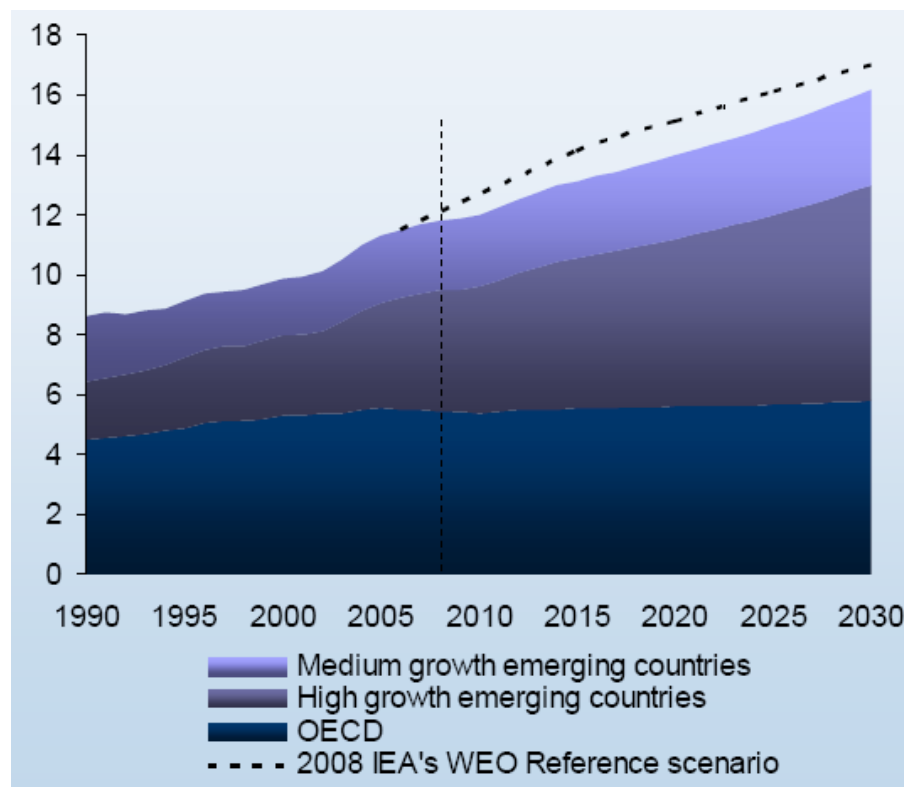


FIG. 26 - CONSUMI ENERGETICI MONDIALI “BASE CASE” SCENARIO [GTEP].

Osservando meglio le domande di energia previste per i tre gruppi di Regioni nel mondo si osserva che i Paesi industrializzati OECD presentano una domanda piuttosto costante. Tra i Paesi emergenti ad alta crescita la maggiore domanda deriva da Cina ed India, vedi Fig. 27.

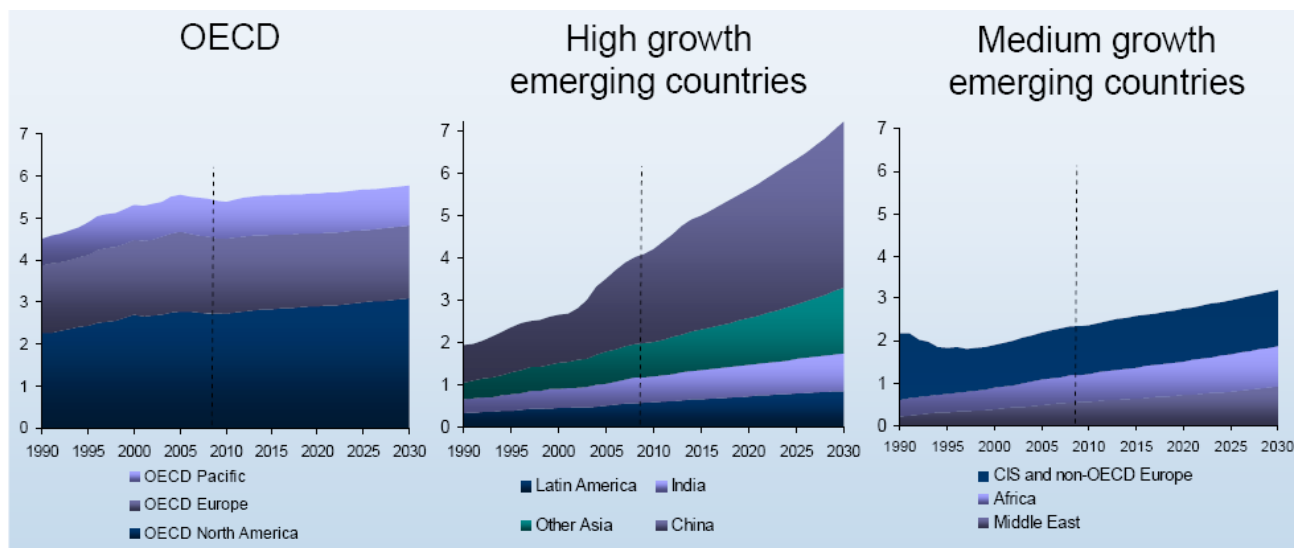


FIG. 27 - PREVISIONI DOMANDA ENERGETICA MONDIALE [GTEP].

L'importanza dell'energia elettrica nel mix energetico è in continua crescita. Questo accade sia nelle economie emergenti che nei paesi industrializzati, Fig. 28. Per questo motivo la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile acquista sempre più interesse.

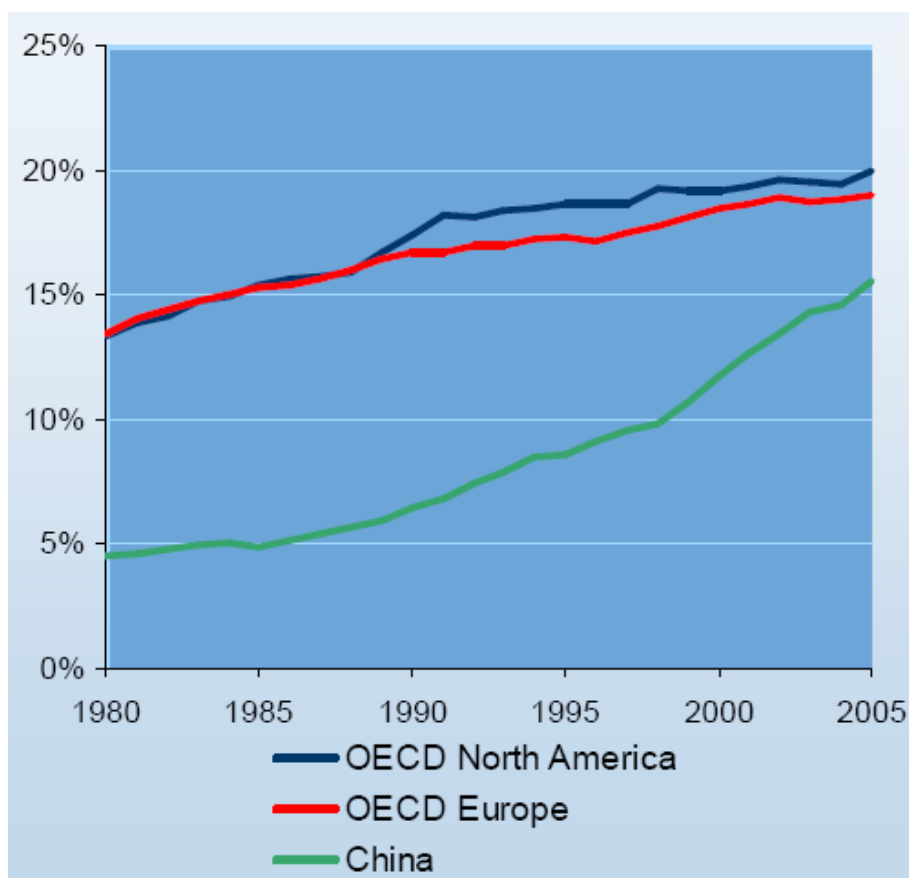


FIG. 28 - CONSUMO DI ELETTRICITÀ COME PERCENTUALE DEI CONSUMI TOTALI DI ENERGIA.

Poiché in tutto il mondo, in ogni Paese, si sta assistendo ad un uso sempre maggiore dell'elettricità in tutti i settori la domanda di energia elettrica cresce prepotentemente in ogni Regione. In Nord America la domanda di energia elettrica crescerà maggiormente rispetto all'Europa. La crescita della domanda di energia in Cina risulta essere maggiore del 5% per il periodo 2006 – 2030, Fig. 29.

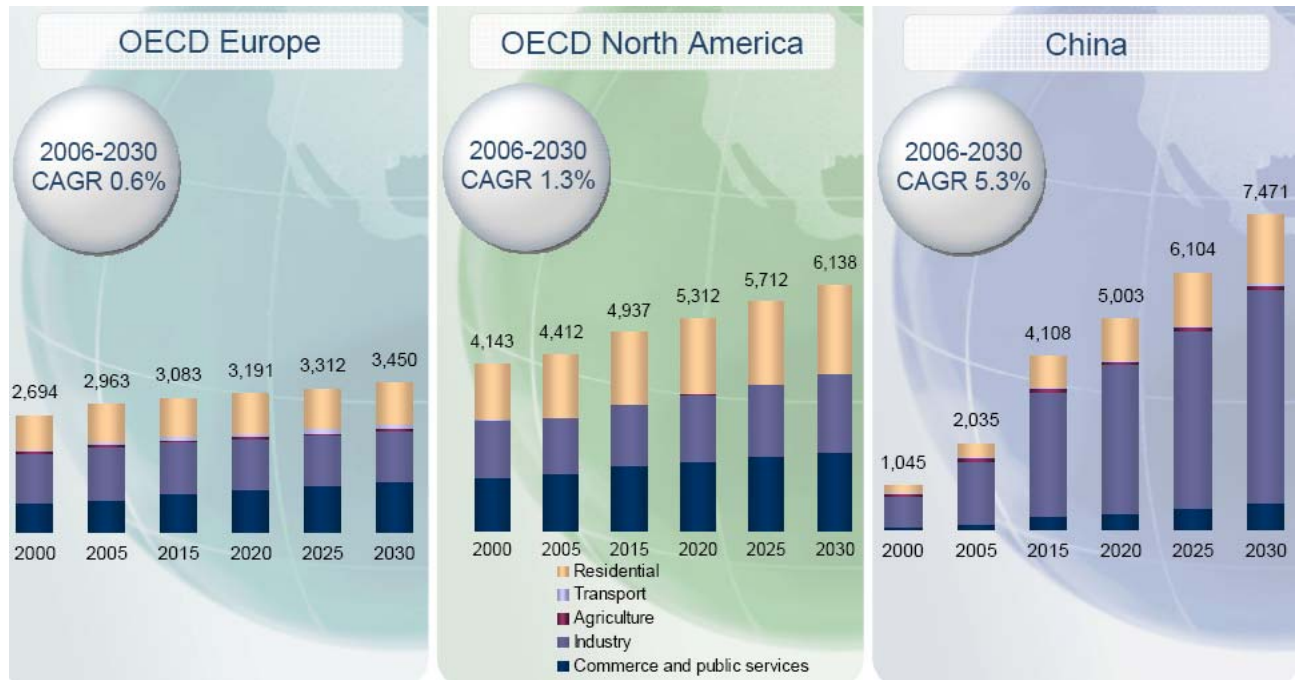


FIG. 29 - PREVISIONI DOMANDA DI ENERGIA ELETTRICA OECD EUROPE, OECD NORD AMERICA E CINA [TWH].

Il meccanismo di “Cap and Trade” come l’EU ETS si suppone investa solamente i Paesi dell’OECD. Nello scenario “base case” una quota significativa della produzione di energia elettrica sarà ancora prodotta utilizzando il carbone. La produzione di energia elettrica da fonte fossile è rappresentata in Fig. 30.

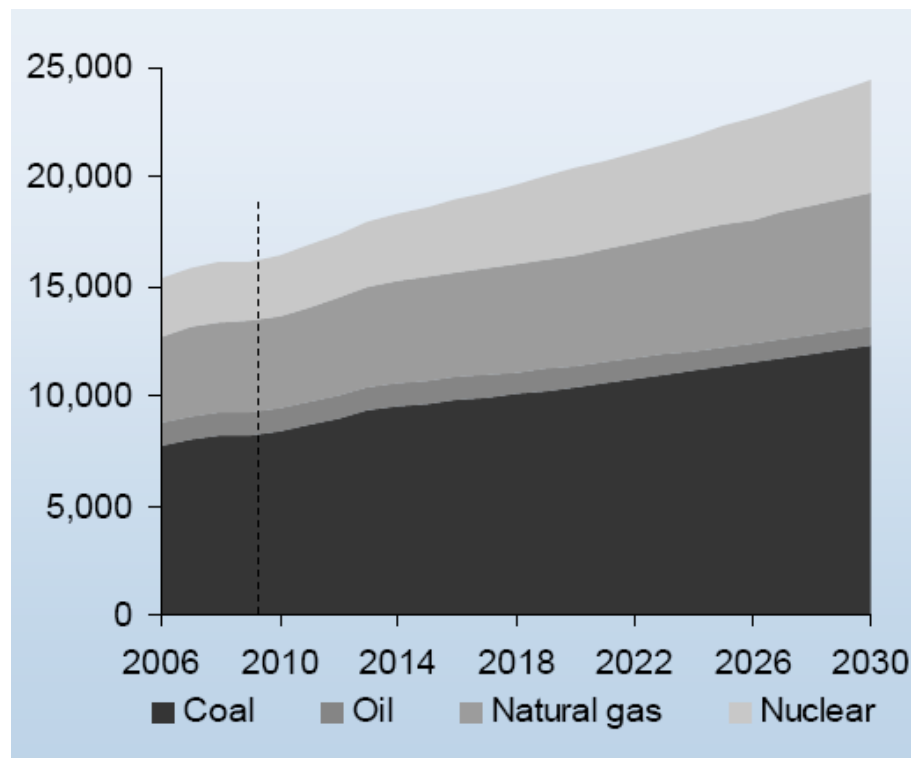


FIG. 30 - PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTI NON RINNOVABILI [TWH].

Le fonti rinnovabili giocheranno un ruolo molto importante nei sistemi energetici dei prossimi decenni. Secondo lo scenario “base case” del modello NEF GF 2009 il loro contributo nel settore dell’energia elettrica sarà di circa il 26% all’anno 2030 equivalenti a circa 8000 TWh di produzione di energia elettrica. La crescita delle produzioni di energia elettrica da fonte rinnovabile è guidata dalle fonti eolico onshore, solare fotovoltaico, biomassa e mini idroelettrico.

La maggior produzione attualmente è dovuta alla fonte idroelettrico ad alta capacità, fonte la cui crescita è prevista essere modesta. La produzione mondiale di energia elettrica da fonte rinnovabile è presentata in Fig. 31.

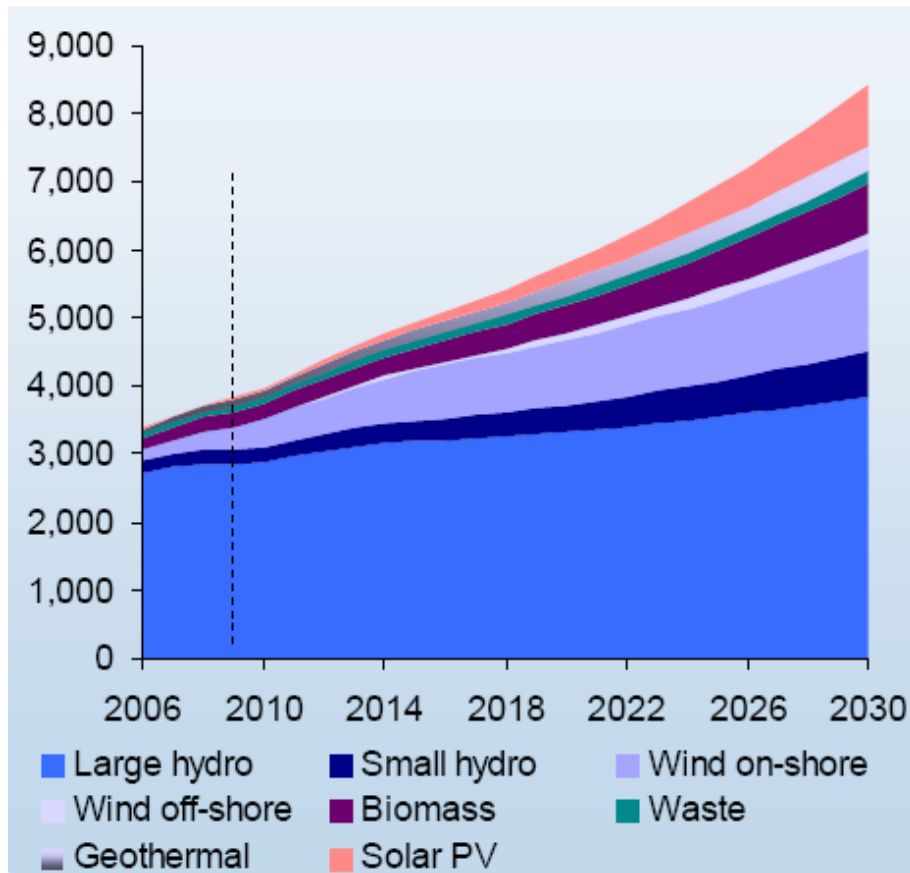


FIG. 31 - PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE [TWh].

Il risultato dello sviluppo delle fonti rinnovabili nel settore elettrico porterà ad avere nel 2030 una capacità installata di idroelettrico ad alta capacità, eolico onshore e solare fotovoltaico pari a circa 2246 GW, comparabile con la capacità installata degli impianti alimentati a fonte fossile tradizionali pari a poco più di 4000 GW. La fonte nucleare cresce nel periodo 2006 – 2030 con un tasso modesto pari al 2.7% raggiungendo una capacità installata al 2030 di circa 703 GW.

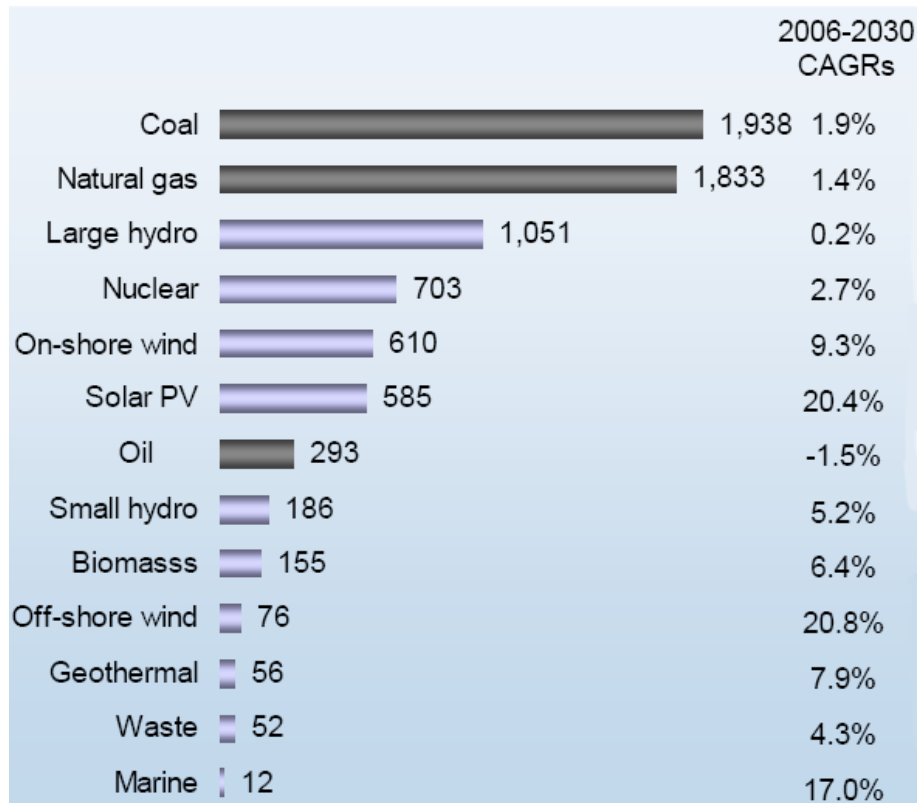


FIG. 32 - GENERAZIONE ENERGIA ELETTRICA, CAPACITÀ INSTALLATA AL 2030 [GW].

Il costo dei pannelli fotovoltaici è previsto scendere costantemente nei prossimi decenni come insegna la storia dei prodotti ad alto contenuto tecnologico. Nonostante ciò il supporto pubblico alla tecnologia è ancora essenziale e nel modello NEF GF 2009 si è ipotizzato esso continui fino a quando la tecnologia raggiunge un costo industriale pienamente competitivo. Il modello prevede un costo al 2030 pari ad un quarto del costo attuale.

Nello scenario “base case” le installazioni del fotovoltaico raggiungeranno i 590 GW al 2030 pari a più dell’8% della totale capacità installata nel settore elettrico. Gli investimenti in questa tecnologia che nel 2008 sono stati pari a 40 G\$ raggiungeranno i 146 G\$ nel 2020 ed i 254 G\$ nel 2030.

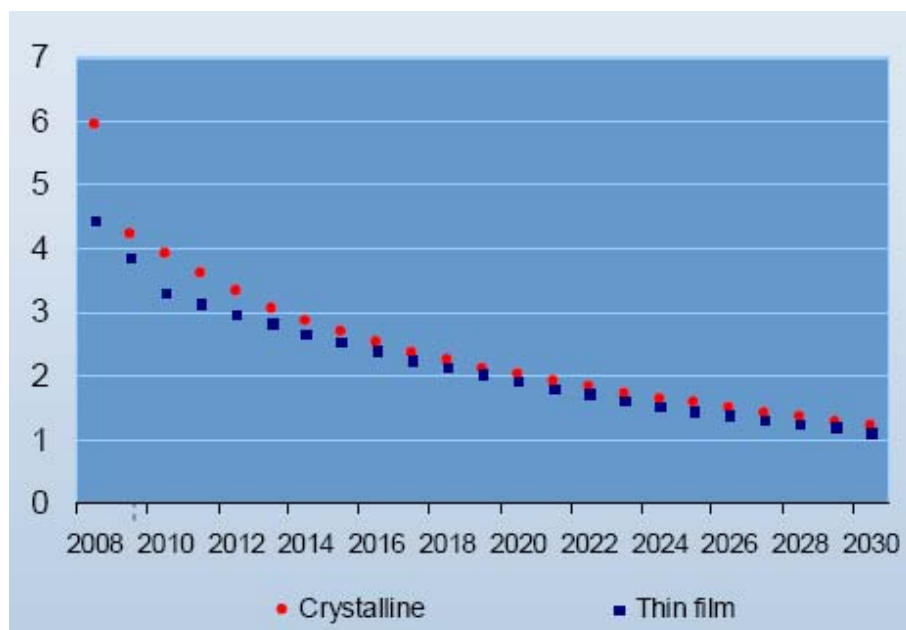


FIG. 33 - COSTO PANNELLI FOTOVOLTAICI [\$/W].

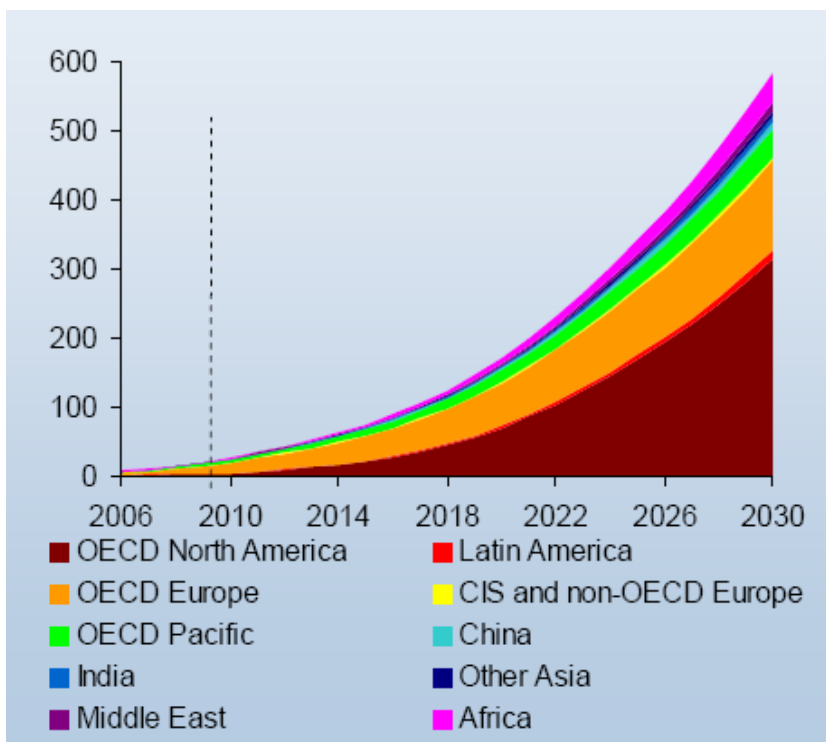


FIG. 34 - CAPACITÀ FOTOVOLTAICO INSTALLATA [GW].

Anche se la crisi ha rallentato lo sviluppo della fonte eolica, nei prossimi anni essa tornerà a crescere con prepotenza nell'onshore e la tecnologia offshore risulterà essere sempre più competitiva. Gli investimenti nella fonte eolica passeranno dai 93 G\$ del 2008, ai 101 G\$ del 2015 per poi essere pari a 79 G\$ nel 2020 e 87 G\$ nel 2030.

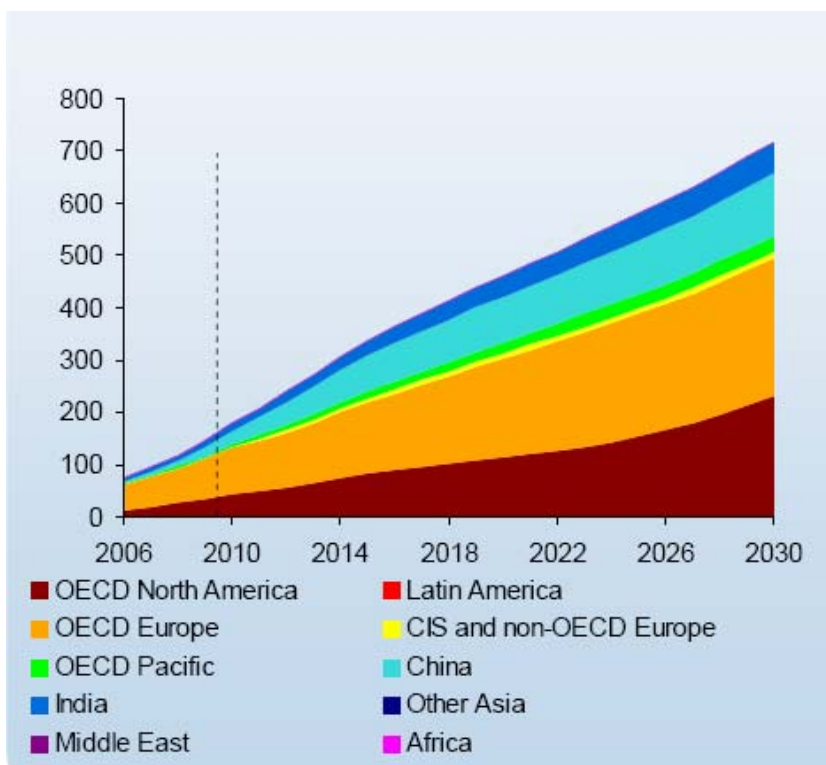


FIG. 35 - INSTALLAZIONE CAPACITÀ FONTE EOLICA [GW].

La fonte mini idroelettrico si prevede possa crescere in modo consistente. Dai 60 GW installati attualmente si dovrebbero raggiungere i 180 GW nel 2030. Lo sviluppo maggiore avverrà in Paesi esterni all'OECD come l'America Latina, i Paesi dell'ex Unione Sovietica, India ed altre zone dell'Asia.

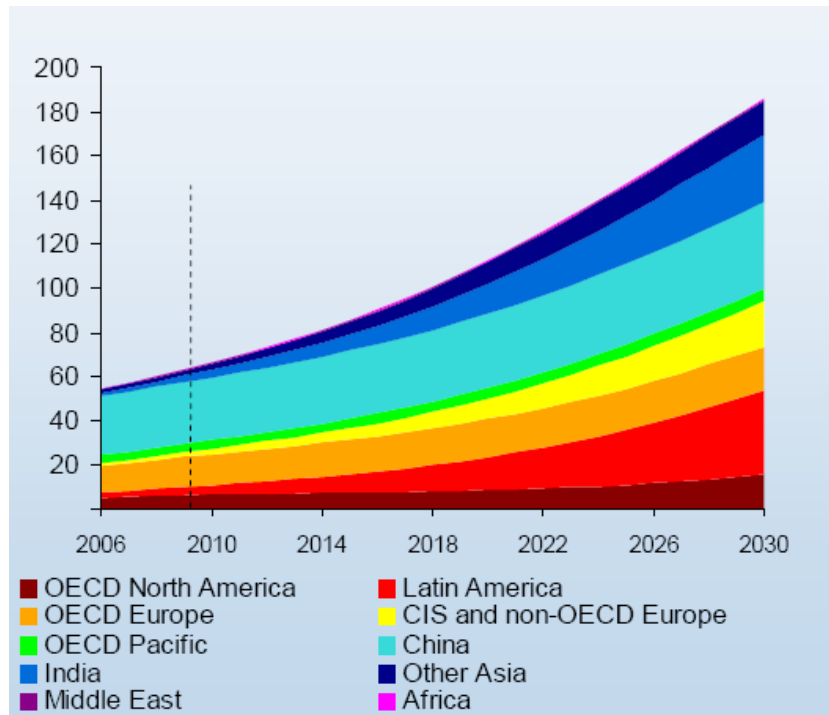


FIG. 36 - CAPACITÀ INSTALLATA TECNOLOGIA IDROELETTRICO BASSA CAPACITÀ [GW].

La produzione di energia elettrica da biomassa vedrà una buona crescita della capacità installata, dai circa 35 GW del 2008 ai 139 GW del 2030. La crescita maggiore avverrà nelle regioni dell'America Latina ed in Cina ed India.

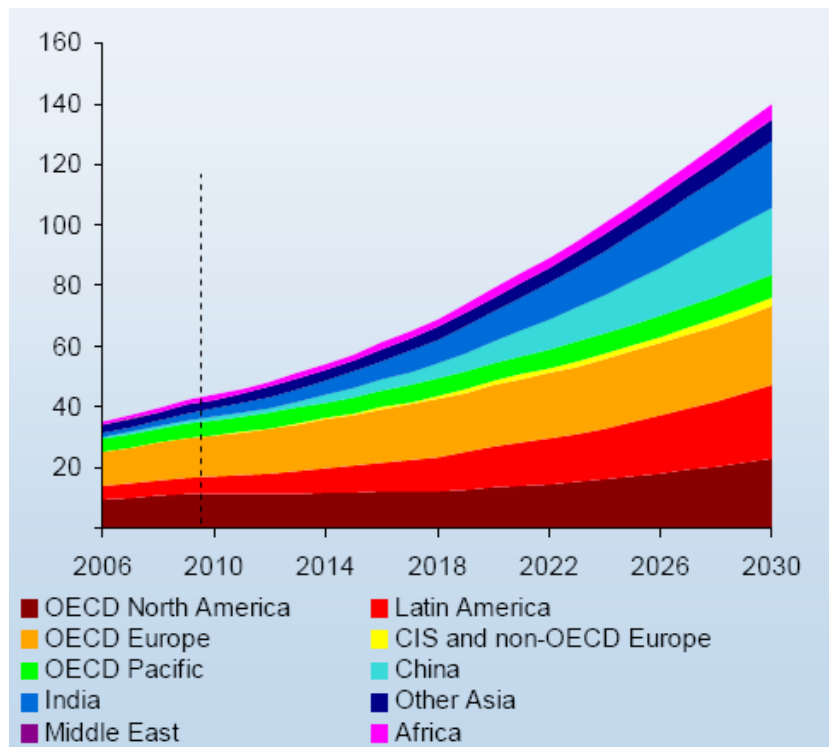


FIG. 37 - CAPACITÀ INSTALLATA SETTORE BIOMASSA [GW].

La fonte geotermica crescerà secondo lo scenario “base case” dai 9 GW installati nel 2006 fino ai 56 GW del 2030. Nel 2008 sono stati installati nel mondo circa 1.8 GW di nuova capacità. La maggior espansione è prevista in Asia soprattutto nei Paesi delle Filippine e Indonesia.

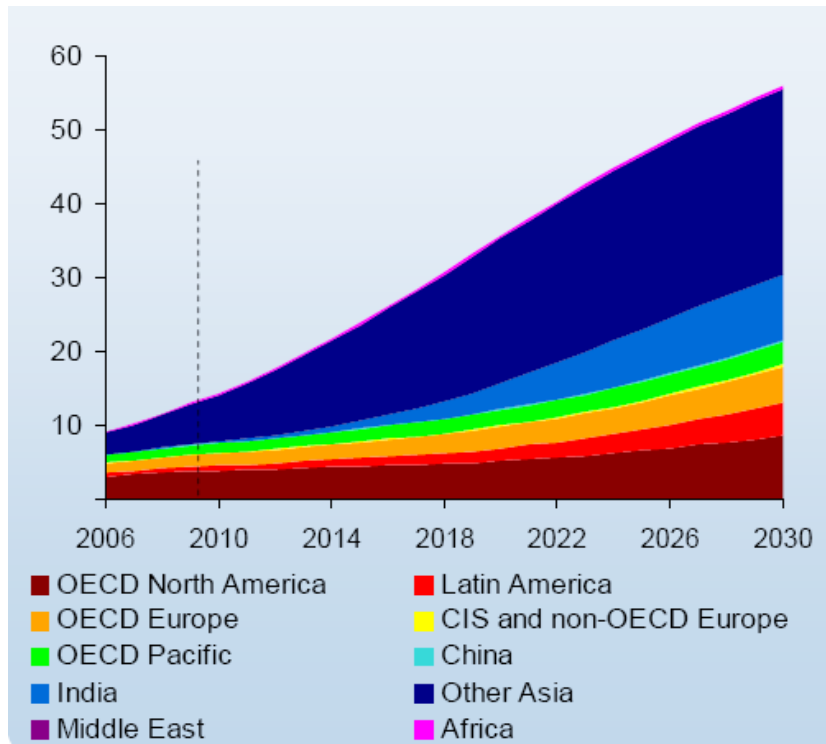


FIG. 38 - CAPACITÀ INSTALLATA FONTE GEOTERMICA [GW].

La generazione elettrica da fonte marina è un settore relativamente piccolo delle rinnovabili anche se ha un buon potenziale. Il modello ipotizza che da 2009 al 2015 la tecnologia crescerà modestamente in quanto si suppone essa sia ancora in fase di studio. Gli anni dal 2015 al 2025 segneranno lo sviluppo di tale tecnologia e dal 2025 in poi essa sarà competitiva. Secondo lo scenario “base case” al 2030 la tecnologia marina potrebbe contare in 12 GW di potenza installata e fornire energia come “base” per sopperire ai disagi delle tecnologie con funzionamento ad intermittenza.

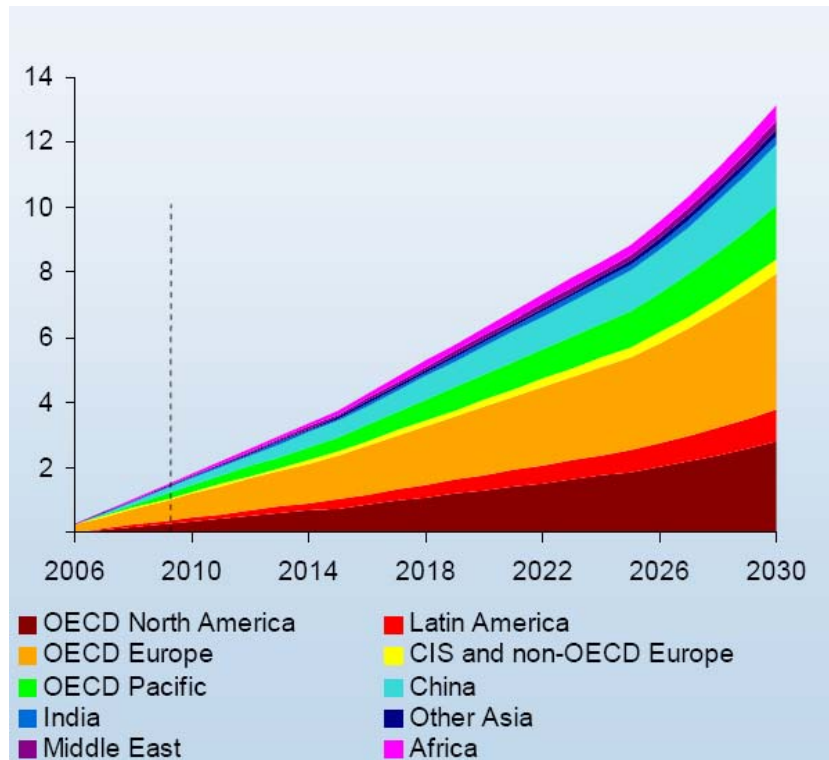


FIG. 39 - CAPACITA' INSTALLATA FONTE MARINA [GW].

La fonte nucleare potrebbe rivedere un ritorno di interesse verso di essa tra il 2010 ed il 2025. Molti Paesi europei hanno ritardato la chiusura di centrali esistenti, alcuni Paesi emergenti vedono nel nucleare una opzione in grado di accomodare il loro continuo aumento di domanda di energia elettrica.

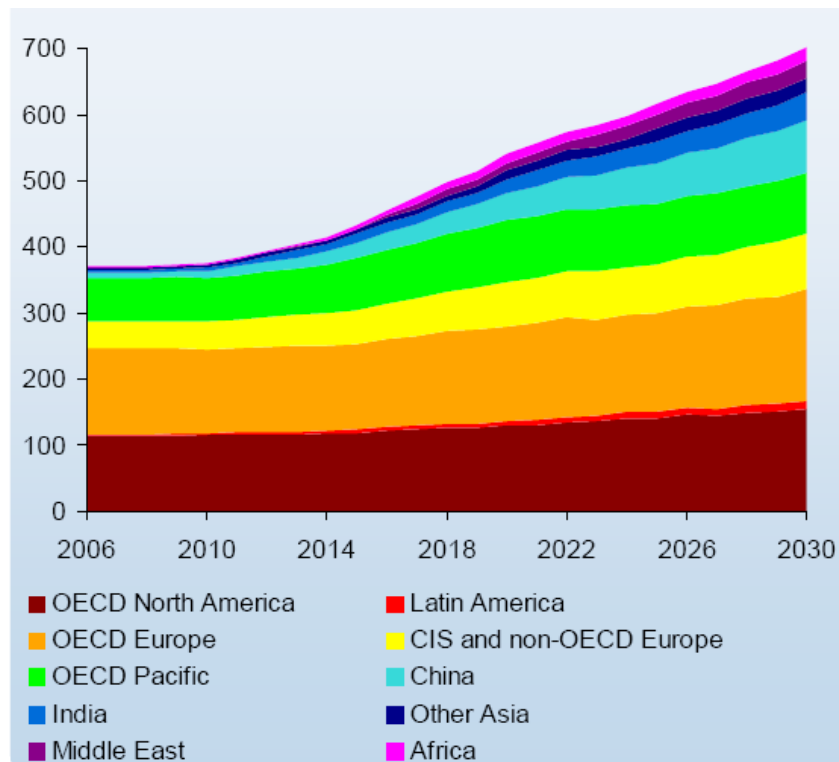


FIG. 40 - CAPACITA' FONTE NUCLEARE [GW].

Nonostante i consumi energetici siano in continua crescita, l'intensità energetica presenta un andamento decrescente nel tempo. I miglioramenti tecnologici giocano un ruolo importante nel miglioramento

dell'efficienza energetica tuttavia ci sono delle barriere (comportamenti, abitudini, scarsa informazione) che rallentano l'adozione completa di tali miglioramenti tecnologici.

4.2.2. Scenario “2020 peak”

Nello scenario “2020 peak” si assume una penetrazione delle fonti rinnovabili più decisa, una quantità di investimenti in tecnologie rinnovabili maggiore.

Per la fonte fotovoltaica lo scenario “2020 peak” assume una crescita degli investimenti in questa tecnologia più ripida nei primi anni del periodo considerato almeno fino al 2025.

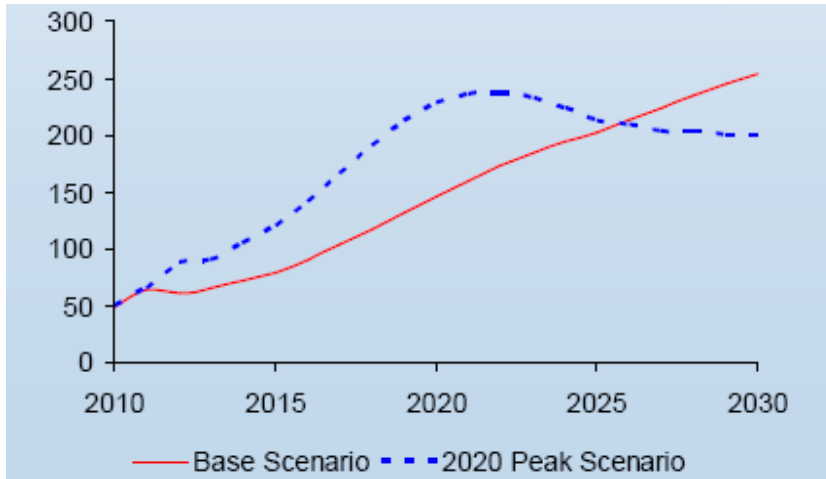


FIG. 41 - INVESTIMENTI FOTOVOLTAICO [G\$].

Ne deriva una maggiore installazione di capacità per tutti gli anni considerati.

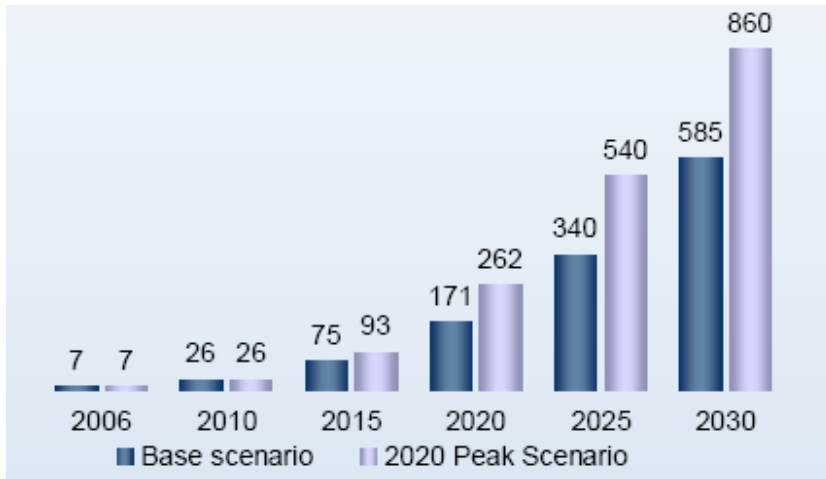


FIG. 42 – CONFRONTO CAPACITÀ INSTALLATA FOTOVOLTAICO SCENARIO "BASE CASE" E SCENARIO "2020 PEAK" [GW].

Per la fonte eolica nello scenario “2020 peak” la penetrazione di tale fonte si presume essere maggiore di circa l'1 – 3% soprattutto in Regioni nella quale essa non è ancora ben radicata come per esempio Cina ed India.

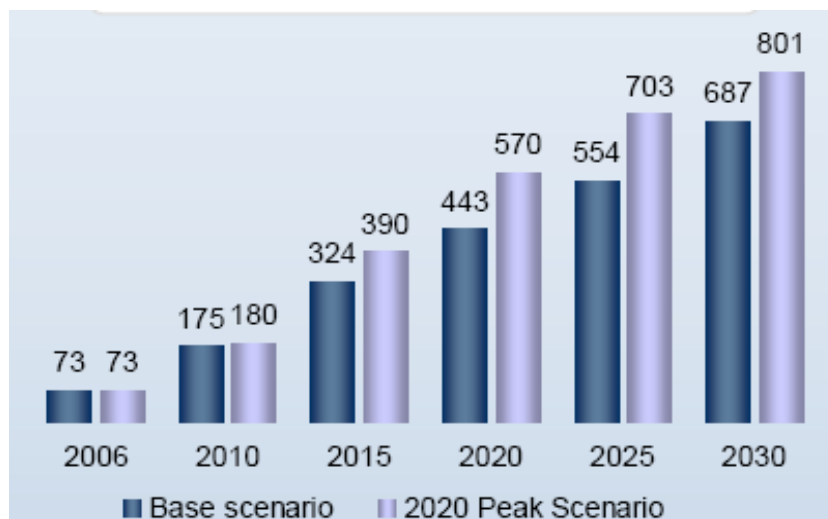


FIG. 43 - CONFRONTO CAPACITÀ INSTALLATA SCENARIO "BASE CASE" E SCENARIO "2020 PEAK" [GW].

Per quanto riguarda la tecnologia CCS riguardante la cattura e lo stoccaggio della CO₂ emessa da grandi impianti per la produzione di energia elettrica, nello scenario "2020 peak" si assume che gli investimenti seguano lo stesso andamento fino all'anno 2020 per poi crescere con più decisione quanto si suppone la tecnologia sia diventata più affidabile e competitiva.

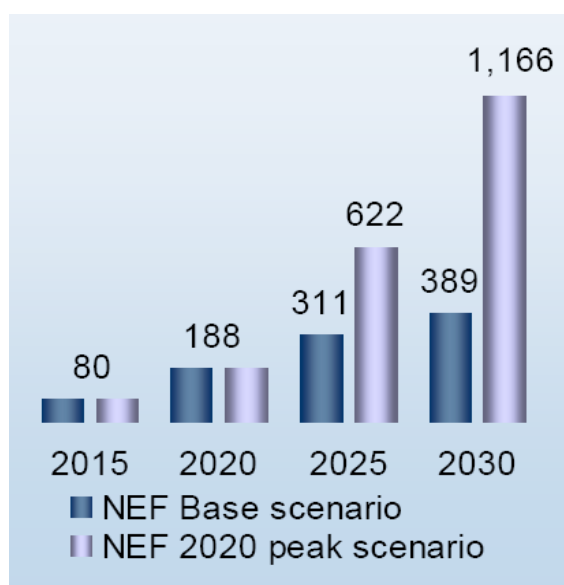


FIG. 44 - EMISSIONI EVITATE TECNOLOGIA CCS [MtCO₂].

4.3. CONSIDERAZIONI E CONCLUSIONI

Nello scenario base del modello "NEF GF 2009" le emissioni a livello mondiale sono inferiori di circa l'11.5% rispetto al "Reference Scenario" elaborato dalla International Energy Agency nel report annuale "World Energy Outlook 2008" (40). Questo perché secondo il modello NEF GF 2009 lo sviluppo e la penetrazioni delle fonti rinnovabili è più veloce rispetto al WEO 2008, vi è una minor intensità energetica ed una previsione di installazione di impianti CCS più marcata.

Nonostante ciò, anche nello scenario "base case" del modello NEF GF 2009 le emissioni al 2030 saranno del 25% circa maggiori rispetto ai livelli del 2008 e pari a circa 35.8 Gt_{CO₂eq}/anno.

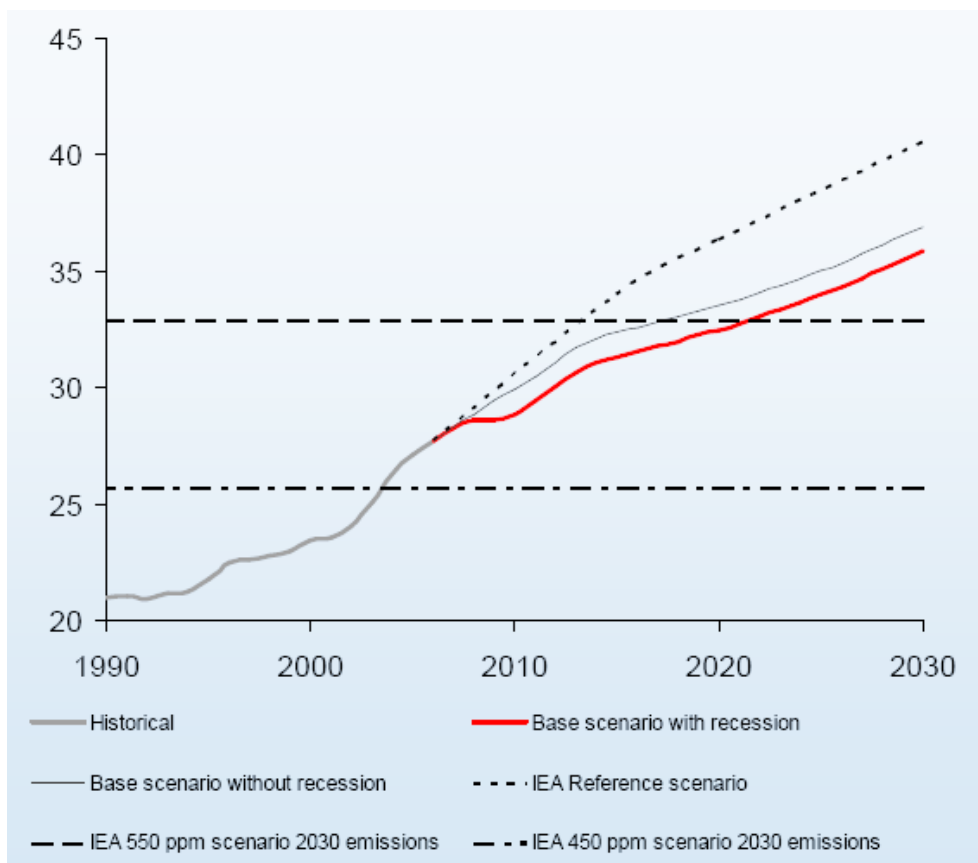


FIG. 45 - EMISSIONI SCENARIO BASE NEF GF 2009.

Lo scenario base del modello NEF GF 2009 prevede un sostanziale aumento degli investimenti in tecnologie rinnovabili. Le fonti rinnovabili produrranno circa il 26% dell'elettricità mondiale entro il 2030 (23% secondo il WEO 2008). Gli investimenti nel settore saranno di circa 348 G\$ al 2020 e di 461 G\$ al 2030. Questi investimenti mediamente dal 2006 al 2030 sono pari a circa lo 0.33% del PIL mondiale (0.25% secondo il WEO2008).

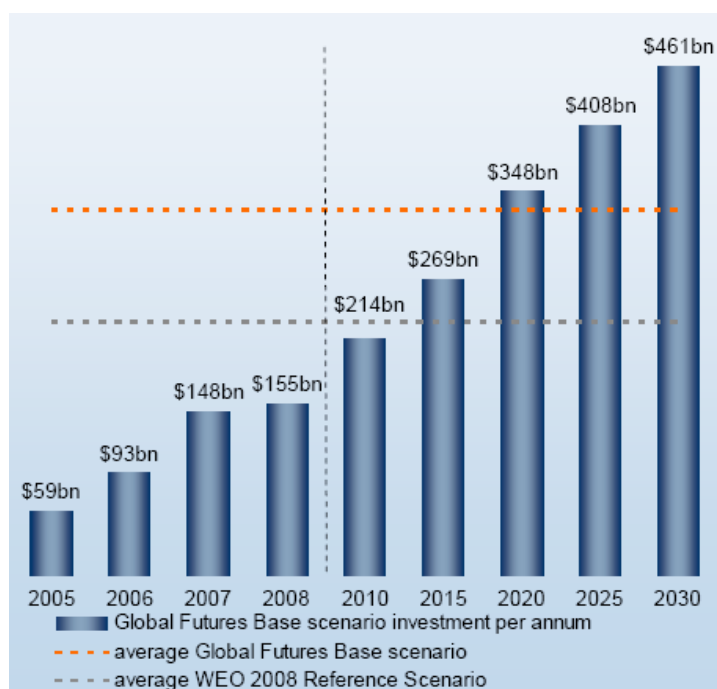


FIG. 46 - INVESTIMENTI IN TECNOLOGIE RINNOVABILI.

Molti scienziati sono preoccupati che una continua crescita delle emissioni di gas serra anche dopo l'anno 2015 o al limite 2020 possa portare a cambiamenti climatici irreversibili e catastrofici. Le analisi del modello NEF GF 2009 – scenario “base case” mostrano che un'inversione di tendenza sulle emissioni prima del 2020 è molto improbabile.

Lo scenario “2020 peak” simula uno sviluppo del sistema energetico mondiale nel quale il picco delle emissioni di gas serra si raggiunge in un intorno degli anni 2020. Tale scenario è raggiungibile ma sono necessari investimenti in fonti rinnovabili ed a basso impatto ambientale molto maggiori rispetto allo scenario base. Nello scenario “2020 peak” il massimo delle emissioni mondiali annuali si raggiunge nel 2019, 30.8 Gt_{CO₂eq}/anno.

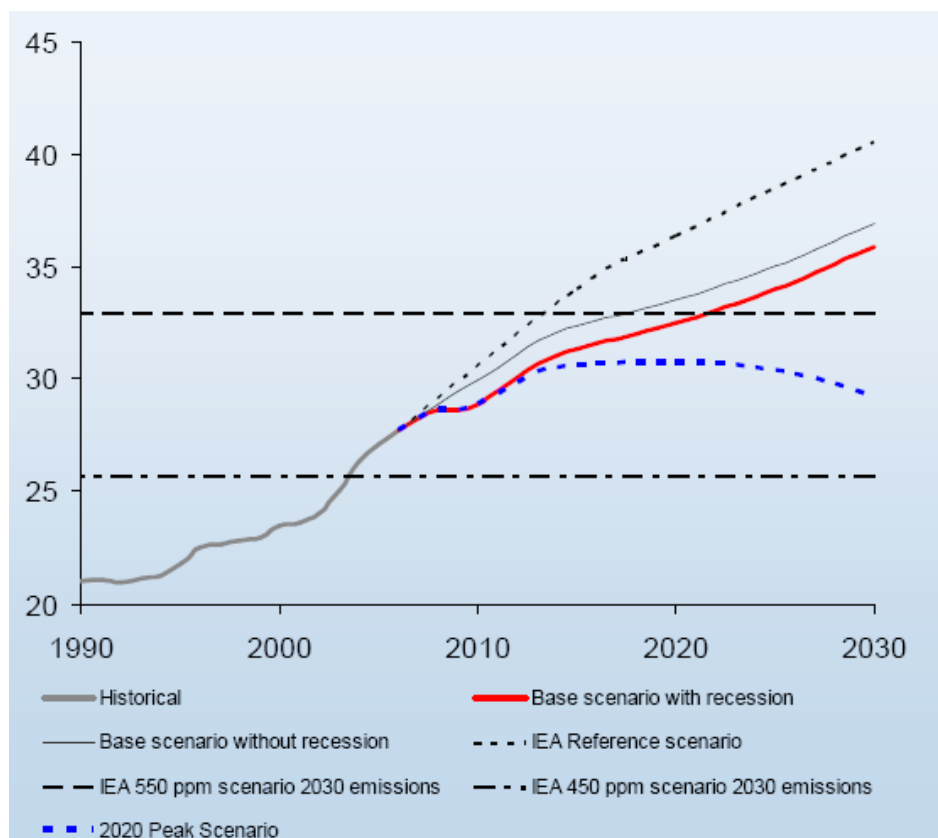


FIG. 47 - EMISSIONI SCENARIO "2020 PEAK".

Per raggiungere gli obiettivi dello scenario “2020 peak” sono necessari investimenti molto maggiori rispetto allo scenario base. Gli investimenti annuali in tecnologie rinnovabili, efficienza energetica e sistemi di cattura e stoccaggio della CO₂ devono essere pari a circa 500 G\$/anno entro il 2020 (348 G\$/anno per lo scenario base) e di circa 590 G\$/anno entro il 2030 (contro i 461 G\$/anno dello scenario base).

Lo scenario “2020 peak” richiede investimenti che nel periodo 2006 – 2030 rappresentano una quota pari allo 0.44% del PIL mondiale rispetto ad un valore dello 0.33% dello scenario base NEF GF 2009 e dello 0.25% della IEA WEO 2008 Reference Scenario.

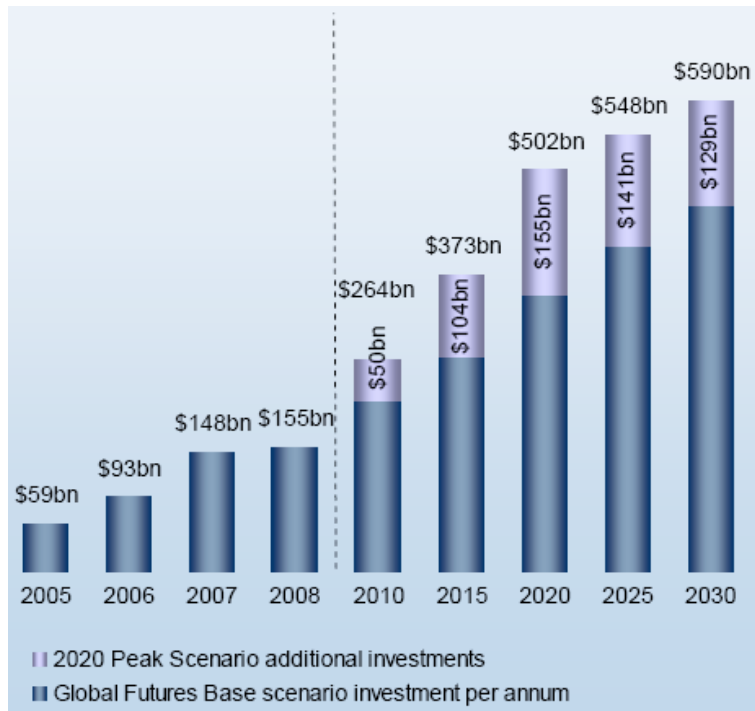


FIG. 48 - INVESTIMENTI ANNUALI SECONDO LO SCENARIO "2020 PEAK".

Il settore che richiede maggiori investimenti è il solare fotovoltaico e l'eolico onshore.

Nello scenario base queste due tecnologie contano per circa il 64% degli investimenti complessivamente nel periodo 2009 – 2030. Nello scenario "2020 peak" gli investimenti sono ancora maggiori e per l'anno 2020 per il fotovoltaico passano dai 146 G\$/anno dello scenario base ai 228 G\$/anno dello scenario "2020 peak". Per lo scenario "2020 peak" gli investimenti in eolico onshore all'anno 2020 sono minori rispetto lo scenario base poiché si assume che i siti disponibili per le installazioni vengano rapidamente utilizzati negli anni precedenti al 2020.

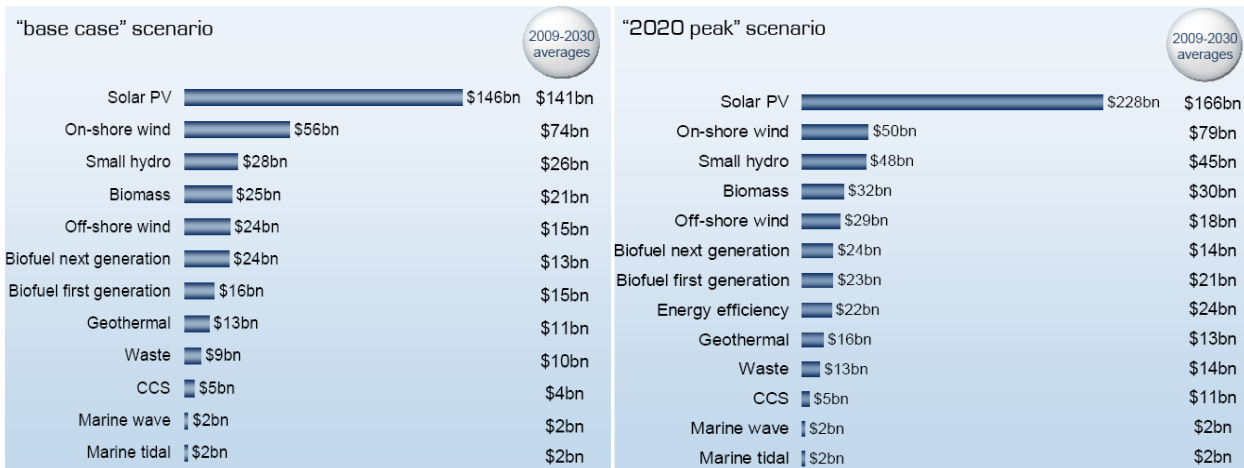


FIG. 49 - CONFRONTO INVESTIMENTI TECNOLOGIE RINNOVABILI.

5. Efficienza in ambito residenziale

La domanda di energia termica ed elettrica viene soddisfatta producendo, trasportando e consegnando agli utilizzatori la quantità di energia richiesta. Per soddisfare una domanda crescente di energia è necessario aumentare la capacità installata degli impianti di produzione, i loro rendimenti, migliorare la gestione dei sistemi energetici e aumentare la capacità di trasporto di energia. Una domanda crescente comporta la necessità di investimenti che sono ben maggiori di quelli necessari per installare la sola nuova capacità di produzione.

Azioni in grado di modificare la domanda di energia, come per esempio interventi in grado di migliorare l'efficienza energetica di impianti/sistemi utilizzatori di energia hanno molteplici benefici e andrebbero analizzate con particolare attenzione e, laddove possibile, attuate.

In questo capitolo vengono analizzati gli interventi che si possono applicare agli edifici per migliorarne le prestazioni energetiche.

Secondo il Rapporto Energia e Ambiente pubblicato da ENEA (32) (foglio "Consumi finali di energia per settore") il settore terziario e residenziale in Italia è responsabile di 42,8 Mtep di consumi finali di energia, circa il 30% dei consumi energetici totali che si attestano a circa 144,8 Mtep. La maggior parte dei consumi nel settore civile è dovuta alla climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento) e illuminazione degli edifici. Una analisi più dettagliata del settore residenziale nell'anno 2007 mostra che dei 26,4 Mtep di consumo finale, il 77% circa è dovuto al riscaldamento (17,9 Mtep) mentre 2,3 Mtep di energia viene consumata per l'acqua calda sanitaria.

I margini stimati di risparmio dal Governo Italiano nel PAEE (Piano Azione Efficienza Energetica) presentato nel settembre 2007, in attuazione delle Direttiva Europea 2006/32/CE, (9), prevedono un risparmio al 2016 di circa 56.830 GWh/anno nel solo settore residenziale, grazie agli interventi di efficienza energetica e di altri 24700 GWh/anno nel settore terziario.

Aumentare l'efficienza energetica di un edificio significa adottare dei provvedimenti che, mantenendo lo stesso grado di benessere, richiedono una minor quantità di energia primaria.

Le strategie che si possono adottare per aumentare l'efficienza energetica di un edificio e limitarne le emissioni sono essenzialmente due:

- **produrre l'energia necessaria con impianti più efficienti o alimentati da fonti rinnovabili:** installare caldaie a elevato rendimento, (quasi 26.750 GWh/anno risparmiati per il settore residenziale e 16600 GWh/anno per il settore terziario al 2016 stimati dal PAEE), installare condizionatori con un coefficiente di prestazione maggiore, utilizzare pannelli solari per la produzione di acqua calda integrandoli con l'impianto di riscaldamento ove possibile, installare pannelli fotovoltaici, utilizzare apparecchi per l'illuminazione più efficienti, installare un sistema di ventilazione meccanica controllata;

- **ridurre il fabbisogno di energia dell'edificio:** migliorare l'isolamento termico di pareti, solai, tetti, vetri e finestre, ottimizzare gli apporti di energia solare, utilizzare elettrodomestici ad alta efficienza, adottare tetti ventilati o i cosiddetti tetti verdi (giardini pensili), installare coperture solari interne o esterne.

La ricerca dell'efficienza energetica non deve portare il progettista a trascurare l'obiettivo primario di un edificio, ovvero fornire un ambiente confortevole. Ad esempio un eccessivo isolamento termico e impermeabilizzazione delle pareti, in assenza di un adeguato sistema di ventilazione meccanica controllata, può portare alla formazione in parete di condensa e muffe. La dimensione delle finestre deve essere bilanciata tra la necessità di captare gli apporti termici estivi e, in assenza di coperture solari, evitare i surriscaldamenti estivi.

La dimensione tecnologica non è l'unica, vi sono anche gli aspetti comportamentali che possono modificare gli usi finali dell'energia. Un edificio efficiente può essere utilizzato in modo non efficiente. L'utilizzatore ha un ruolo attivo nella gestione, regolazione e controllo di alcuni impianti, perciò è importante informarlo in modo corretto, per renderlo in grado di utilizzare adeguatamente i nuovi sistemi.

La strategia di intervento deve tenere in considerazione il contesto climatico e meteorologico in cui un

edificio si trova, mirando gli interventi ai consumi rilevanti. Per fabbricati esistenti i miglioramenti delle prestazioni energetiche hanno dei vincoli tecnico - economici da rispettare mentre, per gli edifici da costruire, il progettista può integrare gli interventi creando in tal modo una sinergia in grado di amplificare i benefici di ogni sistema; si pensi, ad esempio, al risparmio energetico conseguibile rispetto ad un sistema tradizionale con un impianto di riscaldamento a pavimento alimentato da acqua prodotta da pannelli solari assistiti da una caldaia ad alta efficienza.

Generalmente la maggior spesa da sostenere per installare impianti e sistemi più efficienti interessa il proprietario o costruttore dell'edificio, mentre i benefici in termini di risparmio energetico riguardano l'utente. È necessario implementare dei meccanismi fiscali, legislativi, di mercato o di altro tipo, in grado di sormontare questa barriera favorendo l'implementazione degli interventi.

5.1. ANALISI ECONOMICA DEGLI INTERVENTI IN AMBITO RESIDENZIALE

In questo capitolo si sono analizzati una serie di interventi energetici applicabili ad edifici esistenti o in fase di ristrutturazione. Per ogni intervento è stata eseguita una analisi tecnico – economica. Per ogni opzione sono stati valutati i seguenti parametri:

- prestazioni energetiche dell'intervento (risparmio energetico, produzione energia da fonte rinnovabile, etc);
- il tempo di ritorno (pay back time);
- valore attuale netto VAN;
- costo dell'energia conservata (CEC);
- indice di profittabilità.

Vi sono molte strategie possibili per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici. Gli interventi più frequenti si possono raggruppare in tre macro categorie:

- interventi sui materiali;
- interventi sui sistemi ;
- interventi sui sistemi di controllo.

Con “interventi sui materiali” si considerano gli interventi sulle caratteristiche fisiche e tecnologiche dei materiali strutturali o di isolamento. Alcuni tipici interventi di questa categoria sono:

- aggiunta di pannelli isolanti per diminuire il coefficiente di trasmissione del calore;
- sostituzione delle finestre;
- installazione di apparati di ombreggiatura;
- installazione di tetti verdi.

Gli interventi della categoria “sistemi” operano nei sistemi di riscaldamento, raffreddamento e ventilazione dell'edificio. Alcuni tipici interventi di questa categoria sono:

- sostituzione della caldaia con una avente un maggior rendimento;
- installazione di impianti di condizionamento aventi una maggiore efficienza;
- installazione di valvole regolatrici;
- installazione di pannelli per il riscaldamento dell'acqua;
- installazione di pannelli fotovoltaici;
- sostituzione di lampade ad incandescenza con lampade con una maggior efficienza;
- installazione della ventilazione meccanica controllata;
- installazione di sistemi per il recupero dell'acqua piovana.

Gli interventi inerenti i sistemi di controllo riguardano l'integrazione dei sistemi di riscaldamento, raffreddamento, illuminazione e ventilazione con dei controllori elettronici. Questi dispositivi possono essere programmabili e controllabili da computer.

I risparmi energetici e la convenienza economica di ogni intervento dipendono fortemente dalle condizioni esterne: zona climatica, orientazione edificio, tipo di edificio, tipo di impianto esistente, etc.

5.1.1. Metodo utilizzato

L'analisi termotecnica delle prestazioni di un edificio è generalmente un'operazione alquanto complessa e solitamente rappresentativa dello specifico edificio analizzato. Nello studio eseguito in questo capitolo si è voluto considerare un ipotetico edificio con caratteristiche medie secondo gli standard italiani. Per questo scopo sono state utilizzate le metodologie semplificate proposte dall'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas descritte nei documenti (41), (42). Le metodologie in oggetto propongono una procedura semplificata che permettono di stimare i risparmi di energia per gli interventi più frequenti. Le relazioni empiriche proposte permettono di valutare le prestazioni energetiche tenendo in considerazione la zona climatica in cui l'ipotetico edificio si trova.

Si sono considerate 4 città campione: Bolzano, Milano, Roma e Trapani. Per tutte le analisi è stato usato un tasso di sconto del 5%.

Nella Tab. 36 sono riassunte le sigle utilizzate nelle tabelle dello studio.

TAB. 36 - SIGLE ED ACRONIMI.

intervento	una breve descrizione dell'intervento
zona - HDD	area climatica – Gradi giorno
Q_{oi}	energia finale risparmiata
ECi	energia primaria conservata
Costo	costo dell'intervento o costo differenziale in caso di ristrutturazione
CEC	costo dell'energia conservata
FCr	flusso annuale di cassa
PBT	pay back time – tempo di recupero dell'investimento
VAN	valore attuale netto
IP	indice di profittabilità

5.2. ANALISI INTERVENTI

5.2.1. Isolamento, stagione invernale

L'applicazione di uno strato di pannelli con caratteristiche isolanti migliori delle caratteristiche del muro presente permette di avere minori dispersioni termiche. Il risparmio di energia deriva dal minor uso di combustibile utilizzato per riscaldare l'ambiente.

In accordo con le procedure definite dall'Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas, per ogni metro quadro di superficie sulla quale viene installato un pannello di materiale avente caratteristiche migliori rispetto a quelle del muro esistente, il risparmio specifico di energia può essere calcolato come:

$$Q_{oiip} = HDD \cdot f \cdot \Delta U_p \cdot 24 \cdot 10^{-6} \left[\frac{\text{MWh}}{\text{m}^2\text{a}} \right]$$

dove:

- HDD: gradi giorno della località considerata (DPR 412/93); per le località italiane I gradi giorno possono essere ricavati dalla pagina (43).

- f: fattore di dissipazione; per muri in contatto con aria il documento suggerisce di usare $f=1$;

- ΔU_p : variazione del coefficiente di trasmissione del calore: il coefficiente di trasmissione del calore del muro dopo l'applicazione del pannello isolante diventa:

$$U_{pdopo} = \frac{1}{\frac{1}{U_{pprima}} + \frac{1}{U_{ppanello}}} \left[\frac{W}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

Nello studio si è ipotizzato che il parco edifici esistente sia stato progettato e costruito secondo i canoni della legge 10/91, si considera perciò un coefficiente di trasmissione del calore pari a $U_{pprima} = 1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Secondo la procedura suggerita dall’Autorità l’Energia Elettrica ed il Gas, l’energia primaria risparmiata derivante dall’intervento di installazione di pannelli isolanti si può calcolare con la relazione:

$$E_{ci} = Q_{oi} \cdot K1 \cdot K_{imp} \cdot K2 \left[\frac{\text{tep}}{\text{m}^2\text{a}} \right]$$

dove:

- k1: fattore climatico relative alla zona climatica; per le zona A, D ed F, rappresentanti il Sud, Centro e Nord Italia questi fattori valgono rispettivamente: A: 0.36, D: 0.95, F: 2.01;
- k_{imp}: fattore relativo all’impianto di riscaldamento dell’edificio;
- k2: fattore relativo all’intermittenza di funzionamento dell’impianto di riscaldamento.

La durata dell’investimento è stimata essere di 40 anni. Nello studio si sono considerati due pannelli, uno composto da polistirene espanso con spessore 6 cm a con $UP = 0.68 \text{ W/m}^2\text{K}$ ed uno con spessore di 20 cm e $UP=0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

TAB. 37 - ANALISI INTERVENTO INVOLUCRO EDILIZIO, STAGIONE INVERNALE.

Interv.	zona	HDD	Up _{dopo}	Q _{oi}	ECi	Costo	CEC	FCr	PBT	VAN	IP
			W/m ² K	MWh/m ² a	tep/m ² a	€/m ²	€/tep	€/m ² a	anni	€/m ²	
Polistirene exp. spessore 6 cm	AB	600	0,434	0.0110	0.00021	46	13003.47	0.15	308.6	-43.44	-0.94
	D	1667		0.0306	0.00247		1083.86	1.79	25.7	-15.32	-0.33
	F	3000		0.0551	0.01138		235.58	8.23	5.6	95.16	2.07
Polistirene exp. spessore 20 cm	AB	600	0,171	0.0148	0.00028	84	17682.80	0.20	419.7	-80.57	-0.96
	D	1667		0.0412	0.00332		1473.89	2.40	34.9	-42.80	-0.51
	F	3000		0.0741	0.01528		320.35	11.05	7.6	105.55	1.26

5.2.2. Isolamento, stagione estiva

Per stimare l’energia di radiazione media per le differenti zone climatiche italiane è stato utilizzato l’Atlante Solare ENEA, (44). Sono state considerate 4 città: 2 nel Nord Italia, 1 in centro Italia ed una nel Sud Italia. La posizione delle città considerate è descritta nella Tab. 38.

TAB. 38 - CITTÀ CONSIDERATE.

Bolzano - latitudine: 46°28'00" - longitudine: 11°19'00"	Milano - latitudine: 45°26'00" - longitudine: 9°46'00"	Roma - latitudine: 41°48'00" - longitudine: 12°36'00"	Trapani - latitudine: 37°55'00" - longitudine: 12°30'00"
--	--	---	--

Per la stagione estiva sono stati considerati i mesi di giugno, luglio, agosto e settembre.

TAB. 39 - RADIAZIONE SOLARE MEDIA DELLE CITTÀ CONSIDERATE.

Città	Energia radiazione media kWh/m ² (al giorno)	Energia di radiazione stagione estiva kWh/m ² (4 mesi)
Bolzano (BZ)	2.66	324.52
Milano (MI)	2.7425	334.585
Roma (RM)	2.605	317.81
Trapani (TP)	2.45	298.9

L’energia finale specifica che può essere risparmiata mediante l’installazione di 1 m² di pannello isolante può essere calcolata dalla relazione:

$$Q_{oeP} = I_{glob,vert} \cdot \frac{\alpha_{adsorb} \cdot \Delta U_p}{h_e} \left[\frac{\text{MWh}}{\text{m}^2\text{a}} \right]$$

dove:

- I_{glob,vert}: radiazione estiva complessiva [MWh/m²a];
- α_{adsorb}: fattore di assorbimento dell’energia, valore medio 0.6;
- ΔU_p: variazione del coefficiente di trasmissione termica [W/m²K];

- h_e : fattore di scambio termico superficiale medio [W/m^2K], AEEG assume per questo fattore un valore di $23 W/m^2K$;

Il risparmio di energia primaria può essere calcolato con la relazione:

$$EC_e = Q_{0e} \cdot K_u \cdot K_{imp} \left[\frac{tep}{m^2a} \right]$$

dove:

- K_u : fattore di utilizzazione, AEEG assume 0.5;
- K_{imp} : fattore correlate con l'impianto di climatizzazione esistente [tep/MWh];
- $U_{pbefore}$: fattore di trasmissione delle pareti prima dell'intervento: $1.2 W/m^2K$;

La tabella seguente riassume i principali risultati. Per le 4 città considerate si è fatta l'analisi tecnico economica per 4 tipo di pannello isolante.

TAB. 40 - ANALISI INTERVENTO INVOLUCRO ESTERNO STAGIONE ESTIVA.

	$I_{globvert}$	UP_{dopo}	Q_{0ep}	K_{imp}	Costo	EC	CEC	FCr	PBT	VAN	IP	
	kWh/m ²	W/m ² K	MWh/m ² a		€/m ²	tep/m ² a		€/m ² a	anni	€/m ²		
BZ	324.52	0.434	0.00648	0.091 7	46	0.00030	9020.13	0.216	212.8	-42.29	-0.92	
MI	334.585		0.00669			0.00031	8748.78	0.223	206.4	-42.18	-0.92	
RM	317.81		0.00635			0.00029	9210.57	0.212	217.3	-42.37	-0.92	
TP	292.8		0.00597			0.00027	9793.28	0.199	231.1	-42.58	-0.93	
BZ	324.52	0.171	0.00871		0.084 6	84	0.00040	12266	0.290	289.4	-79.02	-0.94
MI	334.585		0.00898				0.00041	11897.1	0.299	280.7	-78.87	-0.94
RM	317.81		0.00853				0.00039	12525	0.284	295.5	-79.12	-0.94
TP	292.8		0.00802				0.00037	13317.4	0.267	314.2	-79.41	-0.95
BZ	324.52	0.434	0.00648	0.084 6		46	0.00027	9771.81	0.200	230.6	-45.58	-0.99
MI	334.585		0.00669				0.00028	9477.85	0.206	223.6	-42.47	-0.92
RM	317.81		0.00635				0.00027	9978.12	0.195	235.4	-42.65	-0.93
TP	292.8		0.00597				0.00025	10609.4	0.184	250.3	-42.85	-0.93
BZ	324.52	0.171	0.00871		0.084 6	84	0.00037	13288.2	0.268	313.5	-79.40	-0.95
MI	334.585		0.00898				0.00038	12888.5	0.276	304.1	-79.26	-0.94
RM	317.81		0.00853				0.00036	13568.8	0.262	320.1	-79.50	-0.95
TP	292.8		0.00802				0.00034	14427.2	0.247	340.4	-79.77	-0.95

5.2.3. Sostituzione finestre, stagione invernale

Il risparmio di energia finale derivante dalla sostituzione delle finestre può essere calcolato con la relazione:

$$Q_{0iv} = HDD \cdot f \cdot \Delta U_v \cdot 24 \cdot 10^6 \left[\frac{MWh}{m^2a} \right]$$

dove:

- ΔU_v = variazione del coefficiente di trasmissione termica derivante dalla sostituzione della finestra (differenza fra coefficiente di trasmissione della finestra pre-esistente e nuova finestra):

$$\Delta U_v = U_{v,old} - U_{v,new}$$

L'energia conservata può essere calcolata dalla relazione:

$$EC_i = Q_{0iv} \cdot K1 \cdot K_{imp} \cdot K2 \left[\frac{tep}{m^2a} \right]$$

dove $K1$, K_{imp} and $K2$ hanno gli stessi significati visti precedentemente.

Si ipotizza una durata dell'investimento pari a 20 anni.

Il coefficiente di trasmissione precedente all'intervento si suppone sia pari a U_{vprima} : 5.8;

TAB. 41 - ANALISI INTERVENTO SOSTITUZIONE VETRI STAGIONE INVERNALE.

Zona	Interv.	Uv _{dopo}	Q _{ov}	EC	Costi	CEC	FCr	PBT	VAN	IP
		W/m ² K	MWh/m ² a	tep/m ² a	€/m ²	€/tep	€/m ² a	anni	€/m ² a	
AB	Doppi vetri con fattore g pari a: 0.72	2.7	0.045	0.00083	52.55	5053.78	0.60	87.12	-45.03	-0.86
D			0.124	0.01001		421.24	7.24	7.26	37.63	0.72
F			0.223	0.04606		91.56	33.29	1.58	362.37	6.90
AB	Doppi vetri con fattore g pari a: 0.61	1.2	0.066	0.00124	56.65	3671.53	0.90	63.29	-45.50	-0.80
D			0.184	0.01485		306.03	10.74	5.28	77.17	1.36
F			0.331	0.06834		66.51	49.40	1.15	672.33	11.87
AB	Doppi vetri con fattore g pari a: 0.27	1.4	0.063	0.00118	59	3997.65	0.86	68.92	-48.33	-0.82
D			0.176	0.01421		333.21	10.27	5.74	69.00	1.17
F			0.317	0.06537		72.42	47.26	1.25	529.91	8.98

5.2.4. Sostituzione finestre, stagione estiva

L'energia finale specifica che può essere risparmiata grazie all'intervento di sostituzione dei vetri, può essere stimata con la relazione:

$$Q_{OV} = I_{glob,vert} \cdot \Delta g \left[\frac{MWh}{m^2 a} \right]$$

dove:

- Δg: variazione del coefficiente g; si prende come riferimento un vetro di spessore pari a 6 mm con un fattore g pari a g=0.89.

L'energia primaria specifica che si conserva grazie all'intervento di sostituzione delle finestre si può valutare con la relazione:

$$EC = Q_{OV} \cdot K_u \cdot K_{imp}$$

dove:

- k_u: fattore di utilizzazione;

- k_{imp}: fattore relative all'impianto di climatizzazione;

Durata dell'intervento: 20 anni. La tabella seguente riassume i principali parametri utilizzati nello studio.

TAB. 42 - IRRAGGIAMENTO ZONE CLIMATICHE CONSIDERATE.

	Iglob,vert	ku
BZ	324,52	0,1575
MI	334,585	0,2525
RM	317,81	0,28625
TP	292,8	0,34875

TAB. 43 - ANALISI INTERVENTO SOSTITUZIONE VETRI, STAGIONE ESTIVA.

Interv.	Zona	G _{dopo}	Q _{ov}	K _{imp}	EC	CEC	FCr	PBT	VAN	IP
			MWh/m ² a		tep/m ² a	€/tep	€/m ² a	anni	€/m ²	
Doppi vetri	BZ	0.72	0.055168	0.0917	0.00080	5294.14	0.579	90.72	-45.33	-0.86
	MI		0.056879		0.00132	3202.94	0.957	54.88	-40.62	-0.77
	RM		0.054028		0.00142	2974.43	1.031	50.97	-39.70	-0.76
	TP		0.049776		0.00159	2649.92	1.157	45.41	-38.13	-0.73
Doppi vetri + rivestimento con un moderato fattore g	BZ	0.61	0.090866		0.00131	3465.08	0.954	59.38	-44.76	-0.79
	MI		0.093684		0.00217	2096.37	1.577	35.92	-37.00	-0.65
	RM		0.088987		0.00233	1946.8	1.698	33.36	-35.49	-0.63
	TP		0.081984		0.00262	1734.4	1.906	29.72	-32.90	-0.58
Doppi vetri con un basso fattore g	BZ	0.27	0.201202		0.00290	1629.79	2.113	27.93	-32.67	-0.55
	MI		0.207443		0.00480	986.021	3.492	16.90	-15.48	-0.26
	RM		0.197042		0.00517	915.674	3.760	15.69	-12.14	-0.21
	TP		0.181536		0.00580	815.771	4.221	13.98	-6.40	-0.11
Doppi vetri	BZ	0.72	0.055168	0.0846	0.00074	5735.32	0.535	98.28	-45.89	-0.87
	MI		0.056879		0.00122	3469.86	0.884	59.46	-41.54	-0.79
	RM		0.054028		0.00131	3222.3	0.952	55.22	-40.69	-0.77
	TP		0.049776		0.00147	2870.74	1.068	49.19	-39.24	-0.75
Doppi vetri + rivestimento con un moderato fattore g	BZ	0.61	0.090866		0.00121	3753.84	0.881	64.32	-45.67	-0.81
	MI		0.093684		0.00200	2271.07	1.456	38.92	-38.51	-0.68
	RM		0.088987		0.00216	2109.04	1.568	36.14	-37.12	-0.66
	TP		0.081984		0.00242	1878.94	1.760	32.20	-34.72	-0.61
Doppi vetri con un basso fattore g	BZ	0.27	0.201202		0.00268	1765.61	1.950	30.25	-34.70	-0.59
	MI		0.207443		0.00443	1068.19	3.223	18.30	-18.83	-0.32
	RM		0.197042		0.00477	991.98	3.471	17.00	-15.74	-0.27
	TP		0.181536		0.00536	883.752	3.896	15.14	-10.45	-0.18

5.2.5. Ombreggiature e pellicole solari, stagione estiva

L'applicazione di pellicole e rivestimenti sulle finestre comporta una modifica del fattore g della finestra. La riduzione dei consumi deriva da un minor consumo di energia per la climatizzazione del locale.

I consumi finali specifici derivanti dall'intervento possono essere stimati con la relazione:

$$Q0sh = I_{glob,vert} \cdot f_s \cdot \Delta g \left[\frac{MWh}{m^2 a} \right]$$

dove:

- Δg : variazione del fattore solare: $\Delta g = g_{old} - g_{new}$.

Il risparmio di energia primaria può essere calcolato con la relazione:

$$ECsh = Q0sh \cdot K_u \cdot K_{imp}$$

TAB. 44 - ANALISI INTERVENTO OMBREGGIATURE E PELLICOLE SOLARI.

intervento	g-factor	Costi [€/m ²]
Pellicola solare con moderato fattore g	0.44	96.7
Pellicola solare con basso fattore g	0.25	100.20
Ombreggiature solari	0.59	30
Ombreggiature + pellicole solari con moderato fattore g	0.2596	126.7
Ombreggiature + pellicole solari con basso fattore g	0.1475	130.2

TAB. 45 - ANALISI INTERVENTO OMBREGGIATURE E PELLICOLE SOLARI, STAGIONE ESTIVA.

Interv.	zona	Δg	$Q0_{scherm}$ MWh/m ² a	K_{imp} tep/MWh	EC tep/m ² a	CEC €/tep	Fcr €/m ²	PBT anni	VAN €/m ²	IP
Pellicola solare con moderato fattore g	BZ	0.4984	0.14952	0.0917	0.00216	3594.51	1.570	61.59	-77.135	-0.80
	MI		0.14952		0.00346	2242.12	2.517	38.42	-65.334	-0.68
	RM		0.14952		0.00392	1977.77	2.853	33.89	-61.141	-0.63
	TP		0.14952		0.00478	1623.33	3.476	27.82	-53.377	-0.55
Pellicola solare con basso fattore g	BZ	0.6675	0.20025		0.00289	2781.05	2.103	47.65	-94.290	-0.94
	MI		0.20025		0.00463	1734.71	3.371	29.73	-58.191	-0.58
	RM		0.20025		0.00525	1530.18	3.821	26.22	-52.576	-0.52
	TP		0.20025		0.0064	1255.96	4.656	21.52	-42.178	-0.42
Ombreggiature solari	BZ	0.3649	0.10947		0.00158	1523.14	1.149	26.10	-15.675	-0.52
	MI		0.10947		0.00253	950.076	1.843	16.28	-7.035	-0.23
	RM		0.10947		0.00287	838.058	2.089	14.36	-3.966	-0.13
	TP		0.10947		0.0035	687.868	2.545	11.79	1.719	0.06
Ombreggiature + pellicole solari con moderato fattore g	BZ	0.65896	0.197687		0.00285	3562.15	2.076	61.04	-100.832	-0.80
	MI		0.197687		0.00458	2221.93	3.328	38.07	-85.229	-0.67
	RM		0.197687		0.00519	1959.96	3.773	33.58	-79.686	-0.63
	TP		0.197687		0.00632	1608.71	4.596	27.57	-69.421	-0.55
Solar coating with low g-factor	BZ	0.75873	0.227618	0.00329	3179.2	2.390	54.48	-82.450	-0.63	
	MI		0.227618	0.00527	1983.07	3.832	33.98	-82.450	-0.63	
	RM		0.227618	0.00597	1749.26	4.344	29.97	-76.068	-0.58	
	TP		0.227618	0.00728	1435.77	5.292	24.60	-64.249	-0.49	
Pellicola solare con moderato fattore g	BZ	0.4984	0.14952	0.00199	3894.06	1.449	66.73	-78.640	-0.81	
	MI		0.14952	0.00319	2428.97	2.323	41.62	-67.746	-0.70	
	RM		0.14952	0.00362	2142.58	2.634	36.71	-63.876	-0.66	
	TP		0.14952	0.00441	1758.61	3.209	30.13	-56.710	-0.59	
Pellicola solare con basso fattore g	BZ	0.6675	0.20025	0.00267	3012.8	1.941	51.63	-76.012	-0.76	
	MI		0.20025	0.00428	1879.27	3.112	32.20	-61.423	-0.61	
	RM		0.20025	0.00485	1657.7	3.527	28.41	-56.240	-0.56	
	TP		0.20025	0.00591	1360.62	4.298	23.31	-46.641	-0.47	
Ombreggiature solari	BZ	0.3649	0.10947	0.00146	1650.07	1.061	28.27	-16.777	-0.56	
	MI		0.10947	0.00234	1029.25	1.701	17.64	-8.802	-0.29	
	RM		0.10947	0.00265	907.896	1.928	15.56	-5.968	-0.20	
	TP		0.10947	0.00323	745.191	2.349	12.77	-0.721	-0.02	
Ombreggiature + pellicole solari con moderato fattore g	BZ	0.65896	0.197687	0.00263	3858.99	1.916	66.13	-102.822	-0.81	
	MI		0.197687	0.00422	2407.09	3.072	41.25	-88.419	-0.70	
	RM		0.197687	0.00479	2123.29	3.482	36.38	-83.302	-0.66	
	TP		0.197687	0.00583	1742.77	4.243	29.86	-73.827	-0.58	
Ombreggiature + pellicole solari con basso fattore g	BZ	0.75873	0.227618	0.00303	3444.14	2.206	59.02	-102.707	-0.79	
	MI		0.227618	0.00486	2148.32	3.537	36.81	-86.123	-0.66	
	RM		0.227618	0.00551	1895.03	4.010	32.47	-80.232	-0.62	
	TP		0.227618	0.00672	1555.42	4.885	26.65	-69.322	-0.53	

5.2.6. Tetti ventilati

L'energia che può essere risparmiata dotando l'edificio di tetto ventilato è stata valutata in questo studio (45). Per le due tipologie più frequenti i risparmi finali sono:

- per tetti in cemento: (523-116=) $\Delta Q_{0e} = 407 \text{ W/m}^2\text{h}$ per 10 h/g di energia radiante;
- per tetti in legno: (319-116=) $\Delta Q_{0e} = 203 \text{ W/m}^2\text{h}$; per 10 h/g di irraggiamento solare;

L'energia primaria risparmiata per ogni m^2 di tetto ventilato può essere valutata con la relazione:

$$EC_e = \Delta Q_{0e} \cdot K_{imp} \left[\frac{tep}{m^2a} \right]$$

dove:

- K_{imp} :fattore relative all'impianto di climatizzazione esistente [tep/MWh].

Costi

I costi per un tetto ventilato di legno su un sottotetto già esistente possono essere stimati in: 15 €/m^2 .

In sistema brevettato Aercoppo ha un costo pari a (<http://www.tettoventilato.it/>): $8.5 \text{ €/m}^2 \rightarrow 10 \text{ €/m}^2$.

La durata prevista per l'investimento è di 40 anni.

TAB. 46 - ANALISI TECNICO – ECONOMICA DELL'INTERVENTO "TETTO VENTILATO".

intervento	Risp. energ. 10h/day	Q0i	Kimp	ECi	Costi	CEC	FCr	PBT	VAN	IP
		kWh/m ² a	tep/MWh	tep/m ² a	€/m ²	€/tep	€/m ²	anni	€/m ²	
Wooden air camera over roof concrete frame	407	12.21	0.0917	0.00112	15	781.034	0.814	18.43	-1.03	-0.07
Wooden air camera over wooden roof frame	203	6.09	0.0917	0.00056		1565.92	0.406	36.95	-8.03	-0.54
Wooden air camera over roof concrete frame	407	12.21	0.0846	0.00103		846.12	0.751	19.96	-2.11	-0.14
Wooden air camera over wooden roof frame	203	6.09	0.0846	0.00052		1696.41	0.375	40.02	-8.57	-0.57
Aercoppo over concrete roof frame	407	12.21	0.0917	0.00112	10	520.689	0.814	12.29	3.97	0.40
Aercoppo over wooden roof frame	203	6.09	0.0917	0.00056		1043.94	0.406	24.63	-3.03	-0.30
Aercoppo over concrete roof frame	407	12.21	0.0846	0.00103		564.08	0.751	13.31	2.89	0.29
Aercoppo over wooden roof frame	206	6.09	0.0846	0.00052		1130.94	0.375	26.68	-3.57	-0.36

5.2.7. Sistema di riscaldamento

L'energia primaria che può essere risparmiata grazie ad un intervento di sostituzione dell'impianto di riscaldamento si può valutare con la relazione:

$$EC_{heat} = \left(\frac{1}{\eta_{average,seas,trad}} - \frac{1}{\eta_{average,seas,eff}} \right) \cdot \frac{Q_{heat}}{10^4} \left[\frac{tep}{m^2a} \right]$$

dove $\eta_{average,seas,trad}$ e $\eta_{average,seas,eff}$ sono i rendimenti stagionali dell'impianto di riscaldamento esistente e "più efficiente". Il rendimento stagionale globale è anche legato ai seguenti parametri:

- rendimento della caldaia;
- fattore relativo alla regolazione dell'impianto di riscaldamento;
- fattore relative al sistema di distribuzione;
- fattore relativo all'efficienza dei corpi emettitori di calore.

L'energia primaria che può essere risparmiata dalla sostituzione della caldaia per la produzione di acqua calda sanitaria può essere stimata con la relazione:

$$EC_{acs} = \left(\frac{1}{\eta_{average,seas,trad}} - \frac{1}{\eta_{average,seas,eff}} \right) \cdot \frac{Q_{acs}}{10^4} \left[\frac{tep}{m^2a} \right]$$

dove $\eta_{average,seas,trad}$ e $\eta_{average,seas,eff}$ sono I rendimenti medi delle caldaie tradizionali e di quelle ad alta efficienza. L'energia totale che si può risparmiare per il riscaldamento dei locali e la produzione di acqua calda vale:

$$EC_{tot} = EC_{risc} + EC_{acs}$$

Sono state considerate 5 aree climatiche con differenti gradi giorno. La Tab. 47 mostra il fabbisogno di energia per il riscaldamento per le 5 zone climatiche.

TAB. 47 - FABBISOGNO ENERGETICO IN FUNZIONE DELLA ZONA CLIMATICA.

Zona climatica	Fabbisogno energetico per riscaldamento ed acqua calda sanitaria Mcal/m ² a
AB	27.99174
C	47.43739
D	74.59071
E	107.2306
F	143.6949

Nelle valutazioni economiche è stato considerato il costo differenziale tra una caldaia tradizionale ed una a maggior efficienza.

TAB. 48 - ANALISI INTERVENTO SOSTITUZIONE IMPIANTO DI RISCALDAMENTO.

interv	zo na	$\eta_{heat,trad}$	$\eta_{acs,trad}$	$\eta_{heat,eff}$	$\eta_{acs,eff}$	EC tot tep/m ² a	Costi €/m ²	CEC €/tep	PBT anni	VAN €/m ² a	IP
Appartamento in condominio-riscaldamento autonomo - 117 m ²	AB	0.6682	0.737	0.74415	0.82046	0.000427	13.60	3064.87	44.01	-10.39	-0.76
	C					0.000724		1808.51	25.97	-8.16	-0.60
	D					0.001139		1150.16	16.51	-5.05	-0.37
	E					0.001637		800.06	11.49	-1.31	-0.10
	F					0.002194		597.036	8.57	2.87	0.21
Appartamento in condominio-riscaldamento centralizzato - 117 m ²	AB	0.5689	0.627	0.64651	0.7128	0.00059	6.48	1057.47	15.18	-2.05	-0.32
	C					0.001001		623.988	8.96	1.03	0.16
	D					0.001573		396.837	5.70	5.32	0.82
	E					0.002262		276.044	3.96	10.49	1.62
	F					0.003031		205.995	2.96	16.26	2.51
Appartamento in linea - riscaldamento autonomo - 135 m ²	AB	0.6682	0.737	0.74415	0.82046	0.000427	10.78	2429.19	34.88	-7.57	-0.70
	C					0.000724		1433.41	20.58	-5.34	-0.50
	D					0.001139		911.605	13.09	-2.23	-0.21
	E					0.001637		634.122	9.11	1.51	0.14
	F					0.002194		473.206	6.79	5.69	0.53
Appartamento in linea - riscaldamento centralizzato - 135 m ²	AB	0.5962	0.657	0.67753	0.747	0.000563	7.46	1275.49	18.31	-3.23	-0.43
	C					0.000955		752.636	10.81	-0.29	-0.04
	D					0.001501		478.654	6.87	3.81	0.51
	E					0.002158		332.956	4.78	8.74	1.17
	F					0.002892		248.465	3.57	14.24	1.91
Casa monofamiliare riscaldamento a radiatori - 144 m ²	AB	0.6682	0.737	0.74415	0.82046	0.000427	10.83	2441.71	35.06	-7.63	-0.70
	C					0.000724		1440.8	20.69	-5.40	-0.50
	D					0.001139		916.304	13.16	-2.29	-0.21
	E					0.001637		637.391	9.15	1.45	0.13
	F					0.002194		475.645	6.83	5.63	0.52
Casa monofam, riscaldamento radiante a pavimento - 144 m ²	AB	0.699	0.737	0.77943	0.82046	0.000408	10.83	2557.47	36.72	-7.77	-0.72
	C					0.000692		1509.11	21.67	-5.64	-0.52
	D					0.001087		959.745	13.78	-2.67	-0.25
	E					0.001563		667.609	9.59	0.90	0.08
	F					0.002095		498.195	7.15	4.89	0.45
Villetta isolata, riscaldamento a radiatori - 149 m ²	AB	0.6652	0.734	0.74088	0.81685	0.000429	10.47	2349.4	33.73	-7.25	-0.69
	C					0.000728		1386.33	19.91	-5.01	-0.48
	D					0.001144		881.663	12.66	-1.89	-0.18
	E					0.001645		613.294	8.81	1.87	0.18
	F					0.002204		457.663	6.57	6.07	0.58
Villetta isolata, riscaldamento radiante a pavimento - 149 m ²	AB	0.6968	0.734	0.77601	0.81685	0.00041	10.47	2460.79	35.33	-7.39	-0.71
	C					0.000695		1452.05	20.85	-5.26	-0.50
	D					0.001092		923.462	13.26	-2.27	-0.22
	E					0.00157		642.37	9.22	1.31	0.13
	F					0.002104		479.361	6.88	5.32	0.51

5.2.8. Sistemi di climatizzazione

Il risparmio di energia derivante dalla sostituzione di una unità di condizionamento tradizionale con una più efficiente può essere valutato mediante la relazione:

$$EC_{cooling} = \left(\frac{1}{EER_{average, seas, trad}} - \frac{1}{EER_{average, seas, eff}} \right) \cdot P_{fN} \cdot n_h \cdot 0.22 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{A_c} \left[\frac{tep}{m^2 a} \right]$$

dove:

- $EER_{average, seas, trad}$: coefficiente di efficienza energetica del sistema di raffreddamento tradizionale; ($EER = P_{cooling}/Pelect$)

- $EER_{average, seas, eff}$: coefficiente di efficienza energetica dell'impianto più efficiente;

- P_{fN} : potenza nominale richiesta;

- n_h : numero di ore nelle quali il sistema di raffreddamento lavora alla massima Potenza nell'intera stagione estiva;

$$nh = nh' \cdot f_u$$

dove

- nh' è il numero di ore nelle quali il sistema di raffreddamento è attivato e pronto per lavorare [h/anno]

- f_u è il fattore di utilizzazione dell'impianto di raffreddamento;

- A_c : area raffreddata netta [m^2];

I valori per i parametri h/g , mesi, n_h , f_u , nh , sono consigliati da procedure AEEG.

Condizioni di riferimento

Edificio condominio di tipo a torre: pompa di calore classe D, P 2.5+2.5kW, EER 2.81 costo 1866 €;

Edificio condominio in linea: pompa di calore doppio split, classe D, P 3.5+3.5 kW, EER 2.65, costo 2300 €;

Casa monofamiliare: pompa di calore doppio split, classe D, P 4.1+4.1kW, EER 2.65, costo 2503 €;

Villetta monofamiliare: pompa di calore, classe D, P 4.1+4.1 kW; EER2.65, costo 2503 €;

Intervento: sostituzione con impianto di climatizzazione più efficiente

Edificio cond. tipo a torre: pompa di calore doppio split, classe A, P 2.5+2.5kW, EER 3.21 costo 4823 €;

Edificio condominio linea: pompa di calore multi split, classe A, P 2.5+2.5+2.5 kW, EER 3.21, costo 5230 €;

Casa monofamiliare: pompa di calore multi split, classe A, P 2.5+2.5+2.5kW, EER 3.21, costo 5230 €;

Villetta monofamiliare: pompa di calore multi split, classe A, P 2.5+2.5+3.5 kW; EER3.21, costo 5285 €;

TAB. 49 - CONDIZIONI DI RIFERIMENTO DELL'ANALISI SOSTITUZIONE IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE.

Area climatica	h/g	mesi	nh'	fu	nh
AB	10.75	4	1321	58%	761
D	8.25	3.5	881	58%	511
F	4.75	2.5	362	58%	210

TAB. 50 - ANALISI INTERVENTO "SISTEMA DI CLIMATIZZAZIONE".

	Tradiz.	ERR _{eff}	Costi	EC _{el}	EC	CEC _{el}	CEC	FCr	PBT	VAN	IP
			€/m ²	kWh/m ² a	tep/m ² a	€/kWh	€/tep	€/m ² a	anni	€/m ²	
Condomini o AB	Pompa calore classe D, EER 2.81, P 5 kW	3.21	27.63	1.577	0.00035	1.97722	8987.36	0.252	109.5	-25.40	-0.92
Condomini o D				1.059	0.00023	2.94455	13384.3	0.169	163.1	-26.13	-0.95
Condomini o F				0.435	0.00010	7.16507	32568.5	0.070	396.9	-27.02	-0.98
Line-type AB	Pompa calore classe D, EER 2.65, P 7 kW	3.21	21.70	1.720	0.00038	1.42398	6472.63	0.275	78.8	-19.27	-0.89
Line-type D				1.155	0.00025	2.12064	9639.28	0.185	117.4	-20.07	-0.92
Line-type F				0.475	0.00010	5.16023	23455.6	0.076	285.8	-21.03	-0.97
Casa monofam. AB	Pompa calore Dual split, classe D, EER 2.65, P 8.2	3.21	18.93	4.005	0.00088	0.53346	2424.81	0.641	29.5	-13.26	-0.70
Casa monofam. D				2.689	0.00059	0.79445	3611.12	0.430	44	-15.12	-0.80
Casa monofam.				1.105	0.00024	1.93315	8787.05	0.177	107.1	-17.37	-0.92

F											
Villetta monofam. A	Pompa calore Multisplit, bicompresso, classe D, EER 2.65 P 8.2	3.21	18.67	2.280	0.00050	0.92404	4200.17	0.365	51.2	-15.44	-0.83
Villetta monofam. D				1.531	0.00034	1.37611	6255.05	0.245	76.2	-16.50	-0.88
Villetta monofam. F				0.629	0.00014	3.34854	15220.6	0.101	185.5	-17.78	-0.95

5.2.9. Valvole di regolazione

Con le valvole di regolazione gli utenti possono evitare di riscaldare locali non utilizzati, possono equilibrare il carico termico tra i locali esposti a Sud ed a Nord e possono decidere la temperatura di tutte le stanze (con il riscaldamento centralizzato gli utenti non possono programmare se riscaldare o meno le singole stanze).

La procedura AEEG permette di stimare i risparmi di energia derivanti dalle valvole di regolazione.

TAB. 51 - FATTORI SUGGERITI DALLE LINEE GUIDA AEEG.

Area climatica	(20 - TE) °C	ra %	rb %	rc %	r %
AB	10	3.4	10	5	18.4
C	12	2.8	8.3	4.2	15.3
D	14	2.4	7.1	3.6	13.1
E	16	2.1	6.3	3.1	11.5
F	20	1.7	5	2.5	9.2

L'energia primaria necessaria per riscaldare i locali può essere calcolata con la relazione:

$$E = \frac{F}{\eta} \left[\frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2} \right]$$

dove:

- η = rendimento globale dell'impianto di riscaldamento.

L'energia specifica primaria che può essere risparmiata dall'intervento può essere valutata:

$$EC = E \cdot r$$

I costi dell'intervento dipendono dal tipo di appartamento/casa e dipende dal sistema di distribuzione del calore.

TAB. 52 - PRESTAZIONI DEL SISTEMA IN FUNZIONE DEL TIPO DI ABITAZIONE.

Zona clim.	Energia/m ²	K _{imp tower}	K _{imp line}	Energia primaria edif. torre	Energia primaria edif. linea	r	EC tower	EC line
	Mcal/m ²			Mcal/m ²	Mcal/m ²		tep/m ² a	tep/m ² a
AB	23.20732	1.7577	1.6734	40.79	38.84	0.1838	0.00075	0.00071
C	39.32927	1.7577	1.6734	69.13	65.81	0.1532	0.00106	0.00101
D	61.84146	1.7577	1.6734	108.70	103.49	0.1313	0.00143	0.00136
E	88.90244	1.7577	1.6734	156.26	148.77	0.1149	0.0018	0.00171
F	119.1341	1.7577	1.6734	209.40	199.36	0.0919	0.00192	0.00183

Per ogni sistema centralizzato ci sono 2 tipi di distribuzione e regolazione: verticali e orizzontale. Essi hanno diversi costi e prestazioni.

TAB. 53 - COSTI E COSTO DELL'ENERGIA CONSERVATA IN FUNZIONE DEL TIPO DI ABITAZIONE.

	Costi				CEC			
	Tower V €/m ²	Tower O €/m ²	Line V €/m ²	Line O €/m ²	Tower V €/tep	Tower O €/tep	Line V €/tep	Line O €/tep
AB	15.61	12.34	14.85	9.78	2005.89	1585.69	2004.33	1320.02
C					1420.35	1122.82	1419.25	934.7
D					1053.85	833.091	1053.03	693.51
E					837.79	662.29	837.14	551.33
F					781.49	617.78	780.88	514.28

TAB. 54 - VALUTAZIONE ECONOMICA IN FUNZIONE DEL TIPO DI ABITAZIONE E DEL TIPO DI DISTRIBUZIONE.

Zona	Tower V			Tower O			Line V			Line O		
	PBT anni	VAN €/m ²	IP	PBT anni	VAN €/m ²	IP	PBT anni	VAN €/m ²	IP	PBT anni	VAN €/m ²	IP
AB	28.8	-9.98	-0.64	22.8	-6.71	-0.64	28.8	-9.49	-0.54	18.9	-4.42	-0.45
C	20.4	-7.66	-0.49	16.1	-4.39	-0.49	20.4	-7.28	-0.36	13.4	-2.21	-0.23
D	15.1	-4.90	-0.31	12	-1.63	-0.31	15.1	-4.65	-0.13	9.9	0.41	0.04
E	12	-2.14	-0.14	9.5	1.12	-0.14	12	-2.02	0.09	7.9	3.04	0.31
F	11.2	-1.17	-0.07	8.9	2.09	-0.07	11.2	-1.10	0.17	7.4	3.97	0.41

5.2.10. Pannelli solari per la produzione di acqua calda

L'energia finale annuale che può essere risparmiata può essere calcolata dalla relazione:

$$Q0acs = [G \cdot C_s \cdot (T_u - T_a)] \cdot n_{giorni} \left[\frac{kcal}{a} \right]$$

dove:

- n_{giorni}: numero di giorni all'anno in cui i pannelli solari per la produzione di acqua calda funzionano (365);
- G: quantità giornaliera di acqua calda prodotta in 1 giorno per 1 m² di pannello alla temperatura di 48°C (procedura AEEG);
- le procedure dividono l'Italia in settori:

range 1 (BZ and MI):

- pannelli piani: 50 l/m²giorno;
- pannelli sottovuoto: 62 l/m²giorno;

range 2 :

- pannelli piani: 70 l/m²giorno;
- pannelli sottovuoto: 81.2 l/m²giorno;

range 3 (ROMA):

- pannelli piani: 70 l/m²giorno;
- pannelli sottovuoto: 80.5 l/m²giorno;

range 4 and 5 (TP):

- pannelli piani: 100 l/m²giorno;
- pannelli sottovuoto: 109 l/m²giorno;

L'energia primaria che può essere risparmiata per ogni m² di pannello solare termico installato può essere valutata con la relazione:

$$ECacs = \frac{Q0acs}{\eta_{average,seas}} \cdot 10^{-7} \left[\frac{tep}{m^2a} \right]$$

dove:

- η_{average,seas}: rendimento globale dell'impianto di riscaldamento tradizionale;

Costi

Pannelli piani: 2000€/2.5m² = **800 €/m²** con serbatoio di 150 l a circolazione naturale;

Pannelli sottovuoto: 5000€/4.5m² = **1111 €/m²** con serbatoio da 300 l a circolazione forzata;

TAB. 55 - ANALISI INTERVENTO INSTALLAZIONE PANNELLI SOLARI PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA.

Tipologia	zona	G	Q0acs	η _{medio,stag}	ECacs	CEC	FCr	PBT	VAN	IP
		l/m ² a	Kcal/m ² a		tep/m ² a	€/tep	€/m ² a	anni	€/m ²	
Condominio con riscaldamento autonomo	BZ-MI	50	602250	0.737	0.08175	785.251	59.10	13.54	-63.531	-0.079
		62	746790		0.10137	879.538	73.28	15.16	-197.89	-0.178
	ROMA	70	843150		0.11445	560.894	82.73	9.67	231.056	0.288
		80.5	969622.5		0.13162	677.408	95.14	11.68	74.6037	0.067
	TP	100	1204500		0.1635	392.626	118.19	6.77	672.938	0.841
		109	1312905		0.17821	500.288	128.83	8.62	494.391	0.444
Condominio con riscaldamento	BZ-MI	50	602250	0.627	0.09602	668.535	69.41	11.53	65.05	0.081
		62	746790		0.11907	748.807	86.07	12.91	-38.455	-0.034
	ROMA	70	843150		0.13443	477.525	97.18	8.23	411.064	0.513
		80.5	969622.5		0.1546	576.721	111.76	9.94	281.612	0.253

centralizzato	TP	100	1204500		0.19204	334.268	138.83	5.76	930.091	1.162
		109	1312905		0.20933	425.927	151.32	7.34	774.688	0.697
Case in linea con riscaldamento autonomo	BZ-MI	50	602250	0.737	0.08175	785.251	59.10	13.54	-63.531	-0.079
		62	746790		0.10137	879.538	73.28	15.16	-197.89	-0.178
	ROMA	70	843150		0.11445	560.894	82.73	9.67	231.056	0.288
		80.5	969622.5		0.13162	677.408	95.14	11.68	74.6037	0.067
	TP	100	1204500		0.1635	392.626	118.19	6.77	672.938	0.841
		109	1312905		0.17821	500.288	128.83	8.62	494.391	0.444
Case in linea con riscaldamento centralizzato	BZ-MI	50	602250	0.657	0.09167	700.299	66.27	12.07	25.81	0.032
		62	746790		0.11367	784.385	82.17	13.52	-87.108	-0.078
	ROMA	70	843150		0.12833	500.214	92.77	8.62	356.133	0.445
		80.5	969622.5		0.14758	604.123	106.69	10.41	218.442	0.196
	TP	100	1204500		0.18333	350.149	132.53	6.04	851.618	1.064
		109	1312905		0.19983	446.164	144.46	7.69	689.153	0.620
Casa monofamiliare	BZ-MI	50	602250	0.737	0.08175	785.29	59.09	13.54	-63.567	-0.079
		62	746790		0.10136	879.581	73.28	15.16	-197.93	-0.178
	ROMA	70	843150		0.11444	560.921	82.73	9.67	231.006	0.288
		80.5	969622.5		0.13161	677.441	95.14	11.68	74.5458	0.067
	TP	100	1204500		0.16349	392.645	118.19	6.77	672.866	0.841
		109	1312905		0.17821	500.312	128.82	8.63	494.312	0.444
Villetta monofamiliare isolata	BZ-MI	50	602250	0.733	0.08211	781.838	59.35	13.48	-60.316	-0.075
		62	746790		0.10181	875.715	73.60	15.10	-193.9	-0.174
	ROMA	70	843150		0.11495	558.456	83.10	9.63	235.558	0.294
		80.5	969622.5		0.13219	674.463	95.56	11.63	79.7805	0.071
	TP	100	1204500		0.16421	390.919	118.71	6.74	679.368	0.849
		109	1312905		0.17899	498.113	129.39	8.59	501.4	0.451

5.2.11. Fotovoltaico

La quantità di energia elettrica prodotta grazie ad un impianto fotovoltaico installato in ambito domestico può essere valutata con la relazione:

$$Q_{0pv} = I_{glob,orizz} \cdot K_{inclinaz} \cdot \eta_{cella} \cdot \eta_{conv} \left[\frac{MWh}{m^2 a} \right]$$

dove:

- $I_{glob,orizz}$: radiazione annuale media su un piano orizzontale [MWh/m²a];
- K_{incl} : fattore relative all'inclinazione dei pannelli; per questo studio si assume un $K_{incl}=1.13$;
- η_{cella} : rendimento della cella fotovoltaica (radiazione solare – energia elettrica); si assume un rendimento pari a 0.14;
- η_{conv} : rendimento del sistema elettrico; si assume un rendimento pari a 0.80.

L'energia primaria (a livello di sistema elettrico) che può essere risparmiata mediante l'installazione di pannelli fotovoltaici può essere valutata dalla relazione:

$$EC_{elet} = Q_{0pv} \cdot C \cdot 0.22 \left[\frac{toe}{kW_p a} \right]$$

dove:

- C è il fattore di conversione medio tra kWp e la superficie dei pannelli; in questo studio si assume un C=8 (che significa 1 kWp = 8 m²);

Costo per 1 kWp

- impianti con totale della potenza installata < 20 kWp: 6500 €/kWp;
- impianti con Potenza installata >20 kWp: 5500 €/kWp;

Durata: 20 anni.

Radiazione solare media (dipende dalla latitudine e longitudine), (44):

- Bolzano: 1348 kWh/m²a;
- Milano: 1413 kWh/m²a;
- Roma: 1512 kWh/m²a;
- Trapani: 1637 kWh/m²a;

TAB. 56 - ANALISI INTERVENTO INSTALLAZIONE PANNELLI FOTOVOLTAICI.

potenza installata	Zona clim.	I _{glob,oriz}	Q _{0PV}	EC	costi	FCr	CEC	PBT	VAN	IP
		kWh/m ² a	kWh/m ² a	tep/m ² a	€/m ²	€/kWh	€/tep	anni	€/m ²	
< 20 kWp	BZ	1348	170.6029	0.0375	812.5	27.296	1737.08	29.77	-472.33	-0.58
	MI	1413	178.8293	0.0393		28.613	1657.17	28.40	-455.92	-0.56
	ROMA	1512	191.3587	0.0421		30.617	1548.66	26.54	-430.94	-0.53
	TP	1637	207.1787	0.0456		33.149	1430.41	24.51	-399.4	-0.49
> 20 kWp	BZ	1348	170.6029	0.0375	687.5	27.296	1469.84	25.19	-347.33	-0.51
	MI	1413	178.8293	0.0393		28.613	1402.22	24.03	-330.92	-0.48
	ROMA	1512	191.3587	0.0421		30.617	1310.41	22.45	-305.94	-0.45
	TP	1637	207.1787	0.0456		33.149	1210.35	20.74	-274.4	-0.40

5.2.12. Illuminazione

L'energia primaria risparmiata derivante dalla sostituzione delle lampadine ad incandescenza con lampade con maggior efficienza può essere valutata con la relazione:

$$EC = \left(\frac{P_L}{\frac{\Phi_L}{E_j}} - \frac{P_H}{\frac{\Phi_H}{E_j}} \right) \cdot h_a \cdot 0.22 \cdot 10^{-3} \left[\frac{tep}{m^2 a} \right]$$

dove:

- P_L: potenza della lampada ad incandescenza tradizionale [kW];
- Φ_L: flusso luminoso della lampada ad incandescenza tradizionale [lumen];
- P_H: potenza della lampada più efficiente [kW];
- Φ_H: flusso luminoso della lampada più efficiente [lumen]
- h_a: numero di ore in cui l'impianto di illuminazione lavora;
- 0.22·10⁻³: fattore medio di conversione kWh – tep.

TAB. 57 - ANALISI INTERVENTO "SOSTITUZIONE SISTEMA DI ILLUMINAZIONE".

Sit. tradiz.	Opzione eff	P	Ø	Ch/m ²	EC	CEC	FCr	PBT	VAN	IP
		W	lumen	€/m ²	tep/m ² a	€/tep	€/m ² a	anni	€/m ²	
Lampadina ad incandescenza, P=100 W, flux 1340 lumen	Lampada alogena	100	1450	0.65	1.87·10 ⁻⁴	1858.23	0.32	2	-0.06	-0.09
	Lampada fluorescente	20	1160	2.70	1.89·10 ⁻³	184.82	1.56	1.7	9.34	3.45

5.2.13. Ventilazione meccanica controllata

I risparmi di combustibili derivanti dalla ventilazione meccanica controllata possono essere valutati in relazione alla zona climatica (46).

Torino (Nord Italia): 37-11 = 26 kWh/m²a;

Roma (Centro Italia): 23-7 = 16 kWh/m²a;

Palermo (Sud Italia): 13-4 = 9 kWh/m²a;

Costi: un impianto di ventilazione meccanica controllata con caratteristiche medie, per una casa mono familiare, costa circa 30 - 35 €/m².

TAB. 58 - ANALISI INTERVENTO "VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA".

Zona	EC	EC	Costi	FCr	CEC	PBT	VAN	IP
	kWh/m ² a	tep/m ² a	€/m ²	€/a	€/tep	anni	€/m ²	
Nord	26	0.002236	30	1.15	1076.6	26.11	-15.68	-0.52
Centro	16	0.001376		0.53	1749.475	56.87	-23.43	-0.78
Sud	9	0.000774		0.09	3110.178	324.96	-28.85	-0.96
Nord	26	0.002236	35	1.15	1256.033	30.46	-20.68	-0.59
Centro	16	0.001376		0.53	2041.054	66.35	-28.43	-0.81
Sud	9	0.000774		0.09	3628.541	379.12	-33.85	-0.97

5.2.14. Recupero dell'acqua piovana

Una famiglia composta da 4 persone mediamente usa 200000 l (200 m³) litri di acqua per anno di cui:

- 96.000 l/anno di acqua potabile;
- 104.000 l/anno per acqua non potabile;

Con un sistema di recupero di acqua piovana è possibile recuperare e quindi risparmiare fino al 50% dell'acqua non potabile.

Un tipico impianto di recupero per l'acqua piovana con un serbatoio da circa 3500 – 6000 l completo di valvole, controlli elettronici e sistemi idraulici dedicati costa circa 10800 €.

Durata: 40 anni. Per le valutazioni tecnico economiche si sono fatte 2 ipotesi: nella prima si ipotizza un recupero annuale pari a circa il 75% dell'acqua non potabile utilizzata, nella seconda ipotesi un recupero di circa il 100%.

TAB. 59 - ANALISI INTERVENTO "RECUPERO ACQUA PIOVANA".

	Costi	FCr	PBT	VAN	IP
	€	€/a	anni	€	
Ipotesi recupero 75%	10800	75	144	-9865.33	-0.91
Ipotesi recupero 100%	10800	100	108	-9553.78	-0.88

5.2.15. Tetti verdi

Stima dell'energia conservata: supponiamo che un tetto verde abbia un coefficiente di trasmissione del calore simile ad un moderno tetto isolato, $K=0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Un tetto verde mantiene la temperature della superficie del tetto sotto i 40°C mentre i tetti tradizionali raggiungono anche temperature di 80 °C.

Il risparmio di energia può essere valutato con la relazione:

$$P = KA(T_1 - T_2)$$

dove T_1 è la temperature della superficie del tetto (40°C per i tetti Verdi e 80°C per i tetti tradizionali), T_2 è la temperatura dell'abitazione (24°C).

Abbiamo considerato solamente la stagione estiva, ipotizzando un carico termico di 30 giorni alla massima radiazione solare per 10 h/giorno. Un tetto verde secondo queste ipotesi può risparmiare 2.77 - 3 kWh/m²a.

Costi

Opzione non calpestabile: 50 €/m²;

Opzione calpestabile: 70 €/m²;

Durata: 40 anni.

TAB. 60 - ANALISI INTERVENTO "TETTO VERDE".

Costi	Energia finale specifica risparmiata	EC	EC	FCr	PBT	CEC	VAN	IP
€/m ²	kWh/m ² a	kWh/m ² a	tep/m ² a	€/a	anni	€/tep	€/m ²	
50	7.2	3	0.00066	0.48	104.17	4415.012	-41.76	-0.84
		2.77	0.000609	0.44	112.85	4782.93	-42.40	-0.85
70	7.2	3	0.00066	0.48	145.83	6181.017	-61.76	-0.88
		2.769231	0.000609	0.44	157.99	6696.102	-62.40	-0.89

5.3. CLASSIFICA DEGLI INTERVENTI

La figura mostra una classifica del costo dell'energia conservata dei vari interventi. La classifica potrebbe essere utile ai policy makers per avere una visione immediata di quali potrebbero essere i migliori interventi da promuovere.

Costo Energia Conservata [€/tep]

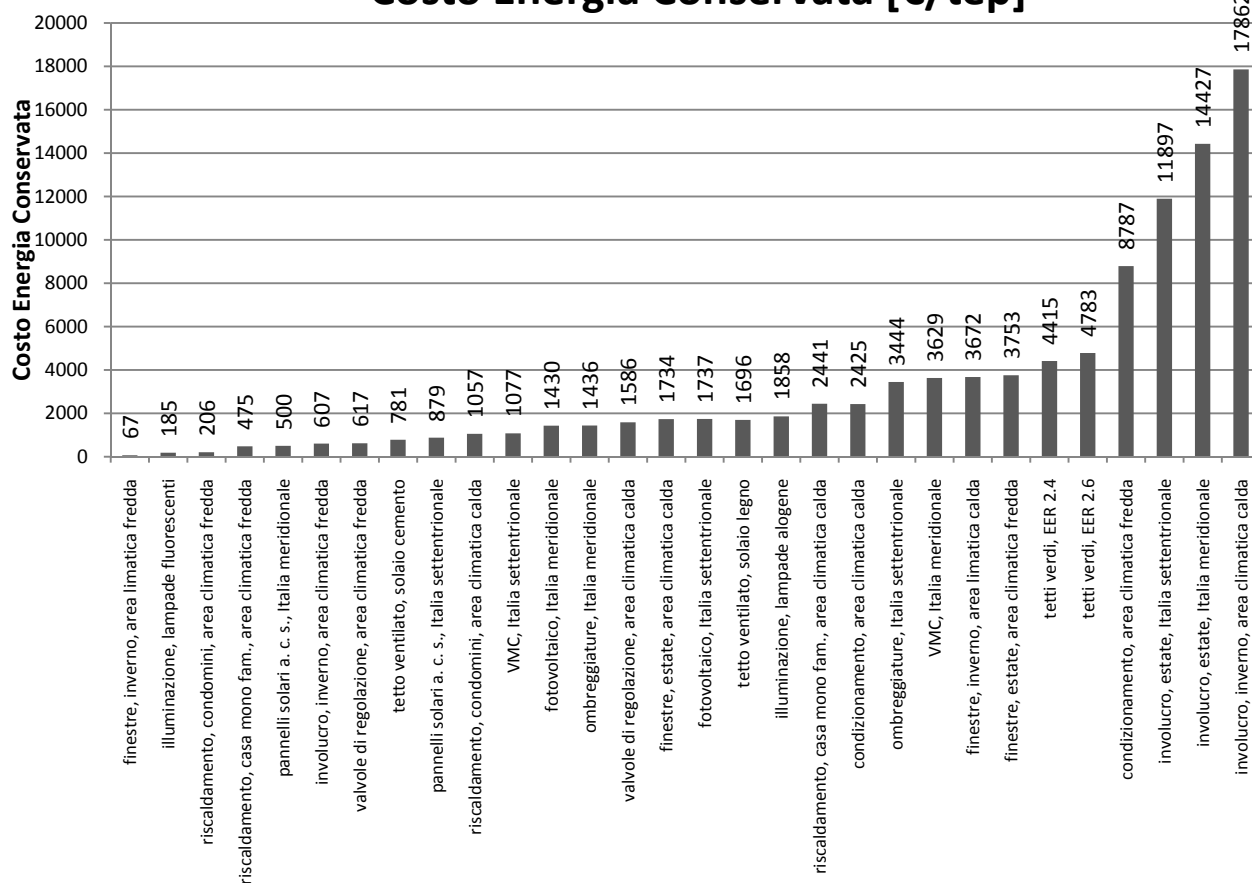


FIG. 50 - CLASSIFICA INTERVENTI SECONDO IL PARAMENTO COSTO ENERGIA CONSERVATA.

5.4. VERSO CASE PASSIVE?

Teoricamente usando tutti i possibili interventi una casa singola potrebbe risparmiare circa 300 kWh/m²a di energia, una quantità simile a quella necessaria per una tipica casa monofamiliare nel Nord Italia (HDD>3000).

TAB. 61 - APPLICAZIONE DEGLI INTERVENTI, COSTI E RISPARMIO ENERGETICO.

intervento	costi		Nord Italia		Sud Italia	
	€/m ²	€/m ²	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a	kWh/m ² a
Involucro, inverno	84.00		59.01		2.76	
Involucro, estate			3.94		3.35	
Finestre, inverno	8.64		121.41		2.20	
Finestra, estate			2.15		4.65	
Ombreggiature	32.55		9.59		21.16	
Impianto di riscaldamento case singole	10.83		25.58		5.00	
Impianto di riscaldamento condomini		6.48		35.23		6.86
Impianti di climatizzazione	18.94		2.79		10.23	
Valvole di regolazione	12.34		22.33		8.72	
Impianto solare per acqua calda sanitaria		34.72		29.71	64.68	
Fotovoltaico		135.42		72.67	88.37	
Ventilazione meccanica controllata	32.50		26.05		8.95	
Tetto verde		54.17		7.67		7.67
Illuminazione	2.70		21.98		21.98	
Tetto ventilato	16.25		6.05		6.05	
	218.75		300.87		95.06	

Come si vede con un costo di poco superiore ai 200 €/m², una cifra pari a circa il 10-20% del costo per la costruzione di una nuova abitazione, si raggiunge un risparmio energetico pari al fabbisogno medio degli edifici italiani.

Osservazioni: sono state usate le procedure empiriche suggerite dall'AEEG. Tali procedure funzionano bene per un determinato intervallo dei valori di input. Visto il carattere generale dello studio alcune delle stime fatte nello studio sono piuttosto approssimate.

Nonostante ciò, sebbene alcune stime siano sovrastimate si vede come sia possibile risparmiare una buona quantità di energia in ambito residenziale considerando gli interventi economicamente apprezzabili. E' da sottolineare che alcuni interventi hanno un costo dell'energia inferiore al costo del combustibile sostituito e hanno una buona profittabilità.

Tutto non può essere fatto. Alcuni interventi sono chiaramente profittevoli e hanno un breve tempo di recupero, ma anche per questi interventi molto spesso ci sono problemi di budget, policy, problemi strutturali o famigliari che ne limitano l'installazione.

Ci sono interventi che escludono altre misure. Per esempio l'installazione di pannelli PV limita lo spazio per l'installazione di collettori solari. Altro esempio: per riscaldamento di ambienti l'uso di caldaie a condensazione è compatibile solamente con un sistema di distribuzione radiante a pavimento.

6. Accettabilità sociale delle tecnologie energetiche

6.1. LA RESISTENZA SOCIALE

Il problema del cambiamento climatico è sempre più una questione centrale nelle politiche di tutti i Paesi del Mondo. Alcuni Paesi si sono imposti degli ambiziosi target ed hanno creato un contesto per lo sviluppo delle nuove tecnologie, in particolare per quelle che producono energia da fonti rinnovabili molto fertili dal punto di vista tecnico – economico. Tuttavia con l'aumentare della penetrazione degli impianti rinnovabili e delle nuove tecnologie si osserva che la diffusione non è efficiente come previsto: vi è un fattore finora largamente trascurato che sempre più frequentemente risulta essere di ostacolo per lo sviluppo dei progetti: l'accettabilità sociale.

Questo aspetto è stato trascurato negli anni '70 e '80 quando partirono i programmi per la creazione delle politiche energetiche volte a portare i sistemi energetici verso sistemi di produzione di energia più sostenibili. Dai sondaggi di opinione la popolazione dimostrava di accettare ampiamente le tecnologie di produzione di energia da fonte rinnovabile perciò i politici, gli sviluppatori, le aziende e le autorità locali non considerarono la questione dell'accettabilità sociale. I primi problemi nacquero quando fu necessario decidere dove installare le prime turbine eoliche: il problema della scelta del sito si rivelò essere spesso un problema il quale interessava un gran numero di attori con interessi a volte diametralmente opposti.

Nonostante ciò fino agli anni '90 la questione dell'accettabilità sociale non venne mai studiata approfonditamente. Negli ultimi 30 anni nei paesi dell'OECD era radicata la convinzione che il solo miglioramento tecnologico sarebbe stato sufficiente per controllare il consumo di energia e mitigare il problema del riscaldamento globale. Decenni di politiche basate su questo assunto non hanno portato al raggiungimento dei risparmi energetici previsti. Il motivo di questo fallimento è stato inizialmente ricercato analizzando i punti deboli delle politiche per l'efficienza energetica e ricercando le possibili barriere di mercato. I soli miglioramenti tecnologici, lo sviluppo di nuove apparecchiature e l'incremento continuo dell'efficienza dei processi, non sono sufficienti per ridurre il consumo di energia e le emissioni di gas inquinanti. Un'apparecchiatura molto efficiente può essere utilizzata in maniera del tutto inefficiente vanificando il risparmio di energia conseguibile.

Ai sociologi è stato chiesto di valutare il motivo della lenta penetrazione delle nuove tecnologie nonostante esse fossero economicamente vantaggiose e sono così iniziate le prime indagini sull'accettabilità sociale degli impianti energetici.

6.1.1. Le tre dimensioni dell'accettabilità sociale

Non esiste attualmente un'unica definizione di "Accettabilità sociale" per una tecnologia. Una delle definizioni più ampie e condivise è quella proposta da (47). In questa definizione l'accettabilità sociale è suddivisa secondo tre distinte dimensioni chiamate accettabilità socio – politica, accettabilità della comunità e accettabilità del mercato.



FIG. 51 - LE TRE DIMENSIONI DELL'ACCETTABILITÀ SOCIALE.

Accettabilità socio – politica

La dimensione socio – politica dell'accettabilità sociale è quella ad un livello più generale ed esteso. In generale i sondaggi di opinione mostrano un'alta accettabilità delle tecnologie e delle politiche per la diffusione delle tecnologie rinnovabili. Per questo motivo i policy makers non hanno mai considerato problematica l'accettabilità sociale di queste tecnologie, tuttavia muovendosi da un livello globale verso un livello locale nel quale vi sono le scelte per la decisione dei siti si nota che il problema sussiste.

Accettabilità della comunità

Questa dimensione dell'accettabilità sociale si riferisce alla accettazione della scelta dei siti per l'installazione degli impianti da parte della comunità locale ovvero cittadini residenti nelle immediate vicinanze e istituzioni locali. In questa dimensione vive il problema del NIMBY il fenomeno per il quale una persona supporta lo sviluppo dell'energia rinnovabile finché l'impianto non debba essere fatto nelle vicinanze. Una particolarità dell'accettabilità della comunità è il fatto di essere variabile nel tempo.

Accettabilità del mercato

L'accettabilità sociale per gli impianti a fonti rinnovabili e per le nuove tecnologie può essere interpretata come accettabilità del mercato ovvero come processo di "adozione ed implementazione" di una innovazione da parte del mercato. Secondo questa prospettiva è possibile analizzare l'accettabilità sociale utilizzando gli studi presenti in letteratura inerenti i processi di introduzione, sviluppo e diffusione di una innovazione o di nuovi prodotti. Questo è possibile in parte in quanto a differenza di gran parte dei prodotti consumo innovativi (per i quali sono stati fatti gli studi i presenti in letteratura), le tecnologie rinnovabili sono fortemente legate alle infrastrutture, al territorio ed hanno dimensioni di una certa rilevanza. Le strategie che si possono individuare in letteratura riguardanti l'introduzione di prodotti di consumo innovativi si possono applicare a impianti di piccole dimensioni come per esempio gli impianti di generazione domestici.

6.2. ACCETTABILITÀ SOCIALE DEGLI IMPIANTI A FONTI RINNOVABILI: GLOBALE VS LOCALE

Nonostante vi sia un ottimo supporto generale della popolazione verso gli impianti per la produzione di energia alimentati a fonte rinnovabili, quando un progetto viene presentato la popolazione locale spesso si oppone. Il motivo di ciò non è solamente una questione egoistica (NIMBY) ma va ricercato nella sfera della percezione della giustizia, della condivisione di costi e benefici e nella partecipazione al progetto.

La difficoltà di accettazione sociale delle fonti rinnovabili deriva da alcune loro caratteristiche particolari. Le

tecnologie rinnovabili presentano alcune sostanziali differenze rispetto gli impianti tradizionali:

- dimensioni minori e maggiore diffusione: gli impianti a fonti rinnovabili sono generalmente impianti di dimensioni minori rispetto gli impianti termoelettrici tradizionali e di conseguenza vi è la necessità di un maggior numero di siti per la loro installazione, questo comporta che le persone attivamente coinvolte sono in numero maggiore;
- densità energetica minore: hanno una “densità energetica” inferiore ovvero l’impatto visuale per MWh di output è molto maggiore rispetto gli impianti tradizionali i quali molto spesso utilizzano ambienti già “stigmatizzati” e messi a dura prova dagli utilizzi precedenti (vecchie aree industriali, etc.);
- esternalità degli impianti tradizionali non ben definite: poiché i costi esterni, le esternalità, non sono ancora presi in considerazione quando si valuta il costo dell’energia prodotta da impianti tradizionali, le tecnologie rinnovabili non possono competere su “campo neutro”.

6.3. RICERCA SULL’ACCETTABILITÀ SOCIALE

L’Università di Padova, tra agosto 2009 e gennaio 2010, ha effettuato uno studio per misurare le percezioni e le aspettative della popolazione italiana su una serie di 13 tecnologie energetiche. Lo studio è stato eseguito divulgando un questionario online. Nelle 11 domande del questionario, per ogni tecnologia conosciuta è stato chiesto di esprimere la propria opinione su una serie di fattori riguardanti le dimensioni ed il rischio, l’importanza percepita di alcune strategie e le aspettative di evoluzione tecnologica e di future installazioni.

6.3.1. Struttura del questionario

Da una estesa ricerca bibliografica si nota che le percezioni e le aspettative tra la popolazione verso le fonti rinnovabili e gli impianti per la produzione di energia in generale possono essere diverse. Ci sono diversi studi che indagano come si formi l’accettabilità sociale verso nuovi progetti ed impianti da parte di Governi, le Istituzioni, gli imprenditori e popolazione.

Per meglio comprendere questi aspetti è stato disegnato un questionario avente lo scopo di misurare alcuni aspetti utili per meglio definire la percezione delle tecnologie rinnovabili e alimentate da fonti fossili da parte della popolazione.

Gli obiettivi della ricerca sono:

- misurare la percezione delle dimensioni e del rischio delle principali tecnologie energetiche da parte della popolazione e indagare se vi sono delle differenze statisticamente significative tra la popolazione in funzione dei fattori sesso, età, titolo di studio, responsabilità amministrativa e area professionale; per esempio: una persona di sesso maschile con titolo con un buon titolo di studio e con una età superiore ai 50 anni percepisce il rischio della tecnologia idroelettrica ad alta capacità in modo diverso rispetto ad una donna con età inferiore ai 30 anni?

- di misurare la percezione dell’importanza di una serie di strategie atte a promuovere l’accettabilità sociale di una tecnologia; la classifica di queste tecnologie potrebbe aiutare i policy makers a capire quali sono gli aspetti ritenuti più importanti dalla popolazione e sviluppare quindi la politica più adatta per ogni tecnologia. Per esempio: la strategia ritenuta vincente per la tecnologia eolica ad alta capacità è la stessa della tecnologia nucleare?

- di investigare quali sono le aspettative della popolazione in termini di evoluzione tecnologica e di nuova capacità installata; chiedendo quali aspettative si hanno in termini di evoluzione tecnologica si misura se la popolazione vede quella tecnologia come nuova o matura. Una tecnologia con grandi aspettative quindi percepita come “nuova” incontrerà minori resistenze sociali rispetto ad una percepita come “matura” e con poche possibilità di sviluppo tecnologico.

L’accettabilità sociale di un impianti/infrastruttura o grande evento interessa diverse sfere della nostra persona, sia sensoriali che psicologiche.

Le domande sono state suddivise in 3 domini: percezioni (dimensioni e rischio), aspettative (evoluzione tecnologica e nuova capacità installata) e valutazione per una serie di strategie proposte. Le domande sono presentate nelle Tab. 62, Tab. 63, Tab. 64.

6.3.2. Percezioni

Nel primo gruppo di domande sono state analizzate le percezioni della popolazione. Sarebbe stato interessante analizzare le percezioni di molti aspetti tra i quali le dimensioni, l'impatto visivo, il rumore, gli odori, le parti in movimento, etc. ma vista la necessità di progettare un questionario con un limitato numero di domande è stato deciso di chiedere unicamente la valutazione delle dimensioni (fattore che interessa la sfera delle percezioni "fisiche") e del rischio (fattore riguardante la sfera psicologica).

TAB. 62 - DOMANDE SULLE PERCEZIONI.

Sigla	Percezione	Domande del questionario
DIM	Percezione delle dimensioni fisiche	Quanto pensi sia ingombrante un impianto basato sulla tecnologia considerata?
RIS	Percezione del rischio	Quanto pensi sia rischiosa la tecnologia considerata?

Dimensioni percepite

Le dimensioni percepite sono differenti dalle dimensioni "fisiche", ovvero dallo spazio fisico occupato da un impianto. Chiedendo di dare una valutazione sulle dimensioni di una determinata tecnologia è stato misurato quanto spazio quella persona nella sua cognizione della realtà deve dare a tale tecnologia per funzionare. Le dimensioni percepite dipendono da molti fattori tra cui ci sono: localizzazione dell'impianto, parti in movimento, presenza di camini, strade di alimentazione, odori, rumori, forme e colori. Per esempio le turbine eoliche onshore ad alta capacità occupano pochi metri cubi di spazio fisico ma come sono percepite dalla popolazione? Il fatto che essere abbiano parti rotanti e che siano spesso installate in posti molto visibili influisce sulla percezione delle dimensioni? La strada che permette ai camion di portare la biomassa per alimentare un impianto a biomassa influisce sulla percezione delle dimensioni di quella tecnologia?

La percezione delle dimensioni è direttamente correlata all'accettazione sociale. La popolazione deve dare all'impianto quella "quantità" di spazio e maggiore sarà questa quantità maggiori saranno le probabilità che l'impianto venga contestato.

Rischio percepito

Il rischio percepito è uno dei fattori più importanti per quanto riguarda l'accettabilità sociale di un impianto o infrastruttura. Maggiore è la percezione del rischio relativo ad una tecnologia e maggiori saranno le probabilità che questa incontri resistenze da parte della popolazione.

Nonostante molti esperti di gestione ed analisi del rischio e della salute pubblica dicano che il mondo è diventato più sicuro negli ultimi decenni, i sondaggi mostrano che la paura della popolazione sui rischi derivanti dalla tecnologia è incrementata. Un segnale evidente di questo fenomeno è evidente per alcune zone, prodotti o tecnologie che risultano essere stigmatizzate, in certo senso sfavorite (48). La stigmatizzazione rappresenta un fattore che colpisce la percezione della popolazione sul rischio per la propria salute e perciò influenza l'accettabilità di nuove tecnologie o scoperte scientifiche. Per quanto riguarda le tecnologie la loro stigmatizzazione riflette il fatto che spesso le valutazioni della popolazione sono spesso ambigue. Le tecnologie sono invenzioni scientifiche per le quali spesso proviamo paura per lo stesso motivo per il quale le troviamo affascinanti: sono nuove, immensamente potenti e funzionano in un modo non sempre facilmente comprensibile. Per esempio, è comprensibile quanto successo per l'energia nucleare: essa è stata apprezzata con forza negli anni 1950 per le sue promesse di economicità e sicurezza ed oggi invece è soggetta a severe stigmatizzazioni che si riflettono in una anormale percezione del rischio, una perdita di fiducia nella gestione e il non mantenimento delle promesse.

La stigmatizzazione non deriva solamente da problemi tecnologici o scientifici. Segnali di stigmatizzazione sono un segnale di generale paura e di scarsa fiducia verso chi deve gestire il rischio. Per evitare fenomeni di stigmatizzazione è necessario: prestare attenzione alle informazioni ed ai processi sociali che aumentano la percezione del rischio, capire come gettare le basi per creare fiducia verso i risk manager, distribuire i benefici ed i costi della tecnologia.

Secondo (49) la popolazione esegue una valutazione dei rischi tramite un giudizio dettato da intuizioni personali le quali sono influenzate da diversi fattori. Questo rischio "intuitivo" che è la "percezione personale del rischio" ha due fattori principali: il "dread risk" che è correlato con la perdita di controllo, con le catastrofi e con le conseguenze fatali, e il cosiddetto "unknown risk" che è correlato alle conoscenze non ancora scoperte ed ai rischi non ancora conosciuti. La percezione del rischio è generalmente differente tra esperti e popolazione soprattutto nel caso di nuove e complesse tecnologie. La popolazione tende ad

orientare la propria attitudine verso una nuova tecnologia non basandosi su documenti scientifici ma basandosi sulla propria percezione personale del rischio e dei benefici introdotti.

Le persone hanno inoltre una differente percezione del rischio anche tra di loro, questo può dipendere dalle caratteristiche personali come per esempio la sensibilità verso incidenti del passato, la sensibilità verso disastri potenziali, il percorso culturale, etc.

6.3.3. Strategie proposte

Per promuovere l'accettabilità sociale ci sono molte strategie che possono essere applicate. La letteratura presenta una ampia varietà di articoli che discutono come si possa promuovere l'accettabilità sociale: (50), (51), (52), (53), (54), (49), (55), (56), (57), (58). Sono state considerate sette tecnologie a nel questionario online è stato chiesto di dare una valutazione della loro importanza al fine di migliorare l'accettabilità sociale di quella tecnologia.

TAB. 63 - DOMANDE RELATIVE ALLA VALUTAZIONE DELL'IMPORTANZA DI UNA STRATEGIA.

Sigla	Strategia	Concetto della strategia – Domande del questionario
INF	Importanza informazioni	Al fine di favorire l'accettabilità sociale, quanto pensi siano importanti le campagne di informazione (spot televisivi, radiofonici, pagine di giornali, convegni, etc)?
DEC	Importanza partecipazione decisioni	Quanto pensi sia importante la partecipazione della popolazione alle fasi del processo decisionale e di sviluppo di un impianto?
ECO	Importanza condivisione benefici economici	Quanto pensi sia importante condividere con la popolazione i benefici economici del funzionamento di un impianto?
ENV	Importanza contributo ambientale	Quanto ritieni importante essere informato sul ruolo di una tecnologia nella riduzione delle emissioni di gas serra?
IND	Importanza indipendenza energetica	Quanto pensi sia importante il contributo di una tecnologia al miglioramento dell'indipendenza energetica?
SCI	Importanza scienziati e persone autorevoli	Quanto pensi sia importante ed influente l'opinione espressa da scienziati, tecnici e persone autorevoli?
POL	Importanza politici	Al fine di promuovere l'accettabilità sociale quanto pensi sia importante ed influente l'opinione espressa dai politici?

Il processo indotto dal questionario richiede di fare un ragionamento indiretto. Il questionario chiede all'utente di rispondere pensando in un dominio "globale", per esempio: come valuti l'importanza di condividere il processo decisionale per migliorare l'accettabilità del mini eolico? Ma la domanda è relativa ad un problema locale, personale, come per esempio l'opposizione all'installazione di un impianto di mini eolico su un condominio da parte degli abitanti del condominio stesso.

Dopo una ricerca sulla letteratura corrente ed alcune interviste ad aziende interessate, esperti del settore, popolazione, etc è stato scelto di chiedere la valutazione per le 7 strategie presentate nella Tab. 63. Di seguito una breve presentazione della domanda e della strategia considerata.

INF – importanza informazioni: la mancanza di accettabilità sociale spesso è causata da una mancanza di informazioni; campagne informative adeguate possono aumentare il livello di conoscenza di una tecnologia permettendo alla popolazione di meglio valutare i pro ed i contro della tecnologia stessa. Informazioni affidabili e imparziali su una specifica tecnologia sono necessarie per aiutare la popolazione per comprendere il funzionamento, le problematiche, i benefici, etc di essa. Le informazioni dovrebbero essere calibrate secondo la conoscenza, il bagaglio culturale e gli interessi di ognuno. Si dovrebbero usare tutti i tipi di canale.

Le informazioni sono un fattore chiave per alcuni tipi di tecnologie. Per esempio nel caso delle tecnologie dell'Idrogeno (59) mostra che la chiave determinante per l'accettabilità della tecnologia è avere chiaramente capito ogni aspetto della tecnologia in esame.

DEC – importanza partecipazione e condivisione delle decisioni: solitamente la partecipazione degli attori sociali e degli imprenditori interessati in nuovi progetti è di tipo tradizionale, con consultazione di documenti e meeting pubblici, raccolta e analisi dei disagi, lamentele e suggerimenti. E' necessario quando si considerano le fonti rinnovabili ed i nuovi sistemi energetici prendere in considerazione anche nel processo decisionale gli interessi espressi dai gruppi locali, da consulenti, da ambientalisti, da imprese manifatturiere della zona, dagli investitori, dai sindaci, dai Governi Regionali, etc. Tutti questi gruppi devono trovare un compromesso con il proponente dell'impianto.

Un processo nel quale le decisioni vengono prese in modo condiviso implica che il cittadino elabori piani e decisioni e in caso di compromessi sia più incline ad accettare la costruzione dell'impianto in quanto consapevole dei benefici e degli svantaggi. Inoltre gli interessati e coinvolti nel progetto con maggior conoscenze ed esperienza possono migliorare la qualità del progetto e dell'impianto.

L'implicazione dei cittadini nei processi decisionali e di pianificazione si è visto essere una buona strategia per promuovere l'accettabilità sociale in 4 casi studio (52).

ECO – importanza condivisione dei benefici economici: ci sono alcuni studi in letteratura che mostrano come la condivisione e la partecipazione ai risultati economici di un impianto possa aumentare il livello di accettabilità sociale tra tutti gli attori coinvolti. Per esempio in Giappone, (58), la comunità ha partecipato al finanziamento di un parco eolico. Il finanziamento era limitato e consisteva nella possibilità di finanziare il progetto con cifre dai 360 ai 3600€ circa. Con l'introduzione del "valore della partecipazione" la comunità ha creato una relazione tra la popolazione che vive nei pressi dell'impianto ed i cittadini che vivono fuori dalla comunità. Tale strategia potrebbe essere replicata anche in progetti riguardanti altre tecnologie.

ENV – importanza questioni ambientali: i problemi ambientali sono la "spinta" principale per accrescere l'interesse verso l'uso di impianti alimentati da energie rinnovabili. Una maggior conoscenza dell'urgenza e della severità dei problemi connessi con i cambiamenti climatici probabilmente potrebbero rendere le tecnologie rinnovabili, il CCS ed anche il nucleare più accettate. Quando la popolazione comprende il bisogno improcrastinabile di agire per fermare i cambiamenti climatici e la necessità di adottare un nuovo sistema energetico le opposizioni verso nuovi impianti diminuiscono.

IND – importanza indipendenza energetica: l'Italia, come altri Paesi, ha il proprio sistema energetico fondato sull'importazione di fonti fossili. Le tecnologie rinnovabili generando energia senza richiedere flussi di materia importati da altri Paesi, possono ridurre questo grado di dipendenza. Un nuovo sistema energetico in cui le fonti rinnovabili sono particolarmente diffuse può ridurre il peso delle importazioni del Paese. Inoltre, pensando ai piccoli impianti energetici, le tecnologie rinnovabili possono rendere indipendenti le famiglie, gruppi di case, quartieri e città. Questo fattore può promuovere l'accettabilità sociale di un impianto.

SCI – importanza opinione degli scienziati: per le tecnologie rinnovabili e per molte altre tecnologie energetiche la popolazione non ha molte informazioni. Alcune tecnologie rinnovabili sono più recenti di altre tecnologie energetiche tradizionali ed il loro principio di funzionamento è di difficile comprensione. L'opinione degli scienziati può giocare un ruolo importante per promuovere l'accettabilità sociale dei nuovi sistemi energetici.

POL – importanza opinione dei politici: la classe politica potrebbe giocare un ruolo importante per promuovere l'accettabilità degli impianti energetici; per essere efficaci è necessario che le loro opinioni abbiano un elevato grado di affidabilità e fiducia.

Lo studio eseguito aveva come scopo quello di produrre una classifica dell'importanza percepita delle strategie proposte per ogni tecnologia e di analizzare le eventuali differenze.

6.3.4. Aspettative

Le tecnologie con le maggiori aspettative in termini di evoluzione tecnologica e di nuova capacità installata incontreranno minor resistenza sociale quando nuovi impianti e progetti vengono annunciati.

Data la necessità di avere un numero limitato di domande nel questionario sono state inserite 2 domande relative alle percezioni, una relativa alla sfera della percezione "scientifico – tecnologica" ed una relativa alla sfera "fisica e degli investimenti". Le domande sulle aspettative sono elencate in Tab. 64.

TAB. 64 - DOMANDE INERENTI LE ASPETTATIVE.

Sigla	Aspettativa	Domande del questionario
EVO	Evoluzione tecnologica attesa	Da un punto di vista tecnologico, secondo te quanto possono migliorare le tecnologie considerate?
CAT	Nuova capacità/potenza attesa	Quale sarà la crescita delle installazioni nei prossimi 20 anni?

La valutazione sull'aspettativa di evoluzione tecnologica è un indicatore che ci permette di capire in quale punto del suo ciclo di sviluppo tecnologico quella tecnologia è percepita dalla popolazione. Le tecnologie con la valutazione minore sono quelle per le quali la popolazione non si aspetta grandi progressi tecnologici, sono tecnologie percepite come "mature" per le quali non sono possibili grandi miglioramenti e quindi le condizioni per quanto riguarda l'accettabilità sociale saranno più critiche.

L'aspettative in termini di nuova capacità installata è un indicatore che può essere correlato all'accettabilità sociale: una tecnologia per la quale la popolazione si aspetta poche nuove installazioni incontrerà più resistenza rispetto ad una tecnologia per la quale la popolazione si aspetta una gran quantità di nuove installazioni.

Nel prossimo paragrafo viene descritto come sono stati raccolti i dati.

6.4. PROGETTAZIONE E DIFFUSIONE DEL QUESTIONARIO

Il questionario è stato condotto e divulgato tramite un sito web. Il periodo nel quale sono stati raccolti e memorizzati i dati va dall'agosto 2009 al gennaio 2010. I rispondenti al questionario sono stati contattati proponendo agli amministratori dei maggiori siti italiani di mettere una descrizione della ricerca sul loro sito contenente dei link verso il questionario. I siti contattati trattavano una moltitudine di argomenti: ambiente, energia, economia, finanza, news generali, sport, social network, viaggi, etc. Usando questo metodo il questionario è stato compilato completamente da 620 rispondenti. Dopodiché è stata mandata una newsletter ad un database di circa 250000 contatti in cui si chiedeva di dare il proprio parere sulle questioni relative ad ambiente ed energia. Grazie alla newsletter sono state raggiunte le 3223 compilazioni.

Il "percorso" del questionario è presentato nella Tab. 65.

TAB. 65 - TRACCIA DEL QUESTIONARIO.

Passi	Azione	Note
1 st	Profilazione del rispondente e selezione tecnologie conosciute	sexso, età, titolo di studio, responsabilità amministrativa, area professionale, selezione tecnologie conosciute
2 nd – 3 rd	2 domande sulle percezioni	Solamente per le tecnologie conosciute; scala : 1 – 10 più "non so – non rispondo"
4 th – 10 th	7 domande sulle strategie proposte	
11 th – 12 th	2 domande sulle aspettative	

Nel primo step lo scopo era quello di "profilare il rispondente" e quindi veniva chiesto il sesso, l'età, il titolo di studio, l'area professionale e se nella sua professione avesse responsabilità amministrative o meno. Nella stessa pagina il questionario chiedeva di scegliere quali erano le tecnologie conosciute, non conosciute o di cui ne aveva sentito parlare.

In questa parte della pagina web per ogni tecnologia oltre ad una breve descrizione della stessa era presente un link verso una pagina in cui la tecnologia veniva meglio presentata. La pagina web di presentazione della tecnologia non forniva informazioni sul funzionamento della tecnologia ma serviva solamente per "allineare – calibrare" la terminologia in modo da garantire che tutti i rispondenti durante la compilazione pensassero alla medesima tecnologia.

Dati intervistato

Privacy e Trattamento dati personali	Accenso al trattamento dei miei dati personali secondo le modalità indicate dall' informativa sulla privacy ai sensi del d. lgs. 196/03. Per accettazione/consenso trattamento dati personali: <input type="checkbox"/> Per accettazione tutela privacy: <input type="checkbox"/>
Email:	<input type="text" value="fdht"/>
Sesso:	<input type="radio"/> maschio <input type="radio"/> femmina
Età:	<input type="text" value="selezione"/>
Grado di istruzione:	<input type="text" value="Selezione"/>
Hai qualche incarico amministrativo?	<input type="radio"/> si <input type="radio"/> no
Ambito professionale: (sono possibili scelte multiple)	<input type="checkbox"/> tecnico <input type="checkbox"/> umanistico <input type="checkbox"/> azienda <input type="checkbox"/> ente pubblico <input type="checkbox"/> formazione <input type="checkbox"/> ricerca <input type="checkbox"/> consulenza <input type="checkbox"/> altro

Tecnologie conosciute

Quali tecnologie conosci?
 Di seguito sono elencate le tecnologie considerate nel questionario. Per avere maggiori informazioni sulla terminologia usata leggere questa sezione: [classificazione tecnologie](#)

Solare termico (ST) Per maggiori informazioni sulla tecnologia solare termico leggi le informazioni contenute in questa pagina: informazioni solare termico	<input type="radio"/> la conosco	<input type="radio"/> ne ho sentito parlare	<input type="radio"/> non la conosco e non ne ho sentito parlare
Solare fotovoltaico (PV) Per maggiori informazioni sulla tecnologia solare fotovoltaico leggi le informazioni contenute in questa pagina: informazioni solare fotovoltaico	<input type="radio"/> la conosco	<input type="radio"/> ne ho sentito parlare	<input type="radio"/> non la conosco e non ne ho sentito parlare
Solare termodinamico (SE) Per maggiori informazioni sulla tecnologia solare termodinamico (a concentrazione) leggi le informazioni contenute in questa pagina: informazioni solare termodinamico	<input type="radio"/> la conosco	<input type="radio"/> ne ho sentito parlare	<input type="radio"/> non la conosco e non ne ho sentito parlare
Biomassa Solidi (BS)	<input type="radio"/> la	<input type="radio"/> ne ho sentito	<input type="radio"/> non la

FIG. 52 - SNAPSHOT DELLA PRIMA PAGINA ONLINE DEL QUESTIONARIO.

Negli 11 passi successivi il questionario chiedeva al rispondente di dare una valutazione alle domande viste nel paragrafo “Struttura del questionario” per le tecnologie conosciute. Le domande inerenti le tecnologie non conosciute venivano automaticamente non proposte e questo ha permesso di aumentare il numero delle persone che hanno risposto al questionario in modo completo.

Le analisi statistiche sono state condotte utilizzando fogli di calcolo e software dedicati per la statistica. Per analizzare le differenze tra le categorie della popolazione del campione sono state eseguite delle analisi ANOVA multi fattore. Questa procedura è stata progettata per costruire un modello statistico che descrive la dipendenza di 2 o più fattori di categoria Xj (per esempio età, sesso, titolo di studio, etc.) su una variabile dipendente Y (per esempio il rischio percepito di un impianto idroelettrico ad alta capacità). I test sono stati eseguiti per determinare se ci sono differenze statisticamente significative delle medie di Y considerando diversi livelli dei fattori di categoria Xj.

Per l’analisi statistica sono stati inoltre utilizzati dei test “Multiple Range Tests”. Questo test è stato eseguito per i fattori che hanno presentato un valore significativo di p (p<0.05) nel test ANOVA. Il test “Multiple Range Test” presenta una illustrazione grafica di quali sono i gruppi omogenei tra le categorie.

6.4.1. Tecnologie considerate

Il questionario mirava ad investigare l’attitudine della popolazione verso le tecnologie rinnovabili (10 opzioni tecnologiche) ed i nuovi sistemi energetici (CCS). Per meglio comprendere la percezione della popolazione nei confronti delle rinnovabili nel questionario è stata considerata anche una delle tecnologie più diffusa a livello nazionale per la produzione di energia elettrica ovvero la tecnologia termoelettrica tradizionale (impianti a carbone, gas e prodotti petroliferi). Considerando la volontà del Governo Italiano di reintrodurre la produzione di energia elettrica da fonte nucleare è stata inserita nel questionario anche la tecnologia nucleare. La lista delle tecnologie considerate è presente in Tab. 66.

TAB. 66 - TECNOLOGIE CONSIDERATE.

Nome tecnologia	Descrizione tecnologia
-----------------	------------------------

ST	Pannelli solari per l'acqua calda	Questa è una tecnologia atta a produrre acqua calda sanitaria a bassa temperatura; è molto diffusa nel settore residenziale. Generalmente un impianto è composto dai pannelli solari, da serbatoi e dalle tubazioni. L'energia solare è utilizzata per riscaldare l'acqua.
PV	fotovoltaico	I sistemi fotovoltaici convertono l'energia solare in elettricità.
SE	Solare termico per la generazione di energia elettrica	Questa tecnologia usa specchi parabolici o speciali lenti per concentrare l'energia solare su un collettore riempito di acqua o di metalli fusi. Viene prodotto vapore ad alta temperatura (fino a 600°C) che può essere usato nelle normali turbine a vapore.
BS	Impianti alimentati da biomassa solida	Gli impianti a biomassa solida producono elettricità e calore dalla combustione di biomassa solida.
BG	Impianti alimentati a biogas	Gli impianti alimentati a biogas producono elettricità e calore dalla combustione del biogas.
BH	Impianti idroelettrici ad alta capacità	Negli impianti idroelettrici si sfrutta l'acqua per generare energia elettrica. In questa categoria sono considerati gli impianti con una capacità installata maggiore di 1 – 10 MW.
SH	Mini idroelettrico	Questi impianti generano energia elettrica sfruttando il deflusso dell'acqua. In questa categoria rientrano gli impianti con una capacità inferiore di 1 -10 MW.
BW	Impianti eolici alta capacità	Questi impianti convertono l'energia eolica in energia elettrica. In questa categoria rientrano gli impianti con una turbina alta più di 30 m.
SW	Mini eolico	Questi impianti convertono l'energia eolica in energia elettrica. In questa categoria rientrano gli impianti con una turbina alta meno di 30 m.
CC	CCS	Questa tecnologia permette di catturare e stoccare i gas serra emessi dagli impianti termoelettrici tradizionali alimentati a fonti fossili. E' una tecnologia ancora in fase sperimentale e l'aspetto cruciale risiede nello stoccaggio della CO2 catturata in adeguati depositi geologici.
NU	Energia nucleare	Questa tecnologia produce energia elettrica usando combustibile nucleare.
WP	Energia dal moto ondoso e maree	Questa tecnologia converte l'energia delle onde in elettricità. E' ancora in fase sperimentale.
TE	Impianti termoelettrici tradizionali	In questa categoria si sono considerate le tecnologia termoelettriche tradizionali: centrali alimentate a carbone, a prodotti petroliferi ed a gas naturale.

6.5. DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Sono state raccolte 3223 compilazioni. La Tab. 67 presenta le statistiche per la conoscenza delle tecnologie.

TAB. 67 - STATISTICHE TECNOLOGIE CONOSCIUTE.

	ST	PV	SE	BS	BG	BH	SH	BW	SW	CC	NU	WP	TE
Conosco + ne ho sentito parlare	3114	3197	2249	2630	2621	2510	1808	3096	2537	829	3177	2537	2485
%	96.6	99.2	69.8	81.6	81.3	77.9	56.1	96.1	78.7	25.7	98.6	78.7	77.1
Non la conosco	109	26	974	593	602	713	1415	127	686	2394	46	686	738
%	3.4	0.8	30.2	18.4	18.7	22.1	43.9	3.9	21.3	74.3	1.4	21.3	22.9

La Fig. 53 mostra per ogni tecnologia il numero di maschi e femmine che hanno selezionato “ conosco o ne ho sentito parlare” per ogni tecnologia.

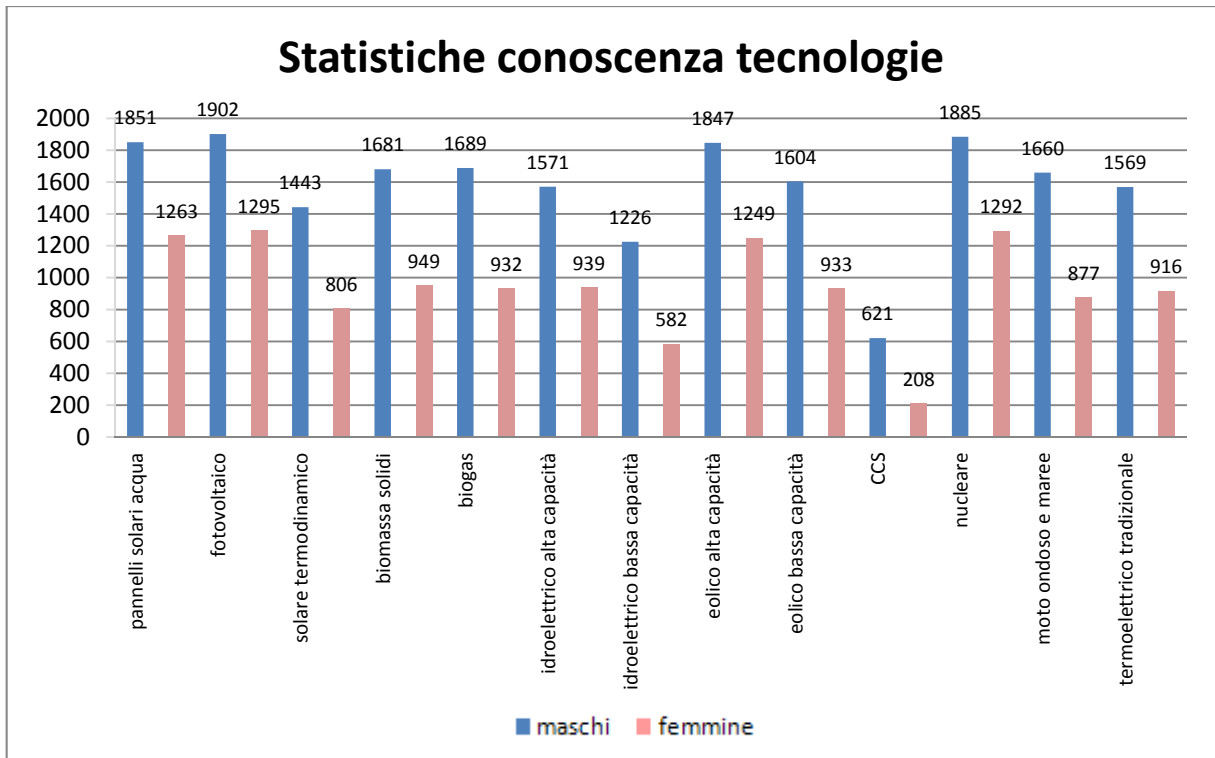


FIG. 53 - STATISTICHE SULLA CONOSCENZA DELLE TECNOLOGIE IN FUNZIONE DEL GENERE.

La composizione e la profilazione del campione è presentata in Tab. 68.

TAB. 68 - STATISTICHE E PROFILATURA DEL CAMPIONE.

Variabile	Livello	Rispondenti tot=3223	Percentuali %
Sesso	M	1910	59.3
	F	1313	40.7
Fascia di età	<20	55	1.7
	20-30	896	27.8
	30-40	764	23.7
	40-50	684	21.2
	50-60	527	16.4
	>65	297	9.2
Con responsabilità amministrative?	Yes	589	18.3
	No	2634	81.7
Livello di educazione scolastica	Scuola media primaria	73	2.3
	Scuola media secondaria	262	8.1
	Istituto professionale	89	2.8
	Diploma	880	27.3
	Laurea 3 anni	364	11.3
	Laurea	1039	32.2
	Specializzazione post laurea	206	6.4
	Master / MBA	108	3.4
	Dottorato di ricerca	176	5.5
Altro	26	0.8	
Area professionale	Tecnico	881	
	Umanistico	368	
	Azienda	618	
	Ente pubblico	569	
	Istruzione	357	
	Ricerca	394	
	Consulenza	362	
	Altro	728	

Alcune osservazioni sul campione. Innanzitutto è utile osservare che i rispondenti al questionario riflettono le valutazioni della popolazione italiana che utilizza internet con una certa frequenza. Circa il 60% del campione è composto da persone di sesso maschile. Il livello di educazione scolastica è elevato, più del 58%

del campione ha una laurea o un titolo di studio successivo. Circa il 53% della popolazione del campione ha meno di 40 anni.

6.6. ANALISI DATI

I paragrafi seguenti riportano le statistiche dei dati raccolti con il questionario. Le osservazioni e l'analisi approfondita di tali dati si può trovare nella sezione Considerazioni e commenti.

6.6.1. Dimensioni e rischio percepito

Dopo aver raccolto alcuni dati personali sul rispondente ed aver fatto scegliere le tecnologie conosciute il questionario passava alle domande inerenti le percezioni delle dimensioni e del rischio. Le domande venivano proposte solamente per le tecnologie conosciute, questo ha permesso di ottimizzare il questionario minimizzando l'impegno necessario per completarlo.

Con riferimento alla Tab. 69, N è il numero di persone che hanno risposto alla domanda scegliendo un valore da 1 a 10, M è il valore medio mentre SD è la deviazione standard.

TAB. 69 - STATISTICHE PERCEZIONI.

		ST	PV	SE	BS	BG	BH	SH	BW	SW	CC	NU	WP	TE
DIM	N	3002	3131	1931	2302	2277	2337	1682	3016	2370	642	2991	2052	2279
	M	3.28	3.92	5.59	5.90	5.90	7.98	3.91	7.08	3.54	6.74	8.92	6.42	7.47
	SD	2.13	2.40	2.51	2.21	2.17	2.17	1.99	2.40	2.03	2.62	1.88	2.66	2.34
RIS	N	3081	3163	2094	2420	2395	2424	1727	3033	2448	626	3029	2183	2319
	M	1.30	1.34	1.77	3.04	3.49	4.30	2.09	2.23	1.58	4.81	8.92	2.36	5.30
	SD	0.75	0.82	1.19	1.83	1.90	2.32	1.36	1.55	1.02	2.67	1.98	1.65	2.57

6.6.2. Importanza percepita per le strategie considerate

I successivi 7 passi del questionario chiedevano al rispondente di valutare l'importanza di una serie di strategie. La Tab. 70 illustra i dati raccolti.

TAB. 70 - STATISTICHE VALUTAZIONI STRATEGIE PROPOSTE.

		ST	PV	SE	BS	BG	BH	SH	BW	SW	CC	NU	WP	TE
INF	N	3089	3174	2201	2555	2543	2459	1769	3057	2494	737	3007	2432	2378
	M	8.61	8.71	8.73	8.45	8.44	7.95	8.16	8.75	8.55	8.10	7.79	8.45	7.52
	SD	2.42	2.32	2.22	2.27	2.44	2.68	2.60	2.10	2.44	2.68	3.43	2.40	3.11
DEC	N	3086	3171	2196	2567	2556	2468	1775	3068	2499	738	3065	2430	2401
	M	6.59	6.76	7.09	7.62	7.57	8.05	6.37	7.93	6.53	7.70	8.69	7.20	8.01
	SD	3.47	3.36	3.14	2.76	2.76	2.63	3.36	2.66	3.45	2.89	2.68	3.03	2.71
ECO	N	3066	3155	2190	2533	2525	2438	1763	3038	2485	707	2843	2371	2335
	M	8.40	8.66	8.56	8.42	8.41	8.17	7.83	8.68	8.10	7.55	6.80	8.10	7.45
	SD	2.60	2.31	2.29	2.35	2.31	2.62	2.87	2.16	2.78	3.09	3.87	2.66	3.20
ENV	N	3097	3179	2208	2564	2547	2473	1773	3067	2502	717	2970	2437	0
	M	9.11	9.14	9.15	8.68	8.69	8.59	8.71	9.11	9.00	7.90	6.81	8.87	0.00
	SD	2.01	1.97	1.94	2.23	2.18	2.38	2.35	1.90	2.12	2.92	3.90	2.15	0.00
IND	N	3090	3173	2210	2533	2522	2450	1775	3055	2489	698	2964	2385	2357
	M	8.71	8.84	8.82	8.14	8.09	8.16	8.21	8.67	8.48	6.47	5.25	8.19	6.31
	SD	2.26	2.12	2.08	2.44	2.46	2.47	2.52	2.17	2.43	3.37	3.92	2.53	3.47
SCI	N	3077	3163	2207	2570	2557	2469	1773	3059	2491	769	3054	2463	2414
	M	8.22	8.31	8.47	8.25	8.24	8.01	7.92	8.40	8.17	8.02	7.41	8.33	7.53
	SD	2.43	2.37	2.21	2.32	2.30	2.52	2.63	2.24	2.50	2.62	3.35	2.30	2.96
POL	N	3165	3166	3172	3156	3155	3176	3184	3168	3165	3173	3128	3148	3151
	M	4.16	4.29	3.03	3.46	3.44	3.27	2.31	4.25	3.31	1.02	3.90	3.37	3.06
	SD	3.42	3.40	3.47	3.41	3.40	3.40	3.21	3.44	3.46	2.42	3.50	3.46	3.32

La classifica ed alcune osservazioni sono presenti nella sezione Considerazioni e commenti.

6.6.3. Aspettative: evoluzione tecnologica e nuova capacità

La Tab. 71 mostra le statistiche per le ultime due domande del questionario, le aspettative di evoluzione tecnologica e di nuova capacità installata.

TAB. 71 - STATISTICHE PER LE ASPETTATIVE.

		ST	PV	SE	BS	BG	BH	SH	BW	SW	CC	NU	WP	TE
EVO	N	2894	2976	2042	2297	2275	2281	1674	2825	2322	654	2784	2160	2240
	M	7.65	8.55	8.53	7.31	7.39	5.89	6.83	7.69	7.90	7.46	5.51	8.30	5.18
	SD	2.49	1.92	1.92	2.49	2.39	3.01	2.72	2.39	2.30	2.83	3.66	2.16	3.15
CAT	N	2829	2920	1967	2269	2249	2225	1640	2769	2273	610	2649	2094	2165
	M	7.42	8.11	7.23	6.21	6.21	4.45	5.91	6.95	7.07	5.03	3.96	5.50	4.27
	SD	2.55	2.23	2.56	2.37	2.35	2.62	2.57	2.51	2.59	2.89	3.09	2.92	2.65

6.7. ANALISI DELLE DIFFERENTI PERCEZIONI TRA LA POPOLAZIONE

In questa ricerca sono state analizzate le più importanti differenze di valutazione tra le categorie di persone all'interno del campione. Sono stati eseguiti dei test ANOVA multi fattore per studiare quali fattori presentano differenze significative in funzione della profilazione del campione; le Tab. 72, Tab. 73, Tab. 74, Tab. 75 presentano i fattori che hanno mostrato una differente valutazione. Per alcuni dei fattori più interessanti l'analisi è proseguita eseguito dei test "Multiple Range Test".

6.7.1. Fattore sesso

La Tab. 72 mostra quali sono i fattori che hanno dimostrato avere delle differenze significative tra le valutazioni della popolazione di sesso maschile e quella di sesso femminile. Quando una cella presenta una "m" significa che la parte di popolazione del campione di sesso maschile ha valutato quel fattore con una media minore, quando la cella presenta una "f" la valutazione minore è stata data dalla popolazione di sesso femminile.

TAB. 72 - FATTORI CHE PRESENTANO DIFFERENZE SIGNIFICATIVE TRA MASCHI E FEMMINE.

	DIM	RIS	INF	DEC	ECO	ENV	IND	SCI	POL	EVO	CAT
ST			m	m	m	m	m	m		m	m
PV	f		m	m	m	m	m	m		m	
SE		f	m	m	m	m	m	m	f	m	m
BS			m	m	m	m	m	m	f	m	m
BG			m	m	m	m	m	m	f	m	m
BH			m	m	m	m	m	m	f	m	m
SH			m	m	m	m	m	m	f	m	m
BW		f	m	m	m	m	m	m		m	
SW			m	m	m	m	m	m	f	m	
CC			m			m			f		
NU	m	m	m			m		m			
WP		m	m	m	m	m	m	m	f		
TE			m	m	m	-	m	m		m	m

6.7.2. Fattore età

La Tab. 73 mostra i fattori che hanno presentato differenze significative nelle valutazioni in funzione dell'età del rispondente. Le celle che presentano una "x" stanno a significare che quella tecnologia per quel fattore ha presentato delle differenze significati di valutazione tra la popolazione in funzione dell'età.

TAB. 73 - FATTORI CHE DIPENDONO DALL'ETÀ.

	DIM	RIS	INF	DEC	ECO	ENV	IND	SCI	POL	EVO	CAT
ST		x					x		x		x
PV		x					x		x		
SE				x	x	x	x				
BS				x							x
BG		x		x					x		
BH		x		x					x	x	x
SH	x		x				x				
BW		x		x							
SW	x						x				
CC									x		
NU	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
WP				x	x						

TE	x	x	x	x		-					x
----	---	---	---	---	--	---	--	--	--	--	---

6.7.3. Fattore titolo di studio

La Tab. 74 mostra quali fattori hanno ricevuto una valutazione con differenze significative in funzione del titolo di studio. Le celle che presentano una “x” stanno a significare che quella tecnologia per quel fattore ha presentato delle differenze significati di valutazione tra la popolazione in funzione dell’età.

TAB. 74 - FATTORI CHE DIPENDONO DAL TITOLO DI STUDIO.

	DIM	RIS	INF	DEC	ECO	ENV	IND	SCI	POL	EVO	CAT
ST			x	x	x	x	x	x		x	x
PV			x	x	x	x	x	x		x	
SE	x		x	x	x	x	x	x		x	
BS				x	x		x	x	x		
BG				x	x		x	x	x	x	
BH								x		x	x
SH			x	x	x	x	x	x		x	
BW		x	x	x	x		x	x		x	
SW		x	x	x	x	x	x	x		x	
CC							x		x		
NU	x	x			x		x		x	x	
WP			x	x	x		x	x			x
TE	x					-	x		x	x	x

Per le celle che presentano una “x” sono state eseguite ulteriori analisi (Multiple Range Test) per comprendere ed analizzare come il grado di istruzione possa influenzare la valutazione. Le dimensioni ed i rischi percepiti non presentano molte differenze. Per alcuni fattori la ricerca di una correlazione tra il titolo di studio ed il livello della valutazione è stato analizzato approfonditamente in 6.8.8.

6.7.4. Area professionale

La Tab. 75 mostra quali fattori presentano differenze statisticamente significative nelle valutazioni in funzione dell’area professionale del rispondente.

Quando una cella è marcata con un numero significa (cfr. legenda) che quel fattore ha presentato differenze significative per quell’area professionale. Per esempio, se nella cella vi è il numero “2” ciò significa che quel fattore (in questo caso utente che lavora in area umanistica) è stato valutato in modo differente tra l’intero campione e la parte del campione che lavora nel settore umanistico. Altre considerazioni ed osservazioni sono espresse nella sezione 6.8.9.

TAB. 75 - FATTORI CHE DIPENDONO DALL’AREA PROFESSIONALE.

	DIM	RIS	INF	DEC	ECO	ENV	IND	SCI	POL	EVO	CAT
ST		6,	1, 6,	1, 2,	4,	2, 4,	1, 4,	3, 4,	2,	1, 3, 4,	
PV	1	6,	1, 2, 6,	1, 2,	4,	2, 4,	4, 5,	4,	2,		
SE	1, 3		2, 4,	2, 3, 8,	1, 4,		4,		1,		7,
BS	3		2,	2, 3, 7,		1, 8,			1,	1,	
BG			2, 4,	2, 7,	4,	8,			1,	1,	
BH	3, 4	4,		2, 7,				3,	1,	1,	1, 3,
SH	4			1, 2, 3,					1,	2,	
BW			2,	7,	6,	2,	1, 6,	3,		1, 4,	
SW	2		2,	1, 2, 3,			4, 5, 6,	3,	1,	4,	
CC		3, 8	1,	2, 8			1,		1, 6,	3	
NU	1, 2	2, 3, 4,		2, 7,		1, 4, 5,	2, 3, 4,			2,	
WP		3, 6,	2, 4,	2, 7,	7,	2, 8,	1,		1, 2,		2, 3,
TE	2	2		2,		***	1,		1, 4, 6,	1,	

Legenda: 1: area tecnica; 2: area umanistica; 3: azienda; 4: ente pubblico; 5: settore formazione/educazione; 6: settore della ricerca; 7: consulenza; 8: altro.

6.7.5. Responsabilità amministrativa

Ci sono poche differenze significative tra l’intero campione e le persone che hanno responsabilità amministrative. Per le tecnologie pannelli solari per acqua calda sanitaria, solare termodinamico, impianti alimentati a biomassa solida, idroelettrico ad alta capacità, la popolazione con responsabilità amministrative

hanno valutato la percezione delle dimensioni con una media minore. Per la strategia "ENV" relativa ai benefici ambientali della tecnologia CCS la popolazione con responsabilità amministrativa ha dato una valutazione dell'importanza di tale strategia maggiore.

6.8. CONSIDERAZIONI E COMMENTI

In questa sezione vengono espresse alcune osservazioni che nascono dall'osservazione dei dati raccolti. Vengono fornite alcune osservazioni sui risultati di maggior interesse per lo studio di scenari energetici futuri.

6.8.1. Tecnologie conosciute

Con riferimento alla Tab. 67 e alla Fig. 53 quasi tutti i partecipanti al questionario che hanno completato il sondaggio conoscevano il fotovoltaico (99.2%). Le tecnologie conosciute per più del 90% del campione sono: pannelli solari per produzione acqua calda, fotovoltaico, eolico alta capacità e nucleare. La tecnologia CCS è risultata essere la tecnologia meno conosciuta.

Per quanto riguarda la tecnologia nucleare anche se essa presenta un livello di complessità fisica e tecnologica sicuramente elevato, i rispondenti che hanno selezionato "conosco" o "ne ho sentito parlare" sono più del 90% del totale. Questo può essere dovuto al fatto che dal 2006 in corrispondenza del caso di "Scanzano Ionico" fino ai giorni nostri nei quali il Governo ha espresso la volontà di tornare a produrre energia elettrica da fonte nucleare, i media hanno dato particolare attenzione a questa tecnologia e questo potrebbe aver influito l'autovalutazione della popolazione.

6.8.2. Caratteristiche del campione

Con riferimento alla Tab. 68 quasi il 60% del campione è costituito da uomini. Più del 53% del campione ha meno di 40 anni di età. Il livello di educazione scolastica è piuttosto alto: più del 58% del campione ha una laurea o un titolo maggiore. Da notare che il sondaggio ha raccolto le valutazioni della parte di popolazione che naviga in internet con una certa frequenza ed ha una certa dimestichezza con la compilazione di moduli su pagine web.

6.8.3. Dimensioni e sul rischio percepito

I pannelli solari per il riscaldamento dell'acqua calda sono stati valutati con la media minore ($M = 3.28$; $SD = 2.13$) e con il minor rischio percepito ($M = 1.30$; $SD = 0.75$). La più rischiosa ($M = 8.92$; $SD = 1.98$) e grande ($M = 8.92$; $SD = 1.88$) è stata la tecnologia nucleare. Il suo rischio percepito con una media pari a $M = 8.92$ è di gran lunga maggiore rispetto la seconda classificata, tecnologia termoelettrica tradizionale ($M = 5.30$; $SD = 2.57$).

La percezione del rischio del nucleare è più del triplo rispetto ad alcune tecnologie basata su fonti rinnovabili. La tecnologia nucleare presenta una percezione del rischio decisamente maggiore rispetto tutte le altre tecnologie.

La tecnologia termoelettrica tradizionale è stata valutata come la seconda tecnologia più rischiosa ($M = 5.30$; $SD = 2.57$) nonostante sia una delle tecnologie più diffuse nel territorio italiano per generare energia elettrica.

La tecnologia idroelettrica ad alta capacità è la stata la tecnologia con la terza maggiore percezione del rischio ($M = 4.30$; $SD = 2.32$) ed è stata la tecnologia rinnovabile con la valutazione del rischio maggiore.

Le dimensioni della tecnologia biomassa solidi ($M = 5.30$; $SD = 2.21$) e la tecnologia biogas ($M = 5.30$; $SD = 2.17$) sono state valutate con un voto minore rispetto nucleare e termoelettrico tradizionale. Questo significa che la popolazione considera solamente l'impianto in cui avviene la combustione della biomassa e non considera le infrastrutture correlate, lo spazio per le coltivazioni, le strade per alimentare l'impianto.

La tecnologia idroelettrica ad alta capacità è stata valutata con dimensioni molto elevate ($M = 7.98$; $SD = 2.17$). Questo significa che le dighe e le altre infrastrutture modellano la percezione della popolazione in modo significativo.

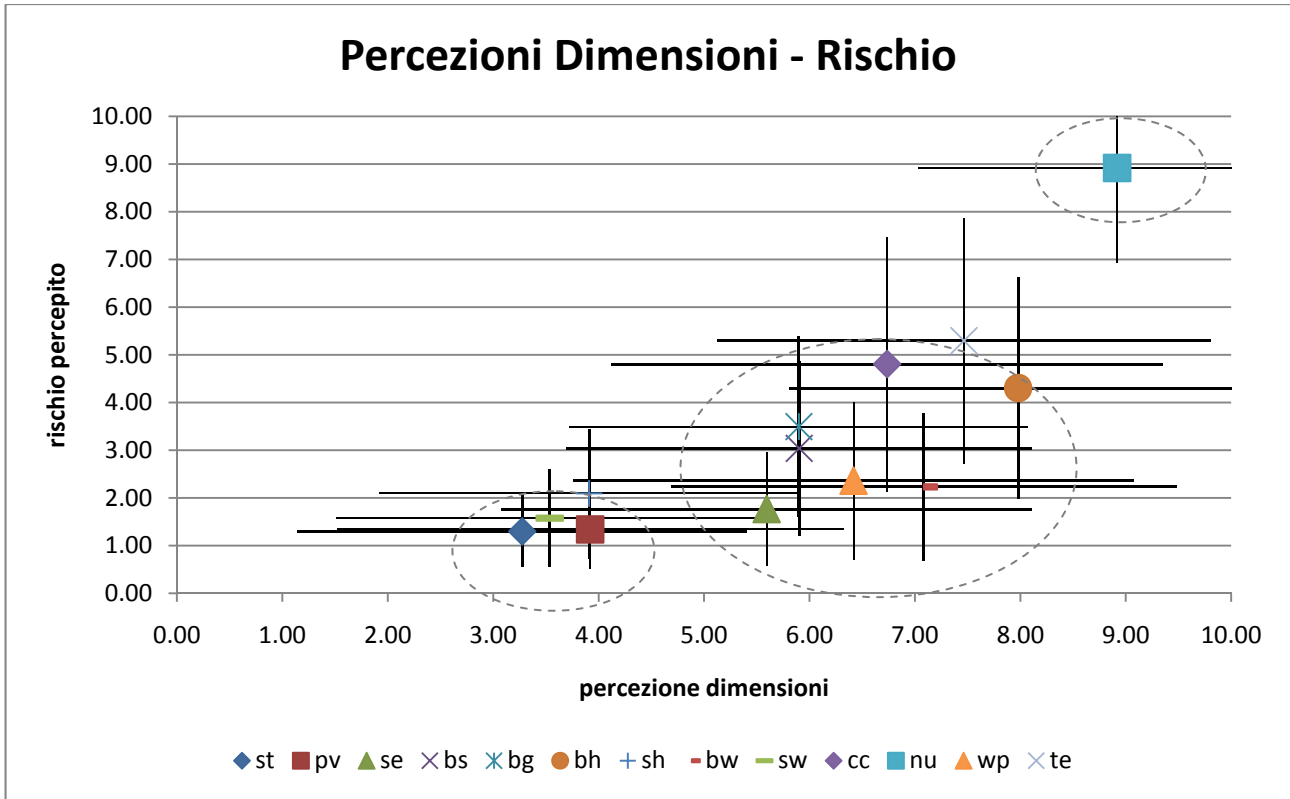


FIG. 54 - POSIZIONAMENTO DELLE TECNOLOGIE IN UN PIANO "DIMENSIONI - RISCHIO".

Con riferimento alla Fig. 54 è possibile raggruppare tutte le tecnologie in 3 gruppi. Il primo gruppo, quello delle tecnologie con piccole dimensioni e poco rischiose contiene I pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria, il fotovoltaico, il mini eolico ed il mini idroelettrico. Queste tecnologie funzionano e producono energia grazie all'energia eolica, idrica e solare e presentano la possibilità essere installate in una configurazione domestica. Tutte le tecnologie di questo gruppo non hanno parti in movimento (ad esclusione del mini eolico), non hanno camini, non necessitano di grandi infrastrutture con alto impatto visivo.

Il gruppo delle tecnologie con medie dimensioni e medio rischio contiene le seguenti tecnologie: solare termodinamico, energia da moto ondoso, biomassa solida, impianti eolici ad alta capacità, biogas, idroelettrico ad alta capacità, CCS e termoelettrico tradizionale. La tecnologia solare termodinamico è quella all'interno el gruppo con il minor rischio percepito: tutte le tecnologie basate sull'energia solare hanno un rischio percepito molto basso. La tecnologia termoelettrica tradizionale è quella con la maggior valutazione del rischio nel gruppo. Tra le tecnologie rinnovabili l'idroelettrico ad alta capacità è quella che presenta le dimensioni ed il rischio maggiore. La tecnologia eolico ad alta capacità è la tecnologia che tra le rinnovabili presenta le seconde maggiori dimensioni (quarto posto tra tutte le tecnologie). Il rischio di tutte le tecnologie rinnovabili ad esclusione dell'idroelettrico ad alta capacità ha ottenuto una valutazione bassa.

La tecnologia con il maggior rischio percepito e con le maggiori dimensioni è la tecnologia nucleare; le valutazioni per questa tecnologia come si vede dal piano dimensioni – rischio si scostano ampiamente da tutte le altre tecnologie.

6.8.4. Aspettative evoluzione tecnologica e nuova capacità

Considerando la Tab. 71, le statistiche per le aspettative possono essere rappresentate in un diagramma aspettative evoluzione tecnologica – aspettative nuova capacità, Fig. 55.

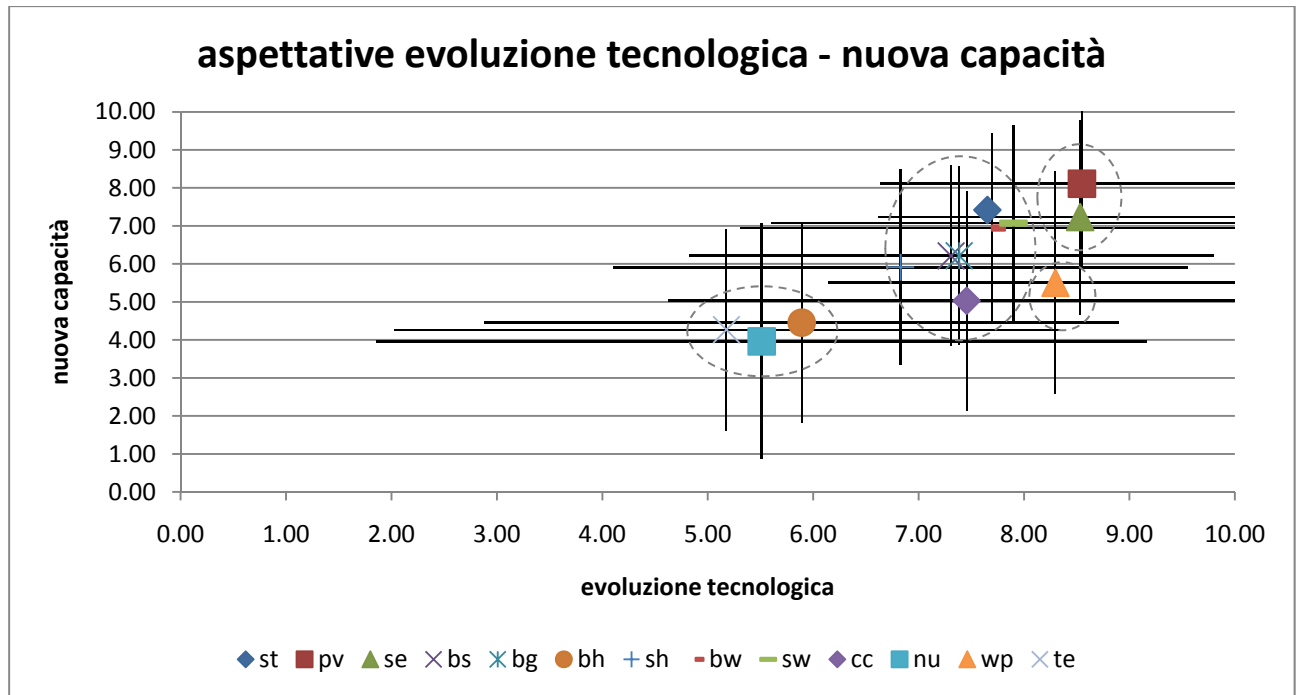


FIG. 55 - ASPETTATIVE EVOLUZIONE TECNOLOGICA ED ASPETTATIVE NUOVA CAPACITÀ.

In accordo con la Fig. 55 è possibile raggruppare le tecnologie in 4 gruppi. Il gruppo con le maggiori aspettative in termini di evoluzione tecnologica contiene il fotovoltaico ($M = 8.55$; $SD = 1.92$) ed il solare termodinamico ($M = 8.53$; $SD = 1.92$). Per questo gruppo di tecnologie la popolazione ha grosse aspettative quindi in caso di nuovi progetti o installazioni la resistenza sociale sarà probabilmente minore. Il fotovoltaico è stato valutato con le maggiori aspettative anche in termini di nuova capacità installata ($M = 8.11$; $SD = 2.23$).

Il secondo gruppo contiene le altre tecnologie rinnovabili ad esclusione della tecnologia del moto ondoso. Le aspettative in termini di evoluzione tecnologica sono molto buone tutte con una media superiore a $M = 6.83$ mentre le aspettative per la capacità installata variano da $M = 5.03$ del CSS ai $M = 7.42$ dei pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria.

Il terzo gruppo contiene solamente la tecnologia per la produzione di energia elettrica da moto ondoso, tecnologia caratterizzata da una grande aspettativa in termini di evoluzione tecnologica ($M = 8.30$; $SD = 2.16$) ma da una limitata aspettativa in termini di nuova capacità installata che risulta essere la secondo minore tra le rinnovabili.

Il quarto gruppo contiene l'idroelettrico ad alta capacità, la fonte nucleare e il termoelettrico tradizionale. Questo gruppo contiene le tecnologie per cui la popolazione ha le minori aspettative. In termini di evoluzione tecnologica il punteggio è inferiore a $M = 5.89$ e per la aspettativa di nuova capacità installata il punteggio è inferiore ai $M = 4.45$.

6.8.4.1. Aspettative per tecnologia

Pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria: questa tecnologia è stata valutata con elevate aspettative: per quanto riguarda le aspettative sulla nuova capacità installata si è classificata al secondo posto ($M = 7.42$, $SD = 2.55$). Anche le aspettative in termini di evoluzione tecnologica sono risultate essere buone ($M = 7.65$, $S = 2.49$)

Fotovoltaico: i partecipanti del questionario si aspettano per la tecnologia fotovoltaica le maggiori innovazioni tecnologiche ($M = 8.55$, $SD = 1.92$). Anche per quanto riguarda le aspettative in termini di nuova capacità installata il fotovoltaico è risultato essere la tecnologia con la maggiore valutazione ($M = 8.11$, $SD = 2.23$).

Solare termodinamico: le aspettative di evoluzione tecnologica per questa tecnologia sono molto buone, al secondo posto tra tutte le tecnologie ($M = 8.53$, $SD = 1.92$). Anche le aspettative di nuova capacità installata è buona ($M = 7.23$, $SD = 2.56$).

Eolico bassa ed alta capacità: le tecnologie eoliche sono state valutate con un’alta valutazione sia in termini di aspettative di evoluzione tecnologica che in termini di nuova capacità.

Biomassa combustibile solido e biogas: queste due tecnologie hanno ottenuto una valutazione alta per le aspettative di capacità installata.

Energia da moto ondoso: questa tecnologia ha ottenuto un’elevata valutazione in termini di aspettative di evoluzione tecnologica (M = 8.30, SD = 2.16) mentre per quanto riguarda le aspettative sulla capacità che sarà installata la valutazione è stata mediocre (M = 5.50, SD = 2.89)

CCS: questa tecnologia ha ottenuto una buona valutazione per quanto riguarda l’aspettativa dell’evoluzione tecnologica (M = 7.46, SD = 2.83) ed una mediocre valutazione sulle aspettative di nuova capacità installata nei prossimi 20 anni (M = 5.03, SD = 2.89).

Idroelettrico bassa capacità: anche questa tecnologia alimentata da fonte rinnovabile ha ottenuto buone valutazioni sia in termini di aspettative di evoluzione tecnologica (M = 6.83, SD = 2.72) che in termini di nuova capacità (M = 5.91, SD = 2.57).

Idroelettrico alta capacità: è la tecnologia tra le rinnovabili che ha ottenuto le peggiori valutazioni sulle aspettative. L’evoluzione tecnologica ha ottenuto la minor valutazione tra le rinnovabili (M = 5.89, SD = 3.01) e anche in termini di nuova capacità installata l’idroelettrico ad alta capacità ha ottenuto la minor valutazione (M = 4.45, SD = 2.62)

Termoelettrico tradizionale: è la tecnologia con le aspettative di evoluzione tecnologica minore (M = 5.15, SD = 3.15). La aspettative in termini di nuova capacità sono anch’esse molto basse (M = 4.27, SD = 2.65).

Energia nucleare: questa è la tecnologia con la minor aspettativa in termini di nuova capacità installata nei prossimi 20 anni (M = 3.96, SD = 3.09). Anche le aspettative in termini di evoluzione tecnologica la tecnologia nucleare hanno ottenuto una valutazione piuttosto modesta (M = 5.51, SD = 3.66).

6.8.5. Strategie proposte.

La Tab. 76 presenta la classifica delle strategie per ogni tecnologia. La classifica descritta in tabella è stata costruita considerando solamente il valore delle medie M.

TAB. 76 - CLASSIFICA DELLE STRATEGIE.

		INF	DEC	ECO	ENV	IND	SCI	POL
rinnovabili	Pannelli solari per l’acqua calda							
	Fotovoltaico	3		4		2	5	
	Solare termico per la generazione di energia elettrica		6					
	Impianti alimentati da biomassa solida	2		3		5	4	
	Impianti alimentati a biogas				1	3	5	
	Impianti idroelettrici ad alta capacità	6	4	2		2	4	7
	Mini idroelettrico	3		5		4	5	
	Impianti eolici alta capacità		6	3		3	4	
	Mini eolico	2				4	3	
	Energia dal moto ondoso e maree			5		3	6	2
CC&F fossili	CCS	1	4		3	4	3	
	Energia nucleare	2	1		4	5	2	6
	Impianti termoelettrici tradizionali	3		4	*			

6.8.5.1. Discussione per tecnologia

Con riferimento la Tab. 76 tutte le tecnologie rinnovabili (prime 10 righe) la strategia vincente è risultata essere quella relativa ai benefici ambientali derivanti dalla produzione di energia da fonte rinnovabili. Per favorire l’accettabilità sociale di tali tecnologia la popolazione ritiene che sia importante sottolineare i loro benefici ambientali al fine di favorire la loro accettabilità sociale. Per nucleare e termoelettrico tradizionale, le due tecnologie con le “peggiori condizioni” per quanto riguarda la probabilità di avere dei contrasti sociali (grandi dimensioni, alto rischio percepito, basse aspettative sia in termini di evoluzione tecnologica che di nuova capacità installata) la strategia vincente è risultata essere quella relativa alla condivisione delle decisioni con la popolazione.

Per la tecnologia CCS la strategia vincente è risultata essere quella relativa alla divulgazione delle informazioni ed al secondo posto la strategia relativa al parere degli scienziati e persone autorevoli. Questo riflette il fatto che tale tecnologia è risultata essere la meno conosciuta: la popolazione chiede maggior informazioni a riguardo e che tali informazioni arrivino da persone preparate scientificamente.

Per tutte le tecnologie ad esclusione dell'idroelettrico ad alta capacità la strategia relativa alle informazioni (prima colonna delle strategie) si è classificata tra il primo e terzo posto. Questo significa che la popolazione ritiene che le informazioni siano uno dei metodi più importanti al fine di favorire l'accettabilità sociale delle tecnologie energetiche.

Per tutte le strategie la strategia relativa alle opinioni della classe politica si è classifica in ultima posizione.

Per l'idroelettrico ad alta capacità al secondo posto si è classificata la strategia relativa alla condivisione dei benefici economici, strategia che per gran parte delle altre strategie ha ottenuto una posizione non elevata.

Per la tecnologia nucleare la strategia relativa alle informazioni ed all'opinione degli scienziati si sono classificate al secondo e terzo posto. La popolazione ritiene che anche per questa tecnologia ci sia bisogno di maggiori informazioni e che tali informazioni siano date da persone competenti scientificamente.

6.8.5.2. Discussione per strategia

In riferimento alla Tab. 76 in questa sezione vengono fatte alcune osservazioni sulle strategie considerate.

INF - informazione

Per la tecnologia CCS la popolazione ha valutato come strategia vincente quella relativa alla informazioni. La popolazione ritiene che una buona campagna di informazione sia la strategia più efficace per promuovere l'accettabilità sociale del CCS. Questo risultato riflette il fatto che il CCS è una tecnologia molto giovane (ancora in fase di sperimentazione) ed è inoltre la tecnologia meno conosciuta tra quelle proposte, Tab. 67.

Per la tecnologia nucleare la strategia INF si è classificata al secondo posto. La popolazione ritiene che un'opera di diffusione delle informazioni sia una strategia efficace per promuovere l'accettabilità sociale della fonte nucleare.

E' interessante notare che 5 su 10 tecnologie rinnovabili, eolico, biomassa, biogas e moto ondoso, hanno la strategia INF al secondo posto. Questo significa che la gente vuole conoscere meglio gli aspetti inerenti queste tecnologie: una buona campagna di informazione potrebbe essere una strategia efficace per aumentarne l'accettabilità sociale.

Per le fonti rinnovabili solari e per il mini idroelettrico la popolazione ha classificato la strategia INF al terzo posto.

Completamente differente è la situazione per la tecnologia idroelettrica ad alta capacità, la tecnologia tra le rinnovabili con il maggior rischio percepito e dimensioni. In questo caso la strategia INF si è classificata al sesto posto.

DEC - condivisione delle decisioni

Per quasi tutte le tecnologie rinnovabili la strategia DEC è stata valutata con un basso punteggio, si è classificata sesta per tutte le tecnologie ad esclusione dell'idroelettrico ad alta capacità in cui si è classificata quarta.

E' interessante notare che per la tecnologia nucleare e per il termoelettrico tradizionale questa strategia si è classificata al primo posto. Queste due tecnologie presentano i più alti punteggi in termini di rischio percepito e dimensioni percepite ed i minori in termini di aspettative: per le tecnologie di questo tipo la popolazione ritiene che la partecipazione al processo decisionale sia la strategia migliore per promuovere l'accettabilità sociale.

Per la tecnologia CCS la strategia DEC si è classificata in quarta posizione.

ECO - condivisione benefici economici

La partecipazione alla condivisione dei benefici economici si è classificata al secondo posto per la tecnologia idroelettrico ad alta capacità. Per le tecnologie biomassa solida, biogas ed eolico ad alta capacità questa strategia si è classificata al terzo posto. Per le tecnologie basate sul solare e per la tecnologia termoelettrica la condivisione dei benefici economici si è classificata al quarto posto.

Per la tecnologia nucleare questa strategia si è classificata al quinto posto.

ENV - benefici economici

La strategia relativa ai benefici ambientali delle fonti rinnovabili si è classificata al primo posto per tutte le tecnologie rinnovabili. Questo è in accordo al fatto che l'interesse verso le rinnovabili è in relazione ai cambiamenti climatici ed al contributo che esse possono dare per contrastarli.

Per la tecnologia nucleare questa strategia si è classificata quarta: sottolineare i benefici ambientali della tecnologia nucleare non è una strategia ritenuta molto importante dalla popolazione.

Per la tecnologia CCS questa strategia si è classificata al terzo posto.

IND - indipendenza energetica

Per le tecnologie solari e mini idroelettrico la strategia dell'indipendenza energetica si è classificata al secondo posto. Soprattutto per fotovoltaico e pannelli solari per l'acqua calda sanitaria sottolineare il beneficio in termini di raggiungimento dell'indipendenza energetica che esse possono dare potrebbe essere un'ottima strategia per favorirne la loro accettabilità sociale.

Per gli impianti con elevate dimensioni e rischio, termoelettrico e nucleare, questa strategia si è classificata al sesto posto. Interessante osservare come esse si sia classificata al sesto posto anche per la tecnologia nucleare.

SCI - Opinione degli scienziati

Per tutte le tecnologie rinnovabili, ad esclusione del moto ondoso, la tecnologia basata sull'opinione degli scienziati si è classificata tra il quarto e il quinto posto. Per la tecnologia del moto ondoso la strategia si è classificata al terzo posto.

Per la tecnologia CCS questa strategia si è classificata al secondo posto, questo riflette il fatto che il CCS è una tecnologia nuova.

Per la tecnologia termoelettrica l'opinione degli scienziati si è classificata al secondo posto anche se questa tecnologia è una tra le più diffuse e conosciute nel Paese.

Per la tecnologia nucleare questa strategia si è classificata al terzo posto.

POL - Opinione dei politici

La strategia basata sull'opinione dei politici si è classificata all'ultimo posto per tutte le tecnologie.

6.8.6. Dipendenza dal sesso della popolazione

Con riferimento alla Tab. 72 il 71% delle celle presenta differenze significative in funzione del sesso della popolazione. Per le due strategie INF e ENV relative alle informazioni ed ai benefici ambientali ci sono differenze significative per tutte le tecnologie. Proseguendo l'analisi con il "multiple range test" si vede come per quasi tutte le differenze la valutazione minore sia data dalla popolazione di sesso maschile ad eccezione della strategia relativa all'opinione dei politici in cui la valutazione minore è stata data dalla popolazione di sesso femminile.

Per tutte le tecnologie rinnovabili ad esclusione dell'energia marina la popolazione di sesso maschile ha dato una valutazione minore sulle aspettative di evoluzione tecnologica. Per 6 su 10 tecnologie rinnovabili la popolazione di sesso maschile ha dato una valutazione minore sull'aspettativa relativa alla nuova capacità installata.

6.8.7. Dipendenza dall'età

E' interessante notare come per la tecnologia nucleare le valutazioni presentano delle differenze in funzione dell'età della popolazione per quasi tutti i fattori: solamente la strategia relativa all'importanza della condivisione dei benefici economici non presenta differenze significative in funzione dell'età. Per il CCS l'unica strategia che presenta delle differenze in funzione dell'età è la strategia relativa all'opinione dei politici.

La percezione del rischio presenta delle differenze in funzione dell'età per 7 tecnologie su 13.

6.8.8. Dipendenza dal titolo di studio

Con riferimento alla Tab. 74 le percezioni in termini di dimensioni e rischio non presentano molte tecnologie in cui la valutazione dipende dal titolo di studio della popolazione. Solamente per la tecnologia nucleare sia la percezione delle dimensioni che la percezione del rischio presentano differenze significative in funzione del titolo di studio. Tra le strategie proposte alcune presentano differenze significative per gran

parte delle tecnologie, questo è il caso delle strategie DEC (condivisione decisioni), ECO (condivisione benefici economici), IND (indipendenza energetica) e SCI (opinione degli scienziati).

La valutazione sulle aspettative tecnologiche presenta differenze per 10 su 13 tecnologie, nucleare compresa, mentre le aspettative in termini di nuova capacità prevista presenta differenze significative solamente su 4 tecnologie.

6.8.9. Dipendenza dal settore professionale

La strategia relativa all'importanza della condivisione delle decisioni presenta differenze significative per tutte le tecnologie. E' interessante osservare che per questa strategia le differenze tra il campione e la popolazione che lavora nel settore umanistico è presente per quasi tutte le tecnologie.

Discussione per area professionale

Settore tecnico – tecnologico, 1

Ci sono differenze significative nella strategia relativa all'opinione dei politici per 9 su 13 tecnologie. La popolazione con preparazione tecnica ha valutato questa strategia con una valutazione maggiore rispetto al campione per 9 tecnologie su 13. Per le aspettative di evoluzione tecnologica la popolazione che opera in ambito tecnico ha valutato con una valutazione minore ben 6 tecnologie su 13.

Settore umanistico, 2

Per tutte le tecnologie ad esclusione dell'eolico ad alta capacità, la popolazione che opera nel settore umanistico presenta delle differenze di valutazione per la strategia relativa alla condivisione delle decisioni. Essi hanno valutato questa strategia con una valutazione maggiore rispetto il campione evidenziando come per questa categoria della popolazione la partecipazione alle decisioni sia considerata una strategia più importante rispetto alla popolazione intera.

Per la strategia relative alle informazioni, per 7 su 13 tecnologia la popolazione che opera nel settore umanistico ha valutato tale strategia con una media maggiore.

Settore consulenza, 7

Per la popolazione che opera nel campo della consulenza, per 6 su 13 tecnologie la valutazione della strategia DEC – partecipazione alle decisioni è stata valutata con una valutazione minore.

6.9. DISCUSSIONE E CONSIDERAZIONI

Percezioni ed aspettative degli impianti termoelettrici tradizionali

La produzione di energia elettrica da fonti fossili (carbone, prodotti petroliferi e gas) negli ultimi decenni ha contribuito a generare la maggior quota di produzione di energia elettrica, Fig. 3. Le centrali termoelettriche sono presenti nel territorio nazionale da molti anni e sono presenti in quasi tutte le Province e Regioni. Nonostante ciò la percezione del rischio relativo a questa tecnologia è molto alta, seconda solamente alla tecnologia nucleare, Fig. 54. Le aspettative della popolazione nei confronti di questo gruppo di tecnologie sono molto basse: per quanto riguarda le aspettative in termini di evoluzione tecnologica, Fig. 55 le tecnologie per la produzione di energia elettrica da fonte fossile si sono classificate all'ultimo posto. Per quanto riguarda l'aspettativa in termini di nuova capacità installata, Tab. 71 si sono classificate al penultimo posto.

La percezione delle dimensioni degli impianti, Tab. 69 è risultata essere molto elevata, inferiori solamente alla tecnologia nucleare e idroelettrico ad alta capacità.

“Terreno fertile” per fotovoltaico, pannelli solari termici e mini eolico

Le tecnologie con le minori percezioni in termini di dimensioni e rischio percepito e con le maggiori aspettative di evoluzione tecnologica e di nuova capacità installata sono il fotovoltaico, il solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria ed il mini eolico.

In termini di evoluzione tecnologica il fotovoltaico è la tecnologia in cui la popolazione ha le maggiori aspettative, al secondo posto il solare termodinamico ed al terzo posto le tecnologie che sfruttano il moto ondoso Tab. 71.

Per quanto riguarda le aspettative di nuova capacità installata, il fotovoltaico si posiziona ancora al primo posto, seguito dal solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria e dal solare termodinamico.

Si può osservare che le tecnologie basate sulle fonti rinnovabili hanno buoni indici tra la popolazione: basse dimensioni, basso rischio ed alte aspettative. Vi è un terreno “fertile” per spingere il loro sviluppo e favorire la loro diffusione.

Percezione ed aspettative della tecnologia nucleare

L’analisi per la tecnologia nucleare viene approfondita nel capitolo 8.

Alcune considerazioni

(La fiducia è fondamentale e per ottenerla è necessario “essere seri”)

L’accettabilità sociale di un impianto per la produzione di energia elettrica si ottiene instaurando un rapporto di fiducia con la popolazione. Fiducia che si guadagna nel tempo, passo dopo passo con un costante impegno, senza errori, senza “promesse – obiettivi” non raggiunti entro i termini prefissati, operando nella massima trasparenza e congruenza, fornendo risposte chiare alle domande dei cittadini.

Nel caso dell’energia nucleare particolarmente importanti sono le informazioni riguardanti la sicurezza degli impianti e soprattutto la gestione delle scorie radioattive. La creazione della Agenzia per la Sicurezza Nucleare deve essere un processo completamente trasparente, solido e chiaro. Le massime competenze sulla materia in ambito nazionale ed internazionale devono essere convocate e considerate. Le argomentazioni e il processo per cui si giunge alla decisione, alla definizione dello scopo, organizzazione, etc dell’Agenzia devono essere chiare e trasparenti.

7. Situazione nucleare nel mondo

Il Governo Italiano ha espresso la volontà di tornare a produrre energia elettrica da fonte nucleare. Per comprendere al meglio l'effetto che tale fonte energetica potrebbe avere sul sistema energetico italiano è stata fatta una ricerca sulla situazione dell'energia nucleare nel mondo.

7.1. INTRODUZIONE

In questo capitolo viene analizzata la situazione della tecnologia nucleare nel mondo. Vengono analizzate le statistiche relative alla produzione di energia elettrica, affidabilità, produzione di rifiuti radioattivi, gestione delle scorie, aspetti economici ed energetici, sicurezza degli impianti, questioni di proliferazione, emissioni gas serra.

La scelta di analizzare lo status nucleare deriva dal fatto che la produzione di energia elettrica da fonte nucleare in questi anni è stata rivalutata dai Governi di diversi Paesi nel mondo. La fonte termonucleare viene vista come una opzione energetica possibile per soddisfare la crescente richiesta di energia elettrica e le sempre più strette richieste in termini di emissioni di gas serra.

Considerando i vantaggi per la gestione della logistica del combustibile viene vista anche come un'opzione utile per migliorare il grado di indipendenza dalle importazioni.

I dati e le considerazioni espresse in questo capitolo fanno riferimento ad situazione aggiornata all'anno 2007.

7.2. L'INDUSTRIA NUCLEARE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

7.2.1. La consistenza del parco

Nel 2007 nel Mondo c'erano 439 reattori nucleari in funzione per la produzione di energia elettrica, operanti in 30 Paesi aventi una potenza elettrica installata complessiva di 371885 MW(e). Oltre ai reattori commerciali per la produzione di energia elettrica c'erano più di 280 reattori di ricerca operanti in 56 Paesi ed altri erano in costruzione; i loro usi sono di ricerca, per la produzione di isotopi per usi medici o industriali e per esercitazioni, (60), (61), (62), (63).

TAB. 77 - REATTORI IN FUNZIONE NEL MONDO.

Paese	Numero di unità	Potenza MW(e)	Paese	Numero di Unità	Potenza MW(e)
Argentina	2	935	Lituania	1	1185
Armenia	1	376	Messico	2	1360
Belgio	7	5824	Paesi Bassi	1	482
Brasile	2	1795	Pakistan	2	425
Bulgaria	2	1906	ROMANIA	2	1300
Canada	18	12589	Russia	31	21743
Cina	11	8572	Repubblica Slovacca	5	2034
Repubblica Ceca	6	3619	Slovenia	1	666
Finlandia	4	2696	Sudafrica	2	1800
Francia	59	63260	Spagna	8	7450
Germania	17	20470	Svezia	10	8974
Ungheria	4	1829	Svizzera	5	3220
India	17	3779	Ucraina	15	13107
Giappone	55	47587	Gran Bretagna	19	10222
Repubblica di Corea	20	17373	USA	104	100356
				Totale unità: 439	
				Totale potenza: 371855 MW(e)	

35 reattori nucleari di potenza, sono in costruzione per una potenza complessiva prevista di 29343 MW(e) equivalente al 7.3% della potenza attuale.

TAB. 78 - REATTORI IN COSTRUZIONE.

Paese	Numero di unità	Potenza MW(e)	Paese	Numero di unità	Potenza MW(e)
Argentina	1	692	Giappone	1	866
Bulgari	2	1906	Repubblica di Corea	3	2880
Cina	6	5220	Pakistan	1	300
Finlandia	1	1600	Russia	7	4789
Francia	1	1600	Ucraina	2	1900
India	6	2910	USA	1	1165
Repubblica Islamica dell'Iran	1	915			
Totale unità: 35					
Totale Potenza: 29343 MW(e)					

Nel 2007 nel Mondo c'erano 119 reattori nucleari per la produzione di energia elettrica chiusi per una potenza elettrica complessiva di 35165 MW(e).

TAB. 79 - REATTORI NUCLEARI CHIUSI.

Paese	Numero di unità	Potenza MW(e)	Paese	Numero di unità	Potenza MW(e)
Armenia	1	376	Lituania	1	1185
Belgio	1	11	Paesi Bassi	1	55
Bulgaria	4	1632	Russia	5	786
Canada	3	478	Repubblica Slovacca	2	518
Francia	11	3951	Spagna	2	621
Germania	19	5944	Svezia	3	1225
Italia	4	1423	Ucraina	4	3500
JAPAN	3	320	Gran Bretagna	26	3324
Kazakistan	1	52	USA	28	9764
Totale unità: 119					
Totale potenza: 35165 MW(E)					

Alla fine dell'anno 2007 in Europa erano presenti 197 centrali nucleari funzionanti con una potenza elettrica installata netta di 169842 MW(e) e 13 unità con una potenza di 11591 MW(e) in costruzione in 6 Paesi. Nei Paesi dell'Unione Europea, nell'anno 2005, il 35% dell'energia elettrica è prodotta da fonte nucleare. La Francia detiene la "prima posizione" con uno share di circa il 78.5%, a seguire la Lituania con uno share del 70%, Belgio e Repubblica Slovacca con il 56% e la Svezia con il 46.7%. Nell'anno 2005 più del 70% degli impianti esistenti aveva passato il limite dei 20 anni di vita e quasi il 30% hanno più di 30 anni.

7.2.2. La produzione di energia elettrica

La produzione mondiale di energia elettrica da fonte nucleare nel 2006 è stata di 2660 TWh circa il 16% della quantità di energia elettrica prodotta complessivamente nel Mondo. Il settore nucleare civile può contare su oltre 12600 "anni - reattore" di esperienza. 16 Paesi dipendono dall'energia nucleare per almeno un quarto del loro fabbisogno di energia elettrica. Francia e Lituania ottengono circa i 3/4 della loro energia elettrica da fonte nucleare, mentre Belgio, Bulgaria, Ungheria, Repubblica Slovacca, Corea del Sud, Svezia, Svizzera, Slovenia ed Ucraina per più di 1/3. Giappone, Germania e Finlandia ottengono più di 1/4 della loro energia elettrica da fonte nucleare e gli Stati Uniti d'America per quasi 1/5.

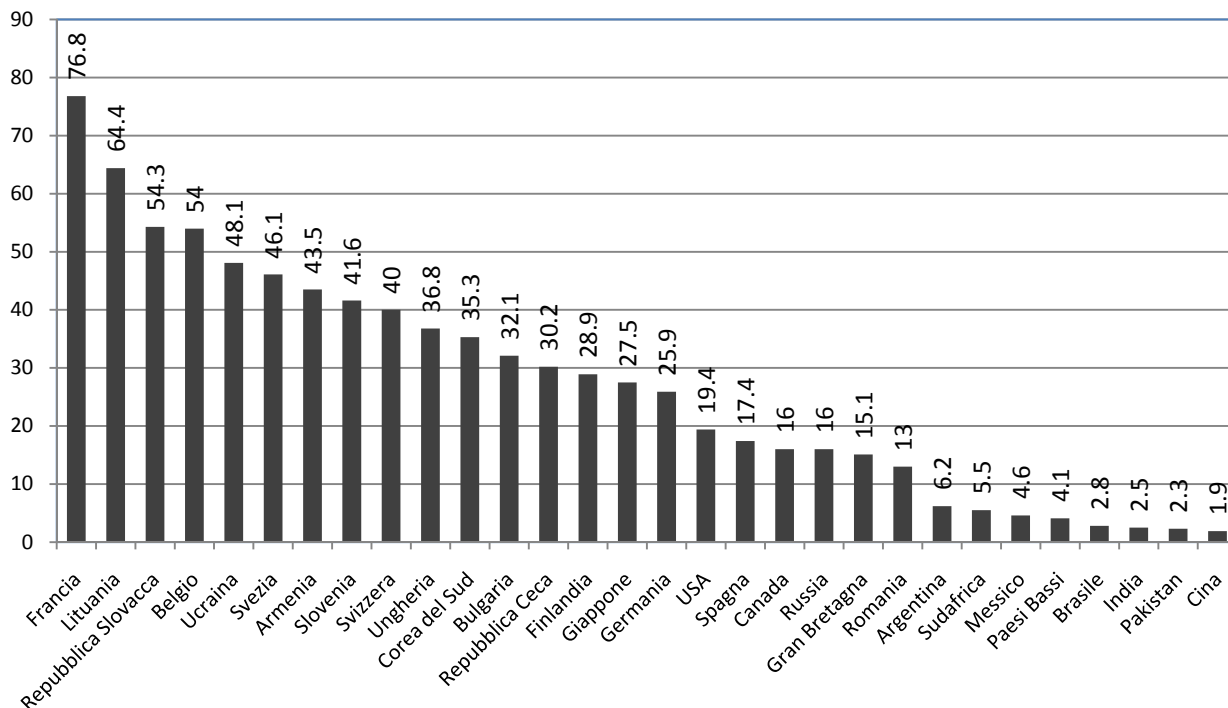


FIG. 56 - SHARE DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA NUCLEARE (2006).

7.2.3. Produzione ed affidabilità

Negli ultimi anni poche nuove centrali sono state costruite ma nonostante ciò la produzione di energia elettrica da fonte nucleare è aumentata; quelle esistenti e funzionanti hanno sempre più aumentato il loro tempo di produzione generando perciò più energia elettrica rispetto ai decenni passati.

Per esempio, l'incremento di produzione tra il 1999 ed il 2006 è stato di 210 TWh pari alla produzione di circa 30 nuove centrali nucleari. Tuttavia in quegli anni non c'è stato nessun incremento nel numero delle centrali esistenti ma solamente un incremento di circa 15 GW(e) in potenza. Il miglioramento è stato ottenuto grazie ad un incremento delle prestazioni in termini di affidabilità delle centrali esistenti che hanno prodotto per un tempo maggiore (64), (65).

Fattore di carico

Il "Fattore di carico" (EAF, Energy Availability Factor) relativo ad un periodo di tempo di riferimento è il rapporto tra la quantità di energia effettivamente prodotta dall'impianto e la quantità di energia che lo stesso impianto avrebbe potuto produrre funzionando alla potenza nominale nello stesso periodo di tempo.

L'energia effettivamente prodotta è data dalla differenza fra l'energia nominalmente producibile e la totale energia persa prevista, la totale energia persa non prevista e le perdite di energia esterne al sistema di controllo dell'impianto. Quindi il fattore di carico si può definire:

$$EAF (\%) = \frac{REG - PEL - UEL - XEL}{REG} \cdot 100$$

La media mondiale, considerando i reattori in funzione e quelli chiusi dall'inizio della loro produzione commerciale fino al 2006 è del 77%. La media mondiale per l'anno 2006 è stata dell'83%.

REG (Reference Energy generation): energia che potrebbe essere prodotta, in determinate condizioni ambientali, dall'impianto qualora operasse in modo continuo alla massima potenza nominale nel periodo di tempo considerato.

PEL (Planned Energy loss): energia che non è prodotta durante il periodo di tempo di riferimento a causa di fermi impianto pianificati o riduzioni di carico dovute a condizioni individuate dal sistema di gestione e controllo dell'impianto. Le perdite di energia sono da considerarsi pianificate se sono previste al minimo con 4 settimane di anticipo. Sono espresse in MWh.

UEL (Unplanned Energy loss): energia che non viene prodotta nel periodo di riferimento a causa di shutdown non pianificati, prolungamenti del tempo di non produzione di energia elettrica o a causa di riduzioni del carico dovute alla gestione del sistema di controllo. Le perdite di energia sono da considerarsi non pianificate se sono previste con un anticipo inferiore a 4 settimane. Sono espresse in MWh.

XEL (External Energy Loss): energia che non è prodotta nel periodo di tempo considerato, a causa di vincoli imposti da condizioni a valle del sistema di controllo (per esempio scioperi del personale, condizioni ambientali critiche, etc.).

L'andamento del fattore di carico negli ultimi 15 anni è rappresentato in Fig. 57.

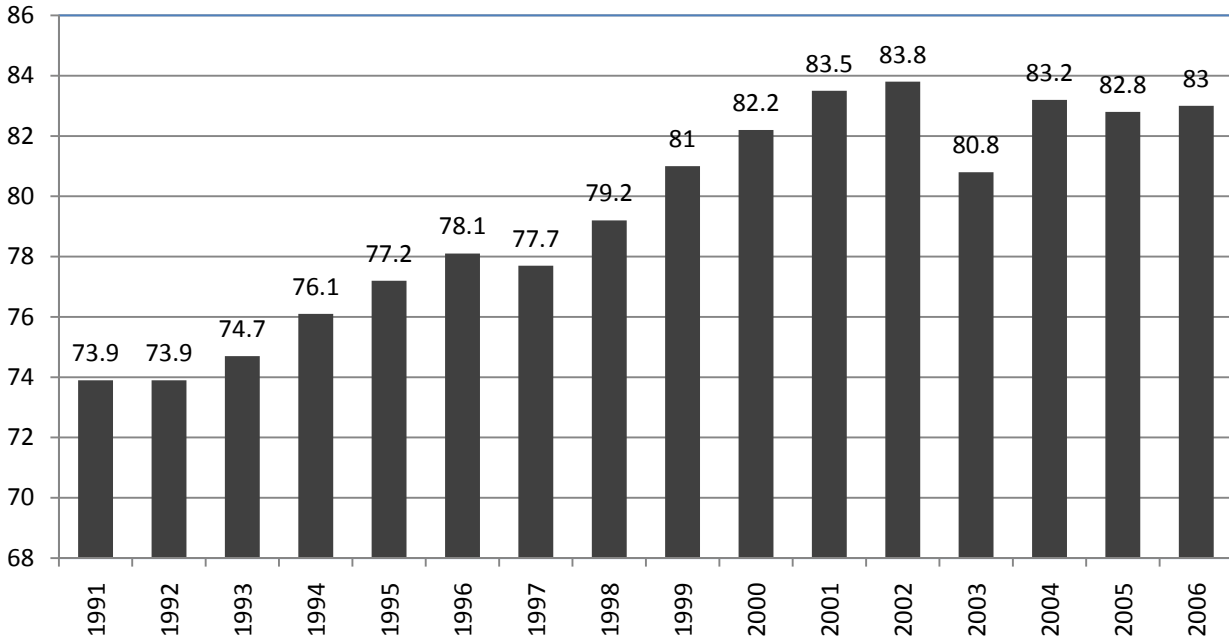


FIG. 57 - ANDAMENTO EAF DAL 1991 AL 2006.

Quasi 1/3 dei reattori esistenti al mondo (134 unità) ha un fattori di carico superiore al 90% e più di 2/3 funziona con un fattore di carico superiore al 75% rispetto ad 1/4 dei reattori nel 1990.

Fattore di capacità

Lo scopo del “fattore di capacità” (UCF, Unit Capability Factor) è di controllare il progresso nel raggiungimento di un elevato standard di affidabilità nella produzione di energia elettrica. L’indice mostra l’efficacia delle procedure e dei programmi di manutenzione dell’impianto nel massimizzare la generazione elettrica e fornisce una indicazione generale di quanto efficacemente l’impianto è gestito.

Il “Fattore di Capacità” è definito come il rapporto tra l’energia effettivamente generata in un certo periodo di tempo e l’energia di riferimento che potrebbe essere stata prodotta nello stesso periodo facendo funzionare l’impianto alla potenza nominale e considerando le sole limitazioni del sistema di controllo dell’impianto (attrezzature dell’impianto, condizioni del personale, controlli). E’ espresso in relazione alle condizioni ambientali di riferimento. Il fattore di capacità si può definire:

$$UCF (\%) = \frac{REG - PEL - UEL}{REG} \cdot 100$$

La media mondiale, considerando tutti i reattori in funzione e quelli chiusi dall’inizio della loro produzione commerciale fino al 2006 è del 78.3 %.

Fattore perdita di capacità non prevista

Lo scopo di questo indicatore è quello di monitorare il progresso nella minimizzazione del tempo di non produzione di energia elettrica e del tempo funzionamento a potenza ridotta che deriva da guasti non

pianificati o da altre condizioni non previste. L'indice misura l'efficacia dei programmi e delle procedure dell'impianto nel mantenere il sistema disponibile per produrre energia elettrica con certezza.

Il fattore "perdita di capacità non prevista" (UCLF, Unplanned Capability Loss Factor) è definito come il rapporto tra la perdita di energia non pianificata e la quantità di energia di riferimento in un certo periodo di tempo. E' espresso in percentuale ed è definito dalla relazione:

$$UCLF (\%) = \frac{UEL}{REG} \cdot 100$$

La media mondiale nel 2006 è stata del 4.2%.

7.3. ASPETTI ECONOMICI DELLA PRODUZIONE ELETTRICA NUCLEARE

I costi fissi hanno una incidenza elevata sul costo totale dell'energia elettrica ovvero il prodotto di una centrale nucleare. Questi costi fissi essenzialmente sono gli oneri finanziari sulle spese di investimento.

Essi sono rappresentati da una funzione complessa di: costo nominale centrale, tempo realizzazione centrale, tasso di interesse, durata vita operativa, fattori medi di disponibilità e di carico durante l'esercizio, costi smantellamento centrale e recupero sito, etc.

Per le centrali nucleari non ha senso parlare di costo del combustibile ma di costo del ciclo di combustibile. Il minerale estratto dalla miniera necessita di un lungo ed oneroso processo di lavorazione prima di essere immesso come combustibile nel reattore.

Altro fattore molto importante per questi impianti caratterizzati da un elevato investimento e una lunga durata è la svalutazione della moneta.

In definitiva il costo complessivo di produzione di energia elettrica da impianto nucleare è dato da:

$$C_e = C_i + C_{cc} + C_{em} + C_{sm}$$

C_i : *costo impianto* (il costo attualizzato dell'impianto dipende dal costo nominale dell'impianto, dalla durata di costruzione, da numero ed importo delle singole operazioni finanziarie durante la costruzione, dal tempo intercorrente fra le singole operazioni e l'istante di attualizzazione, dal tasso di interesse);

C_{cc} : *costi ciclo combustibile* (vi sono esborsi monetari di differente importo da effettuare in tempi diversi per la maggior parte precedenti alla utilizzazione del combustibile nel reattore);

C_{em} : *costi esercizio e manutenzione* (spese retribuzione personale, spese manutenzione ordinaria e straordinaria, costi materiali di consumo, costi condizionamento materiali radioattivi, oneri assicurativi);

C_{sm} : *costo smantellamento* (costi elevati e dipendenti dal tipo di riutilizzo del sito stesso);

7.3.1. I costi di investimento

La competitività della produzione di energia da fonte nucleare dipende essenzialmente dal costo dell'impianto e dagli interessi sul capitale investito durante il periodo di costruzione ed esercizio. I costi di costruzione per unità di potenza sono molto variabili, considerando i più recenti studi di settore essi vanno dai circa 920 €/kW ai 2050 €/kW.

Stabilire un costo di impianto "globale" per unità di potenza è impossibile in quanto esso dipende da molti fattori tra i quali ricordiamo: il Paese ospitante, la specificità del sito, il tipo di tecnologia utilizzato, il tipo di impianto (taglia reattore e numero reattori), la specificità del committente, l'atteggiamento della popolazione. Nella tabella seguente sono riassunti i costi di impianto stimati in alcuni studi presenti in letteratura; si è utilizzando un fattore di conversione di 1€ = 1.3\$.

TAB. 80 - COSTI DI INVESTIMENTO.

Studio	Costo (€/kW)	Note
University of Chicago (66)	923, 1154, 1385	Nello studio sono considerati tre costi di impianto: 1200, 1500, 1800 \$/kW
WEC – A. Clerici (67)	1500 – 2000	
Romanello, Lomonaco, Cerullo, Università di Pisa (68)	1400	

IEA/NEA (69)	770 – 1540	cambio: 1€ = 1.3\$
MIT (70)	1540	cambio: 1€ = 1.3\$
Oeko Institute (71)	2050	

7.3.2. I costi del ciclo del combustibile

La determinazione del costo del ciclo del combustibile deve essere fatta tenendo in considerazione che l'intero ciclo comporta una sequenza piuttosto complessa di operazioni finanziarie di differente importo che vengono effettuate in tempi diversi (precedenti o successivi all'inizio della sua utilizzazione nel reattore). E' necessario perciò fare riferimento nelle stime ai valori attualizzati delle spese sostenute. Le principali fasi del ciclo del combustibile sono: approvvigionamento, conversione in UF₆, arricchimento, riconversione in UO₂, fabbricazione, produzione di energia, trattamento, eventuale riutilizzo. In alcune centrali durante il periodo di produzione di energia è previsto un accantonamento di una somma di denaro necessaria per far fronte ai costi del successivo trattamento.

TAB. 81 - COSTI DEL CICLO DEL COMBUSTIBILE.

Studio	Costo (€/MWh)	Note
University of Chicago (66)	3.46	cambio: 1€ = 1.3\$
WEC – A. Clerici (67)	4 – 6	1 – 4 €/MWh per lo stoccaggio temporaneo, riprocessamento e stoccaggio definitivo del combustibile
Romanello, Lomonaco, Cerullo, Università di Pisa (68)	8.5	0.85 eurocent/kWh
IEA/NEA (69)	2.15 – 9.05	Da 2.8 (Romania) a 11.76 (Giappone) \$/MWh, cambio: 1€ = 1.3\$
Oeko Institute (71)	5.1	

Il costo di acquisto del minerale di uranio incide sul costo di generazione dell'energia elettrica tra il 5% ed il 15%. I prezzi dell'uranio hanno dimostrato di avere una elevata volatilità: da circa 20\$/kg il prezzo è salito a quasi 300 \$/kg nella primavera del 2007, (72).

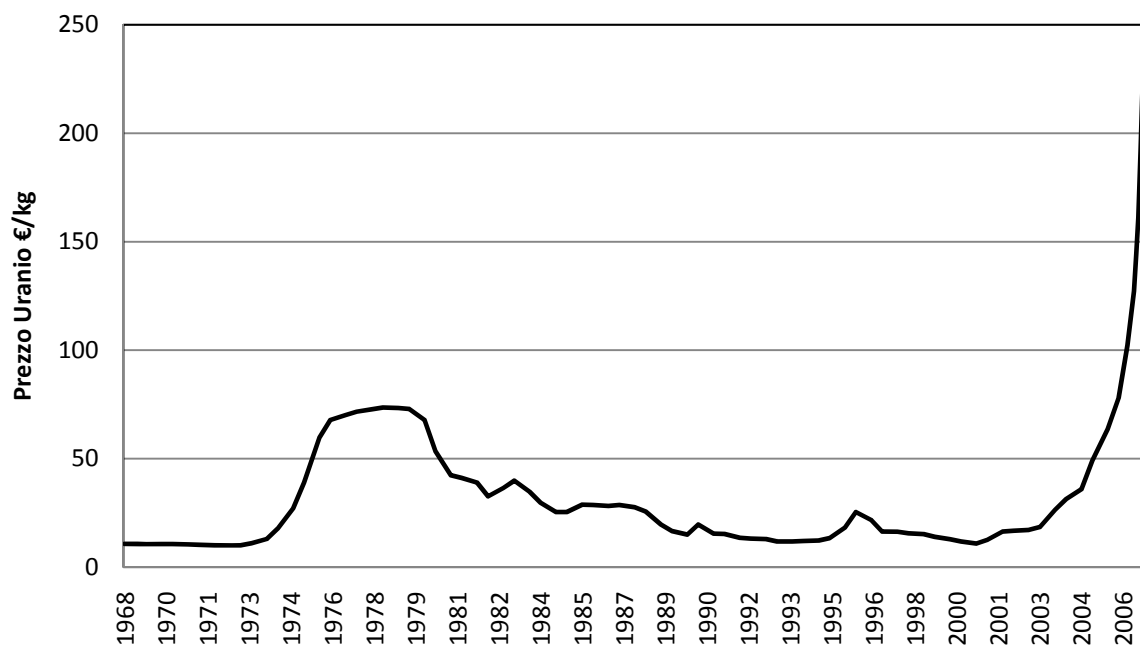


FIG. 58 - ANDAMENTO DEL PREZZO DELL'URANIO [€/KG].

7.3.3. I costi O&M

I costi di esercizio e manutenzione dipendono dal Paese e sono relativi alle spese sostenute per il personale tecnico/amministrativo, attività di ispezione, riparazione, sostituzione, acquisto materiali di consumo, oneri per il magazzino, etc.

TAB. 82 - COSTI DI ESERCIZIO E MANUTENZIONE.

Studio	Costo	Note
--------	-------	------

University of Chicago	Fissi: 46 €/kW Variabili: 1.6 €/MWh	cambio: 1€ = 1.3\$
WEC – A. Clerici	6 – 9 €/MWh	
Romanello, Lomonaco, Cerullo, Università di Pisa	5 €/MWh	0.5 eurocents/kWh
IEA/NEA	40.3 – 94 €/kW per anno	40.3 – 94 €/kW per anno, cambio: 1€ = 1.3\$
MIT	12 €/MWh	cambio: 1€ = 1.3\$
Oeko Institute	61.5 €/kW per anno	

7.3.4. I costi di smantellamento e recupero sito

Nel costo di produzione dell'energia elettrica viene inserita una quota che, attualizzata al momento della chiusura definitiva della centrale, rende disponibile la somma necessaria per le operazioni di smantellamento dell'impianto e di recupero del sito.

TAB. 83 - COSTI DI SMANTELLAMENTO E RECUPERO SITO.

Studio	Costo (€/MWh)	Note
University of Chicago (66)	0.9	con vita 40 anni, fattore di carico 0.85, potenza impianto 1000 MW, cambio: 1€ = 1.3\$
WCE – A. Clerici (67)	0.5 – 1	
Romanello, Lomonaco, Cerullo, Università di Pisa (68)	0.5	0.05 eurocents/kWh
MIT (70)	0.9	con vita 40 anni, fattore di carico 0.85, potenza impianto 1000 MW, cambio: 1€ = 1.3\$

7.3.5. Costo produzione dell'energia

Nella tabella seguente sono illustrate le stime del costo di generazione di energia elettrica da fonte nucleare secondo gli studi più recenti.

TAB. 84 - COSTO DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE NUCLEARE.

Studio	Costo (€/MWh)	Note
Romanello, Lomonaco, Cerullo, Università di Pisa (68)	30	durata di esercizio 40 anni, fattore medio di carico 0.7, costo impianto 1400 €/kW
MIT (70)	52	durata 40 anni, fattore di carico 0.85, costo impianto 1540 €/kW; (67 \$/MWh, cambio: 1€ = 1.3\$)
University of Chicago (66)	42	durata 40 anni, fattore di carico 0.85, costo impianto 1154 €/kW; (54\$/MWh, cambio: 1€ = 1.3\$)
IEA/NEA (69)	29.65	costo impianto: 770 – 1540 €/kW; (da 23 a 54 \$/MWh cambio: 1€ = 1.3\$)
Oeko Institute (71)	53	durata 25 anni
WEC – A. Clerici (67)	30 – 65	durata 60 anni, fattore di carico >0.9, costo impianto 1154 – 1540 €/kW; (30 – 65 €/MWh)

7.3.6. La sensibilità ai principali fattori di costo

In questo paragrafo sono riportati i principali studi sulla sensibilità del costo di generazione dell'energia elettrica da fonte nucleare al variare dei principali fattori quali il costo dell'impianto, il tempo di costruzione, la durata dell'impianto, la presenza di aiuti governativi, il fattore di carico e variazioni sugli interessi dei capitali di investimento.

MIT – The future of nuclear energy (2003)

Lo studio del Massachusetts Institute of Technology (70) afferma che la fonte nucleare non è ancora una scelta economicamente competitiva: essa a differenza delle altre tecnologie richiede aiuti governativi ed ha aspetti inerenti la sicurezza (proliferazioni armi nucleari e stoccaggio rifiuti radioattivi) ancora da risolvere. Tuttavia la fonte nucleare tenuta in considerazione e sviluppata in quanto potrebbe essere una fonte utile per ridurre le emissioni di gas serra in atmosfera.

Lo studio analizza uno scenario di riferimento nel quale viene valutato il costo di produzione dell'energia elettrica da fonte nucleare. Altri scenari considerano:

- costi di costruzione ridotti del 25%;
- riduzione tempo di costruzione: da 5 a 4 anni;

- riduzione costo del capitale: tassi sul capitale investito analoghi ai finanziamenti per centrali gas e carbone (tasso sul capitale al 12% anziché al 15%)

La Tab. 85 riassume i risultati dello studio.

TAB. 85 - COSTO PRODUZIONE ENERGIA ELETTRICA STUDIO MIT.

€/MWh	85		75	
Fattore di carico				
Durata impianto	25	40	25	40
Base scenario	54	52	61	58
Riduzione costo costruzione – 25%	45	42	50	4.8
Riduzione tempo costruzione 12 mesi	43	41	48	46
Riduzione costo capitale: tassi analoghi finanziamenti centrali gas e carbone	36	34	40	38

University of Chicago – The economic future of nuclear power (2004)

Lo studio (66) analizza secondo un modello sviluppato dall'Università di Chicago, il costo di produzione di energia elettrica da fonte nucleare. Senza aiuti federali (studio focalizzato negli Stati Uniti) e per la prima centrale costruita (nessuna riduzione di costo dovuta all'apprendimento) il costo di produzione varia da 32 – 55 €/MWh (47 – 71 \$/MWh, cambio: 1€ = 1.3\$). Vengono calcolati i costi di produzione considerando anche altri scenari.

TAB. 86 - COSTO ENERGIA ELETTRICA DA NUCLEARE IN FUNZIONE DEL FATTORE DI CARICO E TEMPO DI COSTRUZIONE.

€/MWh	Costi (primo impianto)					
Fattore di carico	923 €/kW		1154 €/kW		1385 €/kW	
	durata impianto		durata impianto		durata impianto	
	Tempo di costruzione: 5 anni					
	40	60	40	60	40	60
85	36	36	42	41	48	47
90	34	33	39	38	45	45
95	33	32	38	37	43	42
	Tempo di costruzione: 7 anni					
	40	60	40	60	40	60
85	41	41	48	47	55	54
90	39	38	45	45	52	51
95	36	36	43	42	49	48

Con una combinazione di politiche governative di finanziamento, la produzione da fonte nucleare diviene competitiva. La tabella seguente riassume i costi dell'energia considerando gli effetti combinati degli aiuti governativi:

TAB. 87 - COSTO ENERGIA ELETTRICA DA NUCLEARE IN FUNZIONE DELLE POLITICHE GOVERNATIVE.

€/MWh	Costi (primo impianto)					
Fattore di carico	923 €/kW		1154 €/kW		1385 €/kW	
	Tempo di costruzione		Tempo di costruzione		Tempo di costruzione	
	5	7	5	7	5	7
	Nessuna politica o incentivo					
	36	41	42	48	48	55
	Con una combinazione di politiche ed incentivi					
	20	24	24	29	28	35

Dopo la costruzione di 5 centrali (l'apprendimento abbassa i costi) senza politiche di sostegno:

TAB. 88 - COSTO ENERGIA ELETTRICA DA NUCLEARE IN FUNZIONE DELLE POLITICHE GOVERNATIVE.

€/MWh	costo di costruzione €/kW	
percentuale di risparmio	923 e 1154	1385
7 anni per la costruzione, 10% tasso di interesse debito, 15% tasso sul capitale		
3	38	45
5	37	43
10	34	40

5 anni per la costruzione, 7% tasso di interesse debito, 12% tasso sul capitale		
3	27	31
5	26	30
10	25	28

IEA/NEA

Questo studio (69) analizza e valuta i costi di produzione di energia elettrica da impianti alimentati da diverse fonti. I risultati dello studio sono riassunti nella Fig. 59. Per la fonte nucleare il costo di produzione varia tra 18 e 42 €/MWh (fattore di conversione di 1€ = 1.3\$ - 23 e 54 \$/MWh).

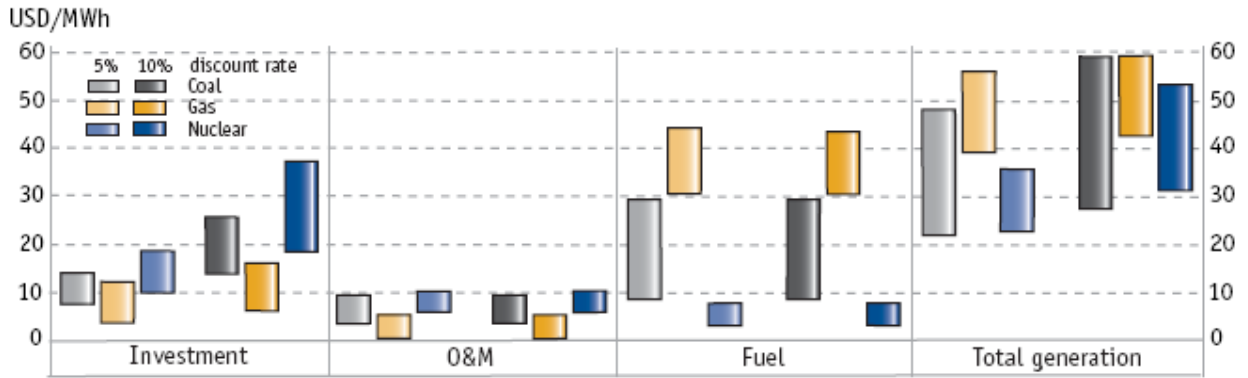


FIG. 59 - COSTI DI PRODUZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA DA FONTE NUCLEARE, CARBONE E GAS SECONDO IEA/NEA.

7.4. IL COSTO ENERGETICO

In questo paragrafo vengono riportati i principali studi di analisi energetica del ciclo di vita di un impianto nucleare. Il bilancio energetico di un impianto nucleare può essere rappresentato con il diagramma di Fig. 60.

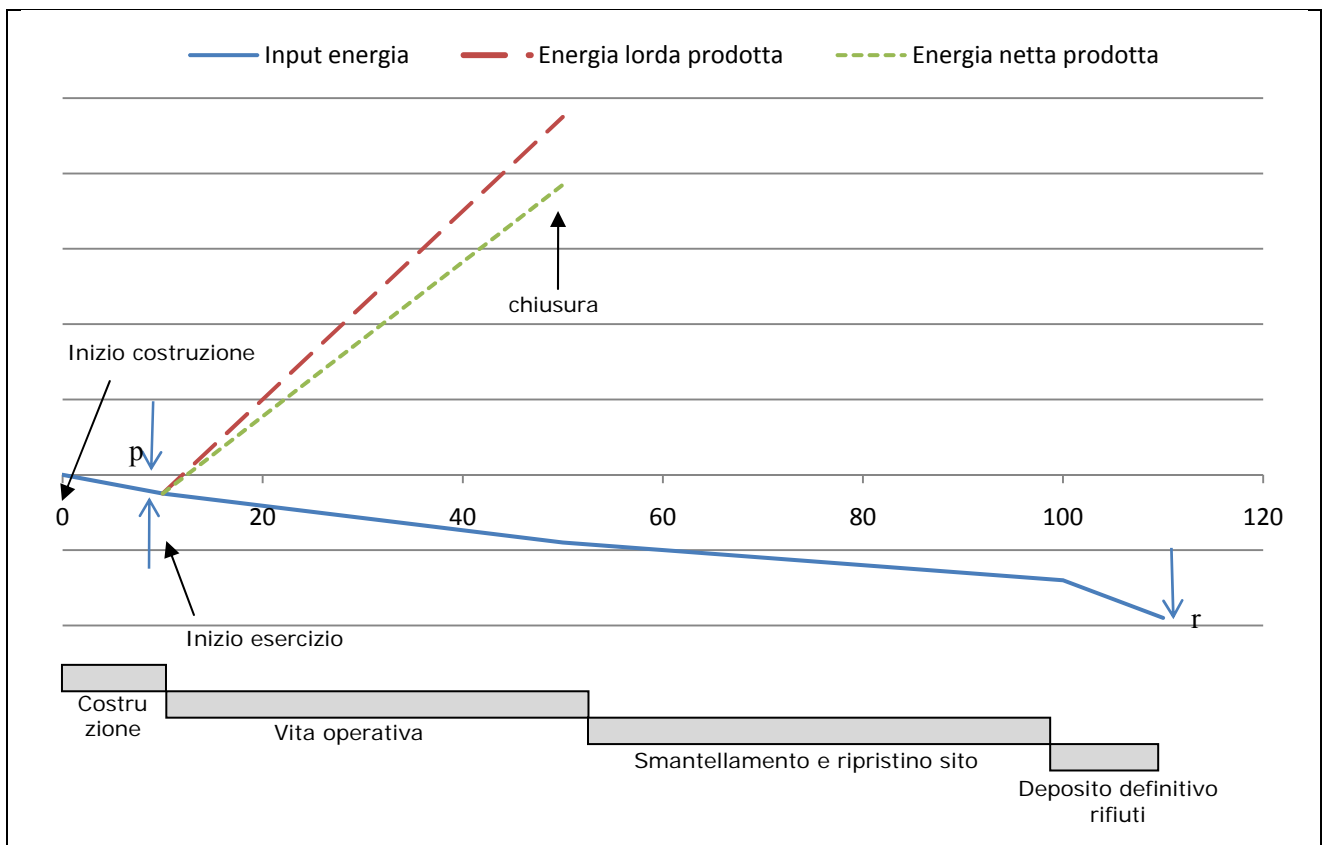


FIG. 60 - BILANCIO ENERGETICO DI UN IMPIANTO NUCLEARE.

Il fattore “debito energetico” è dato dalla somma dell’energia spesa per la costruzione (p) e smantellamento dell’impianto (r). L’energia prodotta dalla centrale durante la sua vita utile è data dalla linea “energia netta prodotta”.

Si definisce il “rapporto di ritorno energetico - RRE” come il rapporto tra l’energia prodotta durante la vita dell’impianto e la totale energia impiegata per la sua costruzione (energia per acquisizione del materiale, costruzione, esercizio impianto, acquisizione e lavorazione combustibile) e smantellamento; non si considera l’energia del combustibile usata direttamente per produrre energia elettrica (compreso il vento e il sole). Può essere definito analiticamente come:

$$RRE = \frac{\text{energia elettrica fornita}}{\text{input energetici indiretti ciclo di vita}}$$

TAB. 89 - RAPPORTO DI RITORNO ENERGETICO.

Tipo di impianto	Rapporto di ritorno energetico	
	Scott White (73)	Paul J. Meier (74)
Eolico		23
Fotovoltaico		6
Fusione nucleare	32	27
Fissione nucleare	15	16
Carbone	12	11
Gas CC		4

Si definisce il fattore “Efficienza energetica dell’intero ciclo di vita” il rapporto tra l’energia utile prodotta dall’impianto e l’energia fornita per la costruzione ed esercizio dell’impianto. Può essere definito analiticamente come:

$$EEC = \frac{\text{energia elettrica fornita}}{\text{input energetici indiretti ciclo di vita} + \text{input energetici diretti combustibile}}$$

TAB. 90 - EFFICIENZA ENERGETICA CICLO DI VITA.

Tipo di impianto	Efficienza energetica ciclo di vita
Eolico	12 %
Fotovoltaico	4 %
Fusione nucleare	44 %
Fissione nucleare	31 %
Carbone	30 %
Gas CC	43 %

Nella tabella seguente sono riportati i risultati di alcuni studi inerenti l’energia necessaria per costruire una centrale e la produzione di energia annua degli impianti considerati. Si definisce come “tempo di ritorno energetico” il tempo che la centrale deve funzionare alla potenza nominale per generare una quantità di energia pari a quella spesa per la sua costruzione e smantellamento.

TAB. 91 - DEBITO ENERGETICO E TEMPO DI RITORNO ENERGETICO.

Studio	Energia costruzione e smantellamento (PJ)	Produzione annua (PJ/anno)	Tempo di ritorno energetico (anni)
SLS (75)	200	19.25	10.4
Vattenfall's EDP 2002 (76)	4.1	83	0.6
Chapman 1975 (76)	13.6		
Held et al 1977 (76)	14.76		
Perry et al 1977 (76)	24.1		

In relazione alla concentrazione del minerale di uranio da estrarre ed in relazione alla facilità di estrazione il fattore “tempo di ritorno energetico” varia come riassunto nella tabella seguente, (75).

TAB. 92 - SENSIBILITÀ DEL TEMPO DI RITORNO ENERGETICO VERSO LA CONCENTRAZIONE DELL'URANIO NEL MINERALE ESTRATTO.

Concentrazione U ₃ O ₈	Tempo di ritorno energetico (anni)	
	Minerale soffice (numero di anni con fattore di carico 0.85)	Minerale duro (numero di anni con fattore di carico 0.85)
10	9.4	9.4
1	9.4	9.5
0.5	9.5	9.6
0.15	9.8	10.0
0.10	10.1	10.4
0.06	10.6	11.4
0.05	11.0	11.9
0.04	11.5	13.0
0.03	12.7	15.4
0.02	16.6	26.7
0.013	1151	-

7.5. SICUREZZA DEGLI IMPIANTI

7.5.1. Incidenti e rischio

Una questione di importanza fondamentale per la produzione di energia elettrica da fonte nucleare è la sicurezza del reattore.

I principali studi sui rischi di incidente sono lo studio The Reactor Safety Study (RSS) conosciuto con il suo numero di documento WASH 14000, (77) e lo studio "Severe Accident Risks: an assessment for five U. S. Nuclear Power Plants" conosciuto come NUREG 1150, (78).

L'obiettivo di questi studi è di stimare la probabilità con cui gli incidenti aventi rilascio di radioattività nell'ambiente possono avvenire e determinarne conseguenze economiche ed effetti sulla salute. Il risultato degli studi è che la fusione del nocciolo può avvenire con una probabilità che varia da 1/100000 a 1/10000 per anno-reattore. L'incidente con gli effetti peggiori (catastrofico) per la popolazione si ha quando avvengono contemporaneamente la fusione del nocciolo, la rottura del sistema di contenimento, il vento soffia nella direzione di una zona densamente abitata, presenza di inversione termica e vi è un fallimento nell'evacuazione della popolazione.

TAB. 93 - PROBABILITÀ DI EVENTO CATASTROFICO.

Probabilità di fusione del nocciolo (1/100000 – 1/10000)	1/10000
Probabilità di rottura dei sistemi di contenimento	1/100
Probabilità che il vento soffi in direzione di una zona densamente abitata	1/10
Probabilità di inversione termica	1/10
Probabilità di fallimento nell'evacuazione dei civili	1/10
Probabilità di evento catastrofico → 1/100000000	

Nel caso in cui le condizioni peggiori si verificano contemporaneamente la probabilità di incidente catastrofico risulta pari a 1 su 1 miliardo di anni-reattore.

Per esempio negli Stati Uniti dove ci sono circa 100 reattori in funzione, la frequenza di un evento catastrofico è di 100 su 1 miliardo ovvero di 1 su 10 milioni di anni reattore. Questo significa che negli Stati Uniti, senza miglioramenti degli apparati e procedure di sicurezza, è probabile che avvenga un incidente catastrofico ogni 10 milioni di anni. L'esperienza complessiva mondiale attualmente è di circa 13000 anni – reattore.

Gli incidenti nelle centrali nucleari sono classificati secondo la scala INES (International Nuclear Event Scale) da 0 (semplice guasto) a 7 (incidente molto grave). La classificazione degli incidenti non è facile: spesso gli incidenti minori sono stati coperti dal segreto militare o non comunicati al grande pubblico. Nella tabella seguente sono elencati gli incidenti più critici avvenuti negli ultimi decenni.

TAB. 94 - ELENCO DEI MAGGIORI INCIDENTI NUCLEARI.

Scala INES	Paese	Incidente
------------	-------	-----------

6	Kyshtym (Unione Sovietica, 1957)	Un bidone di rifiuti radioattivi prese fuoco ed esplose contaminando migliaia di Km ² di terreno. Furono esposte alle radiazioni circa 270.000 persone.
5	Sellafield (Gran Bretagna, 1957)	Un incendio nel reattore dove si produceva plutonio per scopi militari generò una nube radioattiva. La nube attraversò l'intera Europa. Sono stati ufficializzati 300 morti per cause ricondotte all'incidente (malattie, leucemie, tumori).
4	Jaslovské Bohunice (Czechoslovackia, 1977)	A causa di un errore di un operatore una barra di combustibile venne caricata, senza rimuoverne l'umidità, nel reattore KS150 dell'impianto A-1. L'incidente portò ad un rilascio di radioattività nell'area della centrale. La centrale venne smantellata dopo l'incidente.
5	Three Mile Island (Usa, 1979)	Il surriscaldamento del reattore provocò la parziale fusione del nucleo rilasciando nell'atmosfera gas radioattivi pari a 15000 TBq. In quella occasione vennero evacuate 3.500 persone.
4	Orléans (Francia, 1980)	Una variazione di Potenza nel reattore A2 portò alla rottura del contenitore del combustibile ed un rilascio di 8×10^{10} Bq di materiale radioattivo. Il reattore è stato riparato ed ha continuato a funzionare fino al 1992.
4	Buenos Aires (Argentina, 1983)	Durante la riconfigurazione del combustibile in un reattore sperimentale un operatore assorbì una quantità di radiazione tale da morire dopo 2 giorni. Altre 17 persone che stavano all'esterno della camera del reattore assorbirono dosi da 35 rad a 1 rad.
7	Chernobyl (Unione Sovietica, 1986)	L'incidente nucleare in assoluto più grave di cui si abbia notizia. Il surriscaldamento provocò la fusione del nucleo del reattore e l'esplosione del vapore radioattivo. Si levò al cielo una nube pari a 12.000.000 TBq di materiale radioattivo disperso nell'aria (per avere un'entità del disastro confrontate questo valore con i 15.000 Tq del'incidente nucleare registrato nel 1979 a Three Mile Island negli Usa). Circa 30 persone morirono immediatamente, altre morirono nel periodo successivo per malattie e cause tumorali. L'intera Europa fu esposta alla nube radioattiva.
4	Tomsk (Russia, 1993)	Un contenitore di soluzione di paraffina e fosfato tributilico utilizzata per decontaminare i reattori nucleari dimessi è esploso. Il contenitore era situato nella sezione separata dell'impianto SCC conosciuta come Oggetto 15. Aveva un volume di 34,1 metri cubi e conteneva 25 metri cubi di soluzione composta all'incirca da 8.773 chilogrammi di uranio e 310 chilogrammi di plutonio.
4	Tokaimura (Giappone, 1999)	Un incidente in una fabbrica di combustibile nucleare attivò la reazione a catena incontrollata. Tre persone morirono all'istante mentre altre 400 furono esposte alle radiazioni.

7.5.2. Dosi radioattive emesse dalle centrali nucleari

A livello planetario la dose media ricevuta da un individuo mediamente è di circa 2,4 mSv/anno. Questo valore può variare in relazione alla geologia del luogo e alla altitudine in cui una persona vive e varia da 1 a 10 mSv/anno.

La dose massima ammessa per i lavoratori in luogo radioattivo è di 20 mSv/anno. La dose media di un lavoratore in ambito nucleare degli Stati Uniti è di 2.4 mSv/anno.

La dose media ricevuta dalla popolazione mondiale derivante da impianti nucleari di produzione di energia elettrica è in media di 0.0002 mSv/anno e corrisponde a meno dell'1% della dose annua totale ricevuta dalla radiazione di fondo.

7.5.3. Proliferazione nucleare

Vi è una stretta connessione tra uso militare e usi civili del nucleare. Gli Stati Uniti d'America hanno cercato di separare il nucleare per uso civile da quello per uso militare.

Il primo intervento lanciato per limitare la proliferazione del nucleare fu il programma "Atom for Peace" del 1953 il quale chiedeva agli altri paesi di rinunciare alla corsa verso il nucleare militare in cambio di aiuto per sviluppare la tecnologia del nucleare civile.

Nel 1968 viene firmato il Trattato di non Proliferazione che vede l'adesione di tutti gli Stati del mondo, dotati di armi nucleari e non, ad eccezione di India, Israele, Pakistan e Cuba.

L'obiettivo principale del Trattato è, nel breve periodo, il controllo e, nel lungo periodo, il disarmo totale di tutti quei Paesi ancora in possesso di armi atomiche. Il Trattato proibisce, infatti, agli stati firmatari di fabbricare, distribuire o acquisire armamenti, tecnologie o materiali utilizzabili per la loro costruzione. L'utilizzo delle tecnologie nucleari è ammesso solo per scopi pacifici sotto lo stretto controllo e approvazione dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (AIEA).

Il potenziale pericolo rappresentato dai gruppi terroristici e le vicende del Medio Oriente hanno indotto i diversi Paesi a rafforzare il Trattato attraverso l'emanazione del Protocollo Aggiuntivo (P.A.). Il Protocollo Aggiuntivo prevede che gli Stati firmatari raccolgano, presso gli operatori interessati, e forniscano dettagliate informazioni, non solo sulle attività nucleari, ma anche su quelle che pur non trattando materie nucleari, dispongano di componenti, anche di natura convenzionale, connesse al ciclo del combustibile nucleare. L'obiettivo del Protocollo è di verificare, anche attraverso l'esteso diritto di accesso riconosciuto all'AIEA: se il materiale nucleare è utilizzato in modo diverso rispetto allo scopo dichiarato; se esiste materiale non dichiarato.

Nel 1976 viene lanciato il programma “International Nuclear Fuel Cycle Evaluation” (INFCE) lanciato dagli Stati Uniti d’America il quale chiede agli altri paesi di rinunciare ad un determinato percorso di sviluppo della tecnologia nucleare considerato in grado di favorire l’uso militare di tale tecnologia.

7.6. AMBIENTE

7.6.1. Produzione di rifiuti radioattivi

TAB. 95 - CLASSIFICAZIONE RIFIUTI RADIOATTIVI.

Prima categoria Rifiuti a bassa attività	Seconda categoria Rifiuti a media attività	Terza categoria Rifiuti ad alta attività
Rifiuti la cui radioattività decade in tempi dell'ordine di mesi o al massimo di qualche anno. Esempi: rifiuti da impieghi medici o di ricerca, con tempi di dimezzamento pari o inferiori a 75 giorni. Smaltimento: come i rifiuti convenzionali.	Rifiuti che decadono in tempi dell'ordine delle centinaia di anni a livelli di radioattività di alcune centinaia di Bq/g, e che contengono radionuclidi a lunghissima vita media a livelli di attività inferiori a 3700 Bq/g nel prodotto condizionato. Esempi: rifiuti da reattori di ricerca e di potenza, rifiuti da centri di ricerca, rifiuti da disattivazione di impianti. Smaltimento: in superficie o a bassa profondità con strutture ingegneristiche.	Rifiuti che decadono in tempi dell'ordine delle migliaia di anni a livelli di radioattività di alcune centinaia di Bq/g, e che contengono radionuclidi a lunghissima vita media a livelli di attività superiori a 3700 Bq/g nel prodotto condizionato. Esempi: rifiuti vetrificati e cementati prodotti dal riprocessamento; combustibile irraggiato se non riprocessato; rifiuti contenenti plutonio. Smaltimento: in formazioni geologiche a grande profondità.

Un reattore da 1000 MW(e) ad acqua leggera produce circa 200 – 350 m³ di rifiuto a bassa e media radioattività all’anno. Produce anche circa 27 t di combustibile usato per anno. Il combustibile esausto può essere interamente considerato rifiuto ad alta radioattività oppure può essere riprocessato. In entrambe le soluzioni il combustibile usato viene dapprima stoccato in speciali piscine riempite d’acqua per qualche decina d’anni.

Senza riprocessamento

Se il combustibile esausto non viene riprocessato viene considerato tutto rifiuto ad alta radioattività. Esso viene stoccato nel sito della centrale in piscine profonde circa 10 metri con all’interno dell’acqua che lo raffredda e ne scherma le emissioni radioattive. Esistono anche stoccaggi “a secco” in cui il raffreddamento avviene per circolazione d’aria e la schermatura tramite cemento. Lo stoccaggio permane per circa 40 anni dopodiché la radioattività si è ridotta di 1000 volte. A questo punto il combustibile viene posto in depositi geologicamente stabili (non ancora definiti). Poiché il rifiuto non riprocessato contiene una gran quantità di uranio esso rappresenta ancora un valore economico e vi è un crescente interesse ad evitare di stoccarlo per sempre. Considerando una produzione di 27 t di combustibile esausto questa soluzione produce annualmente circa 75 m³ di volume di rifiuti.

Con riprocessamento

Se il combustibile esausto viene riprocessato, uranio e plutonio vengono separati e riciclati mentre i prodotti di fissione e transuranici sono considerati rifiuti ad alta radioattività. Essi producono molto calore e sono molto radioattivi. Vengono vetrificati e racchiusi in contenitori di acciaio inossidabile. Dopodiché vengono stoccati definitivamente in siti a notevole profondità. Questi materiali non hanno più alcuna utilità futura. Considerando una produzione di 27 t di combustibile esausto all’anno questa soluzione produce rifiuti per un volume di circa 3 m³ dal peso circa 700 kg. Il volume complessivo necessario è di circa 28 m³ in quanto i rifiuti vetrificati sono racchiusi in contenitori cilindrici.

7.6.2. Materiale stoccato e siti di stoccaggio

Attualmente ci sono circa 270000 t di combustibile esausto in stoccaggio, la maggior parte di esso è stoccato nelle centrali nucleari. Il 90% di esso è in piscine con acqua, il resto in stoccaggio a secco. L’incremento annuo di combustibile esausto è di 12000 t, circa 3000 t di esso viene riprocessato.

Nel caso di rifiuti a bassa attività che costituiscono circa il 95% dell'intera produzione di rifiuti radioattivi, l'isolamento deve essere garantito al massimo per qualche secolo. Lo smaltimento dei rifiuti a bassa attività è praticato industrialmente mediante la collocazione dei manufatti in strutture ingegneristiche di vario tipo nella maggior parte dei casi realizzate in superficie (79), (80), (81), (82), (83).

I rifiuti ad alta radioattività mantengono elevati livelli di radioattività incompatibili con l'ambiente umano, per migliaia o decine di migliaia di anni. Per questo motivo non è possibile, per il loro confinamento affidarsi a barriere costruite dall'uomo. Si prevede quindi di stoccare questi rifiuti in formazioni geologiche profonde centinaia o migliaia di metri le quali possono garantire l'isolamento dei rifiuti nucleari per periodi di tempo geologici. Dopo 1000 anni che i rifiuti sono stati sepolti la radioattività rimanente è sui livelli di quella del minerale di uranio con la differenza che la concentrazione nel deposito sarà maggiore. In attesa di disporre di siti "con durata geologica" per lo stoccaggio, i rifiuti vengono conservati in sistemi artificiali in grado di isolarli dall'ambiente per qualche decina d'anni.

I depositi in profondità sono ancora nella fase di studio o in fase di realizzazioni pilota; non esistono attualmente al mondo depositi a lungo termine per i rifiuti radioattivi ad alta attività.

In USA tutti i rifiuti ad alta radioattività rimangono stoccati nel sito della centrale. E' previsto di racchiudere ed assemblare questi rifiuti derivanti da combustibile usato in un deposito sotterraneo nei pressi di Yucca Mountain, Nevada. Questo programma è finanziato da un fondo creato ponendo in tariffa elettrica 0.1 \$_{cent}/kWh. Attualmente sono stati utilizzati 6 G\$ e ne sono stati accantonati 26 G\$.

In Europa la maggior parte del combustibile esausto viene inviata agli impianti di riprocessamento. L'uranio ed il plutonio recuperato vengono re - inviati ai proprietari ed i rifiuti separati (circa 3% del totale combustibile usato) vengono vetrificati, chiusi in appositi contenitori di acciaio inossidabile e stoccati o re-inviati al proprietario. Alla fine, si prevede che vengono stoccati in depositi geologicamente stabili non ancora definiti.

Il problema dello stoccaggio e smaltimento dei rifiuti radioattivi è uno degli ostacoli principali che rallenta l'espansione dell'energia nucleare nella produzione di energia elettrica.

7.6.3. Emissioni gas Serra

La produzione di energia elettrica da fonte nucleare è spesso descritta come un processo che non emette gas con effetto serra in atmosfera. In realtà, solo le operazioni nel reattore sono "carbon free" ovvero senza emissioni di CO₂. Tutte le altre operazioni della filiera del combustibile, estrazione dalle miniere, frantumazione e macinazione, fabbricazione del combustibile, arricchimento e gestione delle scorie, necessitano di energia la quale essendo fornita anche da combustibile fossile causa l'emissione di CO₂.

La quantità di gas serra emessi indirettamente è difficilmente quantificabile. La tabella seguente riassume i risultati dei principali studi di settore sulle emissioni di gas serra in atmosfera nell'intero ciclo di vita di un impianto nucleare.

TAB. 96 - EMISSIONI DI GAS SERRA NEL CICLO DI VITA DI UN IMPIANTO NUCLEARE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA.

Studio	Emissione g _{CO2} /kWh nucleare	Note
SLS (75)	108	Ciclo combustibile + costruzione e smantellamento centrale
Oeko Institute (71)	33	Ciclo del combustibile + costruzione centrale
CANDU (84)	15.41	Ciclo del combustibile + costruzione centrale + smantellamento; 15.41 se energia indiretta fornita tutta da fossile, altrimenti 3.20 se si considera anche energia da fonti rinnovabili
S. W. White (73)	3.89 – 4.3	Ciclo del combustibile; solo CO ₂
P. J. Meier (74)	15	Ciclo combustibile + costruzione + smantellamento
British Energy – Torness Power Plant (85)	5.06	Ciclo combustibile + costruzione + smantellamento
BERR (86)	11 – 22	Ciclo combustibile + costruzione + smantellamento
SDC (87)	4.4	Ciclo del combustibile + costruzione
IAEA (88)	2.5 – 5.7	Ciclo combustibile + costruzione +

	smantellamento
--	----------------

SLS

Uno degli studi più dettagliati su questo argomento è la ricerca di Jan Willem Storm van Leeuwen e Philip Smith (SLS), (75). Gli autori del rapporto assumono, che l'energia indiretta venga fornita da fonti fossili avente una emissione di CO₂ pari a 75 g_{CO2}/MJ (termico) pari a 270 g_{CO2}/kWh. Per un impianto di riferimento con condizioni di riferimento, il ciclo di preparazione del combustibile, l'esercizio della centrale e lo smaltimento dei rifiuti hanno i fattori di emissione di CO₂ presentati in Tab. 97.

TAB. 97 - EMISSIONI DI CO₂ DEL CICLO DEL COMBUSTIBILE, SCENARIO "BASE" DURATA 30 ANNI E FATTORE DI CARICO 0.82.

	g _{CO2} /kWh
Escavazione, frantumazione, conversione, arricchimento, fabbricazione barre	8.78
Esercizio impianto e ricariche	24.37
Gestione combustibile usato	16.63
Emissioni totali relative al ciclo del combustibile	49.8

ma è necessario considerare anche il "debito" di CO₂ dovuto alla costruzione e smantellamento della centrale.

TAB. 98 - EMISSIONI DI CO₂ PER LA COSTRUZIONE E LO SMANTELLAMENTO DELLA CENTRALE, SCENARIO "BASE" DURATA 30 ANNI E FATTORE DI CARICO 0.82.

	g _{CO2} /kWh
Emissioni durante la costruzione	23.2
Emissioni durante lo smantellamento	34.8
Emissioni totali per costruzione e smantellamento dell'impianto	58

Il totale fattore di emissione di CO₂ medio legato alla centrale nucleare di riferimento dello studio SLS vale quindi circa 108 gCO₂/kWh.

Oeko Institute (2006)

Lo studio dell'istituto tedesco Oeko Institute (71) analizza le emissioni gas serra in atmosfera per i diversi tipi di impianto di produzione di energia elettrica. Lo studio utilizza il modello e database GEMIS (Global Emission Model for Integrated System) il quale raccoglie ed aggiorna dal 1987 i dati relativi ai combustibili fossili, ai processi di combustione e di produzione di energia elettrica, alle emissioni di gas serra, ai rifiuti solidi e liquidi e relativi all'utilizzo dei terreni.

Questo studio calcola una emissione di circa 31 g_{CO2}/kWh prodotto di energia elettrica. Considerando che vengono emessi anche altri gas serra oltre all'anidride carbonica l'emissione globale equivalente è stimata essere di 33 g_{CO2}/kWh. Il documento afferma che altri studi internazionali stimano le emissioni in 30 – 60 g_{CO2}/kWh. In conclusione, per quanto riguarda l'emissione di gas serra, la produzione di energia elettrica da nucleare non è "la vincitrice".

Studio J. Meier (2002) – University of Wisconsin – Fusion Technology Institute

In questo studio, (74), sono calcolate le emissioni di gas serra in atmosfera derivanti dall'intero ciclo di vita di alcune tipologie di centrali. Vengono considerate le emissioni durante la costruzione, l'esercizio, lo smantellamento e la lavorazione del combustibile. La tabella seguente illustra i risultati per l'energia da fonte nucleare e li confronta con i rapporti di emissioni di altre tecnologie.

TAB. 99 - RAPPORTO DI EMISSIONE MEDIO PER TIPOLOGIA DI IMPIANTO.

"Tradizionali"	Rapporto di emissione medio (g _{CO2eq.} /kWh)
Gas	622
Carbone	1041
Petrolio	875
Carbone/petrolio	1030
Rinnovabili/nucleare	Rapporto di emissione medio (g _{CO2eq.} /kWh)
Nucleare	17
Idroelettrica	18
Biomassa	46
Eolico	14

Solare fotovoltaico	39
Geotermico	15

7.6.4. Utilizzo di acqua

La lavorazione e preparazione del combustibile per i reattori nucleari richiede l'utilizzo di elevate quantità di acqua. In relazione alla geologia, alla posizione geografica ed alla concentrazione di uranio, le quantità di acqua necessarie per l'escavazione del minerale per alcune delle più importanti miniere nel mondo sono riportate nella tabella seguente, (89).

TAB. 100 - CONSUMO DI ACQUA NEL CICLO DEL COMBUSTIBILE.

Miniera	Grado di concentrazione medio (%U ₃ O ₈)	Produzione annua (t U ₃ O ₈)	Consumo di acqua (kl/t _{U₃O₈})
Ranger	0.28 – 0.35	5000	46.2 ± 8.2
Olympic (100%)	0.064 – 0.114	4300	2899 ± 503
Olympic (20%)			580 ± 101
Rossing	0.034 – 0.041	3700	863 ± 107
Cluff Lake	2.71	Chiusa	365
McLean Lake	1.45 – 2.29	2750	257 ± 62
Beverley	0.18	1000	7731 ± 802
Niger	0.2 – 0.5	3100	Nessun dato
Cameco	0.9 – 4	8500	Nessun dato

8. Effetto dell'energia nucleare sul sistema energetico italiano

In questo capitolo viene analizzato l'effetto della reintroduzione della tecnologia nucleare sul sistema elettrico italiano e le difficoltà in termini di accettabilità sociale che la tecnologia nucleare potrebbe incontrare. Dapprima sono analizzate le implicazioni di carattere energetico: mediante 2 scenari, ciascuno con 4 casi studio, si analizzano gli effetti della produzione di energia elettrica da fonte termonucleare sul mix di generazione e sulle emissioni di gas serra per il periodo 2007 – 2030.

In secondo luogo viene esaminata la questione dell'accettabilità sociale per la tecnologia nucleare, tecnologia che come si è visto nel capitolo 6 presenta delle percezioni e delle aspettative nella popolazione largamente diverse rispetto le tecnologie tradizionali e rinnovabili. Le valutazioni date dalla popolazione per la tecnologia nucleare vengono presentate con particolare dettaglio e vengono sottolineati i risultati più interessanti emersi dal sondaggio, ne vengono presentate le possibili criticità e le differenti percezioni tra la popolazione suddivisa secondo sesso, età, livello di educazione scolastica, responsabilità amministrativa e settore professionale.

8.1. INTRODUZIONE

Nella campagna elettorale dell'attuale Governo vi è la volontà di reintrodurre la generazione di energia elettrica da impianti termonucleari. L'Italia è uno dei maggiori Paesi Europei importatori di energia elettrica. Nell'anno 2009 l'import di energia elettrica è stato di quasi 45 TWh pari al 14% della domanda di energia elettrica (320 TWh). Sono stati prodotti circa 227 TWh di energia elettrica con impianti termoelettrici alimentati da fonti fossili per la maggior importati.

Nella presente analisi il punto di vista tecnico, tecnologico ed ingegneristico degli impianti nucleari non viene esaminato. Si suppone che gli impianti termonucleari possano essere costruiti a partire dal prossimo decennio e che riescano ad entrare in funzione progressivamente nell'arco di tempo che va dal 2020-2030. Non si analizzano le opzioni tecnologiche, si suppone che vengano installati 8 impianti da 1600 MW di potenza durante il decennio come illustrato in sezione 8.8.

8.2. CENNI DI STORIA DEL NUCLEARE IN ITALIA

In questo paragrafo viene brevemente descritta la storia del nucleare civile in Italia.

L'Italia è stato uno dei primi Paesi al mondo a dotarsi di impianti termonucleari per la produzione di energia elettrica. Nel 1959 fu costruito il primo reattore di ricerca ad Ispra (Varese). Nel 1966 si raggiunse una produzione di 3,9 TWh di energia elettrica: l'Italia era il terzo produttore al mondo di energia elettrica di origine nucleare. L'espansione nucleare si chiuderà con l'attivazione della centrale di Caorso (Piacenza) nel 1980.

I primi dubbi riguardanti l'utilizzo della fonte termonucleare per produrre energia elettrica apparvero dopo l'incidente avvenuto nel 1979 nella centrale nucleare di Three Miles Island (Pennsylvania - Stati Uniti). Quest'avvenimento diede inizio a una crescente sfiducia dell'opinione pubblica nei confronti dell'utilizzo del nucleare in ambito civile. Nel 1986 con l'esplosione di un reattore della centrale nucleare di Chernobyl (attuale Bielorussia allora Unione Sovietica) nacque un vero e proprio atteggiamento critico nei confronti dell'energia nucleare.

L'8 novembre 1987 si svolsero tre referendum sul nucleare (e due sulla giustizia): la maggioranza degli italiani che andò alle urne votarono orientando le successive scelte dell'Italia in ambito energetico verso una direzione di sfavore nei confronti del nucleare. Si decise di chiudere anche i reattori esistenti e di fermare la costruzione di quelli programmati.

L'ultima grande "vicissitudine" relativa alla "questione nucleare" si è avuta nel 2003 e riguarda il caso della scelta del deposito di scorie radioattive di Scanzano Ionico. Nel novembre 2003 il Governo, con un decreto legge decise di localizzare il deposito nazionale dei rifiuti radioattivi a Scanzano Ionico. Il deposito, indicava il decreto, doveva essere costruito entro 5 anni, ovvero entro il 2008. Il provvedimento fu annunciato senza un'efficace opera preventiva di informazione della popolazione e di raccolta di consenso. L'intera Regione Basilicata si mobilitò, l'opposizione sociale fu forte e l'Italia si trovò letteralmente divisa. Fu un vero e proprio "dramma" nazionale che per due settimane paralizzò la nazione e che si sciolse solo con il ritiro del decreto governativo. Il caso di Scanzano nonostante sia durato solamente 14 giorni ha lasciato una pesante eredità sul piano della psicologia sociale.

Arriviamo ai giorni nostri. Il Governo attuale ha espresso la volontà di re-introdurre la produzione di energia nucleare. Nella sezione seguente vengono riportate le più recenti leggi e decreti legislativi emanati in materia di energia nucleare.

8.3. ACCETTABILITÀ SOCIALE DEGLI IMPIANTI NUCLEARI

Come succede per tutti i grandi impianti, i grandi eventi e le grandi infrastrutture civili, gli impianti nucleari si scontreranno con la questione dell'accettabilità sociale.

I prerequisiti per l'accettabilità sociale di un impianto, evento o infrastruttura sono:

- *comunicazione ed informazione corretta*: è necessario dare ampio spazio agli esperti del nucleare (favorevoli e contrari) in modo che essi possano diffondere efficacemente le informazioni nel modo più obiettivo ed esauriente;
- *risposte chiare e concrete*: la popolazione vuole risposte concrete, chiare ed argomentate alle questioni di competenza pubblica più delicate come per esempio localizzazione e sicurezza impianti, gestione rifiuti
- (nella situazione italiana) *condivisione politica "bipartisan"* sulla liceità del suo utilizzo;
- *organismo di sicurezza adeguato*: la credibilità da parte della popolazione nell'Autorità per la sicurezza nucleare è un fattore essenziale per lo sviluppo di tale tecnologia; l'Autorità deve essere caratterizzata da un indiscusso livello di indipendenza e competenza;
- *ricorso alle migliori competenze disponibili nel paese*.

L'accettabilità sociale di un impianto, evento, infrastruttura è un elemento essenziale nei Paesi Democratici. L'accettazione attiva da parte della popolazione si conquista con la fiducia della popolazione nelle scelte politiche, fiducia che si deve coltivare giorno per giorno. La fiducia si conquista con un costante impegno in termini di credibilità, congruenza e trasparenza. Non si devono commettere errori: la fiducia si guadagna faticosamente e si perde facilmente.

8.4. COME L'ITALIA STA "PROGRAMMANDO" LA RIPRESA NUCLEARE?

In questo paragrafo vengono richiamate alcune leggi e decreti legislativi inerenti la produzione di energia elettrica da fonte nucleare. Viene data una panoramica dell'attuale (dicembre 2010) panorama legislativo in merito alla questione del ritorno del nucleare in Italia.

La legge 133 del 3 agosto 2008, (11) "*Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 25 giugno 2008, n. 112, recante disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, la semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica e la perequazione tributaria*" nell'art. 7 afferma che:

Art. 7. Strategia energetica nazionale

Entro sei mesi dalla data di entrata in vigore del presente decreto, il Consiglio dei Ministri, su proposta del Ministro dello sviluppo economico, definisce la «Strategia energetica nazionale», che indica le priorità per il breve ed il lungo periodo e reca la determinazione delle misure necessarie per conseguire, anche attraverso meccanismi di mercato, i seguenti obiettivi:

- a) diversificazione delle fonti di energia e delle aree geografiche di approvvigionamento;
 - b) miglioramento della competitività del sistema energetico nazionale e sviluppo delle infrastrutture nella prospettiva del mercato interno europeo;
 - c) promozione delle fonti rinnovabili di energia e dell'efficienza energetica;
 - d) realizzazione nel territorio nazionale di impianti di produzione di energia nucleare;
 - d-bis) *promozione della ricerca sul nucleare di quarta generazione o da fusione;*
 - e) incremento degli investimenti in ricerca e sviluppo nel settore energetico e partecipazione ad accordi internazionali di cooperazione tecnologica;
 - f) sostenibilità ambientale nella produzione e negli usi dell'energia, anche ai fini della riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra;
 - g) garanzia di adeguati livelli di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori.
- [...] La legge 133/08 continua.

Successivamente nel luglio 2009 viene emanata la legge:

Legge 99/09 “Disposizioni per lo sviluppo e l'internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia” emanata il 23 luglio 2009 e pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 176 del 31 luglio 2009, all'articolo 25, (12) che riporta:

Art. 25. Delega al Governo in materia nucleare

Il Governo è delegato ad adottare, entro sei mesi dalla data di entrata in vigore della presente legge, nel rispetto delle norme in tema di valutazione di impatto ambientale e di pubblicità delle relative procedure, uno o più decreti legislativi di riassetto normativo recanti la disciplina della localizzazione nel territorio nazionale di impianti di produzione di energia elettrica nucleare, di impianti di fabbricazione del combustibile nucleare, dei sistemi di stoccaggio del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi, nonché dei sistemi per il deposito definitivo dei materiali e rifiuti radioattivi e per la definizione delle misure compensative da corrispondere e da realizzare in favore delle popolazioni interessate.

[...]

Un passo avanti importante è stato fatto con l'emanazione del decreto legislativo 31/10, “Disciplina della localizzazione, della realizzazione e dell'esercizio nel territorio nazionale di impianti di produzione di energia elettrica nucleare, di impianti di fabbricazione del combustibile nucleare, dei sistemi di stoccaggio del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi, nonché misure compensative e campagne informative al pubblico, a norma dell'articolo 25 della legge 23 luglio 2009, n. 99” ,15 febbraio 2010 pubblicato nella gazzetta ufficiale n. 55 dell'08 marzo 2010, (90).

Articolo 1 – Oggetto

1. Con il presente decreto si attua il riassetto della disciplina della localizzazione nel territorio nazionale di impianti di produzione di energia elettrica nucleare, di impianti di fabbricazione del combustibile nucleare, dei sistemi di stoccaggio del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi e si definiscono:

- a) le procedure autorizzative e i requisiti soggettivi degli operatori per lo svolgimento nel territorio nazionale delle attività di costruzione, di esercizio e di disattivazione degli impianti di cui all'articolo 2, comma 1, lettera e), nonché per l'esercizio delle strutture per lo stoccaggio del combustibile irraggiato e dei rifiuti radioattivi ubicate nello stesso sito dei suddetti impianti e ad essi direttamente connesse;
- b) il Fondo per la disattivazione degli impianti nucleari;
- c) le misure compensative relative alle attività di costruzione e di esercizio degli impianti di cui alla lettera a), da corrispondere in favore delle persone residenti, delle imprese operanti nel territorio circostante il sito e degli enti locali interessati;
- d) la disciplina della localizzazione del Deposito nazionale, connesso ad un Parco Tecnologico comprensivo di un Centro di studi e sperimentazione, destinato ad accogliere i rifiuti radioattivi provenienti da attività pregresse e future di impianti nucleari e similari, nel territorio nazionale;
- e) le procedure autorizzative per la costruzione e l'esercizio del Deposito nazionale e del Parco Tecnologico;
- f) le misure compensative relative alle attività di esercizio del Deposito nazionale, da corrispondere in favore delle persone residenti, delle imprese operanti nel territorio circostante il sito e degli enti locali interessati;

- g) un programma per la definizione e la realizzazione di una "Campagna di informazione nazionale in materia di produzione di energia elettrica da fonte nucleare";
- h) le sanzioni irrogabili in caso di violazione delle norme prescrittive di cui al presente decreto.

Nell'articolo 3 il decreto, entrato in vigore il 23/03/2010, afferma che:

Articolo 3 (Strategia del Governo in materia nucleare)

1. Entro tre mesi dalla data di entrata in vigore del presente decreto il Consiglio dei Ministri, su proposta del Ministro dello sviluppo economico, che può avvalersi dell'Agenzia, di concerto con il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e con il Ministro dell'istruzione, dell'università e della ricerca, adotta un documento programmatico, con il quale sono delineati gli obiettivi strategici in materia nucleare, tra i quali, in via prioritaria, la protezione dalle radiazioni ionizzanti e la sicurezza nucleare. Il documento indica la potenza complessiva ed i tempi attesi di costruzione e di messa in esercizio degli impianti nucleari da realizzare, gli interventi in materia di ricerca e formazione, valuta il contributo dell'energia nucleare in termini di sicurezza e diversificazione energetica, riduzione delle emissioni inquinanti ed emissioni di gas ad effetto serra, benefici economici e sociali e delinea le linee guida del processo di realizzazione.

[...]

3. La Strategia nucleare indica, in particolare:

- a) l'affidabilità dell'energia nucleare, in termini di sicurezza nucleare ambientale e degli impianti, di eventuale impatto sulla radioprotezione della popolazione e nei confronti dei rischi di proliferazione;
- b) i benefici, in termini di sicurezza degli approvvigionamenti, derivanti dall'introduzione di una quota significativa di energia nucleare nel contesto energetico nazionale;
- c) gli obiettivi di capacità di potenza elettrica che si intende installare in rapporto ai fabbisogni energetici nazionali ed i relativi archi temporali;
- d) il contributo che si intende apportare, attraverso il ricorso all'energia nucleare, in quanto tecnologia a basso tenore di carbonio, al raggiungimento degli obiettivi ambientali assunti in sede europea nell'ambito del pacchetto clima energia nonché alla riduzione degli inquinanti chimico-fisici;
- e) il sistema di alleanze e cooperazioni internazionali e la capacità dell'industria nazionale ed internazionale di soddisfare gli obiettivi del programma;
- f) gli orientamenti sulle modalità realizzative tali da conseguire obiettivi di efficienza nei tempi e nei costi e fornire strumenti di garanzia, anche attraverso la formulazione o la previsione di emanazione di specifici indirizzi;
- g) gli indirizzi in materia di gestione dei rifiuti radioattivi e di disattivazione degli impianti a fine vita, per i nuovi insediamenti e per gli impianti dismessi;
- h) i benefici attesi per il sistema industriale italiano e i parametri delle compensazioni per popolazione e sistema delle imprese;
- i) la capacità di trasmissione della rete elettrica nazionale, con l'eventuale proposta di adeguamenti della stessa al fine di soddisfare l'obiettivo prefissato di potenza da installare;
- l) gli obiettivi in materia di approvvigionamento, trattamento e arricchimento del combustibile nucleare.

E' essenziale che gli obiettivi e dei termini indicati nelle leggi e nel decreto riportati in questo paragrafo vengano raggiunti e rispettati. Scadenze non rispettate, obiettivi, anche intermedi e di carattere burocratico e legislativo, non raggiunti rischiano di far perdere credibilità e fiducia da parte della popolazione nelle Istituzioni.

In un regime democratico, ricercare l'accettabilità sociale di un impianto nucleare significa acquisire un largo consenso da parte del pubblico generale (tutta la popolazione) e da parte dei cittadini destinati a vivere vicino agli impianti. Tale consenso per temi tecnologicamente complessi come la tecnologia nucleare si può ottenere solamente con la fiducia e con un lungo percorso fatto di obiettivi mantenuti e scadenze perfettamente rispettate.

Quando un'organizzazione è alla ricerca dell'accettabilità sociale di impianti/eventi/infrastrutture aventi caratteristiche e storia particolari, come il caso nucleare in Italia (Referendum 1986), dichiarazioni, documenti poco chiari, scadenze e programmi non rispettati sicuramente non creano un terreno fertile per coltivare la fiducia, elemento essenziale per l'accettabilità sociale.

8.5. LA POPOLAZIONE A CHI DÀ PIÙ FIDUCIA?

Esiste in Italia una istituzione/organizzazione in cui la popolazione pone fiducia? Nel prossimo paragrafo sono illustrate le statistiche relative alla fiducia della popolazione italiana verso alcune delle maggiori organizzazioni/istituzioni italiane.

Secondo l'Eurobarometer numero 324 (91) per l'Italia la classifica degli enti a cui la popolazione dà più fiducia è presentata nella tabella di pagina 104. In Tab. 101 è stata riportata la classifica ordinata secondo le risposte date dalla Popolazione italiana.

TAB. 101 - DI QUALI ENTI TI FIDI MAGGIORMENTE PER RICEVERE INFORMAZIONI RIGUARDANTI L'ENERGIA NUCLEARE ED IN PARTICOLAR MODO RIGUARDANTI LA SICUREZZA DELL'ENERGIA NUCLEARE?

	IT	EU27	DE	UK	FR	ES	SE	FI
Scienziati e tecnici del settore	36%	46%	51%	46%	54%	36%	63%	55%
Autorità per la sicurezza	31%	30%	27%	34%	22%	30%	76%	59%
Organizzazioni internazionali (es. IAEA)	24%	24%	30%	26%	19%	9%	42%	42%
L'Unione Europea attraverso gli organismi competenti	22%	15%	10%	10%	8%	19%	11%	9%
Organizzazioni non governative	19%	19%	22%	24%	35%	12%	12%	10%
I governi nazionali	18%	18%	13%	14%	12%	41%	18%	10%
Giornalisti e mezzi di comunicazione (TV, radio, giornali)	16%	23%	33%	16%	30%	11%	11%	19%
Aziende energetiche che operano nel settore nucleare	13%	12%	9%	10%	11%	11%	12%	13%
Autorità locali e regionali	12%	10%	9%	8%	11%	11%	8%	13%
Amici, conoscenti e famigliari	6%	7%	9%	9%	7%	2%	6%	5%
Scuole	6%	6%	4%	8%	5%	7%	4%	4%
Nessuna risposta	4%	4%	4%	5%	4%	4%	1%	2%
Non so, non conosco	4%	3%	1%	4%	2%	3%	1%	1%
Altro	0%	1%	0%	0%	1%	2%	0%	0%

L'Italia presenta una sostanziale differenza rispetto agli altri Paesi Europei citati in Tab. 101. L'Italia è l'unico Paese che non ha un ente/organizzazione a cui la popolazione dà molta fiducia (almeno più del 40%). La risposta con la maggior fiducia, "scienziati" ha ottenuto meno del 40%. Gli altri stati hanno al minimo un ente a cui la popolazione "fa riferimento" e di cui si fida, per esempio il 76% della popolazione svedese si fida dell'autorità per la sicurezza, in Germania il 51% della popolazione si fida degli scienziati, in Francia il 54%.

La cosiddetta "questione nucleare" in Italia dal punto di vista politico presenta un'eredità piuttosto delicata. Storicamente per alcuni partiti politici l'opposizione all'energia nucleare è stata ispirata, prima che da motivazioni tecniche o ambientali, da ideologie politiche.

La classe politica per questioni di interesse energetico non presenta un elevato livello di fiducia. Nello studio di Eurobarometer 324 (91) solamente il 18% della popolazione dà fiducia al Governo Nazionale (valore in linea con la media europea). La fiducia verso il Governo Nazionale è in linea con la media europea, Tab. 101. La differenza rispetto gli altri Paesi Europei consiste nel fatto che in Italia non vi è una istituzione/organizzazione che goda di un livello di fiducia elevato, a differenza di Svezia, Finlandia, Francia e Germania in cui almeno un organismo ha un livello di fiducia maggiore del 50%.

8.6. EFFETTO SUL SISTEMA ELETTRICO

8.6.1. La generazione di energia elettrica negli anni 2000 – 2009

L'effetto derivante dall'installazione di reattori nucleare in Italia porterebbe ad una pesante modifica nel "mix di generazione" di energia elettrica in grado di soddisfare la domanda energetica. Nell'anno 2009 in Italia la domanda di energia elettrica è stata di 320 TWh.

Nella Tab. 3 sono riportate le domande di energia elettrica degli ultimi 10 anni.

La domanda di energia elettrica in Italia viene è soddisfatta grazie alla generazione da fonti fossili, da fonti rinnovabili e grazie all'importazione di energia elettrica dall'estero. Una parte dell'energia elettrica prodotta

dal sistema elettrico italiano viene utilizzata per alimentare i sistemi ausiliari della produzione e per alimentare gli impianti di pompaggio.

I dati storici per la generazione di energia elettrica sono riportati nella Tab. 3 e la loro evoluzione nel tempo è rappresentata nella Fig. 3. Con generazione da fonti rinnovabili si intende la produzione di energia elettrica da impianti idroelettrici, geotermici, eolici e fotovoltaico.

8.6.2. Previsioni domanda di energia elettrica 2009 – 2030: scenario tendenziale e scenario efficiente

Secondo le previsioni della domanda di energia elettrica fornite da TERNA (92) nel 2019 la domanda potrebbe raggiungere i 360 TWh nello scenario base e 405 TWh nello scenario di sviluppo. In questo studio abbiamo considerato come riferimento lo scenario base: questo scenario è stato chiamato scenario tendenziale.

Per l'anno 2020, il documento del Piano di Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili (93) prevede una domanda di energia elettrica pari a 365.67 TWh.

Dopo tale periodo, per il decennio 2020 – 2030 sono stati considerati due scenari. Un primo scenario, chiamato scenario Tendenziale, considera una crescita annuale del PIL italiano pari all'1.3% ed una decrescita annua dell'intensità elettrica dello 0.1%.

Un secondo scenario chiamato Efficiente considera la medesima crescita per il PIL ma una decrescita dell'intensità elettrica più marcata.

Nella Tab. 102 sono riportate le ipotesi utilizzate e la previsione della domanda di energia elettrica nei due scenari.

TAB. 102 - PREVISIONI DOMANDA DI ENERGIA ELETTRICA [TWH].

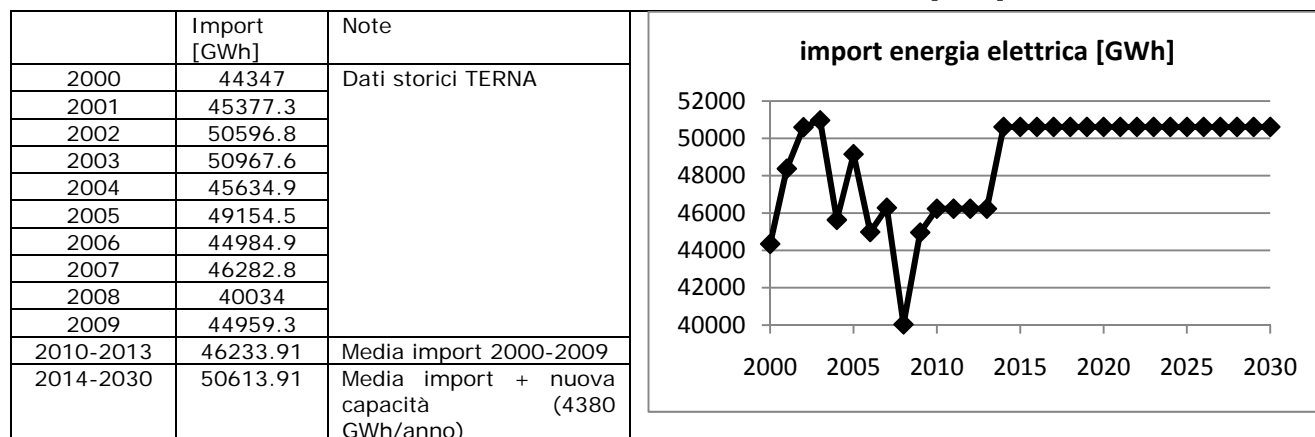
	%PIL	PIL	Crescita int. elettrica		Intensità elettrica		Domanda di energia elettrica	
		ME	%		GWh/ME		TWh	
2000		1189912	0.3		0.251		298.5	
2001	1.8	1211778	1.5		0.252		304.8	
2002	0.5	1217477	3.2		0.255		310.7	
2003	0.0	1217143	-0.1		0.263		320.7	
2004	1.5	1235624	0.9		0.263		325.4	
2005	0.7	1243762	0.1		0.266		330.4	
2006	2.0	1269082	-0.8		0.266		337.5	
2007	1.6	1288945	0.9		0.264		339.9	
2008	-1.0	1275528	-1.8		0.266		339.5	
2009	-5.3	1208387	1.3		0.261		317.6	
2010	0.1	1209503	0.5		0.265		320.3	
2011	1.0	1221129	0.1		0.266		324.9	
2012	1.3	1237568	0.1		0.266		329.6	
2013	1.3	1254193	0.2		0.267		334.3	
2014	1.2	1269787	0		0.267		339.1	
2015	1.2	1285574	-0.1		0.267		343.2	
2016	1.3	1302844	-0.1		0.267		347.3	
2017	1.3	1320346	-0.1		0.266		351.5	
2018	1.3	1338083	-0.1		0.266		355.7	
2019	1.3	1356058	-0.1		0.265		360.0	
2020	1.3	1373687	-0.1	-0.1	0.265	0.265	365.67	
			Int. elett. Tendenz.	Int. elett. Effic.	Int. elett. tendenz.	Int. elett. Effic.	Domanda tendenziale	Domanda efficiente
2021	1.3	1391545	-0.1	-0.4	0.264	0.264	368.0	366.9
2022	1.3	1409635	-0.1	-0.7	0.264	0.262	372.4	369.1
2023	1.3	1427960	-0.1	-0.9	0.264	0.259	376.9	370.5
2024	1.3	1446523	-0.1	-1.1	0.264	0.257	381.4	371.2
2025	1.3	1465328	-0.1	-1.1	0.263	0.254	386.0	371.9
2026	1.3	1484378	-0.1	-1.1	0.263	0.251	390.6	372.6
2027	1.3	1503674	-0.1	-1.1	0.263	0.248	395.3	373.3
2028	1.3	1523222	-0.1	-1.1	0.263	0.246	400.0	374.0
2029	1.3	1543024	-0.1	-1.1	0.262	0.243	404.8	374.7
2030	1.3	1563083	-0.1	-1.1	0.262	0.240	409.7	375.4

8.6.3. Import di energia elettrica

I dati storici per le importazioni di energia elettrica sono riassunti nella Tab. 3. Secondo il Piano di Sviluppo della Rete (94) sono previste delle nuove interconnessioni tra il sistema elettrico italiano e di altri paesi. In particolare nel piano decennale sono previste una nuova interconnessione Italia – Francia ed una nuova interconnessione Italia – Montenegro.

Per l'orizzonte temporale 2010 – 2030 si è considerato di aumentare la capacità di importazione di energia elettrica a partire dall'anno 2014. La quantità di energia annualmente importata dalla nuova infrastruttura si considera essere di 4380 GWh/anno.

TAB. 103 - PREVISIONI IMPORTAZIONI ENERGIA ELETTRICA [GWh].



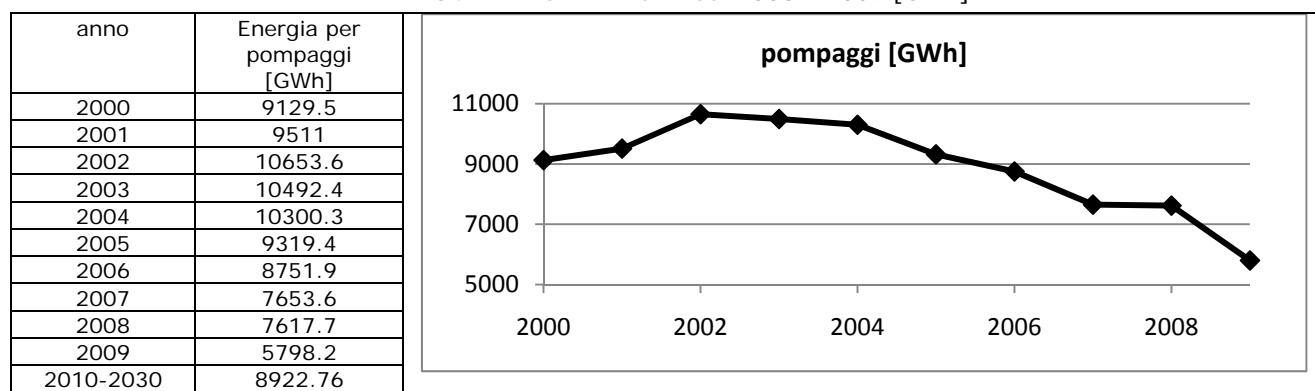
8.6.4. Energia per servizi ausiliari

Considerando i dati storici degli anni 2000 – 2009, si sono calcolati i rapporti tra l'energia destinata agli organi ausiliari e l'energia elettrica destinata al consumo. Si è interpolato l'andamento di tali rapporti con una funzione esponenziale. I dati sono riportati in Tab. 105.

8.6.5. Energia per pompaggi

Si sono considerati i dati storici degli anni 2000 – 2009 e si è considerato per il periodo successivo il valore medio.

TAB. 104 - ENERGIA PER POMPAGGI 2000 – 2009 [GWh].



8.7. PRODUZIONE LORDA DI ENERGIA ELETTRICA

La Tab. 105 mostra le previsioni della domanda di energia elettrica e della produzione lorda di energia elettrica per i due scenari: tendenziale ed efficiente.

TAB. 105 - DOMANDA DI ENERGIA ELETTRICA E PRODUZIONE LORDA [TWh].

[TWh]	domanda tend	domanda eff	import/export	prod per cons. Tend	prod per cons. Eff	% ausiliari	ausiliari TEND	ausiliari EFF	pomp aggi	prod. lorda TEND	prod. lorda EFF
2000	298.5102	298.5102	44.35	254.16	254.16	5.25	13.34	13.34	9.13	276.6	276.6
2001	304.8315	304.8315	48.38	256.45	256.45	5.08	13.03	13.03	9.51	279.0	279.0
2002	310.726	310.726	50.60	260.13	260.13	5.24	13.62	13.62	10.65	284.4	284.4
2003	320.6584	320.6584	50.97	269.69	269.69	5.07	13.68	13.68	10.49	293.9	293.9
2004	325.3573	325.3573	45.63	279.72	279.72	4.75	13.30	13.30	10.30	303.3	303.3
2005	330.443	330.443	49.15	281.29	281.29	4.64	13.06	13.06	9.32	303.7	303.7
2006	337.4589	337.4589	44.98	292.47	292.47	4.40	12.86	12.86	8.75	314.1	314.1
2007	339.9282	339.9282	46.28	293.65	293.65	4.29	12.59	12.59	7.65	313.9	313.9
2008	339.4803	339.4803	40.03	299.45	299.45	4.03	12.06	12.06	7.62	319.1	319.1
2009	320.2684	320.2684	44.96	275.31	275.31	4.19	11.53	11.53	5.80	292.6	292.6
2010	320.3	320.3	46.2	274.1	274.1	3.94	10.8	10.8	8.9	293.8	293.8
2011	324.9	324.9	46.2	278.7	278.7	3.82	10.7	10.7	8.9	298.2	298.2
2012	329.6	329.6	46.2	283.4	283.4	3.71	10.5	10.5	8.9	302.8	302.8
2013	334.3	334.3	46.2	288.1	288.1	3.59	10.4	10.4	8.9	307.3	307.3
2014	339.1	339.1	50.6	288.5	288.5	3.48	10.1	10.1	8.9	307.5	307.5
2015	343.2	343.2	50.6	292.6	292.6	3.38	9.9	9.9	8.9	311.4	311.4
2016	347.3	347.3	50.6	296.7	296.7	3.28	9.7	9.7	8.9	315.3	315.3
2017	351.5	351.5	50.6	300.9	300.9	3.18	9.6	9.6	8.9	319.4	319.4
2018	355.7	355.7	50.6	305.1	305.1	3.08	9.4	9.4	8.9	323.4	323.4
2019	360.0	360.0	50.6	309.4	309.4	2.99	9.2	9.2	8.9	327.5	327.5
2020	365.7	365.7	50.6	315.1	315.1	2.89	9.1	9.1	8.9	333.1	333.1
2021	368.0	366.9	50.6	317.4	316.3	2.81	8.9	8.9	8.9	335.2	334.1
2022	372.4	369.1	50.6	321.8	318.5	2.72	8.8	8.7	8.9	339.5	336.1
2023	376.9	370.5	50.6	326.3	319.9	2.64	8.6	8.4	8.9	343.8	337.3
2024	381.4	371.2	50.6	330.8	320.6	2.56	8.5	8.2	8.9	348.2	337.7
2025	386.0	371.9	50.6	335.4	321.3	2.48	8.3	8.0	8.9	352.6	338.2
2026	390.6	372.6	50.6	340.0	322.0	2.41	8.2	7.7	8.9	357.1	338.6
2027	395.3	373.3	50.6	344.7	322.7	2.33	8.0	7.5	8.9	361.6	339.1
2028	400.0	374.0	50.6	349.4	323.4	2.26	7.9	7.3	8.9	366.2	339.6
2029	404.8	374.7	50.6	354.2	324.1	2.19	7.8	7.1	8.9	370.9	340.1
2030	409.7	375.4	50.6	359.1	324.7	2.13	7.6	6.9	8.9	375.6	340.6

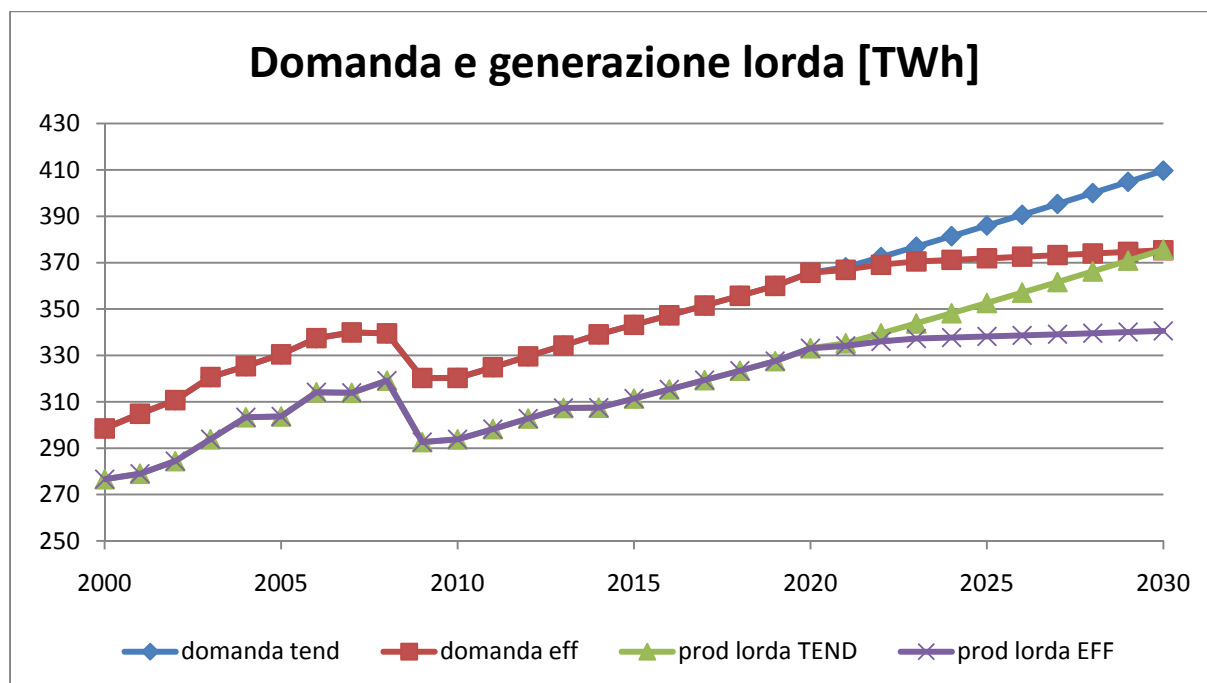


FIG. 61 - PREVISIONE DELLA DOMANDA DI ENERGIA ELETTRICA E GENERAZIONE LORDA [TWh].

8.7.1. Produzione da fonti rinnovabili

Considerando il Piano di Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili (93) abbiamo ipotizzato uno sviluppo della produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile come descritto nelle Tab. 106 e Tab. 107.

Si considerano due casi, il primo chiamato “BAU” nel quale si seguono le previsioni del Piano d’Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili ed un secondo denominato “verde” in cui si ipotizza una penetrazione delle fonti rinnovabili maggiore rispetto al caso precedente.

Per i casi studio in cui le rinnovabili seguono quanto previsto dal PAN nell’anno 2020 la produzione di energia elettrica è pari a 105,95 TWh, nel caso studio “verde” al 2020 la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile è di poco inferiore ai 138 TWh.

TAB. 106 - PRODUZIONE DA FONTE RINNOVABILE CASO STUDIO “BAU” [GWh].

(GWh)	Idro	Geotermico	eolico	FV	Solare termod.	Biomassa	moto ondoso	TOTALE
2007	32815	5569	4034	39	0	6953	0	49411
2008	41616	5521	4861	193	0	7523	0	59714
2009	47534	5348	6087	750	0	7740	0	67459
2010	41571	5810	6620	1769	0	7967	0	63737
2011	41530	5960	7451	2557	17	9026	0	66541
2012	41507	6114	8386	3345	28	10129	0	69509
2013	41501	6272	9689	4133	47	11278	0	72920
2014	41514	6434	10971	4921	79	12478	0	76397
2015	41545	6601	12440	5710	132	13733	0	80161
2016	41596	6772	14129	6498	220	15047	0	84262
2017	41666	6947	16079	7286	366	16426	1	88771
2018	41757	7127	18343	8074	611	17873	1	93786
2019	41868	7311	20987	8862	1019	19396	3	99446
2020	42000	7500	24095	9650	1700	21000	5	105950
2021	42021	7585	24969	10244	1785	21252	5	107861
2022	42043	7669	25843	10838	1870	21503	6	109771
2023	42064	7754	26716	11432	1955	21755	6	111682
2024	42086	7838	27590	12026	2040	22007	6	113593
2025	42107	7923	28464	12620	2125	22258	6	115503
2026	42129	8007	29338	13214	2210	22510	7	117414
2027	42150	8092	30211	13808	2295	22762	7	119325
2028	42172	8176	31085	14402	2380	23013	7	121235
2029	42193	8261	31959	14996	2465	23265	7	123146
2030	42215	8345	32833	15591	2550	23517	8	125057

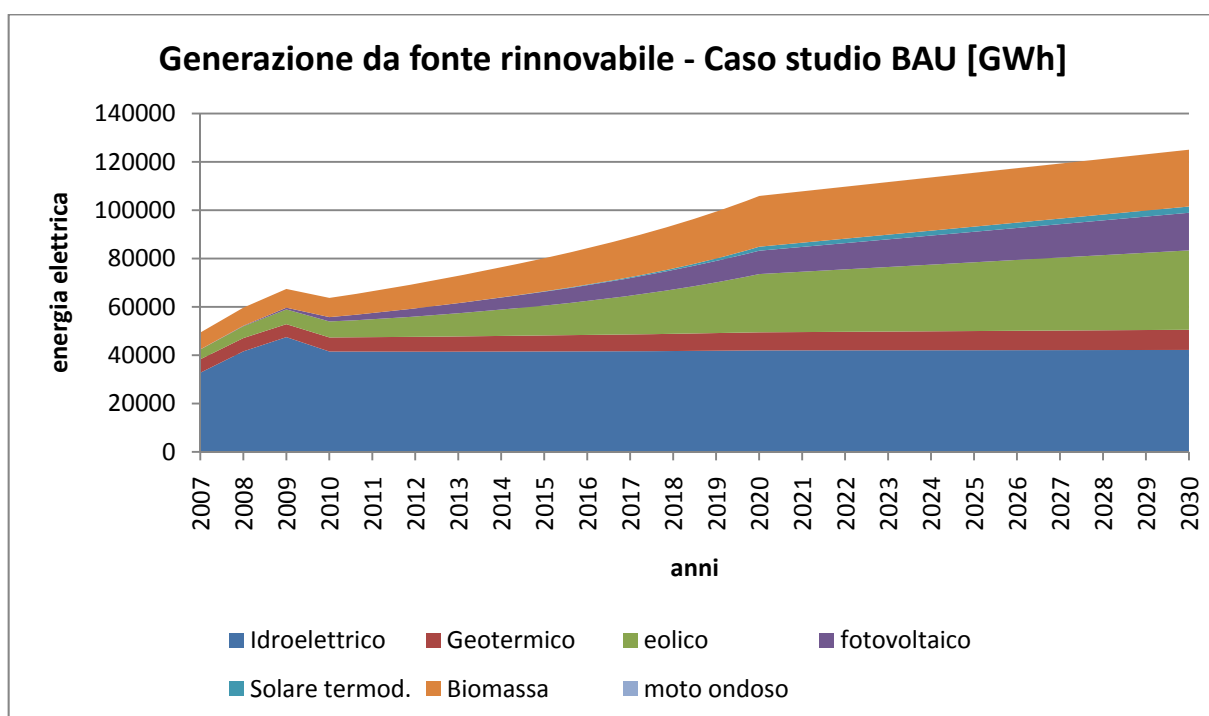


FIG. 62 - GENERAZIONE DA FONTE RINNOVABILE, CASO STUDIO BAU [GWh].

Nel secondo caso (riferimento “Verde” nei casi studio) la penetrazione delle rinnovabili è maggiore rispetto quanto ipotizzato dal Piano di Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili, Tab. 107.

TAB. 107 - PRODUZIONE DA FONTE RINNOVABILE CASO STUDIO “VERDE” [GWH].

	Idro	Geotermico	eolico	FV	Solare termod.	Biomassa	moto ondoso	TOTALE
2007	32815	5569	4034	39	0	6953	0	49410.7
2008	41616	5521	4861	193	0	7523	0	59713.9
2009	47534	5348	6087	750	0	7740	0	67458.55
2010	41571	5810	7529	2405	0	9331	0	66646.09
2011	41530	5960	9269	3830	17	11753	0	72359.18
2012	41507	6114	11113	5254	28	14220	0	78236.27
2013	41501	6272	13325	6678	47	16733	0	84556.36
2014	41514	6434	15516	8103	79	19296	0	90942.45
2015	41545	6601	17895	9528	132	21915	0	97615.55
2016	41596	6772	20493	10953	220	24592	0	104625.6
2017	41666	6947	23352	12377	366	27335	1	112043.7
2018	41757	7127	26525	13801	611	30146	1	119967.8
2019	41868	7311	30078	15226	1019	33032	3	128536.9
2020	42000	7500	34095	16650	1700	36000	5	137950
2021	42021	7585	34893	17292	2035	36403	5	140235.2
2022	42043	7669	35692	17934	2370	36807	6	142520.4
2023	42064	7754	36490	18577	2705	37210	6	144805.6
2024	42086	7838	37288	19219	3040	37614	6	147090.8
2025	42107	7923	38086	19861	3375	38017	6	149376
2026	42129	8007	38885	20503	3710	38421	7	151661.2
2027	42150	8092	39683	21146	4045	38824	7	153946.4
2028	42172	8176	40481	21788	4380	39228	7	156231.6
2029	42193	8261	41280	22430	4715	39631	7	158516.8
2030	42215	8345	42078	23072	5050	40035	8	160802

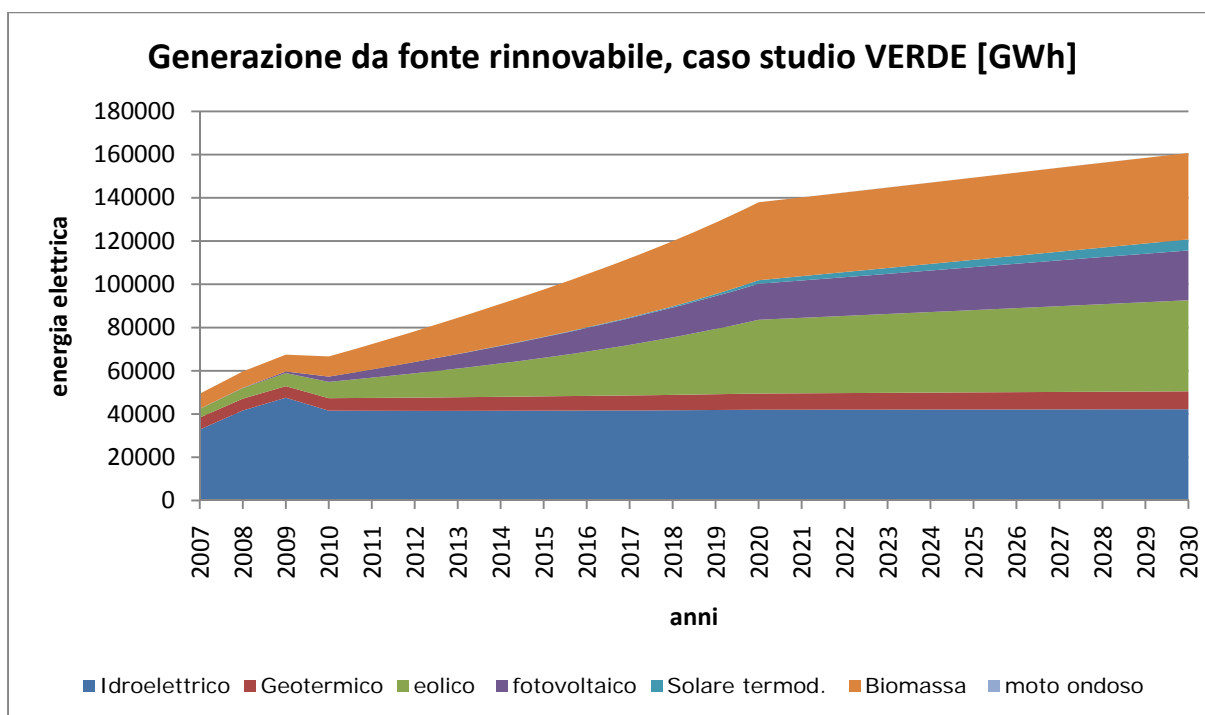


FIG. 63 - GENERAZIONE DA FONTE RINNOVABILE, CASO STUDIO VERDE [GWH].

8.8. INTRODUZIONE GENERAZIONE TERMONUCLEARE

L'ipotesi per la reintroduzione dell'energia nucleare in Italia è che vengano costruite 8 centrali termonucleari a partire dall'anno 2020. Le centrali funzioneranno inizialmente (primo anno di vita) con un fattore di carico del 60% il quale crescerà nel tempo ed in 4 anni raggiungerà il 90%.

Una sintesi dell'introduzione della produzione nucleare adottata nelle elaborazioni è presentata nella Tab. 108.

TAB. 108 - IPOTESI GENERAZIONE ENERGIA ELETTRICA DA FONTE NUCLEARE.

	I		II		III		IV		V		P totale [MW]	Energia [TWh]
	P [MW]	LF [%]	P [MW]	LF [%]	P [MW]	LF [%]	P [MW]	LF [%]	P [MW]	LF [%]		
2007- 2020	0	0									0	0
2021	1600	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	1600	8.41
2022	1600	0.7			0	0	0	0	0	0	1600	9.81
2023	1600	0.85	3200	0.6							4800	28.73
2024	1600	0.9	3200	0.7	3200	0.6					8000	49.06
2025	1600	0.9	3200	0.85	3200	0.7	1600	0.6			9600	64.47
2026	1600	0.9	3200	0.9	3200	0.85	1600	0.7	3200	0.6	12800	88.30
2027	1600	0.9	3200	0.9	3200	0.9	1600	0.85	3200	0.7	12800	94.61
2028	1600	0.9	3200	0.9	3200	0.9	1600	0.9	3200	0.85	12800	99.51
2029	1600	0.9	3200	0.9	3200	0.9	1600	0.9	3200	0.9	12800	100.92
2030	1600	0.9	3200	0.9	3200	0.9	1600	0.9	3200	0.9	12800	100.92

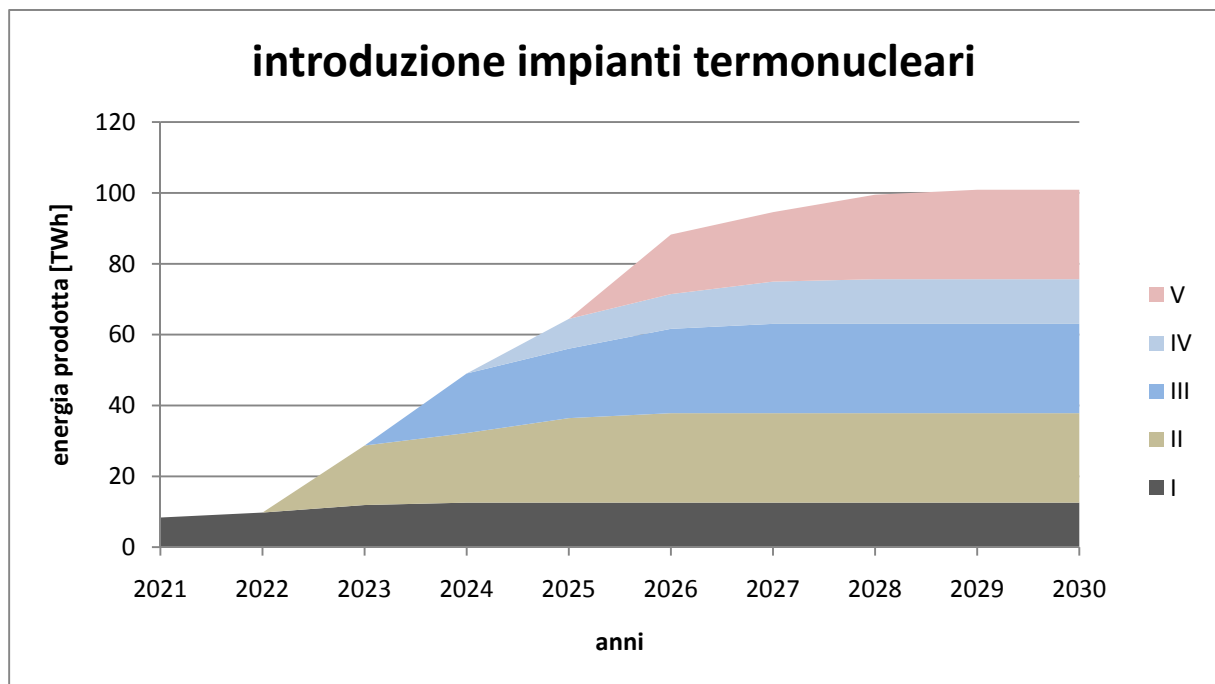


FIG. 64 - INTRODUZIONE ENERGIA NUCLEARE.

8.9. SCENARI GENERAZIONE ELETTRICA

Per esaminare l'effetto della re-introduzione della produzione di energia elettrica da fonte nucleare, sono stati elaborati due scenari (Tendenziale ed Efficiente) e per ciascun scenario sono stati elaborati 4 casi studio: BAU (condizioni Business As Usual), verde (maggior sviluppo delle fonti rinnovabili), nucleare (introduzione della produzione da fonte termonucleare) e verde + nucleare (azione combinata dei due casi studio verde e nucleare).

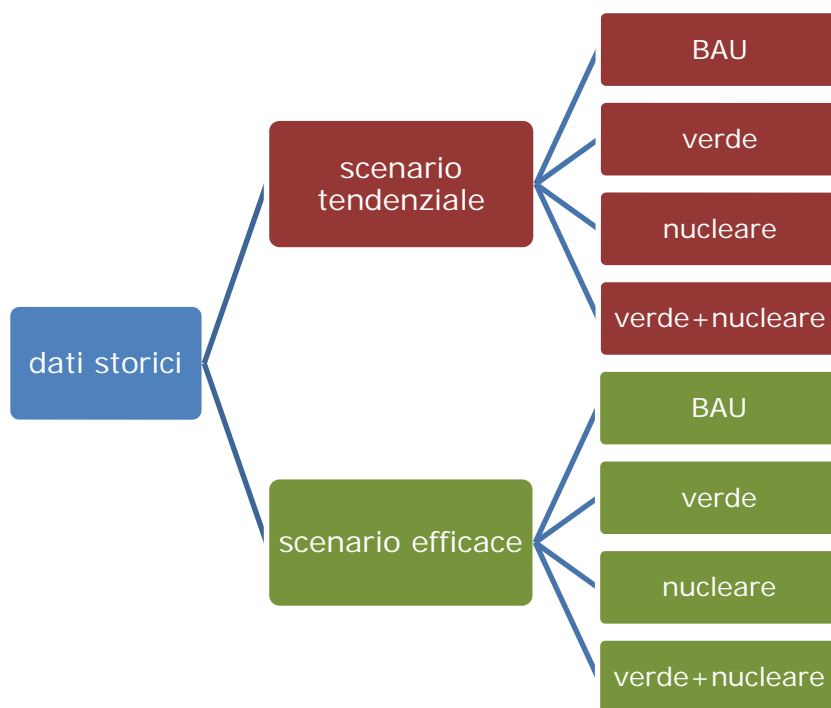


FIG. 65 - SCENARI CONSIDERATI E CASI STUDIO.

8.9.1. Scenario tendenziale (4 casi studio)

La generazione di energia elettrica secondo lo scenario tendenziale è rappresentata nella Tab. 109. Nella tabella sono riportati i mix di generazione.

TAB. 109 - GENERAZIONE ELETTRICA SCENARIO TENDENZIALE [TWh].

	Tendenzie: domanda 409.6 TWh, produzione lorda: 375.6 TWh											
	BAU			verde			nucleare			nucleare + verde		
	fossili	rinn.	nucleare	fossili	rinn.	nucleare	fossili	rinn.	nucleare	fossili	rinn.	nucleare
2007	264.48	49.41		264.48	49.41		264.48	49.41		264.48	49.41	
2008	259.42	59.71		259.42	59.71		259.42	59.71		259.42	59.71	
2009	225.18	67.46		225.18	67.46		225.18	67.46		225.18	67.46	
2010	230.06	63.74		227.15	66.65		230.06	63.74		227.15	66.65	
2011	231.70	66.54		225.88	72.36		231.70	66.54		225.88	72.36	
2012	233.28	69.51		224.56	78.24		233.28	69.51		224.56	78.24	
2013	234.42	72.92		222.79	84.56		234.42	72.92		222.79	84.56	
2014	231.07	76.40		216.52	90.94		231.07	76.40		216.52	90.94	
2015	231.23	80.16		213.78	97.62		231.23	80.16		213.78	97.62	
2016	231.07	84.26		210.70	104.63		231.07	84.26		210.70	104.63	
2017	230.59	88.77		207.32	112.04		230.59	88.77		207.32	112.04	
2018	229.62	93.79		203.44	119.97		229.62	93.79		203.44	119.97	
2019	228.10	99.45		199.01	128.54		228.10	99.45	0.00	199.01	128.54	0.00
2020	227.15	105.95		195.15	137.95		227.15	105.95	0.00	195.15	137.95	0.00
2021	227.38	107.86		195.01	140.24		218.97	107.86	8.41	186.60	140.24	8.41
2022	229.73	109.77		196.98	142.52		219.92	109.77	9.81	187.17	142.52	9.81
2023	232.13	111.68		199.01	144.81		203.40	111.68	28.73	170.28	144.81	28.73
2024	234.60	113.59		201.10	147.09		185.54	113.59	49.06	152.04	147.09	49.06
2025	237.11	115.50		203.24	149.38		172.64	115.50	64.47	138.77	149.38	64.47
2026	239.69	117.41		205.44	151.66		151.39	117.41	88.30	117.14	151.66	88.30
2027	242.32	119.32		207.70	153.95		147.71	119.32	94.61	113.09	153.95	94.61
2028	245.01	121.24		210.01	156.23		145.50	121.24	99.51	110.50	156.23	99.51
2029	247.76	123.15		212.39	158.52		146.84	123.15	100.92	111.47	158.52	100.92
2030	250.57	125.06	0.00	214.82	160.80	0.00	149.65	125.06	100.92	113.91	160.80	100.92

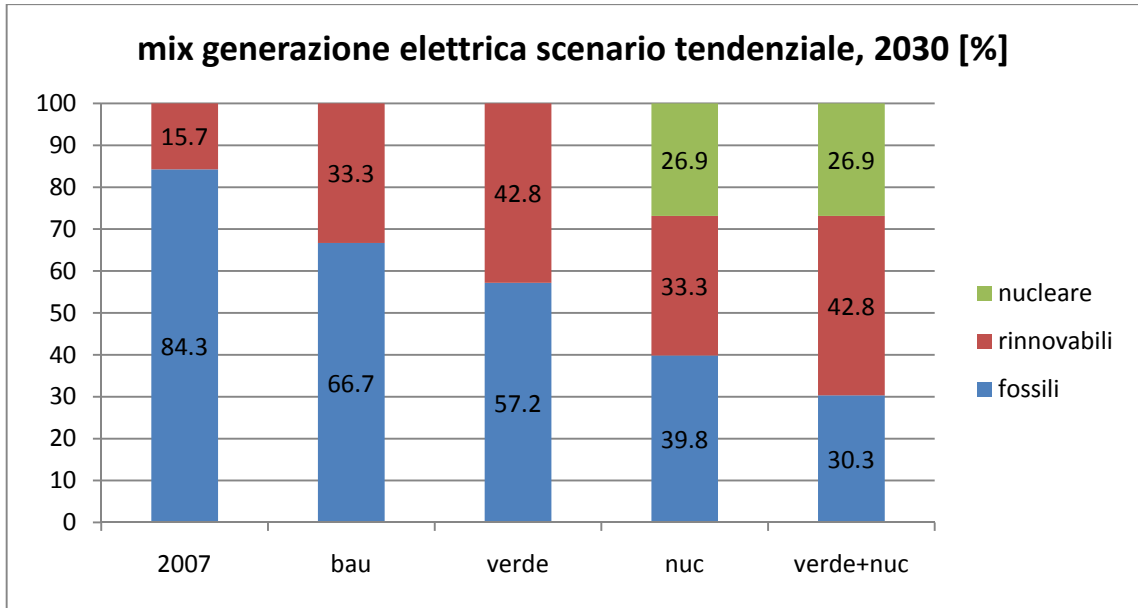


FIG. 66 - MIX DI GENERAZIONE AL 2030 NEI 4 CASI STUDIO DELLO SCENARIO TENDENZIALE.

8.9.2. Scenario efficiente

Nello scenario efficiente la domanda è minore rispetto lo scenario tendenziale. I mix di generazione elaborati per lo scenario efficiente sono presentati nella Tab. 110.

TAB. 110 - GENERAZIONE ELETTRICA SCENARIO EFFICIENTE [TWh].

	Efficiente: domanda 2030: 375.3 TWh, produzione lorda 2030: 340.6 TWh											
	BAU			verde			nucleare			nucleare + verde		
	fossili	rinn.	nucleare	fossili	rinn.	nucleare	fossili	rinn.	nucleare	fossili	rinn.	nucleare
2007	264.48	49.41		264.48	49.41		264.48	49.41		264.48	49.41	
2008	259.42	59.71		259.42	59.71		259.42	59.71		259.42	59.71	
2009	225.18	67.46		225.18	67.46		225.18	67.46		225.18	67.46	
2010	230.06	63.74		227.15	66.65		230.06	63.74		227.15	66.65	
2011	231.70	66.54		225.88	72.36		231.70	66.54		225.88	72.36	
2012	233.28	69.51		224.56	78.24		233.28	69.51		224.56	78.24	
2013	234.42	72.92		222.79	84.56		234.42	72.92		222.79	84.56	
2014	231.07	76.40		216.52	90.94		231.07	76.40		216.52	90.94	
2015	231.23	80.16		213.78	97.62		231.23	80.16		213.78	97.62	
2016	231.07	84.26		210.70	104.63		231.07	84.26		210.70	104.63	
2017	230.59	88.77		207.32	112.04		230.59	88.77		207.32	112.04	
2018	229.62	93.79		203.44	119.97		229.62	93.79		203.44	119.97	
2019	228.10	99.45		199.01	128.54		228.10	99.45	0.00	199.01	128.54	0.00
2020	227.15	105.95		195.15	137.95		227.15	105.95	0.00	195.15	137.95	0.00
2021	226.24	107.86		193.87	140.24		217.83	107.86	8.41	185.46	140.24	8.41
2022	226.29	109.77		193.54	142.52		216.48	109.77	9.81	183.73	142.52	9.81
2023	225.59	111.68		192.46	144.81		196.85	111.68	28.73	163.73	144.81	28.73
2024	224.12	113.59		190.63	147.09		175.07	113.59	49.06	141.57	147.09	49.06
2025	222.67	115.50		188.80	149.38		158.20	115.50	64.47	124.32	149.38	64.47
2026	221.22	117.41		186.98	151.66		132.92	117.41	88.30	98.68	151.66	88.30
2027	219.79	119.32		185.16	153.95		125.18	119.32	94.61	90.56	153.95	94.61
2028	218.36	121.24		183.36	156.23		118.84	121.24	99.51	83.85	156.23	99.51
2029	216.93	123.15		181.56	158.52		116.02	123.15	100.92	80.65	158.52	100.92
2030	215.52	125.06	0.00	179.77	160.80	0.00	114.60	125.06	100.92	78.86	160.80	100.92

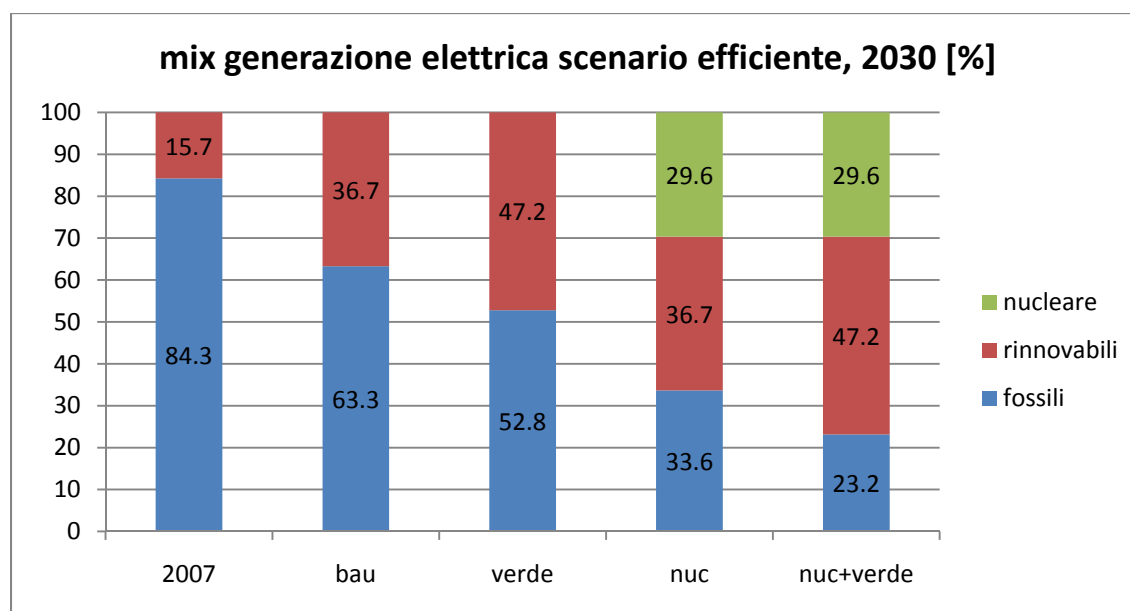


FIG. 67 - MIX DI GENERAZIONE AL 2030 NEI 4 CASI STUDIO DELLO SCENARIO EFFICIENTE.

Le emissioni di gas serra relative al settore elettrico per ogni scenario sono presentate nella Tab. 111.

TAB. 111 - EMISSIONI GAS SERRA [MtCO₂EQ].

Mt _{CO₂}	Scenario tendenziale				Scenario efficiente			
	BAU	verde	nuc	nuc +verde	BAU	verde	nuc	nuc + verde
2007	142.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2008	140.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	121.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010	124.32	-1.57	0.00	-1.57	0.00	-1.57	0.00	-1.57
2011	125.21	-3.14	0.00	-3.14	0.00	-3.14	0.00	-3.14
2012	126.07	-4.72	0.00	-4.72	0.00	-4.72	0.00	-4.72
2013	126.68	-6.29	0.00	-6.29	0.00	-6.29	0.00	-6.29
2014	128.71	-7.85	0.00	-7.85	0.00	-7.85	0.00	-7.85
2015	128.63	-9.41	0.00	-9.41	0.00	-9.41	0.00	-9.41
2016	128.37	-10.96	0.00	-10.96	0.00	-10.96	0.00	-10.96
2017	127.95	-12.51	0.00	-12.51	0.00	-12.51	0.00	-12.51
2018	127.27	-14.05	0.00	-14.05	0.00	-14.05	0.00	-14.05
2019	126.30	-15.59	0.00	-15.59	0.00	-15.59	0.00	-15.59
2020	125.64	-17.13	0.00	-17.13	0.00	-17.13	0.00	-17.13
2021	125.41	-17.28	-4.49	-21.77	-0.61	-17.89	-5.10	-22.38
2022	126.32	-17.43	-5.22	-22.66	-1.83	-19.27	-7.05	-24.49
2023	127.25	-17.58	-15.25	-32.84	-3.48	-21.06	-18.73	-36.31
2024	128.21	-17.73	-25.97	-43.70	-5.54	-23.28	-31.51	-49.25
2025	129.20	-17.88	-34.04	-51.92	-7.62	-25.51	-41.66	-59.55
2026	130.22	-18.03	-46.49	-64.52	-9.72	-27.75	-56.21	-74.24
2027	131.27	-18.18	-49.68	-67.86	-11.83	-30.01	-61.51	-79.69
2028	132.34	-18.33	-52.12	-70.45	-13.96	-32.29	-66.08	-84.41
2029	133.45	-18.48	-52.72	-71.19	-16.10	-34.58	-68.82	-87.30
2030	134.58	-18.63	-52.58	-71.21	-18.26	-36.89	-70.85	-89.47

8.10. ACCETTABILITÀ SOCIALE – DIFFERENTI PERCEZIONI TRA LA POPOLAZIONE

Lo studio sull'accettabilità sociale dell'Università di Padova ha permesso di analizzare le differenze di percezione e di aspettative tra persone con caratteristiche differenti. Le caratteristiche considerate per suddividere ed analizzare il campione sono state:

- sesso,
- età,
- titolo di studio,
- responsabilità amministrativa,
- settore professionale.

8.10.1. Analisi dipendenza sesso

Sono stati condotti dei test sulla varianza con il metodo ANOVA. La Tab. 112 mostra quali dei fattori e strategie analizzati presentano delle differenze significative tra maschi e femmine. Con la sigla “m” si è indicato il fattore che ha presentato una media minore per la popolazione di sesso maschile, con “f” la media minore si è avuta per la popolazione di sesso femminile.

TAB. 112 - TECNOLOGIA NUCLEARE, FATTORI CON DIFFERENZE SIGNIFICATIVE TRA MASCHI E FEMMINE.

Tecnologia nucleare	dim	ris	inf	dec	eco	env	ind	sci	pol	evo	cat
	m	m	m	-	-	m	-	m	-	-	-

Le percezioni delle dimensioni e rischio presentano differenze significative. La popolazione di sesso maschile percepisce questi due fattori con una media inferiore.

Tra le strategie proposte quelle relative alla diffusione delle informazioni (INF), all'importanza di sottolineare i benefici ambientali (ENV) e quella relativa alle opinioni degli scienziati (SCI) hanno presentato delle differenze significative tra la popolazione maschile e femminile.

In queste tre strategie la popolazione maschile ha votato l'importanza della strategia in esame con una media minore.

8.10.2. Analisi “dipendenza età”

La Tab. 113 mostra i fattori e le strategie che presentano differenze significative in relazione all'età dei rispondenti al questionario. Le celle con una “x” rappresentano i fattori che hanno presentato differenze significative nelle risposte in funzione dell'età della popolazione del campione. Come si può osservare, per tutti i fattori e le strategie, ad esclusione della strategia relativa alla “DEC partecipazione/condivisione dei benefici economici” ci sono delle differenze significative tra persone di età differente.

TAB. 113 - TECNOLOGIA NUCLEARE, FATTORI CHE PRESENTANO DIFFERENZE SIGNIFICATIVE IN RELAZIONE ALL'ETÀ.

Tecnologia nucleare	dim	ris	inf	dec	eco	env	ind	sci	pol	evo	cat
	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x

Per i fattori che hanno presentato differenze significative, con un ulteriore test denominato “multiple range test” ($p < 0.05$) sono state analizzate le differenti percezioni in relazione all'età della popolazione del campione. I paragrafi seguenti presentano i risultati dell'analisi statistica.

Dimensione – età

Nella prima colonna della Tab. 114 sono riportate le classi di età ordinate in ordine crescente. Le prime righe presentano una percezione delle dimensioni minori rispetto le ultime righe. Le righe che nella colonna “gruppi omogenei” hanno le “X” nella stessa colonna (stessa posizione) hanno una percezione omogenea della dimensione (sono statisticamente non differenti). Per esempio la prima riga è statisticamente differente dalla terza mentre si può considerare uguale alla quarta riga avendo la terza riga una “X” nella stessa posizione della prima riga.

TAB. 114 - TECNOLOGIA NUCLEARE, PERCEZIONE DELLE DIMENSIONI IN FUNZIONE DELL'ETÀ DEL CAMPIONE.

età	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
>60	276	8.97912	0.184207	X
20-30	840	9.13242	0.158196	XX
50-60	486	9.28202	0.165192	XX
<20	53	9.30212	0.29912	XXX
30-40	716	9.3137	0.155433	XX

40-50	620	9.39174	0.158502	X
-------	-----	---------	----------	---

Nota sul metodo: questa tabella applica una procedura di confronti multipli per determinare quali medie sono significativamente differenti dalle altre. Nella tabella sono identificati 3 gruppi omogenei utilizzando delle colonne di X. All'interno di ciascuna colonna, i livelli (le colonne) che contengono le "X" formano un gruppo di medie all'interno del quale non ci sono differenze statisticamente significative. Il metodo correntemente utilizzato per discriminare le medie è la procedura LSD (Least Significant Difference) di Fisher. Con questo metodo, esiste un rischio del 5.0% ($p < 0.05$) di dichiarare ciascuna coppia di medie significativamente differenti quando la differenza reale è 0 (non significativa).

Rischio – età

Le righe della Tab. 115 sono ordinate secondo una percezione del rischio crescente. Nella prima colonna è riportata la classe d'età. La minor percezione del rischio si presenta tra la popolazione avente >60 anni e 20-30 anni. La massima percezione del rischio si presenta tra la popolazione avente un'età compresa tra i 40 e 60 anni. La popolazione con una età <20 ha una percezione omogenea con tutti gli altri gruppi.

TAB. 115 - TECNOLOGIA NUCLEARE, PERCEZIONE DEL RISCHIO PER LA TECNOLOGIA NUCLEARE A SECONDA DELLA FASCIA DI ETÀ.

età	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
>60	278	8.77411	0.189526	X
20-30	847	8.821	0.162881	X
<20	53	9.00211	0.311165	XXX
30-40	726	9.24726	0.15937	X
50-60	489	9.31009	0.169971	XX
40-50	636	9.47568	0.162706	X

Strategia “diffusione informazioni” – età

La Tab. 116 presenta le valutazioni date dal campione a seconda della fascia di età per la strategia “diffusione di informazioni”.

TAB. 116 - TECNOLOGIA NUCLEARE, VALUTAZIONE STRATEGIA “INFORMAZIONI” A SECONDA DELLA FASCIA DI ETÀ.

età	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
<20	54	7.39789	0.545373	X
40-50	632	7.81046	0.288403	X
20-30	846	7.81951	0.287999	X
30-40	719	8.01872	0.282497	X
50-60	486	8.44929	0.302527	X
>60	270	8.69129	0.336834	X

Strategia “partecipazione alle decisioni” – età

La strategia relativa alla partecipazione al processo decisionale è stata valutata nel sondaggio come la strategia vincente per la tecnologia nucleare. La percezione dell'importanza di questa strategia in relazione all'età è rappresentata in Tab. 117.

TAB. 117 - TECNOLOGIA NUCLEARE, VALUTAZIONE STRATEGIA “PARTECIPAZIONE DECISIONE” IN FUNZIONE DELLA FASCIA DI ETÀ.

età	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
<20	55	7.78357	0.422686	X
20-30	858	8.47839	0.223186	XX
>60	275	8.48119	0.260996	XX
30-40	733	8.59415	0.218812	X
50-60	495	8.92172	0.233247	X
40-50	649	8.98216	0.222747	X

Strategia “ambiente” – età

La Tab. 118 presenta le statistiche per la valutazione della strategia “ambiente” in funzione della fascia d'età dei rispondenti.

TAB. 118 - TECNOLOGIA NUCLEARE, VALUTAZIONE STRATEGIA “AMBIENTE” IN FUNZIONE DELLA FASCIA D'ETÀ.

età	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
40-50	630	5.8256	0.329014	X
30-40	711	6.02061	0.322994	XX
50-60	473	6.07965	0.3444	XXX
>60	269	6.16124	0.384606	XXX
20-30	835	6.47497	0.329019	X
<20	52	7.09276	0.629297	XX

Strategia “indipendenza paese” – età

La Tab. 119 presenta le statistiche per la valutazione della strategia relativa alla riduzione delle importazioni di energia dall'estero (almeno da un punto di vista logistico) in funzione della fascia d'età dei rispondenti.

TAB. 119 - TECNOLOGIA NUCLEARE, VALUTAZIONE STRATEGIA “INDIPENDENZA ENERGETICA” IN FUNZIONE DELLA FASCIA D'ETÀ.

età	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
40-50	631	4.24258	0.330668	X
50-60	467	4.49468	0.34746	XX
30-40	707	4.71091	0.324176	X
20-30	836	5.26745	0.330897	X
>60	269	5.40551	0.385598	X
<20	54	5.87299	0.620515	X

Strategia “opinione scienziati” – età

La Tab. 120 presenta le statistiche per la valutazione della strategia relativa all'opinione degli scienziati in funzione della fascia d'età dei rispondenti.

TAB. 120 - TECNOLOGIA NUCLEARE, VALUTAZIONE STRATEGIA “OPINIONE SCIENZIATI” IN FUNZIONE DELLA FASCIA D'ETÀ.

età	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
50-60	492	7.1365	0.2932	X
40-50	643	7.22562	0.278999	X
>60	280	7.48147	0.325003	XXX
30-40	727	7.50226	0.273281	X X
20-30	857	7.92842	0.279128	X
<20	55	8.42277	0.527799	XX

Strategia “opinione dei politici” – età

La Tab. 121 presenta le statistiche per la valutazione della strategia relativa all'opinione dei politici in funzione della fascia d'età dei rispondenti.

TAB. 121 - TECNOLOGIA NUCLEARE, VALUTAZIONE STRATEGIA “OPINIONE DEI POLITICI” IN FUNZIONE DELLA FASCIA D'ETÀ.

età	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
50-60	518	3.64263	0.301616	X
40-50	655	3.74411	0.288913	XX
>60	293	4.00033	0.335047	XXX
30-40	737	4.06613	0.283226	XX
20-30	872	4.40807	0.288525	X
<20	53	4.52642	0.55787	XXX

Evoluzione tecnologica – età

Le aspettative di evoluzione tecnologica per tecnologia nucleare sono risultate essere tra le più basse tra tutte le tecnologie. La Tab. 122 mostra la differenti aspettative tra le categorie di persone in relazione alla loro

età. La popolazione tra i 30 ed i 60 anni si aspetta una evoluzione tecnologica minore rispetto la popolazione con più di 60 anni o con meno di 30 anni.

TAB. 122 - TECNOLOGIA NUCLEARE, VALUTAZIONE ASPETTATIVE DI EVOLUZIONE TECNOLOGICA IN FUNZIONE DELLA FASCIA D'ETÀ.

età	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
40-50	588	5.15738	0.317584	X
50-60	463	5.23738	0.332559	X
30-40	651	5.51783	0.312263	X
20-30	769	5.95063	0.317375	X
>60	267	6.44452	0.367281	X
<20	46	6.72958	0.619575	X

Capacità attesa – età

La Tab. 123 mostra le statistiche per quanto riguarda le aspettative di nuova capacità attesa per la tecnologia nucleare. La popolazione avente 40-50 anni è quella che si aspetta la minore installazione di nuova capacità, quella con meno di 30 anni e >60 anni la maggiore.

TAB. 123 - TECNOLOGIA NUCLEARE, STATICHE ASPETTATIVE NUOVA CAPACITÀ IN RELAZIONE ALL'ETÀ DELLA POPOLAZIONE.

età	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
40-50	554	3.54301	0.27863	X
50-60	445	3.93028	0.289384	X
30-40	627	4.04178	0.2733	X
20-30	720	4.52322	0.276193	X
<60	254	4.62266	0.321338	X
>20	49	5.31744	0.521306	X

8.10.3. Analisi dipendenza livello educazione scolastica

La Tab. 124 mostra i fattori e le strategie che presentano delle variazioni statisticamente significative in relazione al livello di educazione e per essi, nei paragrafi seguenti, sono riportati i risultati dei test “multiple range test” ($p < 0.05$) in funzione del titolo di studio.

TAB. 124 - TECNOLOGIA NUCLEARE, FATTORI CHE PRESENTANO DIFFERENZE SIGNIFICATIVE IN FUNZIONE DEL TITOLO DI STUDIO.

Tecnologia nucleare	dim	ris	inf	dec	eco	env	ind	sci	pol	evo	cat
	X	X	-	-	X	-	X	-	X	X	-

Dimensioni – livello educazione scolastica

La Tab. 125 mostra la percezione delle dimensioni della tecnologia nucleare in relazione al titolo di studio della popolazione. La prima colonna presenta il titolo di studio. La colonna “gruppi omogenei” presenta quali categorie del campione presentano la medesima percezione.

TAB. 125 - TECNOLOGIA NUCLEARE, PERCEZIONE DELLE DIMENSIONI IN RELAZIONE AL TITOLO DI STUDIO.

Livello educazione scolastica	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
6 Laurea	974	8.98757	0.155059	X
8 Master/MBA	100	9.01218	0.234247	XX
7 Specializz. post-laurea	191	9.0489	0.192743	XX
1 Scuola media primaria	65	9.15439	0.274722	XXX
9 Dottorato di ricerca	164	9.19396	0.209192	XXX
5 Laurea 3 anni	342	9.22648	0.179875	XXX
4 Diploma di maturità	806	9.30566	0.160252	XX
3 Istituto professionale	82	9.33364	0.247228	XXX
2 Scuola media secondaria	244	9.45339	0.189754	X
10 altro	23	9.61904	0.408719	XXX

Rischio – livello educazione scolastica

Come varia la percezione del rischio relativo alla tecnologia nucleare in funzione del titolo di studio? La Tab. 126 mostra come la popolazione percepisce il rischio della tecnologia nucleare in funzione del titolo di studio. Si nota come la popolazione che presenta un'educazione scolastica di livello maggiore (9, 6, 7, 8) percepisca il rischio in misura minore rispetto la popolazione con un'educazione minore (1, 4, 2, 3).

TAB. 126 - TECNOLOGIA NUCLEARE, PERCEZIONE DEL RISCHIO IN FUNZIONE DEL TITOLO DI STUDIO.

Livello educazione scolastica	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
9 Dottorato di ricerca	170	8.68973	0.214691	X
10 Altro	26	8.82384	0.404105	XXXX
6 Laurea	983	8.89965	0.159675	XX
7 Specializz. post-laurea	193	9.03394	0.199026	XXX
8 Master/MBA	101	9.04899	0.24257	XXXX
5 Laurea 3 anni	342	9.10511	0.185817	XX
3 Istituto professionale	83	9.2452	0.256931	XXX
2 Scuola media secondaria	246	9.32963	0.195329	XX
4 Diploma di maturità	819	9.36995	0.164386	X
1 Scuola media primaria	66	9.50437	0.284207	XX

Aspettative evoluzione tecnologica – livello educazione scolastica

La Tab. 127 mostra le aspettative in termini di evoluzione tecnologica del campione suddiviso in categorie secondo il livello di educazione. Le maggiori aspettative ci sono per la categoria con il più elevato titolo di studio.

TAB. 127 - TECNOLOGIA NUCLEARE, ASPETTATIVE EVOLUZIONE TECNOLOGICA IN FUNZIONE DEL LIVELLO DI EDUCAZIONE SCOLASTICA.

Livello educazione scolastica	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
1 Scuola media primaria	62	5.30808	0.549327	XXX
8 Master/MBA	96	5.37447	0.471637	XX
5 Laurea 3 anni	313	5.52909	0.365865	X
4 Diploma di maturità	762	5.56674	0.323256	X
10 Altro	19	5.67722	0.871193	XXX
7 Specializz. post laurea	182	6.08315	0.386199	XXX
2 Scuola media secondaria	230	6.09341	0.381344	XXX
6 Laurea	904	6.10067	0.311221	XX
3 Istituto professionale	78	6.22914	0.495909	XXX
9 Dottorato di ricerca	138	6.43357	0.434563	X

Strategia “condivisione benefici economici” – livello educazione scolastica

La Tab. 128 mostra le valutazioni date all'importanza della strategia “condivisione benefici economici” in relazione al livello di educazione scolastica del campione.

TAB. 128 - TECNOLOGIA NUCLEARE, VALUTAZIONE STRATEGIA “CONDIVISIONE BENEFICI ECONOMICI” IN RELAZIONE AL LIVELLO DI EDUCAZIONE SCOLASTICA.

Livello educazione scolastica	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
1 Scuola media primaria	57	4.59712	0.599909	X
10 Altro	18	5.66415	0.944628	XXXX
2 Scuola media secondaria	242	6.15123	0.399131	X
4 Diploma di maturità	767	6.3493	0.338727	X
5 Laurea 3 anni	322	6.43574	0.383644	XX
8 Master/MBA	98	6.65348	0.493792	XXX
3 Istituto professionale	78	6.71397	0.526303	XXX
6 Laurea	924	6.84459	0.328087	XX

7 Specializz. post laurea	182	7.04081	0.407317	XX
9 Dottorato di ricerca	155	7.32709	0.443574	X

Strategia “indipendenza energetica” – livello educazione scolastica

La Tab. 129 illustra le statistiche per la valutare dell’importanza della strategia “miglioramento indipendenza strategica” in relazione al livello di educazione scolastica del campione.

TAB. 129 - TECNOLOGIA NUCLEARE, VALUTAZIONE STRATEGIA “INDIPENDENZA ENERGETICA” IN RELAZIONE AL LIVELLO DI EDUCAZIONE SCOLASTICA.

Livello educazione scolastica	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
1 Scuola media primaria	59	3.70818	0.591367	X
5 Laurea 3 anni	345	4.54368	0.374574	XX
4 Diploma di maturità	792	4.70659	0.333103	XX
2 Scuola media secondaria	242	4.72479	0.394514	XXX
7 Specializz. post laurea	193	4.97833	0.398674	XXX
6 Laurea	970	5.11476	0.321941	XX
8 Master/MBA	103	5.20868	0.485144	XXX
3 Istituto professionale	81	5.23522	0.516284	XXX
9 Dottorato di ricerca	161	5.67479	0.432789	X
10 Altro	18	6.09518	0.952826	XXX

Strategia “opinione dei politici” – livello di educazione scolastica

La Tab. 130 mostra le statistiche per la valutazione dell’importanza della strategia “opinione dei politici” in relazione al livello di educazione scolastica del campione.

TAB. 130 - TECNOLOGIA NUCLEARE, VALUTAZIONE STRATEGIA “OPINIONE DEI POLITICI” IN RELAZIONE AL LIVELLO DI EDUCAZIONE SCOLASTICA.

Livello educazione scolastica	Conteggio	Media dei Min. Quad.	Sigma dei Min. Quad.	Gruppi omogenei
10 Altro	23	2.92829	0.766234	XX
9 Dottorato di ricerca	169	3.70021	0.382723	XX
4 Diploma di maturità	848	3.76502	0.292527	X
1 Scuola media primaria	70	4.07545	0.497189	XXX
5 Laurea 3 anni	351	4.09372	0.330782	XXX
3 Istituto professionale	85	4.13872	0.455895	XXX
2 Scuola media secondaria	256	4.22236	0.346413	XXX
6 Laurea	1016	4.32108	0.283479	XX
7 Specializz. post laurea	204	4.66205	0.350542	X
8 Master/MBA	106	4.73925	0.428763	X

8.11. DISCUSSIONE E CONCLUSIONE

Impatto della tecnologia nucleare nel sistema elettrico nazionale

La re-introduzione della tecnologia nucleare potrebbe ridurre le emissioni di gas serra del settore termoelettrico. Nello scenario Tendenziale, caso studio “BAU”, Fig. 66, nel mix di generazione lorda la quota di energia elettrica prodotta da fonti fossili al 2030 è pari al 66.7%. Il caso studio “nucleare” che prevede l’installazione per il 2030 di 8 impianti termonucleari (vedi Tab. 108), riduce la percentuale di produzione da fonti fossili al 39.8%. La percentuale di produzione di energia elettrica da fonti fossili si riduce al 30.3% nel caso lo sviluppo delle fonti rinnovabili sia più accentuato di quello considerato “Business as Usual” (caso studio “verde + nucleare”, scenario tendenziale).

Considerando lo scenario “efficiente”, Fig. 67, nel caso studio “BAU”, al 2030 la percentuale di produzione di energia elettrica da fonti fossili è pari al 63.3%; l’introduzione della produzione da fonte nucleare abbassa tale percentuale al 33.6%. La percentuale di produzione di energia elettrica da fonte fossile nello scenario efficiente si riduce al 23.2% nel caso studio “verde + nucleare”.

Le emissioni di gas serra del settore termoelettrico nell'anno 2030 nel caso studio "BAU" dello scenario tendenziale raggiungono i 134.58 Mt_{CO2eq}/anno. L'introduzione dell'ipotesi nucleare riduce le emissioni annuali al 2030 di 52.58 Mt_{CO2eq}/anno. Da osservare che queste stime non tengono in considerazione le emissioni dell'intero ciclo di vita di una centrale termonucleare. Non ci sono stime concordanti sulla quantità di energia e relative emissioni necessaria per costruire una centrale, smantellarla e stoccare le scorie prodotte. Le stime delle emissioni riguardano solamente la generazione di energia elettrica.

Percezione ed aspettative della tecnologia nucleare

Nei paragrafi seguenti ci sono alcune osservazioni sulle statistiche relative alla tecnologia termonucleare fissile.

Percezione delle dimensioni

La tecnologia nucleare è risultata essere la tecnologia con le dimensioni percepite maggiori, Tab. 69. La sua valutazione è risultata essere più che doppia rispetto le "tecnologie solari" (fotovoltaico, solare termico, solare termodinamico) ed il mini - idroelettrico.

La percezione delle dimensioni tra la popolazione è diversa in funzione del sesso del rispondente, dell'età e del suo titolo di studio, Tab. 112, Tab. 113, Tab. 124.

In funzione del sesso, la popolazione di sesso maschile percepisce la tecnologia nucleare con dimensioni minori.

In funzione della fascia di età la popolazione con più di 60 anni di età è la categoria del campione che percepisce la tecnologia nucleare con le dimensioni minori. Le dimensioni maggiori invece sono percepite dalla popolazione avente tra i 40 ed i 50 anni. Le differenze relative e significative tra le differenti fasce d'età sono rappresentate in Tab. 114.

In funzione del livello di educazione scolastica la percezione delle dimensioni varia anche in funzione del livello di educazione scolastica, Tab. 125. Vi sono differenze significative soprattutto fra chi è in possesso di una laurea quinquennale (minima percezione) e chi è in possesso del diploma di scuola media secondaria (valutazione più alta).

Percezione del rischio

La tecnologia nucleare è stata valutata dalla popolazione come la tecnologia con il rischio percepito maggiore, Tab. 69. La differenza a rispetto tutte le altre tecnologie è sostanziale come si può osservare in Fig. 54. La percezione del rischio per la tecnologia nucleare è più del doppio rispetto molte altre tecnologie.

In funzione del sesso la popolazione di sesso maschile percepisce un rischio minore per la tecnologia nucleare, Tab. 112.

In funzione dell'età la percezione del rischio della tecnologia nucleare in funzione della fascia d'età è rappresentata in Tab. 115. Vi sono 3 gruppi omogenei. La differenza maggiore si ha tra la popolazione avente più 60 anni e con età compresa tra 20 e 30 anni (percezione rischio minima) e quella tra i 30-60 anni (valutazione massima).

In funzione del titolo di studio la Tab. 126 mostra le statistiche per la percezione del rischio della tecnologia nucleare in funzione del titolo di studio. Le prime 5 righe contengono i titoli di studio dalla laurea e successivi (più la risposta "altro"). La percezione è in valore medio minore rispetto alla popolazione con livello di educazione inferiore alla laurea. La varianza delle risposte per le prime 5 categorie è elevata e quindi statisticamente le differenze significative con gli altri gruppi sono meno significative. La popolazione rappresentata dalle seconde 5 righe della tabella hanno una media maggiore in valore assoluto ed una varianza minore. Le principali e significative differenze si hanno tra la popolazione con titolo di studio laurea e dottorato di ricerca e la popolazione con titolo di studio scuola media primaria e scuola media secondaria.

Aspettative evoluzione tecnologica

Le aspettative per la tecnologia nucleare in termini di evoluzione tecnologica sono molto basse (penultima posizione), Tab. 71.

In funzione del sesso non ci sono differenze statisticamente significative.

In funzione dell'età considerando la Tab. 122 la popolazione avente 30-60 anni è quella che si aspetta la minor evoluzione tecnologica mentre la popolazione con una età minore di 30 anni o maggiore di 60 presenta una aspettativa di evoluzione tecnologica maggiore.

In funzione del titolo di studio considerando la Tab. 127 la popolazione con una laurea quinquennale o con un dottorato di ricerca hanno una aspettativa maggiore rispetto alla popolazione con un Diploma di Maturità o una laurea triennale. Le altre categorie presentano delle risposte con una varianza elevata.

Aspettative Capacità attesa

La tecnologia nucleare è la tecnologia per la quale la popolazione si aspetta la minor quantità di nuova capacità installata nei prossimi 20 anni, Tab. 71. Le attese della popolazione in termini di nuovi impianti sono un indice di cosa la popolazione si aspetta ed è legato alla probabilità di insorgenza di problemi di accettabilità sociale.

L'attuale Governo Italiano ha manifestato l'intenzione di ritornare a produrre energia elettrica da fonte nucleare. La popolazione, viceversa, si aspetta solo in minima parte l'installazione di nuova capacità di impianti termoelettrici. E' possibile ipotizzare che i nuovi impianti nucleari incontreranno una forte opposizione.

In funzione del sesso non ci sono differenze significative dipendenti dal sesso della popolazione.

In funzione dell'età, Tab. 123, anche in questo caso la popolazione con una età "intermedia" ovvero tra i 30 ed i 60 anni ha aspettative minori rispetto la popolazione con una età inferiore ai 30 anni o superiore a 60 anni.

In funzione del livello di educazione scolastica non ci sono differenze statisticamente significative in relazione al titolo di studio.

Strategie

Strategia "partecipazione alle decisioni"

la strategia "partecipazione alle decisioni" è stata valutata come la strategia più importante, Tab. 76.

In funzione del sesso essa non presenta differenze statisticamente significative.

In funzione dell'età vi sono invece differenze statisticamente significative, Tab. 117. Questa strategia ha ricevuto la valutazione minima dalla popolazione con una età inferiore ai 20 anni, mentre la valutazione massima è stata data dalla popolazione con una età compresa tra i 40 ed i 60 anni. Il "bisogno" di partecipare è maggiore per chi ha più di 40 anni, mentre tra la popolazione con meno di 20 anni ritiene meno importante partecipare alle decisioni al fine di migliorare l'accettabilità sociale di nuovi progetti ed impianti nucleari.

In funzione del livello di educazione scolastica non ci sono differenze statisticamente significative.

Strategia "divulgazione informazione"

In funzione del sesso considerando la Tab. 112 si vede come la popolazione di sesso maschile abbia dato una valutazione minore rispetto alla popolazione di sesso femminile.

In funzione dell'età la strategia "divulgazione delle informazioni" si è classificata al secondo posto per la tecnologia nucleare, Tab. 76. La percezione dell'importanza di questa strategia in funzione della fascia d'età è rappresentata nella Tab. 116. La popolazione con una età inferiore ai 50 anni ha dato una valutazione minore rispetto la popolazione con più di 50 anni.

In funzione del livello di educazione scolastica non ci sono differenze statisticamente significative.

Strategia "opinione degli scienziati e persone autorevoli"

In funzione del sesso considerando la Tab. 112 si osserva che questa strategia ha ottenuto una valutazione minore da parte della popolazione maschile.

In funzione dell'età le valutazioni a questa domanda suddivise per fascia di età sono rappresentate in Tab. 120. Vi è una differenza significativa tra la popolazione avente una età compresa fra i 40 e 60 anni (valutazione minima) e la popolazione con una età inferiore ai 30 anni (valutazione massima).

In funzione del livello di educazione scolastica non ci sono differenze statisticamente significative.

Strategia "condivisione benefici economici"

In funzione del sesso non ci sono differenze statisticamente significative tra la popolazione.

In funzione dell'età non ci sono differenze statisticamente significative nel campione.

In funzione del livello di educazione scolastica con riferimento alla Tab. 128 la valutazione minore è stata data dalla popolazione che ha come titolo di studio il diploma di partecipazione alla scuola media primaria. La valutazione maggiore è stata data dalle persone con dottorato di ricerca. Nelle ultime tre posizioni (valutazioni con media maggiore) si trova la popolazione con un livello di educazione scolastica pari alla laurea quinquennale o successivo.

Strategia “benefici ambientali – effetto serra”

In funzione del sesso considerando la Tab. 112 si osserva che questa strategia ha ottenuto una valutazione minore da parte della popolazione maschile.

In funzione dell'età con riferimento alla Tab. 118 si osserva una differenza significativa tra la popolazione avente una età compresa tra 40 e 50 anni (valutazione minima) e la popolazione del campione avente una età minore di 30 anni (valutazione massima).

In funzione del livello di educazione scolastica non ci sono differenze statisticamente significative.

Strategia “indipendenza energetica”

Il vantaggio in termini di incremento dell'indipendenza energetica del Paese viene spesso sottolineato sui media tradizionali come uno dei motivi per cui si desidera re-introdurre il termonucleare nel sistema elettrico italiano. Nonostante ciò questa strategia è stata valutata poco importante rispetto alle altre posizionandosi al sesto posto.

In funzione del sesso non ci sono differenze statisticamente significative tra la popolazione.

In funzione dell'età considerando la Tab. 119 si vede che la valutazione minima è stata data dalla popolazione con una età compresa tra i 40 e 50 anni mentre la maggiore è stata data dalla popolazione con una età inferiore ai 30 anni o maggiore ai 60 anni.

In funzione del livello di educazione scolastica considerando la Tab. 129 si vede che la maggior differenza si ha tra la popolazione in possesso di licenza di scuola media primaria (valutazione minima) e la popolazione con dottorato di ricerca (valutazione media) o con titolo di studio “altro”. La popolazione con licenza di scuola media primaria presenta differenze significative con la popolazione avente specializzazione post laurea, laurea, Master/MBA, istituto professionale e dottorato di ricerca.

Strategia opinione dei politici

Per tutte le tecnologie la strategia relativa all'opinione della classe politica si è classificata in ultima posizione.

In funzione del sesso non ci sono differenze statisticamente significative tra la popolazione

In funzione dell'età considerando la Tab. 121 si nota che la minor valutazione per questa strategia è stata data dalla popolazione del campione avente una età compresa tra i 50 e 60 anni, mentre una valutazione maggiore statisticamente differente è stata data dalla popolazione con un'età compresa tra i 20 e 40 anni.

In funzione del livello di educazione scolastica con riferimento alla Tab. 130 si nota che i gruppi che non sono omogenei sono tra la riga relativa a chi ha un diploma di maturità e le ultime 3 righe (laurea, specializzazione post laurea e master/MBA).

9. Conclusioni

Per limitare i cambiamenti climatici dovuti all'attività umana è necessario accelerare gli investimenti in tecnologie rinnovabili ed in tecnologie a basso impatto ambientale. Secondo i rapporti della IPCC per contenere la crescita della temperatura media atmosferica della terra entro i 2.4 – 2.8 °C è necessario aumentare gli investimenti in tecnologie a basso impatto ambientale ad un livello pari allo 0.44% del PIL (media periodo 2006 – 2030) mondiale secondo lo scenario “2020 peak”, contro lo 0.33% dello scenario “base case”. Solamente così si riuscirà ad invertire l'andamento delle emissioni prima dell'anno 2020. Secondo il modello NEF GF 2009 le tecnologie che cresceranno maggiormente a livello mondiale nei prossimi decenni sono il fotovoltaico e l'eolico onshore.

Dalle analisi di scenario eseguite con il modello DIEM, gli obiettivi imposti all'Italia dal cosiddetto pacchetto 20-20-20 sono raggiungibili a patto di applicare alcune opzioni energetiche di carattere tecnologico (rinnovabili, efficienza, nucleare, energia da rifiuti, CCS) e socio – politico (cambiamenti di abitudini e comportamenti).

Le analisi di scenario indagate con il modello DIEM devono tenere in considerazione anche vincoli economici, sociali e politici al fine di valutare la reale applicabilità degli interventi simulati. Alla luce di questa considerazione sono stati fatti degli approfondimenti riguardanti l'efficienza energetica nel settore civile e l'impatto dell'energia nucleare nel sistema elettrico italiano: è stata affrontata la questione dell'accettabilità sociale degli impianti energetici con particolare riferimento alle tecnologie rinnovabili e al nucleare.

I consumi del settore civile contano per circa un terzo dei consumi finali italiani. Sono state eseguite delle analisi tecnico economiche per una serie di interventi applicabili agli edifici esistenti o in costruzione. Alcune delle opzioni sono attualmente economicamente convenienti, con tempi di ritorno dell'investimento molto bassi. Per alcune zone del nostro Paese, con una spesa aggiuntiva di circa il 10%, è possibile in fase di costruzione dotare un nuovo edificio di una serie di accorgimenti tecnologici in grado da renderlo energeticamente indipendente.

Sempre più spesso la costruzione di nuovi impianti energetici, siano essi alimentati da fonti rinnovabili, fossili o nucleare, è duramente contrastata dalla popolazione. La misura delle percezioni in termini di dimensioni e rischio ha evidenziato le sostanziali differenze esistenti tra tecnologie rinnovabili e tecnologie termoelettriche (fossili tradizionali e nucleare). Parallelamente le differenze sono emerse anche nella misura delle aspettative in termini di nuova capacità prevista ed evoluzione tecnologica: anche in questo caso le tecnologie rinnovabili, ad esclusione dell'idroelettrico di grandi dimensioni, e le tecnologie alimentate da fonti fossili hanno evidenziato delle sostanziali differenze.

I benefici in termini di riduzione dell'utilizzo di fonti fossili per la generazione dell'energia elettrica ed i benefici in termini di riduzione di emissione di gas ad effetto serra che si potrebbero ottenere con l'installazione di nuove centrali termonucleari sembra contrastare con la volontà della popolazione italiana. Assumendo che le tecnologie percepite più grandi e rischiose ed aventi le minori aspettative in termini di nuova capacità ed evoluzione tecnologica, siano quelle che in futuro avranno i maggiori problemi di accettabilità sociale, appare evidente come la probabilità che nuovi impianti nucleari non siano pienamente accettati sia molto elevata. Lo sviluppo del nucleare passa inevitabilmente una maggior comunicazione e condivisione degli aspetti tecnologici ed economici degli investimenti.

Terreno molto fertile dal punto di vista dell'accettazione sociale pare essere quello in cui si gioca lo sviluppo delle tecnologie rinnovabili alimentate dalla fonte solare (fotovoltaico, pannelli per acqua calda sanitaria e solare termodinamico). Le percezioni e le aspettative per queste tecnologie facilitano lo sviluppo auspicato dallo scenario “2020 peak” in cui si incita una forte penetrazione della tecnologia fotovoltaica.

In definitiva possiamo affermare che secondo il modello DIEM e secondo questo studio l'Italia potrebbe riuscire a raggiungere gli obiettivi del "Pacchetto 20-20-20" con un intervento coordinato in termini di installazione di tecnologie a basso impatto ambientale, promuovendo le misure di efficienza energetica e con una politica energetica in grado di stimolare cambiamenti nelle abitudini e nei comportamenti delle persone. La questione dell'accettabilità sociale non va sottovalutata soprattutto per tecnologie quali il nucleare: in questo caso è necessario fornire una maggior informazione verso la popolazione ed un confronto diretto con la stessa.

Bibliografia

1. **International Energy Agency.** *World Energy Outlook 2009 Edition*. ISBN: 978 92 64 06130 9.
2. **Intergovernmental Panel on Climate Change.** IPCC Fourth Assessment Report (AR4). [Online] http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm.
3. **Commissione delle Comunità Europee.** Libro Verde - Una strategia europea per un'energia sostenibile, competitiva e sicura. [Online] 08 03 2006. http://europa.eu/legislation_summaries/energy/european_energy_policy/l27062_it.htm.
4. —. Comunicazione della Commissione al Consiglio Europeo e al Parlamento Europeo - Una Politica Energetica per l'Europa. [Online] 10 01 2007. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0001:FIN:IT:PDF>.
5. **Consiglio dell'Unione Europea.** *Consiglio Europeo di Bruxelles 8-9 Marzo 2007, Conclusioni della Presidenza n. 7224/07*.
6. **Commissione delle Comunità Europee.** Libro Verde sull'efficienza energetica: fare di più con meno. [Online] <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2005:0265:FIN:IT:PDF>.
7. **Parlamento Europeo, Consiglio Europeo.** Decisione n. 406/2009/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, concernente gli sforzi degli Stati membri per ridurre le emissioni dei gas a effetto serra [...]. COD 2008/0014.
8. **Parlamento europeo, Consiglio Europeo.** Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE. COD 2008/0016.
9. **Gallanti, Massimo e Grattieri, Walter.** *Applicazione della Direttiva Europea sull'efficienza energetica ed i servizi energetici: contributo alla definizione di un Pian d'Azione Nazionale*. 2008.
10. **ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.** Rapporto Energia e Ambiente 2007 - 2008, I dati. [Online] http://www.enea.it/produzione_scientifica/volumi/REA_2007/REA2007_Dati.html.
11. **Parlamento Italiano.** Legge 6 agosto 2008, n. 133. [Online] <http://www.camera.it/parlam/leggi/081331.htm>.
12. —. Legge 23 luglio 2009, n. 99. [Online] <http://www.parlamento.it/parlam/leggi/090991.htm>.
13. **Repubblica Italiana, Ministero dello sviluppo Economico.** Bilancio Energetico Nazionale (Energy Annual Review). [Online] <http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/ben.asp>.
14. **TERNA.** Statistiche e previsioni. [Online] http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA_ELETTTRICO/statistiche.aspx.
15. **ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.** Italian Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2007. [Online] 2009. http://www.apat.gov.it/site/_contentfiles/00155800/155881_NIR09_ITALY_stampa.pdf.
16. **Ministero Attività Produttive.** Scenario Energetico Tendenziale del MAP. *Dipartimento per l'Energia del Ministero dello Sviluppo Economico*. [Online] http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/scenarioenergetico/scenario_energetico_tendenziale_al_20_20_vers05_05.pdf.
17. **Gracceva, Francesco.** Scenari e strategie di medio e lungo periodo per il sistema energetico italiano. *Energia, Ambiente e Innovazione*. 2008, 5.
18. **ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.** *Rapporto Energie e Ambiente, Analisi e Scenari 2008*. 2009.
19. **ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.** *Rapporto Energia e Ambiente 2007 - 2008 - L'analisi*.
20. **Unione Petrolifera.** *Previsioni di domanda energetica e petrolifera italiana 2010 > 2025*. 2010.
21. **Bhattacharyya, Subhes C.; Timilsina, Govinda R.** *Energy Demand Models for Policy Formulation - A comparative study of energy demand models*. 2009.
22. **Qudrat-Ullah, Hassan e Seong, Baek Seo.** How to do structural validity of a system dynamics type simulation model: The case of an energy policy model. *Energy Policy*.

23. **European Environment Agency.** *Modelling environmental change in Europe: towards a model inventory (SEIS/Forward)*. 2008. ISBN 978-92-9167-983-6.
24. **International Energy Agency.** World Energy Model: methodology and assumptions. [Online] 2006. http://www.worldenergyoutlook.org/annex_c.pdf.
25. —. World Energy Outlook. [Online] <http://www.worldenergyoutlook.org/>.
26. **Meadows, Donella H., Randers, Jorgen e Meadows, Dennis L.** *Limits to Growth: The 30-Year Update*. 2004. ISBN 1-931498-58-X.
27. **Energy Technology Systems Analysis Program ETSAP.** ETSAP MARKAL. [Online] <http://www.etsap.org/markal/main.html>.
28. **Energy Technology Systems Analysis Programme.** Documentation for the MARKAL Family of Models. [Online] http://www.etsap.org/MrkiDoc-I_StdMARKAL.pdf.
29. **Loulou, Richard e Labriet, Maryse.** ETSAP-TIAM: the TIMES integrated assessment model Part I: Model structure. *Computational Management Science*. Vol. 5, 1-2.
30. **National Technical University of Athens.** The PRIMES energy System Model - Summary description. [Online] <http://www.e3mlab.ntua.gr/manuals/PRIMsd.pdf>.
31. **Intergovernmental Panel on Climate Change.** *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2 Energy*. 2006.
32. **ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.** Rapporto Energia e Ambiente 2007-2008. *ENEA*. [Online] http://www.enea.it/produzione_scientifica/volumi/V2010_REA2007-2008.html.
33. **ISTAT.** Conti Economici Nazionali. *ISTAT*. [Online] <http://www.istat.it/conti/nazionali/>.
34. **Repubblica Italiana, Presidenza del Consiglio dei Ministri.** Energia: temi e sfide per l'Europa e per l'Italia. Position Paper del Governo italiano. [Online] 2007. <http://www.politichecomunitarie.it/comunicazione/15403/ue-ed-energie-rinnovabili-la-posizione-italiana>.
35. **Togni, Simone.** Wind Energy in Italy: state of the art and prospects. *Energia, Ambiente e Innovazione*. 2009, p. 58 - 64.
36. **Consonni, S. e Viganò, F.** Integrazione dei processi di produzione e termoutilizzazione del CDR. Parte 2: stima delle emissioni dirette in atmosfera. Dicembre 2007, p. 46 - 50.
37. **Consonni, S. e Dainese, C.** Technologies for energy recovery from municipal solid waste. *Rifiuti Solidi*. 2009, p. 217 - 236.
38. **ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.** ISPRA: Rapporto Rifiuti. [Online] http://www.apat.gov.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/Rapporto_Rifiuti/.
39. **Commission of the European Communities.** *Joint impact assessment on the package of implementation measures for the EU's objectives on climate change and renewable energy for 2020 (working document)*. 2008.
40. **International Energy Agency.** *World Energy Outlook 2008 edition*. ISBN: 978-92-64-04560-6.
41. **Autorità per l'Energia Elettrica ed il Gas.** Proposte di schede tecniche per la quantificazione dei risparmi di energia primaria relativi agli interventi di cui all'art. 5, comma 1 dei Decreti ministeriali 20 luglio 2004. [Online] 2004. http://www.autorita.energia.it/docs/dc/dc_041027.htm.
42. —. Proposte per l'attuazione dei decreti ministeriali del 24 aprile 2001 per la promozione dell'efficienza energetica negli usi finali. [Online] 2002. http://www.autorita.energia.it/docs/dc/02/dc_efficienzaenergetica.pdf.
43. **confedilizia.it.** Zone climatiche. *confedilizia.it*. [Online] <http://www.confedilizia.it/clima-ZONE.htm>.
44. **ENEA Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.** Atlante Italiano della Radiazione Solare. [Online] <http://www.solaritaly.enea.it/>.
45. **Tegola Canadese.** Le coperture e i problemi stagionali. [Online] <http://www.tegolacanadese.com/AreaDownload/download.aspx?id=29>.
46. **Oriani, Odoacre.** Il sistema di ventilazione meccanica controllato. [a cura di] AICARR. 2008.
47. **Wüstenhagen, Rolf, Wolsink, Maarten e Bürer, Mary Jean.** Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*. 2007, p. 2683 - 2691.
48. **Gregory, Robin, Slovic, Paul e Flynn, James.** Risk perceptions, stigma, and health policy. *Health & Place*. 1996, p. 213 - 220.
49. **Tokushige, Kohko, Akimoto, Keigo e Tomoda, Toshimasa.** Public perceptions on the acceptance of geological storage of carbon dioxide and information influencing the acceptance. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2007, p. 101 - 112.

50. **Jobert, Arthur, Laborgne, Pia e Mimler, Solveig.** Local acceptance of wind energy: factors of success identified in French and German case studies. *Energy Policy*. 2007, p. 2751 - 2760.
51. **De Coninck, Heleen, et al.** The acceptability of CO2 capture and storage (CCS) in Europe: An assessment of the key determining factors Part1. Scientific, technical and economic dimensions. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2009, p. 333 - 343.
52. **Zoellner, Jan, Schweizer-Ries, Petra e Wemheuer, Christin.** Public acceptance of renewable energies: Results from case studies in Germany. *Energy Policy*. 2008, p. 4136 - 4141.
53. *Public perceptions of wind energy developments: Case studies from New Zealand.* **Graham, Jessica B., Stephenson, Janet R. e Smith, Inga J.** 2009, *Energy Policy*, p. 3348 - 3357.
54. **Van Alphen, Klaas, et al.** Societal acceptance of carbon capture and storage technologies. *Energy Policy*. 2007, p. 4368 - 4380.
55. **Huijts, Nicole M. A., Midden, Cees J. H. e Meijnders, Anneloes L.** Social acceptance of carbon dioxide storage. *Energy Policy*. 2007, p. 2780 - 2789.
56. **Abrahamse, Wokje, et al.** The effect of tailored information, goal setting, and tailored feedback on household energy use, energy - related behaviors, and behavioral antecedents. *Energy Policy*. 2007, p. 256 - 276.
57. **Wolsink, Maarten.** Wind power implementation: the nature of public attitudes: Equity and fairness instead of 'backyard motives'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2007, p. 1188 - 1207.
58. **Maruyama, Yasushi, Nishikido, Makoto e Iida, Tetsunari.** The rise of community power in Japan: enhanced acceptance through social innovation. *Energy Policy*. 2007, p. 2761 - 2769.
59. **O'Garra, Tanya, Mourato, Susana e Pearson, Peter.** Analysing awareness and acceptability of hydrogen vehicles: a London case study. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2005, p. 649 - 659.
60. **De Paoli, L.** Prospettive e problemi dell'energia nucleare nel mondo. *Economia e politica industriale*. 2007, 3.
61. **International Atomic Energy Agency.** Power Reactor Information System. [Online] <http://www.iaea.org/programmes/a2/>.
62. **Nuclear Energy Institute.** Nuclear statistics. [Online] http://nei.org/resourcesandstats/nuclear_statistics/.
63. **World Nuclear Association.** Nuclear power in the World today. [Online] 2007. <http://world-nuclear.org/info/inf01.html>.
64. **Maloney, Michael T.** Analysis of Load Factors at Nuclear Power Plants. [Online] 2003. http://works.bepress.com/cgi/viewcontent.cgi?article=1009&context=michael_t_maloney.
65. **World Association of Nuclear Operators.** 2006 Performance indicators. [Online] http://www.wano.org.uk/PerformanceIndicators/PI_TriFold/PI_2006_TriFold.pdf.
66. **University of Chicago.** The Economic future of nuclear power. [Online] 2004. http://www.anl.gov/Special_Reports/NuclEconSumAug04.pdf.
67. **Clerici, A.** Energy and the nuclear option. [Online] <http://www.wec-italia.org/foto/070207102515.pdf>.
68. **Romanello, Lomonaco e Cerullo.** I veri costi dell'Energia Nucleare. [Online] 2006. <http://www2.ing.unipi.it/~d0728/GCIR/Costi.pdf>.
69. **IEA/NEA.** Projected costs of generating electricity. [Online] 2005. <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2005/ElecCost.pdf>.
70. **Massachusetts Institute of Technology.** The future of nuclear power. [Online] 2003. <http://web.mit.edu/nuclearpower/>.
71. **Oeko Institute.** Comparison of Greenhouse-Gas Emissions and Abatement Cost of Nuclear and Alternative Energy Options from a Life-Cycle Perspective. [Online] 2006. http://www.oeko.de/service/gemis/files/doku/nuclear_co2paper_update2006.pdf.
72. **Uranium.info.** uranium.info. [Online] <http://www.uranium.info>.
73. **White, Scott W.** Energy balance and lifetime emissions from fusion, fission and coal generated electricity. [Online] 1995. <http://fti.neep.wisc.edu/pdf/fdm993.pdf>.
74. **Meier, Paul J.** Life-cycle assessment of electricity generation systems and applications for climate change Policy analysis. [Online] 2002. <http://fti.neep.wisc.edu/pdf/fdm1181.pdf>.
75. **Storm van Leeuwen, J. W. e Smith, Philip.** Nuclear power the energy balance. [Online] 2001. <http://www.stormsmith.nl/>.
76. **World Nuclear Association.** Energy analysis of power systems. [Online] 2006. <http://www.world-nuclear.org/info/inf11.html>.

77. **U.S. Nuclear Regulatory Commission.** Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants [NUREG-75/014 (WASH-1400)]. [Online] <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr75-014/>.
78. —. Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants (NUREG-1150). [Online] <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1150/>.
79. **World Nuclear Association.** Waste management in the nuclear Fuel Cycle. [Online] 2007. <http://www.world-nuclear.org/info/inf04.html>.
80. **Australian Uranium Information – Uranium Information Center.** Radioactive Waste Management. [Online] <http://www.uic.com.au/wast.htm>.
81. **Abel J., Gonzalez.** Strengthening Radiation Safety and Security. [Online] 1999. <http://161.5.1.75/Publications/Magazines/Bulletin/Bull413/article1.pdf>.
82. **European Environment Agency.** EN13 Nuclear Waste Production. [Online] 2007. http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/energy/indicators/EN13%2C2007.04/EN13_EU25_Nuclear_Waste_2006.pdf.
83. **World Nuclear Association.** Radioactive Wastes - Myths and Realities. [Online] 2006. <http://world-nuclear.org/info/inf103.html>.
84. **Andseta, Jarrell e Pendergast.** CANDU reactors and greenhouse gas emissions. [Online] <http://www.computare.org/Support%20documents/Publications/Life%20Cycle.htm>.
85. **British Energy.** Environmental Product Declaration of Electricity from Torness Nuclear Power Station. [Online] 2005. http://www.british-energy.com/documents/EPD_Doc_-_Final.pdf.
86. **BERR (Department for Business Enterprise & Regulatory Reform).** Energy Review 2006. [Online] 2007. <http://www.berr.gov.uk/files/file32007.pdf>.
87. **Sustainable Development Commission.** The role of nuclear power in a low carbon economy. [Online] 2006. <http://www.sd-commission.org.uk/publications/downloads/SDC-NuclearPosition-2006.pdf>.
88. **International Atomic Energy Agency.** Greenhouse gas emissions of electricity generation chains – Assessing the difference. [Online] 2000. <http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull422/article4.pdf>.
89. **Mudd, G. e Diesendorf, M.** Sustainability aspects of uranium mining: towards accurate accounting? [Online] <http://civil.eng.monash.edu.au/about/staff/muddpersonal/2007-SustEngSci-Sust-v-Uranium-Mining.pdf>.
90. **Presidente della Repubblica.** Decreto Legislativo 15 febbraio 2010, n. 31. [Online] <http://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/10031dl.htm>.
91. **European Commission.** *Europeans and Nuclear Safety*. 2010.
92. **TERNA.** Previsioni della domanda elettrica in Italia e del fabbisogno di potenza necessario. Anni 2009 - 2019. [Online] <http://www.terna.it/LinkClick.aspx?fileticket=RXbTPaLZYcs%3d&tabid=375&mid=434>.
93. **Ministero dello Sviluppo Economico.** Piano di azione nazionale per le Energie Rinnovabili. [Online] http://www.sviluppoeconomico.gov.it/pdf_upload/documenti/Piano.pdf.
94. **TERNA.** Piano di Sviluppo della Rete Elettrica di Trasmissione Nazionale. [Online] http://www.terna.it/default/Home/SISTEMA_ELETTTRICO/programma_triennale_sviluppo.aspx.
95. *20-20-20: il teorema della politica energetica europea.* **Clo, Alberto e Verde, Stefano.** 4, 2007, Energia.
96. **International Nuclear Safety Center.** Maps of power nuclear reactors. [Online] <http://www.insc.anl.gov/pwrmaps/>.
97. **Greenpeace.** The economics of nuclear power. [Online] 2007. http://www.greenpeace.org.uk/files/pdfs/nuclear/nuclear_economics_report.pdf.
98. **Schneider, M e Froggatt, A.** The world nuclear industry status report 2007. [Online] 2008. http://www.oeko.de/service/gemis/files/doku/nuclear_co2paper_update2006.pdf.
99. **Steve, Thomas.** The economics of nuclear power. [Online] 2005. <http://www.boell.de/alt/downloads/oeko/NIP5ThomasEndf.pdf>.
100. **World Nuclear Association.** The economics of nuclear power. [Online] 2008. <http://world-nuclear.org/info/inf02.html>.
101. **Zonanucleare.com.** Zonanucleare.com I rifiuti radioattivi,. [Online] http://www.zonanucleare.com/scienza/rifiuti_radioattivi.htm.
102. **Rasmussen, Norman C.** The nature of severe nuclear accidents. [Online] 1989. <http://www.state.nv.us/nucwaste/news/rpcna/prcna12.htm>.
103. **World Nuclear Association.** Radiation and nuclear energy. [Online] 2007. <http://world-nuclear.org/info/inf05.html>.

104. **Greenpeace.** <http://www.uic.com.au/wast.htm>. [Online] 2006.
<http://www.greenpeace.org/raw/content/italy/ufficiostampa/rapporti/chernobyl-2006.pdf>.
105. **GlobalSecurity.org.** Weapons of Mass Destruction WMD. [Online] 2005.
<http://www.globalsecurity.org/wmd/world/summary.htm>.
106. **Commission of the European Communities.** 20 20 by 2020 Europe's climate change opportunity. [Online] 2008. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0030:FIN:EN:PDF>.
107. **Consonni, S., Giugliano, M. e Grosso, M.** Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part A: Mass and energy balances. *Waste Management*. 2005, 25, p. 123 - 135.
108. **Eurostat.** Panorama Energy, Energy statistics to support EU Policies and solutions. [Online] 2007. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-76-06-604/EN/KS-76-06-604-EN.PD. ISBN 978-92-79-11151-8.
109. **MEMO/08/33.** Nota informativa sul pacchetto di proposte in materia di energie rinnovabili e cambiamenti climatici. [Online] 2008. <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/33&format=HTML&aged=0&language=IT&guiLanguage=en>.