



**Politecnico di Milano**

FACOLTÀ DI INGEGNERIA INDUSTRIALE  
Corso di Laurea in Ingegneria Energetica

**Analisi di scenario energetico per la Sardegna:  
situazione attuale, previsione futura e possibili  
alternative di sviluppo sostenibile**

Candidati:

**Matteo Celada**

Matricola 750441

**Pierpaolo Pignatelli**

Matricola 749907

Relatore:

**Prof.ssa E. Colombo**

Correlatore:

**Ing. R. Mereu**

**Anno Accademico 2010-2011**



Matteo  
a mamma e papà  
a Daniele  
a Paola

Pierpaolo  
alla mia famiglia  
ad Antonello  
agli amici di sempre



# Indice

<b>Introduzione e obiettivi della tesi</b>	<b>7</b>
<b>1 Analisi del contesto</b>	<b>9</b>
1.1 Descrizione storica ed economica . . . . .	11
1.1.1 Breve storia della Sardegna . . . . .	11
1.1.2 Organizzazione Politica . . . . .	11
1.1.3 Economia . . . . .	12
1.1.4 Trasporti e Infrastrutture . . . . .	14
1.2 Analisi Energetica . . . . .	14
1.2.1 Analisi del bilancio energetico sardo . . . . .	15
1.3 Confronto con le altre regioni . . . . .	21
1.3.1 Indicatori sociali ed economici . . . . .	23
1.3.2 Indicatori energetico-economici . . . . .	26
1.3.3 Indicatori energetico - ambientali . . . . .	36
1.4 Conclusioni . . . . .	38
<b>2 Domanda energetica e metodi di previsione</b>	<b>41</b>
2.1 La domanda energetica . . . . .	41
2.1.1 Analisi descrittiva della domanda . . . . .	42
2.1.2 Analisi della domanda per decomposizione . . . . .	44
2.1.3 Analisi della domanda attraverso approccio econometrico . . . . .	45
2.1.4 Analisi della domanda ad un livello disaggregato . . . . .	47
2.2 Analisi dei metodi di previsione . . . . .	51
2.2.1 Approcci semplici . . . . .	51
2.2.2 Tecniche avanzate o sofisticate . . . . .	53
<b>3 Costruzione del modello di previsione</b>	<b>59</b>
3.1 Architettura generale del modello . . . . .	59
3.2 Struttura funzionale e disaggregazione per settori . . . . .	61
3.3 Ipotesi delle variabili di influenza . . . . .	62
3.3.1 Definizione del caso di validazione . . . . .	62
3.4 Scelta delle variabili di influenza . . . . .	63
3.4.1 Settore Agricolo . . . . .	64
3.4.2 Settore Residenziale e dei servizi . . . . .	65
3.4.3 Settore Trasporti . . . . .	66
3.4.4 Settore Industriale . . . . .	67

---

3.4.5	Fattore tecnologico . . . . .	69
3.4.6	Riassunto . . . . .	76
3.5	Regressione lineare multipla . . . . .	77
3.5.1	Insiemi Eteroschedastici . . . . .	78
3.6	I risultati della regressione . . . . .	79
3.6.1	Indici relativi alla bontà della regressione . . . . .	79
3.6.2	Indici relativi alla significatività . . . . .	80
3.6.3	Indici relativi alla multicollinearità . . . . .	80
3.7	Conclusioni . . . . .	82
<b>4</b>	<b>Validazione e taratura del modello: caso Italia</b>	<b>83</b>
4.1	Risultati della regressione . . . . .	83
4.1.1	Analisi statistica del numero di regressori . . . . .	84
4.1.2	Settore agricolo . . . . .	85
4.1.3	Settore residenziale e dei servizi . . . . .	85
4.1.4	Settore trasporti . . . . .	86
4.1.5	Settore industriale . . . . .	87
4.2	Previsione delle variabili indipendenti . . . . .	87
4.2.1	Settore Agricolo . . . . .	88
4.2.2	Settore residenziale e dei servizi . . . . .	90
4.2.3	Settore trasporti . . . . .	94
4.2.4	Settore industriale . . . . .	95
4.3	Analisi dei risultati della previsione . . . . .	97
4.3.1	Settore agricolo . . . . .	98
4.3.2	Settore trasporti . . . . .	100
4.3.3	Settore industriale . . . . .	101
4.3.4	Consumi finali totali . . . . .	102
4.4	Validazione del modello di previsione . . . . .	103
<b>5</b>	<b>Applicazione del modello: caso Sardegna</b>	<b>109</b>
5.1	Risultati della regressione . . . . .	110
5.2	Previsione delle variabili indipendenti . . . . .	113
5.2.1	Settore agricolo . . . . .	113
5.2.2	Settore residenziale e dei servizi . . . . .	115
5.2.3	Settore trasporti . . . . .	117
5.3	Analisi dei risultati della previsione . . . . .	118
5.3.1	Settore agricolo . . . . .	118
5.3.2	Settore residenziale e dei servizi . . . . .	120
5.3.3	Settore trasporti . . . . .	121
5.3.4	Settore industriale . . . . .	122
5.3.5	Totale dei consumi . . . . .	126
<b>6</b>	<b>Situazione energetica attuale</b>	<b>129</b>
6.1	Linee guida del PEAR 2006 . . . . .	129
6.2	Analisi della situazione energetica a livello locale . . . . .	135
6.3	Verifica degli obiettivi del PEAR 2006 . . . . .	150

---

<b>7</b>	<b>Proposta di sviluppo sostenibile del sistema energetico</b>	<b>155</b>
7.1	Obiettivi e vincoli specifici . . . . .	156
7.1.1	Settori agricoltura e trasporti . . . . .	156
7.1.2	Settore residenziale e dei servizi . . . . .	157
7.1.3	Settore industriale . . . . .	157
7.2	Settori agricoltura e trasporti . . . . .	158
7.3	Settore industriale e residenziale e dei servizi . . . . .	161
7.3.1	Fabbisogni di energia elettrica . . . . .	162
7.3.2	Fabbisogni di energia termica . . . . .	174
7.4	Conclusioni . . . . .	176
<b>8</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>179</b>
	<b>Appendice</b>	<b>181</b>





# Elenco delle figure

1	Stemma regionale sardo . . . . .	5
1.1	Sardegna fisica. Fonte NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) . . . . .	10
1.2	Fonti Rinnovabili all'interno della produzione di energia primaria. Fonte ENEA . . . . .	19
1.3	Consumi finali totali di energia (TFC) per settori. Fonte ENEA	20
1.4	Produzione di energia elettrica per fonti. Fonte ENEA . . . . .	21
1.5	Indice di sviluppo umano (HDI) per le regioni italiane, anno 2008. Elaborazioni da fonte ISTAT . . . . .	24
1.6	Indici utilizzati per l'HDI delle regioni italiane, anno 2008. Elaborazioni da fonte ISTAT . . . . .	25
1.7	Serie storica, prodotto interno lordo per abitante per le regioni italiane, migliaia di euro. Fonte ISTAT . . . . .	26
1.8	ECO 1.1: serie storica, fabbisogno totale di energia primaria per abitante per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT . . . . .	27
1.9	ECO 1.2: serie storica, consumi finali di energia per abitante per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT . . . . .	28
1.10	ECO 1.3: serie storica, produzione di energia elettrica per abitante per le regioni italiane. Fonte TERNA, ISTAT . . . . .	29
1.11	ECO 1.4: serie storica, rapporto tra consumi finali e fabbisogno totale di energia primaria per le regioni italiane. Fonte ENEA . . . . .	30
1.12	ECO 2.1: serie storica, intensità energetica relativa al fabbisogno totale interno di energia primaria per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT . . . . .	30
1.13	ECO 2.2: serie storica, intensità energetica relativa al consumo di energia elettrica per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT	31
1.14	ECO 6: serie storica, intensità energetica relativa al settore industriale per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT . . . . .	32
1.15	ECO 8: serie storica, intensità energetica del settore agricolo per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT . . . . .	33
1.16	ECO 7: serie storica, intensità energetica del settore dei servizi per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT . . . . .	34

---

1.17	ECO 11.1: Fabbisogno totale interno di energia primaria suddiviso per fonti (escluso saldo energia elettrica) per le regioni italiane, anno 2008. Fonte ENEA . . . . .	34
1.18	ECO 11.2: consumi finali di energia primaria suddivisi per settore per le regioni italiane, anno 2008. Fonte ENEA . . . . .	35
1.19	ECO 13.1: porzioni di energia da fonti energetiche rinnovabili nella produzione di energia primaria per le regioni italiane, anno 2008. Fonte ENEA . . . . .	36
1.20	ECO 13.2: porzioni di produzione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili per le regioni italiane, anno 2008. Fonte ENEA . . . . .	37
1.21	ENV 1.1: serie storica, emissioni di anidride carbonica per abitante per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT . . . . .	37
1.22	ENV 1.2: serie storica, emissioni di anidride carbonica per unità di prodotto interno lordo generata per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT . . . . .	38
2.1	Forma tipica di una funzione modellizzata come nella Equazione (2.19). . . . .	49
3.1	Diagramma di flusso del modello di previsione . . . . .	60
3.2	Serie storica, rendimento elettrico medio in Italia e in Sardegna. Elaborazioni fonte ENEA . . . . .	70
3.3	Serie storica, efficienza media del settore agricolo. Elaborazioni fonte ENEA . . . . .	70
3.4	Serie storica, efficienza media del settore residenziale e dei servizi. Elaborazioni fonte ENEA . . . . .	71
3.5	Serie storica, consumi specifici di carburante per i modelli di auto considerati [l/km]. . . . .	72
3.6	Serie storica, efficienza media del parco automobilistico [km/MJ].	73
3.7	Serie storica, efficienza media del settore trasporti. Elaborazioni fonte ENEA . . . . .	75
3.8	Serie storica, efficienza media del settore industriale, numeri indice. Fonte ODYSSEE - MURE . . . . .	75
3.9	Serie storica, efficienza media del settore industriale, numeri indice. Elaborazioni da fonte ODYSSEE - MURE . . . . .	76
4.1	Serie storica e previsioni, numero di veicoli utilizzati nel settore agricolo in Italia, migliaia di unità. Fonte World Bank . . . . .	89
4.2	Serie storica e previsioni, unità di lavoro totali nel settore agricolo in Italia, media annua in migliaia. Fonte ISTAT . . . . .	90
4.3	Serie storica e previsioni, investimenti fissi lordi in agricoltura, silvicoltura e pesca in Italia, milioni di euro in valori correnti. Fonte ISTAT . . . . .	90
4.4	Serie storica e previsioni, efficienza media del settore agricolo. Elaborazione da fonte ISTAT, ENEA . . . . .	91

---

4.5	Serie storica e previsioni, popolazione residente ad inizio anno in Italia, milioni di unità. Fonte ISTAT Previsioni . . . . .	91
4.6	Serie storica e previsioni, prodotto interno lordo ai prezzi di mercato per l'Italia, miliardi di euro. Fonte ISTAT . . . . .	92
4.7	Serie storica e previsioni, investimenti fissi lordi in costruzioni per l'Italia, milioni di euro in valori correnti. Fonte ISTAT . . . . .	93
4.8	Serie storica e previsioni, efficienza media del settore residenziale e dei servizi. Elaborazione da fonte ISTAT, ENEA . . . . .	94
4.9	Serie storica e previsioni, numero di veicoli a motore che ha pagato la tassa automobilistica in Italia, milioni di unità. Fonte ACI . . . . .	95
4.10	Serie storica e previsioni, efficienza media del settore dei trasporti. Elaborazioni da fonte ENEA, ISTAT . . . . .	95
4.11	Serie storica e previsioni, investimenti fissi lordi nell'industria in senso stretto in Italia, milioni di euro in valori correnti. Fonte ISTAT . . . . .	96
4.12	Serie storica e previsioni, indice della produzione industriale per l'Italia, numeri indice. Fonte ISTAT . . . . .	97
4.13	Serie storica e previsioni, efficienza media del settore industriale. Fonte ODYSSEE - MURE . . . . .	98
4.14	Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore agricolo in Italia, milioni di tonnellate equivalenti di petrolio. . . . .	99
4.15	Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore residenziale e dei servizi in Italia, milioni di tonnellate equivalenti di petrolio. . . . .	100
4.16	Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore trasporti in Italia, milioni di tonnellate equivalenti di petrolio. . . . .	101
4.17	Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore industriale in Italia, milioni di tonnellate equivalenti di petrolio. . . . .	102
4.18	Serie storica e previsioni, consumi finali totali di energia primaria in Italia, milioni di tonnellate equivalenti di petrolio. . . . .	103
4.19	Disaggregazione per settori dei consumi energetici e scelta delle variabili tecniche ed economiche di influenza. Fonte ODYSSEE MURE Project . . . . .	105
4.20	Consumi finali lordi di energia negli scenari ENEA. Fonte Rapporto Energia e Ambiente 2009, ENEA . . . . .	106
4.21	Confronto tra scenario ad alta e bassa crescita elaborati in questo studio e scenario di riferimento ENEA. . . . .	106
5.1	Serie storica e previsioni, unità di lavoro totali nel settore agricolo in Sardegna, media annua in migliaia. Fonte ISTAT . . . . .	114

---

5.2	Serie storica e previsioni, numero di veicoli utilizzati nel settore agricolo in Sardegna. Elaborazione fonte ISTAT, World Bank .	114
5.3	Serie storica e previsioni, investimenti fissi lordi in agricoltura, silvicoltura e pesca in Sardegna. Fonte ISTAT . . . . .	115
5.4	Serie storica e previsioni, popolazione residente a inizio anno in Sardegna, migliaia di unità. Fonte ISTAT . . . . .	116
5.5	Serie storica e previsioni, prodotto interno lordo ai prezzi di mercato per la Sardegna, milioni di euro. Fonte ISTAT . . . .	116
5.6	Serie storica e previsioni, prodotto interno lordo ai prezzi di mercato per la Sardegna, milioni di euro. Fonte ISTAT . . . .	117
5.7	Serie storica e previsioni, numero di veicoli a motore che ha pagato la tassa automobilistica in Sardegna, migliaia di unità. Fonte ACI . . . . .	118
5.8	Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore agricolo in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. . . . .	119
5.9	Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore residenziale e dei servizi in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. . . . .	121
5.10	Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore dei trasporti in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. . . . .	122
5.11	Serie storica, consumi finali di energia primaria del settore industriale in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA . . . . .	123
5.12	Serie storica, consumi finali di energia primaria del settore industriale suddivisi per fonti in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA . . . . .	123
5.13	Serie storica e previsioni, consumi finali di energia elettrica del settore industriale in Sardegna, espressi in gigawattora. Fonte PEAR 2006 . . . . .	125
5.14	Serie storica e previsioni, consumi finali di energia termica da prodotti petroliferi del settore industriale in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte PEAR 2006 . .	125
5.15	Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore industriale in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. . . . .	126
5.16	Serie storica e previsioni, consumi finali totali di energia primaria in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio.	126
6.1	Consumi finali di energia del settore agricolo divisi per fonte in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA . . . . .	136
6.2	Consumi finali di energia del settore residenziale divisi per fonte in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA . . . . .	137

---

6.3	Consumi finali di energia del settore dei servizi divisi per fonte in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA . . . . .	138
6.4	Consumi finali di energia del settore trasporti divisi per fonte in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA . . . . .	139
6.5	Consumi finali di energia del settore trasporti divisi per tipo di utilizzatore in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA . . . . .	140
6.6	Mappa dell'energia elettrica assorbita dai poli industriali e generata dalle centrali idroelettriche in GWh al 2008. Fonte Terna . . . . .	141
6.7	Mappa della potenza elettrica assorbita dai poli industriali e generata dalle centrali termoelettriche MW all'anno 2008. Fonte Terna . . . . .	143
6.8	Serie storica, produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in Sardegna in GWh. Fonte Terna. . . . .	146
6.9	Mappa dei parchi eolici in Sardegna . . . . .	148
6.10	Serie storica, potenza installata da fonti rinnovabili in Sardegna in MW. Fonte Terna . . . . .	149
7.1	Composizione dei consumi finali di energia in Sardegna, valori storici e previsti. Elaborazione da fonte ENEA, ISTAT . . . . .	156
7.2	Serie di conversioni del processo Fischer - Tropsch. Fonte Energy research Centre of the Netherlands . . . . .	159
7.3	Evoluzione dei consumi elettrici del settore residenziale e servizi nel 2015, valori in GWh. . . . .	167
7.4	Evoluzione dei consumi elettrici del settore residenziale e servizi nel 2020, valori in GWh. . . . .	167
7.5	Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore industriale in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. . . . .	168
7.6	Mappa della potenza elettrica installata in Sardegna all'anno 2020. . . . .	178
8.1	Rete stradale. Fonte Regione Autonoma della Sardegna . . . . .	181
8.2	Rete ferroviaria. Fonte RFI . . . . .	182
8.3	Atlante eolico europeo. Fonte commissioni EU . . . . .	195
8.4	Atlante eolico sardo. Fonte ENEA . . . . .	196
8.5	Radiazione globale ad agosto e gennaio 2011, fonte Arpa Sardegna . . . . .	198
8.6	Temperature agosto 2011, fonte Arpa Sardegna . . . . .	199
8.7	Temperature gennaio 2011, fonte Arpa Sardegna . . . . .	199
8.8	Mappa del percorso dell'elettrodotto SAPEI. Fonte Terna S.p.A. . . . .	204
8.9	Mappa del percorso del gasdotto GALSI. Fonte Galsi S.p.A. . . . .	206

---

8.10	Calendario di sviluppo del progetto del gasdotto marino Algeria - Italia via Sardegna. Fonte Galsi S.p.A. . . . . .	207
8.11	Confronto tra le previsioni di crescita e gli andamenti reali del numero di autovetture classificate secondo la tipologia di alimentazione, fonti ACI e PEAR . . . . .	208

# Elenco delle tabelle

1.1	Sigle utilizzate per la Tabella 1.2 e successive . . . . .	17
1.2	Bilancio energetico sardo 2008. Fonte ENEA ([3]) . . . . .	18
1.3	Produzione di Energia Primaria. Fonte ENEA . . . . .	19
1.4	Bilancio energetico sardo 2008. Fonte ENEA . . . . .	20
1.5	Indicatori sociali ed economici . . . . .	22
1.6	Indicatori energetici . . . . .	22
1.7	SOC 2: Densità di popolazione. Fonte ISTAT . . . . .	26
1.8	ECO 1.3: consumi di energia elettrica per abitante, fonte Terna. . . . .	29
2.1	Variabili guida dell'intensità energetica per settore . . . . .	43
3.1	Sigle utilizzate per le tabelle successive . . . . .	64
3.2	Correlazioni con i consumi agricoli . . . . .	65
3.3	Correlazioni con i consumi residenziali e dei servizi . . . . .	66
3.4	Correlazioni con i consumi dei trasporti . . . . .	67
3.5	Correlazioni con i consumi industriali . . . . .	68
3.6	Consumi specifici flotta ferroviaria . . . . .	72
3.7	Consumi specifici valutati dell'insieme di imbarcazioni analizzate . . . . .	73
3.8	Consumi specifici dei velivoli considerati . . . . .	74
3.9	Variabili di influenza scelte per settore e rispettivi di correlazione, ITA . . . . .	77
4.1	Analisi di correlazione tra consumi settoriali e variabili di influenza espressi tramite logaritmi decimali, ITALIA . . . . .	84
4.2	Risultati della regressione nel settore agricolo, Italia . . . . .	85
4.3	Risultati della regressione nel settore residenziale e dei servizi, Italia . . . . .	86
4.4	Risultati della regressione nel settore dei trasporti, Italia . . . . .	86
4.5	Risultati della regressione nel settore industriale, Italia . . . . .	87
5.1	Analisi di correlazione tra consumi settoriali relativi al caso Italia ed al caso Sardegna . . . . .	109
5.2	Analisi di correlazione tra consumi settoriali e variabili di influenza espressi tramite logaritmi decimali, SARDEGNA . . . . .	110
5.3	Risultati regressione AGR, Sardegna . . . . .	111
5.4	Risultati della regressione del settore residenziale e dei servizi, Sardegna . . . . .	112

---

5.5	Risultati della regressione nel settore dei trasporti, Sardegna . . . . .	113
6.1	Possibili siti per installazione impianto CSP . . . . .	134
6.2	Valore aggiunto per provincie 2008 . . . . .	135
6.3	Consumi di energia elettrica del comparto civile, GWh per l'anno 2009. Fonte Terna . . . . .	137
6.4	Impianti idroelettrici presenti in Sardegna all'anno 2010 . . . . .	144
6.5	Bilancio energia idroelettrica in Sardegna. Fonte Terna . . . . .	145
6.6	Parchi eolici con potenza maggiore di 2 MW in Sardegna . . . . .	147
6.7	Evoluzione dello sfruttamento delle fonti eolica e fotovoltaica in Sardegna. Fonte Terna . . . . .	149
6.8	Centrali idroelettriche previste dal PEAR . . . . .	152
7.1	Suddivisione della superficie agraria in Sardegna all'anno 2010. Fonte ISTAT . . . . .	160
7.2	Dati in ingresso nel calcolo della potenzialità del biodiesel . . . . .	160
7.3	Risultati relativi al primo scenario . . . . .	161
7.4	Risultati relativi al secondo scenario . . . . .	161
7.5	Potenze impianti eolici esistenti e proposti, incrementi per- centuali rispetto al 2012. . . . .	164
7.6	Potenze impianti fotovoltaici esistenti e proposti, incrementi percentuali rispetto al 2012. . . . .	165
7.7	Superficie occupata da impianti fotovoltaici, attuale e propos- ta in $km^2$ . . . . .	165
7.8	Equivalenza in campi da calcio della superficie occupata da impianti fotovoltaici, attuale e proposta. . . . .	165
7.9	Potenze impianti solari termodinamici proposti . . . . .	166
7.10	Riassunto degli interventi proposti. Potenza da installare in MW . . . . .	166
7.11	Parco termoelettrico sardo. Fonte Terna, Emas . . . . .	169
7.12	Produzione futura di energia termoelettrica da assicurare nelle provincie sarde. . . . .	170
7.13	Elenco delle centrali termoelettriche attive e proposte al 2020. Ipotesi 1 . . . . .	171
7.14	Elenco delle centrali termoelettriche attive e proposte al 2020. Ipotesi 2 . . . . .	173
7.15	Elenco delle centrali termoelettriche attive e proposte al 2020. Ipotesi 3 . . . . .	174
7.16	Riassunto degli interventi proposti. Potenza da installare in MW . . . . .	176
7.17	Elenco delle centrali termoelettriche attive e proposte al 2020. Ipotesi 1 . . . . .	177
8.1	Centrali idroelettriche previste dal PEAR . . . . .	209
8.2	Producibilità idroelettrica prevista dal PEAR e produzione idroelettrica da Terna . . . . .	209



# Sommario

Questa tesi si pone l'obiettivo di migliorare il sistema di approvvigionamento energetico della regione, nell'ottica di uno sviluppo sostenibile. Dopo aver messo a confronto il sistema energetico sardo con quello delle altre regioni, e dopo averne valutato le prospettive di sviluppo, se ne comprendono le difficoltà e dove si debba agire per raggiungere l'obiettivo proposto. Si costruisce un modello di previsione dei consumi di energia, che permetta di pianificare con esattezza le decisioni strategiche da intraprendere. Questo lavoro si concentra in particolare sull'elaborazione del modello descrivendone nel dettaglio la struttura e la metodologia di calcolo. I consumi energetici vengono suddivisi in settori, per ognuno dei quali si individuano delle variabili indipendenti da cui essi sono influenzati. Individuata in letteratura una forma funzionale che lega i consumi con le suddette variabili, attraverso una regressione multipla è possibile ricavare i coefficienti che la costituiscono. In seguito vengono previste le singole variabili indipendenti così da poter ricavare i consumi futuri grazie alla relazione funzionale completa dei coefficienti ricavati. Il modello, applicato anche alla realtà italiana, viene validato mediante un confronto con le previsioni di ENEA.

Noti i consumi futuri è possibile sviluppare delle considerazioni riguardo al sistema energetico regionale, principalmente riferibili alla valutazione delle potenzialità ad accogliere nuove fonti e tecnologie che permettano di soddisfarne i consumi. Le proposte specifiche vengono formulate ad un livello provinciale e riguardano principalmente l'aumento della porzione di fabbisogno soddisfatta da fonti rinnovabili e la razionalizzazione del parco termoelettrico.



# Abstract

In this thesis an improvement of the Sardinia's energy system, aiming at a sustainable development, is proposed. The local energy system is compared with those of other Italian regions, and the development plan is analyzed in order to define possible strategies of improvement. A forecasting model for energy consumption is built to plan exactly the strategy to be undertaken. This work focuses on the development of the model describing in detail the used methodology. Energy consumption is divided into sectors, for each of them independent variables from which the consumptions depend are chosen. From the literature a functional form that links the consumptions with the selected independent variables is selected. Then, the coefficients of the functional form are defined through a multiple regression. The extrapolation of the chosen variables is calculated, and then the future consumptions from the functional relationship are derived. The model is validated by a comparison with the forecast of ENEA (Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente), the italian agency for energy and environment, applied to the italian national consumption. The model is applied to the Sardinia context establishing future consumption and proposing a possible strategy for the energy system development. Different sectors are analyzed, from a sub-regional district viewpoint, proposing an increase of the renewable energy rate and the improvement of the thermal power plants efficiency.



*La vita in Sardegna è forse la migliore che un uomo possa augurarsi:  
ventiquattro mila chilometri di foreste, di campagne, di coste immerse in un  
mare miracoloso dovrebbero coincidere con quello che io consiglierei al buon  
Dio di regalarci come Paradiso.*  
Fabrizio De Andrè

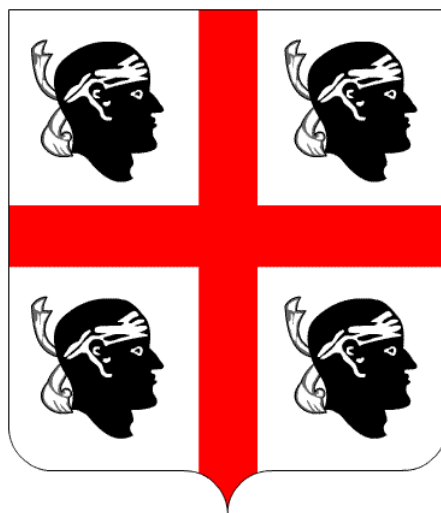


Figura 1: Stemma regionale sardo



# Introduzione e obiettivi della tesi

Il principio dello sviluppo sostenibile elaborato dalle Nazioni Unite nel 1987, viene definito come “uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri”. Il concetto di sostenibilità ha assunto negli anni un peso crescente nelle scelte strategiche e politiche relative allo sviluppo della società intera; questo concetto può e deve essere applicato a diversi livelli, quello economico ma anche quello ambientale e sociale. Lo sviluppo sostenibile in campo energetico viene declinato in variazioni strutturali finalizzate ad esempio all’aumento delle efficienze di produzione e consumo dell’energia, alla riduzione dell’utilizzo di fonti fossili ed allo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili. Particolare attenzione negli ultimi anni è stata posta a riguardo dei consumi finali di energia, a come migliorare l’efficienza degli apparecchi agli usi finali ed a come intraprendere comportamenti finalizzati al risparmio energetico o comunque ad uno sfruttamento più efficiente delle risorse. Questo studio si pone l’obiettivo generale di contribuire allo sviluppo sostenibile dal punto di vista energetico di una realtà locale dalle particolari caratteristiche sia geografiche sia in termini di risorse naturali come la Sardegna.

Nello specifico il lavoro è stato articolato per raggiungere tre obiettivi principali; il primo è quello di caratterizzare la regione nel contesto nazionale in cui essa si colloca analizzandone lo stato di sviluppo economico, sociale e soprattutto energetico. L’utilizzo di strumenti di analisi del contesto come gli indicatori energetici, riferiti sia ad un livello generale che locale, ed il confronto con le altre realtà regionali e con il riferimento nazionale hanno portato a comprendere come la realtà sarda abbia bisogno di una forte spinta allo sviluppo socio - economico attraverso la creazione di nuove infrastrutture e il potenziamento dei servizi. La realizzazione di questo scenario di sviluppo può essere conciliata con la salvaguardia del patrimonio naturale dell’isola, uno dei più importanti del Paese, solo attraverso l’applicazione delle linee guida dello sviluppo sostenibile.

Da queste considerazioni è stato possibile identificare il secondo obiettivo della tesi, la valutazione di un metodo semplificato ma di applicabilità generale per la previsione dei consumi energetici futuri di una realtà regionale. L’analisi è stata condotta attraverso lo studio dei fattori di tipo sociale, economico, demografico e tecnologico che influenzano l’evoluzione

---

del fabbisogno energetico di ciascun settore; la loro definizione ha permesso di ottenere relazioni funzionali attraverso cui, dalla stima dell'evoluzione futura delle variabili indipendenti, è stato possibile valutare gli andamenti previsti dei consumi energetici negli anni a venire in maniera specifica per i singoli settori.

Dalla valutazione degli scenari di sviluppo futuro della realtà sarda è stato possibile condurre una analisi finalizzata al raggiungimento del terzo obiettivo di questo studio, proporre delle linee guida di sfruttamento sostenibile delle risorse interne dell'isola allo scopo di soddisfare consumi futuri previsti di energia. Ci si è serviti di una analisi di tipo economico ed energetico delle realtà e delle risorse locali per i singoli settori e per le fonti energetiche interne disponibili. A questo punto è stato possibile valutare quali prospettive di sviluppo sostenibile siano più adatte ad ogni zona e quali proposte concrete di miglioramento del sistema energetico possano essere fatte in relazione alle particolari risorse naturali ed alla particolare struttura socio - economica.



# Capitolo 1

## Analisi del contesto

La Regione Sardegna per estensione costituisce la seconda isola italiana e dell'intero Mediterraneo, nonché la terza regione italiana avendo una superficie è di 24.090  $km^2$ : 270  $km$  di lunghezza e 145  $km$  di larghezza. Nonostante l'insularità attenuata solo dalla vicinanza con la Corsica, da cui è separata attraverso le Bocche di Bonifacio, la posizione strategica al centro del mar Mediterraneo occidentale ha favorito sin dall'antichità i rapporti commerciali e culturali, come gli interessi economici, militari e strategici.

Più del 80% del territorio è montuoso o collinare; per il 67,9% è formato da colline e da altopiani rocciosi, alcuni dei quali, molto caratteristici, sono chiamati giare o gollei - se granitici o basaltici - tacchi o tonneri - se in arenaria o calcarei. Le montagne coprono il 13,6% e sono formate da rocce antichissime, livellate da un lento e continuo processo di erosione. Culminano nella parte centrale dell' isola con Punta La Marmora, a 1.834 metri sul livello del mare, nel Massiccio del Gennargentu. Le zone pianeggianti sono il 18,5% del territorio; la pianura più estesa è il Campidano, che separa i rilievi centro settentrionali dai monti dell'Iglesiente, mentre la piana della Nurra si trova nella parte nord-occidentale verso la città di Sassari. I fiumi hanno carattere torrentizio e i più importanti sono sbarrati da imponenti dighe che formano ampi laghi artificiali utilizzati principalmente per irrigare i campi; tra questi il bacino del lago Omodeo, il più vasto d'Italia. Seguono poi il bacino del Flumendosa, del Coghinas, del Posada. I fiumi più importanti sono il Tirso, il Flumendosa, il Coghinas, il Cedrino, il Temo. L'unico lago naturale è il lago di Baratz, a nord di Alghero. Le coste si articolano nei golfi dell'Asinara a settentrione, di Orosei a oriente, di Cagliari a meridione e di Oristano a occidente. Per complessivi 2.400  $km$ , sono alte, rocciose e con piccole insenature che a nord-est diventano profonde e s'incuneano nelle valli. Litorali bassi, sabbiosi e talvolta paludosi si trovano nelle zone meridionali e occidentali: sono gli stagni costieri, zone umide molto importanti dal punto di vista ecologico. L'isola è circondata da molte isole ed isolette, tra le quali l'isola dell'Asinara, San Pietro, Sant'Antioco, l'isola di Tavolara, l'arcipelago della Maddalena con Caprera. Le formazioni calcaree costituiscono il 10% della superficie dell'isola e sono frequenti i fenomeni carsici nei settori centrorientale e sudoccidentale dell'isola.

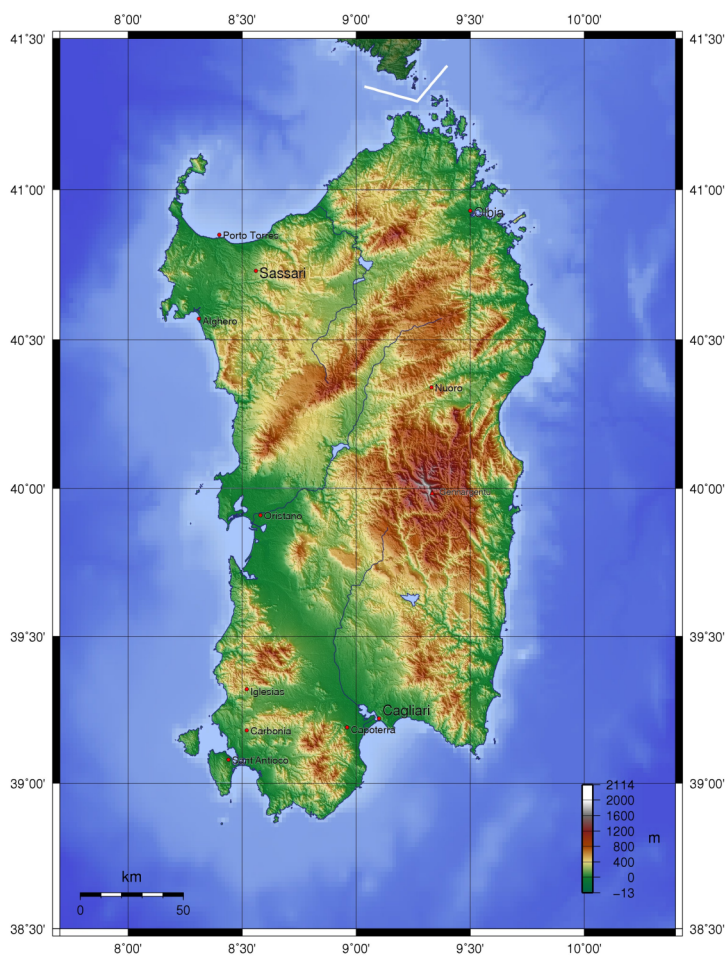


Figura 1.1: Sardegna fisica. Fonte NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

## 1.1 Descrizione storica ed economica

### 1.1.1 Breve storia della Sardegna

Nel patrimonio storico e culturale della Sardegna sono abbondanti le testimonianze delle culture indigene ma anche gli influssi e le presenze delle maggiori potenze coloniali antiche. Verso il 1500 a.C., durante l'età del bronzo, fiorì sull'isola la civiltà dei nuraghi così definita dal nome delle tipiche costruzioni realizzate in gran numero da queste popolazioni. Tra IX e VII secolo a.C. approdarono sulle coste della Sardegna i Fenici, che contribuirono allo sviluppo dell'isola: coltivarono ampie distese di grano nel Campidano, sfruttarono le miniere, crearono delle saline, insegnarono ai sardi la navigazione, il commercio, la scrittura. Il lungo dominio romano in Sardegna iniziò nel 215 a.C., e durò per circa 700 anni. I Romani riuscirono a occupare tutto il territorio dell'isola, costruirono strade e fondarono alcuni centri nell'interno. Dalla metà del V secolo d.C. la Sardegna venne invasa dai Vandali e in seguito, nel VII secolo d.C., dall'impero bizantino.

A partire dal IX secolo, col declino di Bisanzio, ebbe inizio il periodo dei Giudicati che diedero vita ad una organizzazione politica ed amministrativa autonoma per fare fronte alle scorrerie e ai tentativi di invasione dei saraceni. Con l'intromissione delle repubbliche marinare e dello Stato Pontificio nella politica dei Giudicati, si formò nel 1297 il Regno di Sardegna. Questo fu infeudato agli Aragonesi nel 1420. Il Regno di Sardegna fece parte della Corona di Aragona fino al 1713, quando dopo la guerra di successione spagnola, entrò a far parte dei domini degli Asburgo d'Austria. Nel 1720 la Sardegna venne ceduta a Vittorio Amedeo II, già duca di Savoia, ricevendo l'Austria in cambio la Sicilia. I Savoia eseguirono diversi lavori pubblici e abolirono il regime feudale. Nel 1861 l'isola entrò a far parte del Regno d'Italia. In generale la sua storia, la situazione economica e lo stato stesso di isola, hanno creato al territorio sardo diversi problemi di amministrazione. Ecco perchè nel 1948 è diventata una *regione autonoma a statuto speciale*, i cui poteri locali sono dotati di ampia autonomia per poter risolvere meglio le questioni interne più urgenti [1].

### 1.1.2 Organizzazione Politica

Sin dal 1948, l'articolo 116 della Costituzione ha previsto speciali condizioni di autonomia per la Sardegna e per altre quattro regioni (Valle d'Aosta, Trentino-Alto Adige, Friuli-Venezia Giulia, Sicilia). È definita Regione a statuto speciale una Regione cui viene garantita una particolare autonomia o assegnati specifici poteri delegati dall'organo centrale. Si riporta di seguito una parte dello statuto regionale sardo per chiarire meglio quali siano le materie in cui la regione ha pieni poteri[2].

### Articolo 3 dello Statuto Regionale

In armonia con la Costituzione e i principi dell'ordinamento giuridico della Repubblica e col rispetto degli obblighi internazionali e degli interessi nazionali, nonché delle norme fondamentali e delle riforme economico-sociali della Repubblica, la Regione ha potestà legislativa nelle seguenti materie:

- ordinamento degli uffici e degli enti amministrativi della Regione e stato giuridico ed economico del personale;
- ordinamento degli enti locali e delle relative circoscrizioni;
- polizia locale urbana e rurale;
- agricoltura e foreste; piccole bonifiche e opere di miglioramento agrario e fondiario
- lavori pubblici di esclusivo interesse della Regione;
- edilizia ed urbanistica;
- trasporti su linee automobilistiche e tramviarie;
- acque minerali e termali;
- esercizio dei diritti demaniali della Regione sulle acque pubbliche;
- esercizio dei diritti demaniali e patrimoniali della Regione relativi alle miniere, cave e saline;
- usi civili;
- artigianato;
- turismo, industria alberghiera;
- biblioteche e musei di enti locali.

### 1.1.3 Economia

#### Industria

L'inizio dello sviluppo industriale della Sardegna è legato sostanzialmente a iniziative di tipo politico: nel 1951 una commissione di studi fu incaricata di elaborare un piano di sviluppo economico specifico per vari settori produttivi dell'economia sarda. Il 2 giugno 1962 il Parlamento italiano approvò il progetto di legge destinato allo sviluppo sardo, che sostanzialmente si tradusse in finanziamenti volti alla formazione di grandi poli industriali. Si sono formati i seguenti poli industriali, che ancora oggi costituiscono l'ossatura produttiva della regione:

- Porto Torres, situato poco a nord di Sassari, raccoglie industrie petrolchimiche che producono plastiche;
- Sarroch, a 20 km a sud-ovest di Cagliari, sede della raffineria più grande d'Europa di proprietà Saras s.p.a.;
- Portovesme, nei pressi di Carbonia, è sede di uno dei pochi stabilimenti di produzione dell'alluminio in Italia, e anche di altre aziende produttrici di metalli non ferrosi;
- Ottana, vicino a Nuoro, centro industriale più piccolo rispetto agli altri dove si producono polimeri;
- Macchiareddu, all'interno dell'area comunale di Assemini nei pressi di Cagliari, è sede di un agglomerato di piccole industrie.

Altri settori industriali presenti sono: quello alimentare, legato alla lavorazione dei prodotti dell'allevamento (formaggi, latte, carni) e della pesca (lavorazione del tonno); sono anche presenti piccole industrie meccaniche (produzione di mezzi agricoli, cantieristica navale, ferroviaria, componentistica per aeromobili).

### **Settore Minerario**

La Sardegna è la regione italiana con il sottosuolo più ricco di minerali. Prima l'ossidiana, poi l'argento, lo zinco e il rame sono stati fin dall'antichità una vera ricchezza per l'isola, posizionandola al centro di intensi traffici commerciali. Molti centri minerari erano sfruttati per l'estrazione di piombo, zinco, rame e argento. A partire dal 1800, furono aperte miniere di carbone, antimonio e bauxite: i giacimenti più importanti si trovano nell'Iglesiente, nel Sulcis, nel Guspinese - Arburese, nel Sarrabus, nella Nurra e nella zona dell'Argentiera. Dopo il secolare sfruttamento l'attività estrattiva sta attraversando un periodo di grave crisi e molte miniere sono state chiuse perché poco competitive, le zone minerarie si stanno convertendo sempre di più al turismo. Da una quindicina d'anni la Sardegna è stata caratterizzata da una corsa alla ricerca di giacimenti auriferi, grazie soprattutto all'intervento di società minerarie australiane, attualmente è l'unica regione italiana in cui l'estrazione dell'oro avviene con metodi industriali.

### **Agricoltura, pastorizia e pesca**

L'agricoltura sarda è oggi legata a produzioni specializzate come quelle vinicole, l'olivicoltura, la coltivazione del carciofo, unico prodotto agricolo di esportazione. La piana del Campidano, la più grande pianura sarda produce avena, orzo e frumento, della quale è una delle più importanti produttrici italiane. Sull'isola è presente la quercia da sughero, della quale la Sardegna è una delle principali produttrici italiane, che cresce spontanea favorita dall'aridità del terreno. Per secolare tradizione, la percentuale degli addetti

alle attività primarie è alta e l'allevamento rappresenta una fonte di reddito molto importante. Attualmente nell'isola si trova circa un terzo dell'intero patrimonio ovino e caprino italiano, la metà del latte ovino prodotto in Italia viene dalla Sardegna, e viene in gran parte lavorato dalle cooperative dei pastori e da piccole industrie. La pesca è molto sviluppata nei pressi di Cagliari, Alghero e nelle coste del Sulcis da queste zone proviene la maggior parte del pescato sardo. Di antica tradizione e mai abbandonata è la pesca del tonno, per la maggior parte esportato in Giappone.

### 1.1.4 Trasporti e Infrastrutture

Per contrastare efficacemente gli effetti dell'insularità, è stata sviluppata nel tempo una rete di servizi ben distribuiti nel territorio, queste strutture collegano l'isola al continente italiano ed europeo per mezzo di linee aeree e tramite navi che partono dai porti più importanti. Tramite moderne stazioni marittime e traghetti, la Sardegna è collegata con la Francia, la Spagna e la Tunisia. I più importanti porti di arrivo sono: Arbatax, Cagliari, Golfo Aranci, Olbia e Porto Torres. Sono molto numerose le compagnie di navigazione che garantiscono i servizi verso l'isola. Tre aeroporti internazionali (Alghero-Fertilia, Olbia-Costa Smeralda, Cagliari-Elmas) smistano il traffico in arrivo e in partenza verso le principali città italiane e svariate destinazioni europee.

Il servizio regionale di trasporti pubblico collega tramite autobus la totalità dei comuni con almeno una corsa giornaliera, ed è presente negli aeroporti e nei porti in coincidenza con l'arrivo degli aerei e dei traghetti. Le località più isolate sono invece servite da compagnie private. Nelle città di Alghero, Cagliari (con tutta l'area metropolitana), Macomer, Nuoro, Olbia, Oristano, Porto Torres e Sassari sono presenti sistemi di trasporto pubblico urbano. La Sardegna è l'unica regione italiana priva di una rete autostradale, ne fanno le veci numerose superstrade (rete stradale in Appendice) costruite fra i principali centri, completamente pubbliche e gratuite, da quelle principali si diramano poi strade secondarie verso tutte le località. La rete ferroviaria (mappa in Appendice), costruita sul finire del XIX secolo si sviluppa per oltre 600 km e si limita a congiungere le città principali e i porti. L'intera rete ferroviaria non è elettrificata, fatta esclusione per i sistemi tram-treno delle metrotranvie di Cagliari e Sassari, e risente di mancati investimenti in innovazione.

## 1.2 Analisi Energetica

Risulta fondamentale ai fini del presente lavoro avere una chiara visione di quello che può essere l'apparato energetico sardo sia per poter descrivere con precisione la situazione attuale e passata, sia per poter effettuare una analisi riguardo agli scenari futuri di sviluppo. Per avere una visione d'insieme completa ed esaustiva in relazione ai flussi energetici di un Paese e descriverne

dunque la struttura globale si utilizza lo strumento del bilancio energetico. In Italia l'organismo preposto alla redazione del bilancio energetico, sia a livello nazionale che per le singole regioni, è l'Ente Nazionale per l'Energia e l'Ambiente, d'ora in avanti ENEA. Viene di seguito presentato il bilancio energetico regionale sardo relativo all'anno 2008 [3], si riporta una descrizione delle singole voci che lo compongono e delle modalità con cui esse vengono valutate con relativi commenti alla attuale situazione energetica sarda.

### 1.2.1 Analisi del bilancio energetico sardo

Il bilancio energetico è quello strumento che permette la contabilità completa dei flussi di energia di una qualsiasi regione, flussi che possono derivare da fonti di approvvigionamento differenti, che possono essere ottenuti attraverso differenti processi di conversione e richiesti da differenti tipi di utilizzatore, ma che all'interno del bilancio vengono presentati evitando duplicazioni e considerando tutte le perdite dei processi di conversione. La metodologia adottata per la compilazione del bilancio presenta una matrice in cui ogni colonna rappresenta una tipologia di combustibile (la nomenclatura utilizzata è riportata in Tabella1.1 mentre nelle righe sono riportati i tipi di flusso di energia, divisi in tre sezioni (Tabella1.2):

- Nella prima parte del bilancio energetico vengono riportate le voci relative alla fornitura (dalla voce *a* alla voce *d*), la suddivisione presenta la produzione (*a*) di energia della regione da cui sono escluse tutte quelle parti non disponibili per l'uso diretto (gas flaring, re-iniezione, ecc.); le importazioni (*b*) conteggiano il quantitativo di energia che entra nella regione per esservi consumata (esclusi dunque i transiti), le esportazioni (*c*) sono invece i quantitativi che escono dai confini per essere utilizzati da altri (considerate con segno negativo). Le scorte (*d*) di combustibili servono come ammortizzatori per coprire le fluttuazioni della domanda e dell'offerta; un aumento delle scorte rappresenta una diminuzione delle forniture (vengono dunque contabilizzate con segno negativo) a disposizione mentre un loro calo determina un aumento della fornitura (con segno positivo). I combustibili utilizzati in ambito navale ed aereo per gli spostamenti al di fuori della regione considerata vengono considerati come bunker (*d*). Sommando algebricamente i termini fin qui descritti si ottiene il fabbisogno totale di energia primaria (*e*) a cui spesso si associa l'acronimo inglese TPES (Total Primary Energy Supply [4]).
- La seconda sezione riporta le trasformazioni subite dai flussi energetici e comprende il secondo, il terzo ed il quarto blocco di Tabella1.2 includendo dunque sia gli ingressi in trasformazione (*f*) sia le uscite dalla trasformazione (*g*). In questa sezione si considerano i processi di conversione di energia primaria in energia secondaria attraverso processi chimici o fisici come ad esempio la raffinazione del petrolio o la

produzione di energia elettrica. Vengono contabilizzati inoltre i consumi propri dei processi di conversione (come ad esempio l'utilizzo di energia di una centrale di produzione di elettricità o di una raffineria) e le perdite subite durante i processi di trasmissione e distribuzione dell'energia (riportate con segno negativo); si ottiene in definitiva la disponibilità interna di energia (h) ovvero la quantità a disposizione dei consumatori che la sfruttano attraverso utilizzi di tipo energetico e non (ad esempio come materie prime nei processi chimici).

- L'ultima sezione del bilancio energetico è quella rappresentativa della domanda energetica, viene riportata nell'ultimo blocco di Tabella 1.2 e poi descritta in dettaglio in Tabella 1.4; contabilizza i flussi energetici a disposizione degli utilizzatori finali. In termini di contabilità la voce consumi finali (i), che viene calcolata dal lato della domanda ovvero dei consumatori, dovrebbe coincidere con l'importo residuo disponibile a valle delle varie conversioni ossia la disponibilità interna (h) al netto degli usi non energetici; può tuttavia capitare che queste due voci non coincidano esattamente, in questo caso andrà introdotta la differenza statistica come elemento di bilanciamento.

Il bilancio energetico qui analizzato riporta tutti i flussi energetici espressi secondo una unità di misura coerente che consente la contabilità ed un loro confronto. In questo caso l'unità utilizzata è di tipo commerciale, si riferisce cioè all'energia ottenibile da una quantità fisica estraibile di un combustibile campione quale il petrolio; si parla dunque di tonnellate equivalenti di petrolio (*tep* oppure *toe* dall'inglese) che rappresenta la quantità di energia rilasciata dalla combustione di una tonnellata di petrolio avente potere calorifico fissato convenzionalmente ed è pari a  $4186 MJ$ . Per poter confrontare i *tep* con altre unità di misura occorrono delle conversioni, ad esempio nei confronti dell'energia elettrica, per l'Italia, il fattore di conversione fissato dall'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG) è pari a  $0,187 \cdot 10^{-3} tep/kWh$  il che equivale ad aver fissato un rendimento medio del parco di produzione elettrica nazionale pari al 46%.

Nell'analisi del bilancio energetico è necessario fare attenzione ad alcune voci che vengono trattate in maniera particolare:

- Produzione di energia elettrica: in riferimento alla generazione da fonte idroelettrica, geotermica e nucleare non è possibile quantificare l'energia primaria da cui la produzione di elettricità da queste fonti derivi, a differenza di quanto avvenga per l'energia prodotta da altri combustibili fossili. Il problema viene risolto con due approcci alternativi, l'utilizzo dell'equivalenza nel consumo oppure quella nella produzione (che stima l'input di un combustibile fossile che genererebbe la stessa quantità di elettricità).
- Consumi finali di energia elettrica: essendo l'elettricità una fonte secondaria di energia avrà di superiore alle altre considerate nel bilancio



che si traduce in una efficienza di utilizzo finale maggiore (ad esempio più elevata l'efficienza di una macchina elettrica qualsiasi rispetto ad un'automobile). Anche in questo caso si possono percorrere due vie alternative utilizzando o l'approccio denominato *useful energy basis* (che valuta le differenti efficienze degli apparecchi agli usi finali) oppure quello denominato *fossil fuel equivalence* (esprime l'energia finale in termini di combustibile fossile equivalente).

- **Auto generazione:** si tratta di una sezione che rappresenta un flusso energetico che può essere solo parziale in quanto gli autoproduttori non hanno l'obbligo di segnalare e contabilizzare i flussi energetici.

Tabella 1.1: Sigle utilizzate per la Tabella 1.2 e successive

CS	Combustibili solidi
OIL	Petrolio
GN	Gas naturale
FR	Fonti rinnovabili
EE	Energia elettrica
CF	Combustibili Fossili

La parte superiore del bilancio energetico (Tabella 1.2) indica da dove l'isola ottiene l'energia primaria per far fronte alle sue richieste: salta subito all'occhio che la maggior parte dell'energia proviene dal petrolio, questo petrolio però non è destinato ai consumi interni ma viene per la maggior parte trasformato ed esportato. La posizione strategica dell'isola in mezzo al Mar Mediterraneo ha favorito la nascita di raffinerie petrolifere tecnologicamente all'avanguardia e con elevate produttività. Nell'isola, unica regione in tutt'Italia, si estrae del carbone dalle miniere presenti nella regione del Sulcis; il carbone estratto, in quantità molto variabili nel tempo e comunque non sufficienti a soddisfare il fabbisogno dell'isola, insieme a quello importato, viene quasi tutto utilizzato per la generazione di energia elettrica. Una frazione ridotta dei combustibili solidi è invece destinata a scopi termici per le industrie metallurgiche. Il poco gas naturale utilizzato sull'isola, sprovvista di una rete di metanodotti, viene estratto in loco ed è destinato all'industria petrolchimica collocata nel polo industriale di Cagliari.

Per quanto riguarda le Fonti Rinnovabili (FR) si può notare come esse costituiscano una fetta marginale sia dei consumi finali che delle risorse interne, mentre occupino una porzione molto importante dell'energia primaria prodotta, come mostra la Tabella 1.3. Per quanto riguarda l'energia eolica si è riscontrata una importante crescita a partire dalla fine degli anni novanta con la costruzione dei primi parchi eolici; la favorevole e uniforme ventosità dell'isola ha fatto in modo che ne fiorissero numerosi in tutte le provincie nel corso degli ultimi anni. Naturalmente tutta l'energia eolica viene convertita in energia elettrica, questo ha fatto sì che dal 2005 l'eolico

Tabella 1.2: Bilancio energetico sardo 2008. Fonte ENEA ([3])

<i>ktep</i>	CS	OIL	GN	FR	EE	Tot.
a) <i>Produzione interna</i>	81	-	64	274		418
b) Saldo in entrata	1367	16001	0	2	-	17370
c) Saldo in uscita	-	12245	-	-	13	12258
d) Bunkeraggi marittimi		11				11
d) Bunkeraggi aerei		178				178
d) Variazioni delle scorte	-	38	-			38
e) <b>Risorse interne</b>	1447	3529	64	276	-13	5303
f) <i>Ingressi in trasf.</i>	1395	18484	-	183	-	20061
Centrali idroelettriche	-	-	-	23		23
Centrali termoelettriche	1395	1099	-	105		2598
Cokerie					-	-
Raffinerie	-	16831	-	-		16831
Altri impianti	-	553	-	55		608
g) <i>Uscite dalla trasf.</i>	-	17241	-	1	1105	18348
Centrali idroelettriche					23	23
Centrali termoelettriche	-				1082	1082
Cokerie				-	-	
Raffinerie	-	16688	-	-	-	16688
Altri impianti	-	553	-	1	-	554
Trasferimenti	-497	-582	4	-95	1170	-
Consumi e perdite	-	-734	-	27	165	541
h) <i>Disponibilità interna</i>	54	3017	68	66	927	4132
Usi non energetici	-	1060	-	-	-	1060
i) <b>Consumi finali</b>	54	1957	68	66	927	3072
Percentuale	1,8%	63,7%	2,2%	2,1%	30,2%	

sia riuscito a portarsi allo stesso livello dell'idroelettrico per poi scavalcarlo sia in termini di potenza installata che di energia prodotta negli anni successivi. Oltre a quelle descritte sopra le fonti rinnovabili che giocano un ruolo importante sono biomasse, rifiuti e biogas: come confermano le Tabella 1.3 e Figura 1.2. Le biomasse vengono utilizzate, come si legge nei consumi finali nel settore residenziale, per soddisfare i bisogni di riscaldamento delle utenze domestiche. Sono presenti piccoli impianti a ciclo Rankine sparsi per l'isola che producono energia elettrica a partire da rifiuti e biogas, ricavati dagli allevamenti suini.

La Tabella 1.4 riporta i consumi finali di energia (o TFC acronimo inglese di Total Final Consumption) divisi per settore economico. Storicamente più della metà dei consumi sardi si divide equamente tra industria e trasporti, lasciando il resto al settore residenziale e dei servizi ed in minima parte all'agricoltura (Figura 1.3). L'industria sarda è fortemente energivora e di importanza strategica per l'intero Paese; le poche industrie italiane

Tabella 1.3: Produzione di Energia Primaria. Fonte ENEA

ktep	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Tot.	495	251	339	420	476	399	340	478	418
CS	155	90	113	166	75	75	31	112	81
GN	194	0	54	67	187	76	73	97	64
OIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FR	146	161	172	186	214	248	236	269	274

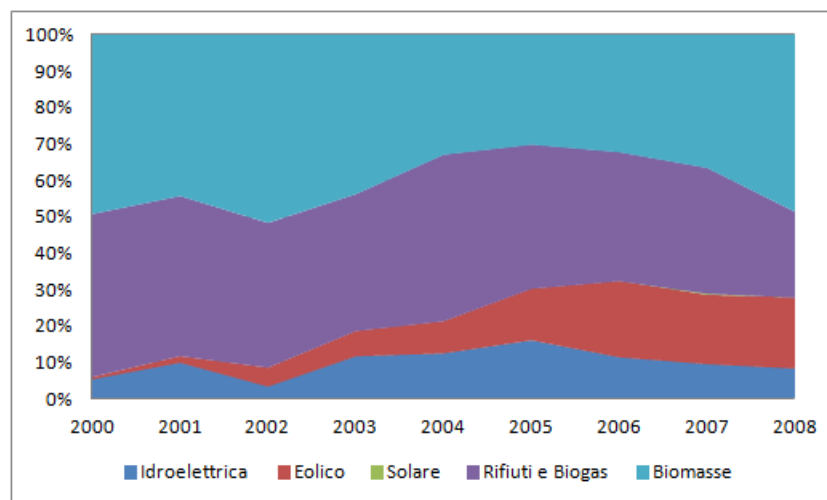


Figura 1.2: Fonti Rinnovabili all'interno della produzione di energia primaria. Fonte ENEA

che producono metalli non ferrosi (alluminio e zinco) sono quasi esclusivamente presenti sul territorio sardo. L'elevato consumo del settore industriale è giustificato dal fatto che i processi di ottenimento dell'alluminio consumano molta energia elettrica e, allo stesso modo, i processi realizzati nelle numerose industrie chimiche e petrolchimiche hanno fabbisogni di calore molto elevati. L'industria sarda presenta nel corso degli anni dei consumi elettrici costanti (intorno al 30-40% del totale dei consumi energetici industriali) e dei consumi di prodotti petroliferi molto altalenanti, dovuti alle industrie chimiche e petrolchimiche che soddisfano i fabbisogni di calore per lo più bruciando gasolio oppure olio combustibile. Per soddisfare i bisogni elettrici si è già discusso come l'industria sarda ricorra principalmente a fonti fossili. Il settore dei trasporti consuma poco meno di quello industriale ed è quasi completamente dovuto ai trasporti stradali dato lo scarso sviluppo delle rete ferroviaria nell'isola.

Il bilancio energetico fornisce informazioni riguardo alle fonti di produzione di energia elettrica, presenti nella sezione riguardante gli ingressi in trasformazione; all'interno della stessa pubblicazione [3] in cui è disponibile il bilancio energetico sono reperibili le serie storiche della produzione elettrica a partire dal 2000. La quasi totalità di energia elettrica viene prodotta

Tabella 1.4: Bilancio energetico sardo 2008. Fonte ENEA

<i>ktep</i>	CS	OIL	GN	FR	EE	Tot.
<b>Consumi finali</b>	54	1957	68	66	927	3072
<i>Industria</i>	53	412	64	1	487	1016
Ind. manif. di base	49	352	64	1	441	907
Metallurgia	49	63	-	-	247	358
Minerali non metalliferi	-	134	-	1	24	159
Chimica e petrolchimica	0	153	64	-	167	384
Carta, grafica ed editoria	-	2	-	-	3	5
Ind. manif. non di base	4	58	-	-	40	102
Alim., bevande e tabacco	0	48	-	-	17	66
Tessile e confezioni	-	0	-	-	1	2
Meccanica	-	3	-	-	9	13
Altre manifatturiere	4	6	-	-	12	22
<i>Trasporti</i>	-	1183	-	-	-	1183
Ferroviani e urbani	-	9	-	-	-	9
Stradali	-	1003	-	-	-	1003
Navigazione marittima	-	117	-	-	-	117
Navigazione aerea	-	54	-	-	-	54
<i>Residenziale</i>	1	262	4	65	194	526
<i>Terziario</i>	-	22	-	0	228	251
<i>Agr., silvicoltura e pesca</i>	-	78	-	-	18	96

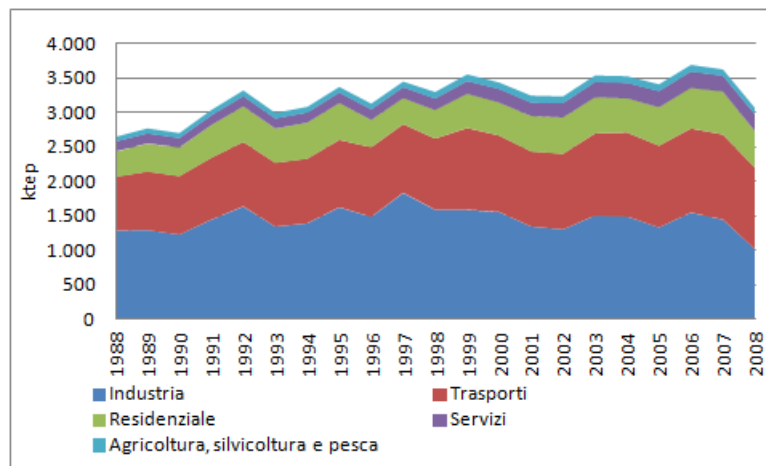


Figura 1.3: Consumi finali totali di energia (TFC) per settori. Fonte ENEA

da fonti fossili mentre una minima parte proviene come detto in precedenza da eolico e idroelettrico. La parte proveniente dal petrolio viene convertita in energia elettrica da grandi impianti a ciclo Rankine, situati nei pressi dei grandi poli industriali, che bruciano olio combustibile oppure dalla moderna raffineria della Saras in cui è installato un impianto IGCC (*Integrated Gasification Combined Cycle*) capace di sfruttare i residui di raffineria. L'altra

metà della produzione è assicurata dagli impianti a carbone in cui si brucia anche il combustibile estratto nel Sulcis oltre che una importante quota di carbone importato. Per completare la panoramica sulle fonti fossili non si può esulare ad un commento sulla rete elettrica, che trattandosi di un'isola presenta delle particolarità riguardanti la sua affidabilità; per poter rendere la rete sarda affidabile si è resa necessaria la nascita un elettrodotto di collegamento al continente. A questo proposito si rende noto che nel 2009 è stato terminato il collegamento diretto della Sardegna alla penisola italiana attraverso il cavo SAPEI dotato di una potenza di 1000 MW elettrici che va ad aggiungersi al cavo pre esistente (SACOI da 200 MW), che ha risolto gran parte dei problemi di affidabilità della rete elettrica sarda.

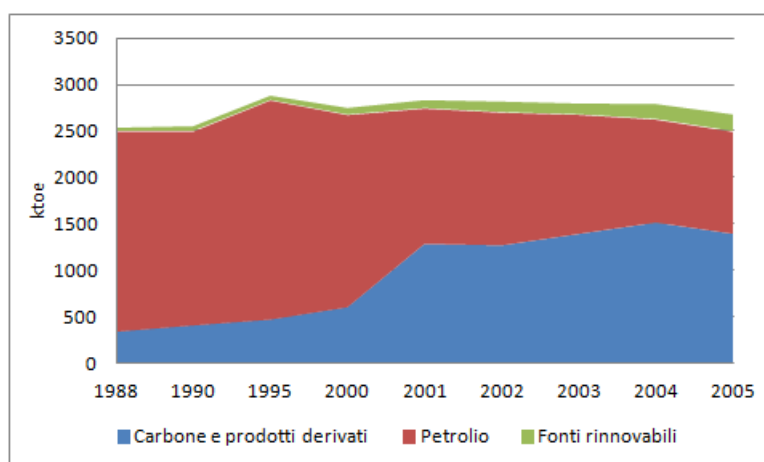


Figura 1.4: Produzione di energia elettrica per fonti. Fonte ENEA

### 1.3 Confronto con le altre regioni

In questa sezione viene presentato il proseguimento dell'analisi del contesto attraverso una comparazione della situazione energetica sarda con quella delle altre realtà regionali italiane e con la media nazionale. Si ritiene infatti che una analisi comparativa possa essere utile al fine di una valutazione generale dello stato in cui versa la realtà in esame e della proposta di soluzioni di sviluppo adeguate. L'analisi è stata condotta seguendo l'approccio utilizzato per i confronti tra le realtà nazionali attraverso una serie di indicatori. Inizialmente sono stati considerati degli indicatori di tipo sociale e di tipo economico (Tabella 1.5) che potessero dare delle informazioni riguardo al contesto in cui si colloca l'analisi più specificatamente di tipo energetico condotta successivamente.

Gli indicatori energetici sono quelli definiti dalla *International Atomic Energy Agency (IAEA)* e sono stati calcolati seguendo, per quanto permesso dai dati reperiti, la lista degli *Energy Indicators for Sustainable Development (EISD)* [5] definiti dalla stessa agenzia. Gli indicatori energetici utilizzati sono di tipo economico ed ambientale come si può notare in Tabella 1.6; nella

Tabella 1.5: Indicatori sociali ed economici

Sigla	Definizione
SOC 1	Indice di sviluppo umano (HDI)
SOC 2	Densità di popolazione
ECO	Prodotto interno lordo pro capite

Fonte: ISTAT

lista degli *EISD* sono presenti anche una serie di indicatori socio economici che sono però stati considerati non significativi in una analisi come quella che ci si propone attuare, riferita ad un contesto di elevato sviluppo sociale come quello italiano in cui non si riscontrano problemi come quello dell'accesso all'elettricità o degli incidenti dovuti alle linee elettriche come invece accade in alcuni Paesi considerati nei confronti della IAEA.

Tabella 1.6: Indicatori energetici

Sigla	Sigla IAEA	Definizione
ECO 1.1	ECO 1	Fabbisogno totale pro capite
ECO 1.2	ECO 1	Consumi finali pro capite
ECO 1.3	ECO 1	Produzione e consumo di energia elettrica pro capite
ECO 1.4		Rapporto tra consumi finali e fabbisogno totale
ECO 2.1	ECO 2	Intensità energetica relativa al fabbisogno totale
ECO 2.2	ECO 2	Intensità elettrica relativa al consumo
ECO 6	ECO 6	Intensità energetica del settore industriale
ECO 7	ECO 7	Intensità energetica del settore dei servizi
ECO 8	ECO 8	Intensità energetica del settore agricolo
ECO 11.1	ECO 11	Fabbisogno totale diviso per fonti
ECO 11.2	ECO 11	Consumi finali divisi per settore
ECO 13.1	ECO 13	Porzione rinnovabile del fabbisogno totale
ECO 13.2	ECO 13	Porzione rinnovabile nella produzione di energia elettrica
ENV 1.1	ENV 1	Emissioni di anidride carbonica per abitante
ENV 1.2	ENV 1	Intensità carbonica

Fonte: ISTAT, TERNA, ENEA

Gli *EISD* sono utilizzati in ambito internazionale per le analisi di scenario energetico riferite ai sistemi Paese attraverso confronti con tutte le altre realtà nazionali e con le macroregioni di riferimento (ad esempio area OCSE, mediorientale, asiatica, Africa Subsahariana, ecc.). Attraverso questa analisi comparativa è possibile stilare delle classifiche, per ciascun indicatore, di tutte le nazioni aderenti al programma e quindi trarre conclusioni sullo stato di avanzamento locale sia nello specifico ambito di interesse sia a livello globale.

In questo studio il sistema di riferimento adottato è chiaramente diverso da quello degli studi dell'agenzia internazionale; ci si riferirà al contesto nazionale italiano attuando dei confronti tra la situazione sarda e quella di alcune regioni considerate rappresentative delle macrozone geografico - economiche in cui può essere suddivisa la penisola. Le regioni scelte per i confronti, oltre alla media nazionale, sono:

- Lombardia, vista come rappresentativa della situazione del nord Italia e soprattutto come realtà dal maggior sviluppo economico a livello nazionale;
- Puglia, può essere assunta come punto di riferimento per il rilancio economico delle regioni meridionali storicamente meno produttive che al nord;
- Sicilia, regione insulare e di grandi dimensioni come la Sardegna;
- Lazio, realtà assunta come rappresentativa della zona centrale del Paese.

Il calcolo degli indicatori è stato realizzato seguendo le definizioni della *IAEA* ma attuando a seconda dei casi, come descritto in seguito, delle variazioni per spostare l'orizzonte di riferimento dalla realtà globale mondiale a quella nazionale italiana.

### **1.3.1 Indicatori sociali ed economici**

L'analisi degli indicatori di tipo sociale ed economico ha, in questo studio, l'obiettivo di fornire un quadro di insieme dello stato di sviluppo, in riferimento a questi ambiti, della realtà sarda. Chiaramente va considerato il fatto che il confronto e la collocazione di questa regione sia da riferirsi ad un contesto di elevato sviluppo come quello italiano, in cui non è pensabile considerare la presenza di livelli di qualità della vita scadenti o di aree rurali particolarmente arretrate.

#### **SOC 1: Indice di sviluppo umano [6]**

Questo indicatore è stato definito e viene utilizzato all'interno del *United Nation Development Programme (UNDP)* come rappresentativo del livello di avanzamento globale in termini sociali di una nazione; è stato introdotto negli anni novanta andando a sostituire il prodotto interno lordo che veniva in precedenza usato come principale indicatore sociale. L'indice di sviluppo umano (*Human Development Index HDI*) non si limita ad assimilare la ricchezza allo sviluppo sociale ma amplia l'orizzonte descrittivo andando a considerare, oltre al prodotto interno lordo presente nella formulazione del *Indice di Reddito (Income Index II)*, altri due sotto indicatori della realtà sociale: *Indice di Aspettativa di Vita (Life Expectancy Index LEI)* e *Indice di Istruzione (Education Index EI)*. Il valore dell'indice di sviluppo umano si otterrà infine dalla media geometrica dei tre indicatori descritti.

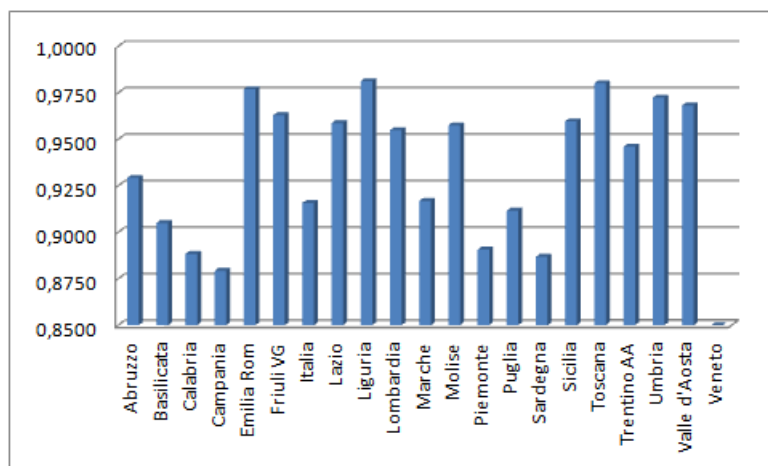


Figura 1.5: Indice di sviluppo umano (HDI) per le regioni italiane, anno 2008. Elaborazioni da fonte ISTAT

L'indice di sviluppo umano calcolato in questo studio per le regioni italiane assume come riferimenti i valori minimi e massimi dei tre indici regionali. Tale approccio differisce da quello adottato per il calcolo del HDI a livello nazionale in cui i riferimenti adottati sono i Paesi con valori massimi e minimi dei tre indici. Questo differente metodo di calcolo si ripercuote sui valori dell'indice di sviluppo umano per le regioni che, come si può notare dalla Figura 1.5, sono molto elevati, soprattutto se si pensa al fatto che nella classifica mondiale stilata da *UNDP* l'Italia occupa il ventitreesimo posto con HDI di 0,854. Avendo come riferimenti livelli minimi e massimi decisamente elevati, caratteristici di una realtà sviluppata come quella italiana, non si possono che ottenere valori finali molto alti per tutte le regioni considerate. Nella Figura 1.6 si può vedere come ci sia una regione italiana, presa come riferimento superiore per il singolo sotto-indice, che assuma valore unitario per ogni indice che va a comporre l'HDI.

Dall'analisi di Figura 1.5 si nota chiaramente come ci sia una notevole differenza tra le regioni dell'Italia settentrionale e le regioni del Mezzogiorno (isole incluse) con Campania, Calabria e Puglia che chiudono la classifica. Considerando questo importante dislivello tra le macroregioni italiane, la situazione della Sardegna può essere analizzata seguendo due differenti approcci. Confrontando lo stato regionale con quello generale espresso dal valore dell'indice per l'Italia (come media dell'HDI di tutte le regioni) si nota chiaramente il fatto che la Sardegna si trovi in una situazione di ritardo, dal punto di vista sociale, nei confronti della media nazionale, determinato dalla sua storia geopolitica. La sua particolare situazione offre lo spunto per confrontare la Sardegna con le regioni del Mezzogiorno, anch'esse presentando una storia geopolitica che prodotta condizioni di arretratezza rispetto al nord-Italia, quello che si nota è che in questa ottica la realtà sarda (con un HDI di 0,9116) risulta avere un miglior stato di sviluppo sociale (media meridionale pari a 0,9009). Il vantaggio rispetto alle altre regioni potrebbe



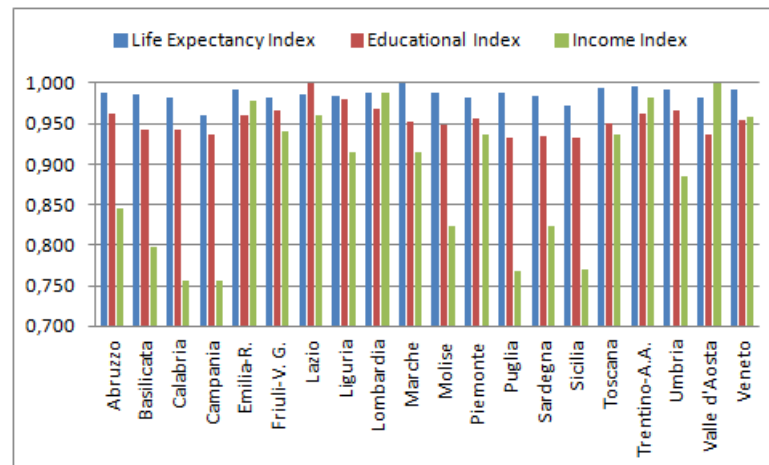


Figura 1.6: Indici utilizzati per l'HDI delle regioni italiane, anno 2008. Elaborazioni da fonte ISTAT

risiedere nello status politico - amministrativo privilegiato in quanto regione a statuto speciale, vantaggio che avrebbe anche la Sicilia che con un indice pari a 0,8868 risulta avere uno sviluppo umano ancora inferiore.

## SOC 2: Densità di popolazione

Il secondo ed ultimo indicatore sociale considerato serve a dare l'idea di quale sia la situazione abitativa, ma anche geografica ed economica della regione sarda. Si può notare dalla Tabella 1.7 che la densità abitativa in Sardegna è sensibilmente inferiore non solo alla media nazionale, ma anche a tutte le regioni prese in esame come termini di confronto. Le spiegazioni che si possono dare a questi andamenti sono di differenti tipologie; innanzitutto una densità così bassa può essere spiegata dalla particolare situazione geografica, si parla di un'isola che a differenza della Sicilia è relativamente lontana dal continente, questo ha sfavorito, soprattutto in passato, l'arrivo di flussi migratori esterni. Inoltre sempre riferendosi all'ambito geografico si può affermare che il quadro interno regionale con la presenza di svariate aree collinari e montuose con zone difficilmente accessibili e urbanizzabili, sia un fattore determinante per il basso numero di abitanti in relazione alla superficie. Altri fattori da considerare, sicuramente conseguenti ai ragionamenti sulla geografia locale sono relativi al tipo di economia sviluppatasi nell'isola; sono praticamente assenti centri urbani di grandi dimensioni (a parte Cagliari), l'economia è per lo più basata su attività come l'industria pesante concentrata in pochi poli di grandi dimensioni, l'artigianato diffuso in tutta l'isola ed attività primarie come la pastorizia. Settori come quello dei servizi o del grande commercio sono poco presenti e questa è una ulteriore spiegazione alla scarsa presenza di aree densamente popolate.

Tabella 1.7: SOC 2: Densità di popolazione. Fonte ISTAT

$ab/km^2$	2000	2002	2004	2006	2008
Lazio	297,36	297,37	302,49	308,28	323,17
Lombardia	375,95	378,56	387,50	397,07	404,08
Puglia	208,31	207,56	208,67	210,24	210,50
Sardegna	68,01	67,70	68,21	68,73	69,14
Sicilia	194,26	193,20	194,66	195,20	195,69
Italia	187,84	188,08	191,04	193,91	196,79

### ECO: Prodotto interno lordo pro capite

Il prodotto interno lordo pro capite è un parametro molto utilizzato per attuare un confronto tra lo stato di ricchezza e sviluppo di diverse realtà; da Figura 1.7 si nota che, pur attestandosi tutte le curve su livelli abbastanza elevati tipici di un contesto ad elevato sviluppo come quello italiano, ci sono delle importanti differenze tra le varie regioni analizzate.

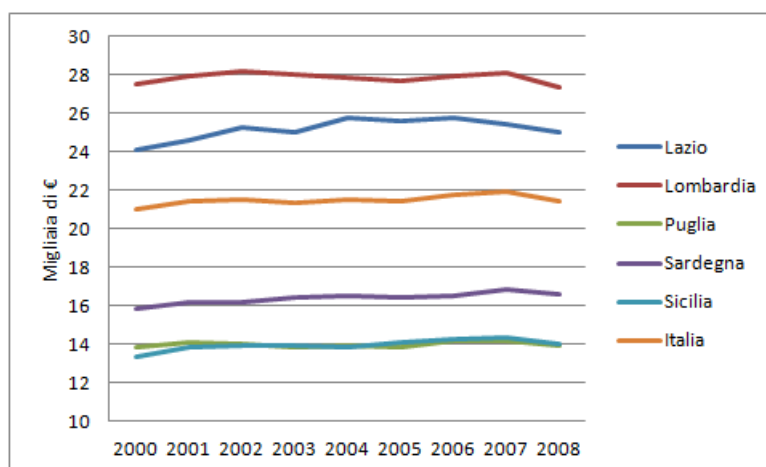


Figura 1.7: Serie storica, prodotto interno lordo per abitante per le regioni italiane, migliaia di euro. Fonte ISTAT

Appare evidente la differenza tra le regioni del nord Italia come la Lombardia che si colloca decisamente al di sopra della media nazionale e le regioni del Mezzogiorno che presentano livelli notevolmente più bassi. La collocazione della Sardegna è ad un livello inferiore alla media nazionale ma presenta un andamento che si colloca al di sopra di regioni del sud Italia come Puglia e Sicilia.

### 1.3.2 Indicatori energetico-economici

Questi indicatori, assieme a quelli energetico - ambientali analizzati nel paragrafo seguente, fanno parte del pacchetto definito dalla IAEA per l'analisi

energetica dei sistemi Paese e per i confronti tra Stati. L'insieme degli indicatori presentati di seguito permette di avere un quadro di insieme della situazione energetica della Sardegna in rapporto alle altre sia da un punto di vista generale sia in riferimento ai singoli settori economici.

### ECO 1.1: Fabbisogno totale di energia primaria pro capite

Il fabbisogno di una regione (o TPES dall'inglese) viene calcolato come produzione interna più importazioni meno esportazioni meno bunkeraggi marini a cui va aggiunta la variazione delle scorte [4]. L'indicatore qui presentato è calcolato come il rapporto tra il fabbisogno totale ed il numero di abitanti, ha dunque il significato di quantità di energia primaria di cui necessita ciascun abitante della realtà locale studiata.

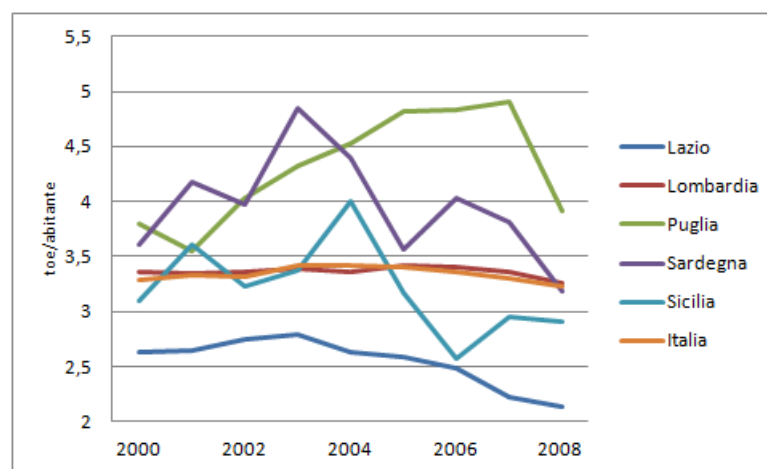


Figura 1.8: ECO 1.1: serie storica, fabbisogno totale di energia primaria per abitante per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT

Come si può notare dalla Figura 1.8 storicamente il fabbisogno energetico dei cittadini sardi è sempre stato superiore alla media italiana, una situazione dello stesso tipo si riscontra addirittura più amplificata per la Puglia; in entrambi i casi c'è un forte peso relativo al tipo di utilizzi della quota di energia a disposizione, soprattutto in relazione alla presenza di un tipo di industria molto energivora. Negli ultimi anni questa tendenza, per quanto riguarda la situazione sarda, è andata via via evolvendosi verso un avvicinamento alla media nazionale, dovuto probabilmente ad un miglioramento della efficienza negli utilizzi e nelle trasformazioni oltre che ad un graduale sviluppo dell'industria manifatturiera, prevalente nella realtà totale nazionale.

### ECO 1.2: Consumi finali pro capite

I consumi finali totali di energia espressi come energia primaria e dunque in tonnellate equivalenti di petrolio (in inglese *Total Final Consumption TFC*) sono valutati a partire dagli usi finali, dunque come somma di tutti gli utilizzi nei vari settori e sotto settori. Questa metodologia di calcolo non valuta

le perdite di energia che si verificano durante le varie trasformazioni e durante la distribuzione. Proprio alla luce della definizione del TFC, oltre che delle valutazioni fatte per ECO 1.1, risulta interessante notare come la curva relativa alla Sardegna in Figura 1.9 si trovi in questo caso al di sotto della media nazionale, ancora ad un livello simile alla realtà pugliese vista come rappresentativa del Mezzogiorno.

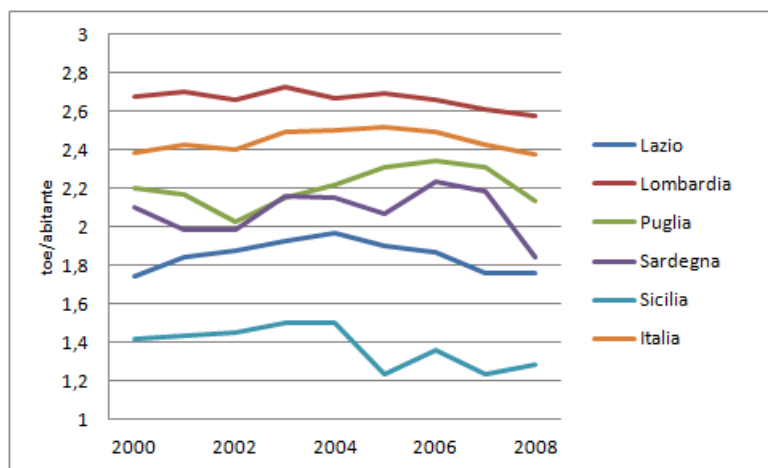


Figura 1.9: ECO 1.2: serie storica, consumi finali di energia per abitante per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT

### ECO 1.3: Produzione e consumo di energia elettrica pro capite

Si analizza in questa sezione lo specifico ambito riguardante l'elettricità, vista come una parte dell'intero ammontare di energia primaria presente nei bilanci. L'energia elettrica occupa una percentuale molto importante dei consumi totali in ciascun settore e inoltre può essere vista come un bene esportabile da una realtà regionale all'altra. Gli andamenti rappresentati sia in Figura 1.10 sia in Tabella 1.8 evidenziano che una regione come la Sardegna, con un saldo di importazioni - esportazioni leggermente positivo, presenti sia una grande produzione sia un importante consumo a causa della presenza di grandi impianti industriali di tipo molto energivoro. Dal confronto con le altre regioni si notano le differenti architetture dei sistemi elettrici locali; la Puglia è caratterizzata da una elevata produzione e un consumo ridotto confermando il suo carattere di regione esportatrice, la Lombardia ha la più elevata produzione totale, inferiore comunque al fabbisogno a causa dei consumi industriali elevati. Tra questi estremi si collocano i bilanci elettrici delle altre regioni e la media nazionale con architetture dei propri sistemi, in relazione all'energia elettrica, che possono essere visti come vie di mezzo con maggiore equilibrio.

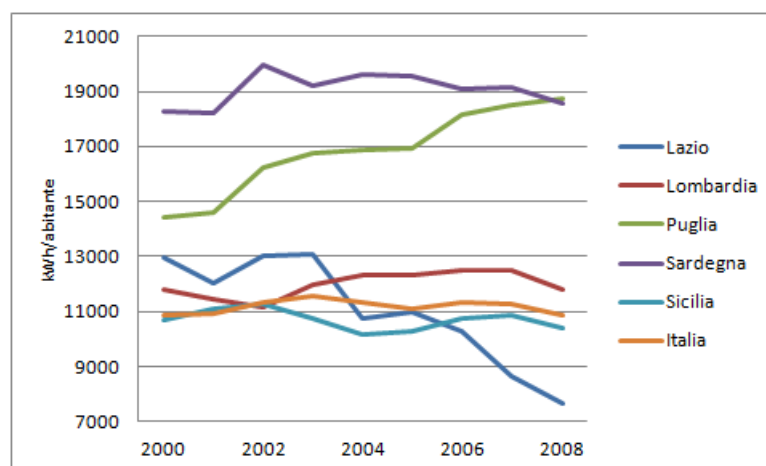


Figura 1.10: ECO 1.3: serie storica, produzione di energia elettrica per abitante per le regioni italiane. Fonte TERNA, ISTAT

Tabella 1.8: ECO 1.3: consumi di energia elettrica per abitante, fonte Terna.

kWh/abitante	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Lazio	3726	3766	3815	4106	4167	4242	4301	4218	4205
Lombardia	6550	6631	6616	6884	6819	6837	7013	7029	6975
Puglia	3854	3879	3912	4059	4150	4331	4426	4445	4508
Sardegna	6488	6660	6817	7013	7164	7286	7377	7099	7154
Sicilia	3420	3497	3590	3691	3688	3745	3823	3798	3788
ITALIA	4838	4931	5023	5206	5234	5284	5392	5370	5330

#### ECO 1.4: Rapporto tra consumi finali e fabbisogno totale di energia primaria

Questo particolare indicatore non fa parte della lista citata in precedenza degli *EISD*, ma nonostante ciò ne viene riportata l'analisi perchè si pensa possa essere interessante ai fini della comprensione dello stato di avanzamento del sistema energetico globale della realtà in esame. In effetti vengono confrontati i due estremi della catena di trasformazione dell'energia, da un lato si hanno i consumi finali valutati a partire dai singoli utilizzatori, dall'altro gli input energetici forniti alla regione sotto forma di fonti primarie. In sostanza gli andamenti riportati in Figura 1.11 possono essere visti come rappresentativi di una sorta di efficienza globale dell'insieme di processi di sfruttamento energetico. In quest'ottica l'analisi del grafico porta a dire ancora una volta che si nota una importante differenza tra le regioni più sviluppate e la media Italiana con le aree del Mezzogiorno, ciò è senz'altro dovuto alle tipologie di utilizzatori presenti (ci si riferisce ancora una volta all'industria energivora sarda) ma anche allo scarso avanzamento tecnologico ed alla bassa efficienza energetica sia dei processi di trasformazione sia degli apparecchi utilizzatori finali.

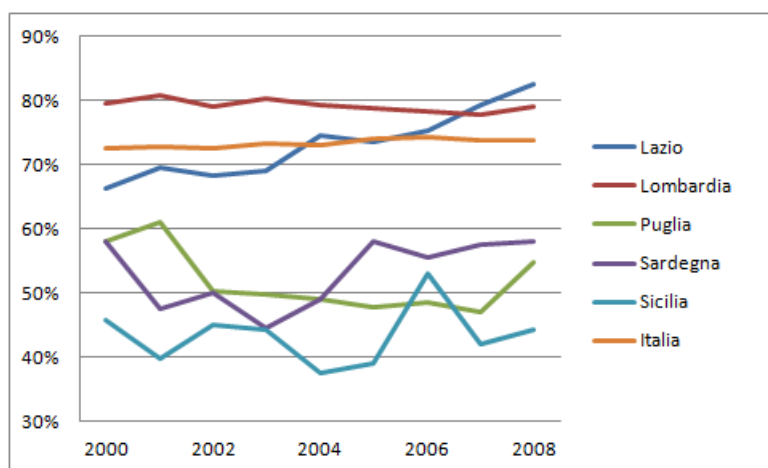


Figura 1.11: ECO 1.4: serie storica, rapporto tra consumi finali e fabbisogno totale di energia primaria per le regioni italiane. Fonte ENEA

### ECO 2.1: Intensità energetica relativa al fabbisogno totale

L'intensità energetica è uno degli indicatori più importanti e più utilizzati per le analisi energetiche regionali, la definizione classica adottata dalla IAEA è quella del rapporto tra il fabbisogno totale oppure i consumi finali ed il prodotto interno lordo della realtà analizzata. L'informazione fornita da questo parametro è una sorta di efficienza economica locale, quantifica dunque la capacità di trasformare l'energia utilizzata in ricchezza. Un'alta intensità energetica indicherà una spesa energetica elevata per unità di ricchezza prodotta (in termini di PIL), mentre basse intensità energetiche saranno sintomo di un consumo energetico contenuto per unità di prodotto interno lordo generata.

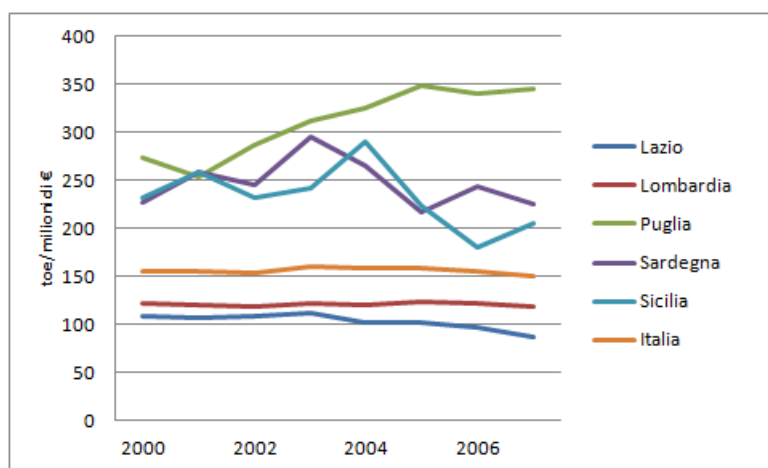


Figura 1.12: ECO 2.1: serie storica, intensità energetica relativa al fabbisogno totale interno di energia primaria per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT

In Figura 1.12 viene riportata l'intensità energetica riferita al fabbisogno totale interno, si nota che le regioni con un tasso di sviluppo che dalle analisi fin qui svolte è sembrato più avanzato, presentano una intensità inferiore rispetto alle regioni del sud Italia; la Sardegna si colloca nella media delle regioni del Mezzogiorno con un andamento posizionato al di sopra della media italiana. Questa analisi può essere giustificata dal fatto che, in linea con lo stato di avanzamento economico, energetico e tecnologico, regioni come la Lombardia ed il Lazio avranno una efficienza di utilizzazione delle risorse energetiche migliore rispetto a realtà come la Sardegna che comunque si colloca a livelli più alti rispetto alla Puglia e simili alla Sicilia.

### ECO 2.2: Intensità energetica relativa al consumo di energia elettrica

L'indicatore analizzato in questa sezione riguarda ancora l'intensità energetica come visto in precedenza ma si riferisce specificatamente all'ambito elettrico. Risulta interessante l'analisi per valutare le dinamiche che caratterizzano il comparto elettrico e comprendere con che efficienza venga prodotta e consumata elettricità in rapporto alla ricchezza generata. La Figura 1.13 si riferisce in particolare ai consumi ed evidenzia degli andamenti molto significativi: si nota chiaramente come la Sardegna abbia valori elevati di intensità elettrica, pari quasi al doppio della media italiana e decisamente al di sopra di tutte le regioni considerate, persino della Puglia che aveva sempre mostrato parametri peggiori per gli indicatori visti in precedenza. Questo andamento può essere spiegato dalla presenza nella realtà sarda di grandi utenze elettriche che sfruttano l'energia in processi produttivi finalizzati all'ottenimento di prodotti dell'industria manifatturiera di base (come zinco e alluminio) i quali, evidentemente, portano ad una generazione di ricchezza ridotta in confronto all'elettricità consumata.

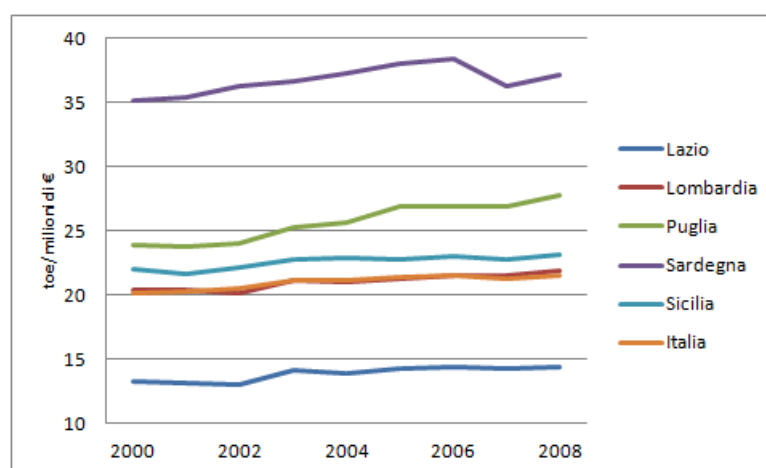


Figura 1.13: ECO 2.2: serie storica, intensità energetica relativa al consumo di energia elettrica per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT

**ECO 6: Intensità energetica del settore industriale**

Si passa a questo punto all'analisi dei singoli settori economici per comprendere come essi siano sviluppati dal punto di vista energetico; a tale scopo si continua ad utilizzare l'indicatore intensità energetica definito in questo caso dal rapporto tra i consumi finali settoriali di energia ed il valore aggiunto generato dal settore in questione. Tra gli indicatori riferiti ai vari settori economici, quello industriale è certamente quello più interessante in quanto, per quel che riguarda la Sardegna, questo è il settore che assorbe la quota maggiore di energia (circa un terzo) ed è caratterizzato da un tipo di produzione con caratteristiche particolari difficilmente riscontrabili nelle altre regioni italiane.

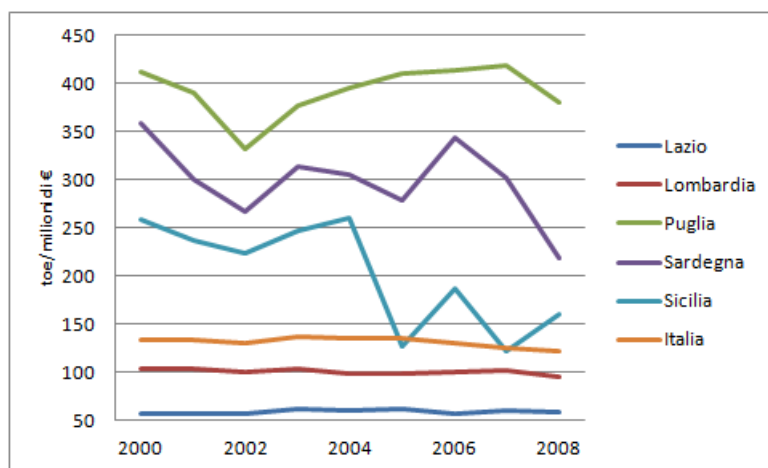


Figura 1.14: ECO 6: serie storica, intensità energetica relativa al settore industriale per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT

Si nota dalla Figura 1.14 che ci sono delle grandi differenze tra i vari andamenti, arrivando quasi fino ad un ordine di grandezza. Variazioni così importanti sono riscontrabili solo in questo settore, in base al tipo di industria ed ai particolari processi produttivi, i consumi energetici per unità di valore aggiunto generato possono essere i più svariati. Tenendo a mente queste considerazioni si potrà affermare che nel Lazio, ma anche in Lombardia nonostante il grande tasso di industrializzazione e considerando la media nazionale, il tipo di industria più diffuso è il manifatturiero “leggero” con consumi energetici relativamente ridotti in confronto al valore aggiunto generato. Discorso opposto invece deve essere fatto per quanto riguarda soprattutto Puglia e Sardegna; risulta in entrambi i casi evidente la presenza preponderante di un tipo di industria pesante (dell’ acciaio nel primo caso, chimica e di produzione di metalli non ferrosi nel secondo) che a fronte di enormi consumi energetici genera una quantità relativamente modesta di valore aggiunto.



### ECO 7-8: Intensità energetica del settore agricolo e dei servizi

Si vuole ora focalizzare l'analisi sulla struttura energetica dei settori primario e terziario, servendosi sempre dell'indicatore intensità energetica. Per quanto riguarda l'agricoltura si nota dalla Figura 1.15 che la situazione sarda non si discosta troppo dalla media italiana, questo settore ha un livello di penetrazione all'interno dell'economia sempre inferiore e le pratiche non sono al livello agro - industriale, cosa che avviene invece in Sicilia dove si riscontra infatti una bassa intensità energetica.

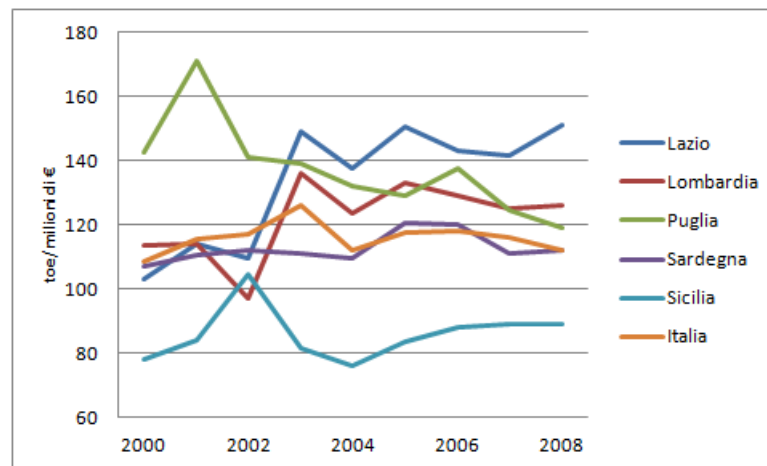


Figura 1.15: ECO 8: serie storica, intensità energetica del settore agricolo per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT

In riferimento al settore dei servizi invece gli andamenti risultano essere molto differenti, si nota in questo caso come gli andamenti delle regioni del sud Italia e la Sardegna in particolare risultino collocarsi al di sotto sia rispetto alla media nazionale sia rispetto alla Lombardia, regione fin qui assunta come apice dello sviluppo economico nazionale. I commenti che possono essere fatti alla Figura 1.16 sono riferibili principalmente all'ambito turistico che, nelle regioni del Mezzogiorno ha subito un grande sviluppo nell'ultimo periodo, generando importanti valori aggiunti a fronte di consumi energetici relativamente ridotti.

### ECO 11: Fabbisogno totale di energia primaria per fonte, consumi finali per settore

Gli indicatori analizzati in questa sezione presentano confronti tra le regioni basati sulla composizione del mix energetico a disposizione delle varie realtà locali. Per quanto riguarda il fabbisogno totale interno (*TPES*), come si evidenzia nella Figura 1.17, la situazione della Sardegna è notevolmente diversa rispetto alle altre regioni ed alla media nazionale. Si nota la quasi totale assenza della fonte gas naturale a causa della mancanza di metanodotti sull'isola e la conseguente marcata dipendenza dal petrolio che assieme al

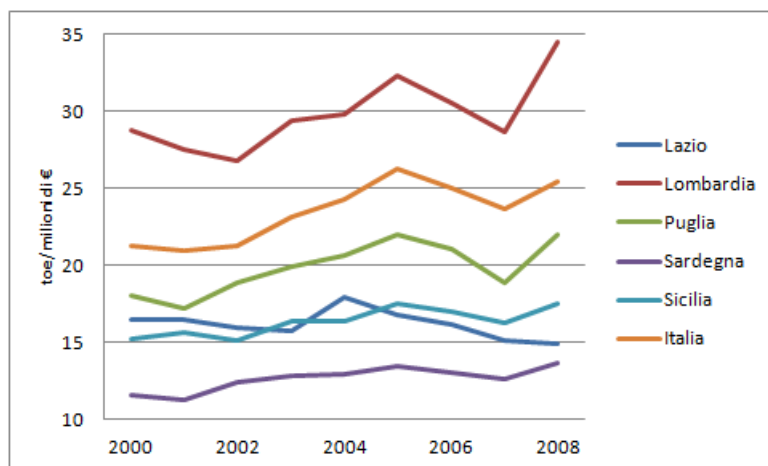


Figura 1.16: ECO 7: serie storica, intensità energetica del settore dei servizi per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT

carbone, in parte ottenuto dalla produzione interna del Sulcis, rappresenta la fonte energetica principale sfruttata. Va evidenziato l'apporto ancora marginale delle fonti rinnovabili al *TPES* che si attesta per la Sardegna al 5% contro una media nazionale del 9%; si sottolinea infine come le importazioni di elettricità, che non sono riportate in figura, siano globalmente negative nell'arco dell'anno, l'isola soddisfa dunque totalmente il suo fabbisogno di elettricità e ne cede una parte al continente.

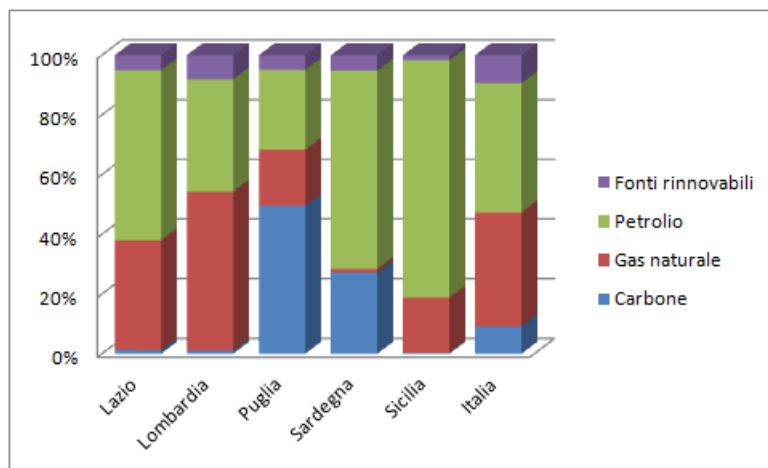


Figura 1.17: ECO 11.1: Fabbisogno totale interno di energia primaria suddiviso per fonti (escluso saldo energia elettrica) per le regioni italiane, anno 2008. Fonte ENEA

Relativamente ai consumi finali si può invece affermare che le percentuali di utilizzo dei vari settori sono per la Sardegna molto vicine alla media nazionale e non si discostano molto dalle altre regioni analizzate, discorso diverso andrebbe fatto solo per la Puglia che presenta una importante quantità di consumi industriali ed il Lazio che a scapito dell'industria presenta un

forte consumo nel settore dei trasporti. Come si può vedere in Figura 1.18 la suddivisione dei consumi per la Sardegna presenta la preponderanza del settore dei trasporti (con il 56%), circa pari a un terzo è la porzione dell'industria mentre il settore residenziale assieme a quello dei servizi supera appena il 25%; marginale risulta in conclusione la quota di consumi del settore agricolo seppur di poco superiore alla media nazionale.

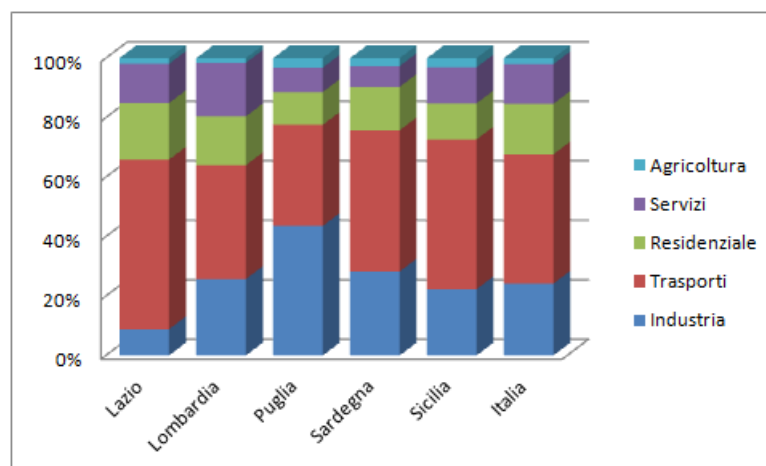


Figura 1.18: ECO 11.2: consumi finali di energia primaria suddivisi per settore per le regioni italiane, anno 2008. Fonte ENEA

### ECO 13: Percentuale da fonti energetiche rinnovabili nel fabbisogno totale e nella produzione di energia elettrica

Si vuole analizzare in questo sottoparagrafo il livello di penetrazione delle fonti energetiche rinnovabili all'interno della struttura energetica delle regioni in esame. Dapprima viene considerata nella Figura 1.19 la produzione di energia primaria che, per la realtà italiana rappresenta una porzione molto ridotta del *TPES* visto che la maggior parte delle risorse sono importate. Si può affermare che data la scarsità di fonti fossili sul territorio le Fonti Rinnovabili (*FR*) rappresentino in molti casi la percentuale più importante di produzione interna di energia. La Sardegna è una delle poche regioni a possedere una certa capacità estrattiva determinata dalle miniere di carbone del Sulcis, questo limita la percentuale totale di produzione da FER che si attesta attorno al 65%. Andando ad analizzare la composizione di questa percentuale si nota una importante penetrazione della tecnologia eolica, utilizzata naturalmente per la generazione di elettricità, che con un 13% della produzione si attesta a livelli superiori rispetto a tutte le realtà analizzate; questo importante sviluppo è stato favorito da politiche regionali incentivanti e dalla posizione geografica dell'isola che garantisce ottima ventosità. Da notare inoltre la presenza di una percentuale di produzione idroelettrica inferiore alla media nazionale a causa del relativamente scarso numero di bacini, la percentuale importante della fonte biomassa e l'ancora mancata affermazione del comparto solare.

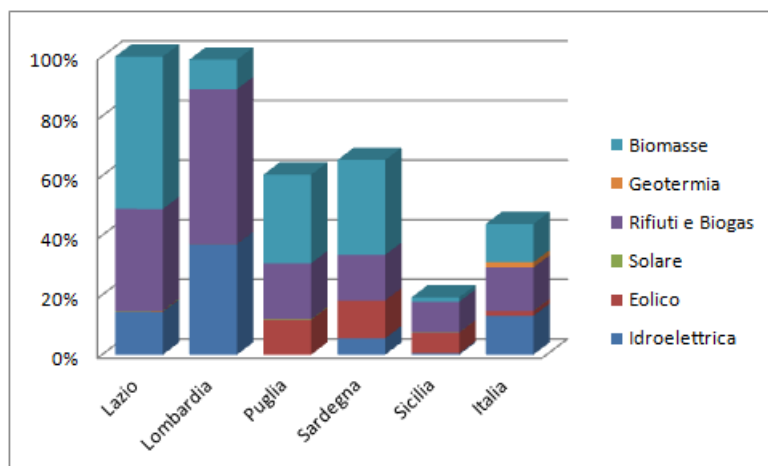


Figura 1.19: ECO 13.1: porzioni di energia da fonti energetiche rinnovabili nella produzione di energia primaria per le regioni italiane, anno 2008. Fonte ENEA

In Figura 1.20 ci si riferisce specificatamente alla produzione di energia elettrica, si nota che a differenza del grafico analizzato in precedenza, le percentuali di elettricità derivante da fonti rinnovabili sono molto ridotte, si arriva ad un massimo del 23% nel caso della Lombardia che raggiunge più del doppio delle percentuali delle altre regioni considerate. La spiegazione di questi andamenti sta nel fatto che in Italia, e non solo, il comparto di generazione di energia elettrica è ancora fortemente basato sulle fonti energetiche tradizionali quali principalmente carbone e gas naturale; solo ultimamente, anche in vista delle scadenze relative ad accordi internazionali, cominciano a svilupparsi programmi di incentivazione relative alle FER come il meccanismo dei Certificati Verdi [7] ed il Conto Energia [8] riferito al solare. Riferendosi alla situazione Sarda si nota, a conferma di quello detto in precedenza, che c'è una importante produzione dalla fonte eolica, ben superiore alla media nazionale, a cui vanno aggiunte una certa produzione da biomasse e di energia idroelettrica che comunque resta una attività secondaria in relazione ai bisogni primari per cui vengono sfruttati i bacini artificiali dell'isola. Va detto che dai *Bilanci Energetici Regionali* pubblicati da ENEA si riscontrano produzioni dalla fonte solare particolarmente basse, che stridono con il forte sviluppo che questo settore sta avendo soprattutto in regioni come la Puglia. Si suppone a questo proposito che nei bilanci non vengano contabilizzate le quantità autoprodotte che, soprattutto a livello residenziale, costituiscono il grosso del mercato solare, ma solo quelle cedute alla rete elettrica [9].

### 1.3.3 Indicatori energetico - ambientali

Questo tipo di indicatori viene utilizzato allo scopo di condurre una analisi relativa alla struttura del comparto economico e produttivo di un Paese per comprendere quanto ambientalmente avanzate siano le tecnologie utilizzate.

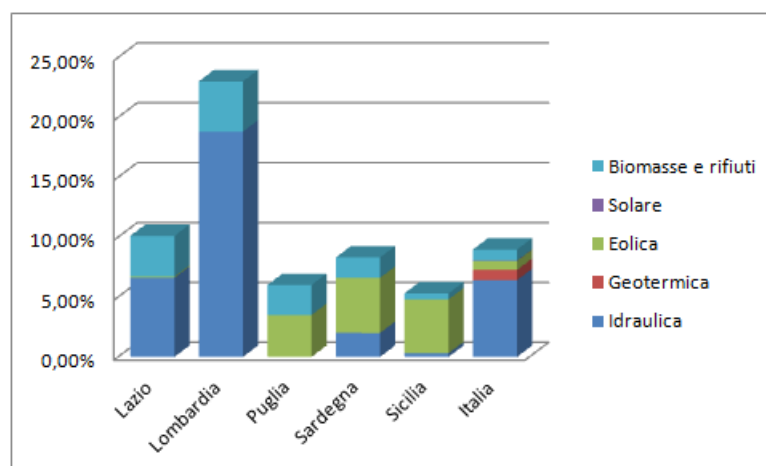


Figura 1.20: ECO 13.2: porzioni di produzione di energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili per le regioni italiane, anno 2008. Fonte ENEA

Nazioni con un elevato grado di sviluppo ambientale saranno virtuose in relazione alle emissioni perchè capaci di sfruttare fonti di tipo rinnovabile o di adottare tecnologie per la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra (come ad esempio la *Carbon Capture and Storage CCS*). Gli indicatori presentati in questa sezione sono due e quantificano rispettivamente le emissioni di gas serra per abitante e per unità di prodotto interno lordo generata.

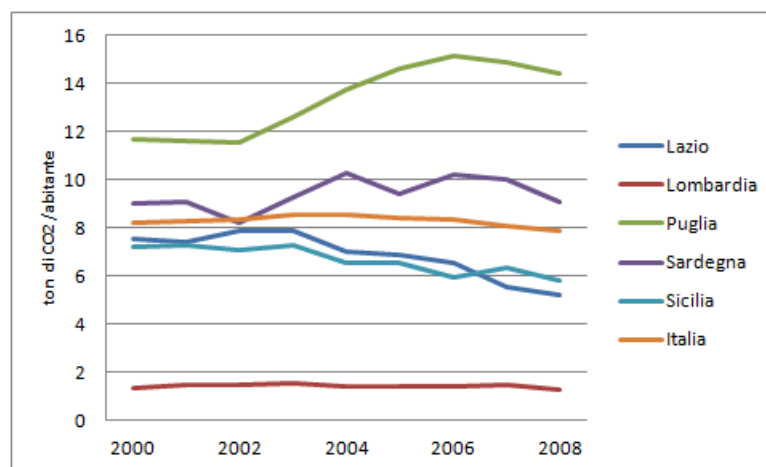


Figura 1.21: ENV 1.1: serie storica, emissioni di anidride carbonica per abitante per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT

Come si può notare da Figura 1.21 e da Figura 1.22 gli andamenti per le regioni prese in analisi per questi due indicatori sono molto simili. I commenti che possono essere fatti sono intanto che ci sono due regioni dai comportamenti opposti come la Lombardia e la Puglia, nel primo caso l'avanzamento economico e tecnologico permette di avere basse emissioni a fronte di una generazione di ricchezza molto elevata e di un numero alto di residenti. Per quanto riguarda la Puglia, la presenza di grandi poli industriali e di numerosi

impianti di produzione di elettricità da fonti fossili, spesso e volentieri entrati in funzione da diversi decenni, determina un livello molto elevato di emissioni di anidride carbonica.

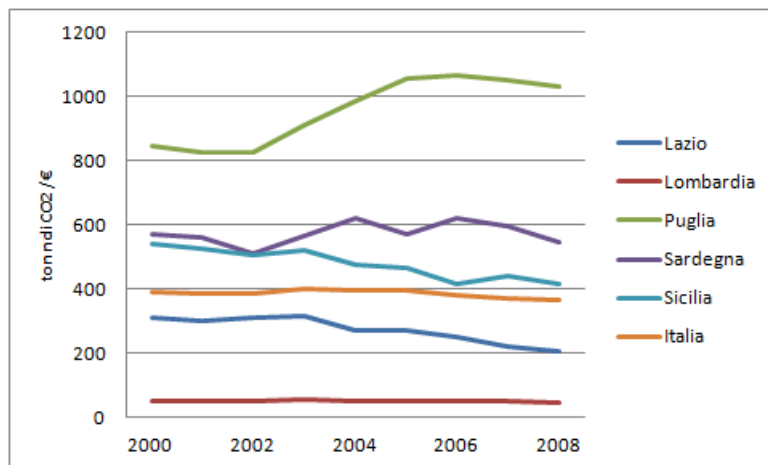


Figura 1.22: ENV 1.2: serie storica, emissioni di anidride carbonica per unità di prodotto interno lordo generata per le regioni italiane. Fonte ENEA, ISTAT

Tra questi due estremi si collocano le altre regioni analizzate e la media nazionale, per quanto riguarda la Sardegna i discorsi fatti sono gli stessi, anche se su scala notevolmente ridotta, della Puglia in quanto la struttura produttiva delle due regioni presenta notevoli analogie come è stato dimostrato anche negli indicatori precedentemente analizzati.

Ad ogni modo è importante tenere in considerazione il fatto che un basso livello di emissioni di anidride carbonica non è necessariamente sintomo di una struttura produttiva ambientalmente virtuosa; esempio significativo in questo senso è il caso lombardo che, come si è appena evidenziato, presenta valori relativamente bassi di emissioni di  $CO_2$  ma risulta in sostanza essere la regione più inquinata d'Italia, come dimostrato da svariati studi ambientali [10]. In conclusione si può affermare che la produzione di anidride carbonica è solo uno degli indicatori ambientali che devono essere utilizzati per definire lo stato di inquinamento di una regione, esso infatti può fornire informazioni solo parziali in riferimento alle varie produzioni di sostanze inquinanti generate da un complesso economico.

## 1.4 Conclusioni

L'analisi energetica condotta fino a questo punto porta a tracciare un quadro generale della struttura energetica della regione Sardegna all'interno del quale possono essere evidenziate delle particolarità che differenziano sostanzialmente questa realtà dal resto delle regioni italiane. Le peculiarità del sistema energetico isolano possono essere sinteticamente individuate nella:

- Mancanza di una rete di distribuzione del gas naturale e una conseguente marcata dipendenza dal petrolio,
- Presenza di industrie molto energivore in un territorio in cui è difficile far arrivare energia,
- Forti oscillazioni dei consumi industriali.

Va ad ogni modo sottolineato che l'analisi sinora condotta non può essere considerata esaustiva ai fini di una completa descrizione della realtà in esame poichè non è stata ancora presentata una caratterizzazione accurata del sistema energetico a livello locale. A tale scopo si rimanda all'ultimo capitolo dell'elaborato in cui con la finalità di definire delle linee guida per l'ottimizzazione del sistema energetico sardo sarà analizzata in maniera accurata la suddivisione dei consumi sia in relazione al tipo di attività sia in relazione alla collocazione geografica delle aree industriali responsabili di gran parte dei consumi di energia. Si effettueranno inoltre valutazioni in relazione alla localizzazione dei punti di produzione ed immissione di elettricità proveniente da impianti termoelettrici e da fonti rinnovabili il cui sviluppo recente rappresenta una chiave di lettura importante dell'evoluzione del sistema energetico sardo.

In questa sezione si è proceduto ad una analisi dettagliata del bilancio energetico e ad un confronto con le altre regioni italiane che risulta molto utile per capire le potenzialità di sviluppo della realtà in esame. I commenti che possono essere fatti a questo punto sono che la Sardegna si trova ad un livello di progresso in campo energetico, nonostante la penalizzazione derivante dall'insularità, paragonabile a quello delle regioni maggiormente avanzate del sud Italia; bisogna però aggiungere che date le potenzialità e le prospettive future esistono senza dubbio margini di miglioramento molto ampi sui quali bisogna intervenire con la definizione di politiche energetiche adeguate e con la messa in pratica di "comportamenti energetici" virtuosi.





## Capitolo 2

# Domanda energetica e metodi di previsione

### 2.1 La domanda energetica

Storicamente l'evoluzione delle metodologie di analisi della domanda di energia è stata influenzata sia da fattori geopolitici che da fattori di tipo economico-commerciale; tra questi si possono ricordare: il primo shock petrolifero degli anni '70, la crescente attenzione alle politiche ambientali e infine la liberalizzazione dei mercati energetici.

Questo capitolo descrive la domanda di energia fino ad arrivare a definire una metodologia di previsione di quest'ultima. La domanda in economia è la quantità di un bene che un soggetto è disposto ad acquistare ad un determinato prezzo in un dato mercato ed in un determinato momento, attraverso il concetto di domanda si riesce anche a indicare in che modo le variazioni dei prezzi modifichino le quantità richieste. Per definizione la domanda esiste fin da prima che venga presa la decisione di acquisto, invece solo una volta che un bene è stato acquistato si può parlare di consumo di quel determinato bene. Quella parte di domanda che non viene soddisfatta non si può conteggiare, ma esiste. I consumi d'altra parte si manifestano una volta che viene presa la decisione di acquisto, questi a differenza della domanda sono sempre misurabili. Per questi motivi ed in seguito a queste descrizioni i concetti di domanda e consumi sono utilizzati in maniera equivalente in questo studio, nonostante le loro sottili differenze [11]. Detto ciò si può concludere che le considerazioni che si faranno riguardo ai modelli di previsione della domanda saranno valide anche quando si avrà intenzione di prevedere i consumi di energia, come nel caso in esame. A questo proposito si può aggiungere che nel modello elaborato non si terrà conto dell'influenza dei prezzi, ciò fa sì che si possa parlare indistintamente anche nei capitoli successivi di consumi o domanda [11].

Prima di analizzare la domanda di energia è utile fare una panoramica del processo decisionale che la determina [12] [13] [14], si parla di un processo a tre stadi:

1. la prima decisione riguarda l'acquisto o meno di un apparecchio che consumi energia ed è chiaramente influenzata in maniera importante da fattori economico-monetari (switching decision);
2. il secondo stadio vede la possibile decisione riguardante il tipo di combustibile da utilizzare, considerando eventuali sostituti, e l'apparecchio adatto al combustibile stesso (appliance decision);
3. l'ultimo passo è quello relativo alle decisioni sui consumi ovvero su come e quanto sfruttare l'apparecchio acquistato (consumption decision).

### 2.1.1 Analisi descrittiva della domanda

Qualunque metodologia di analisi della domanda parte da una descrizione dell'andamento passato della grandezza in questione attraverso, ad esempio, la rappresentazione grafica delle serie storiche che può essere di due tipi: la domanda energetica espressa in valore assoluto che da informazioni sul trend e la domanda espressa con numeri indice, utili per attuare confronti tra diversi combustibili e settori di utilizzo. Si riporta di seguito la descrizione dei tre indicatori più rappresentativi dei quali ci si serve per attuare una analisi della domanda energetica di tipo descrittivo [11].

#### Tasso di crescita [11]

Il tasso di crescita è molto utilizzato per valutare gli andamenti della domanda, può essere calcolato con riferimento al singolo anno (year-on-year growth rate) o come media lungo un certo periodo di interesse, è inoltre pratica comune calcolare il tasso di crescita della domanda non solo relativamente alla richiesta totale ma anche a livello disaggregato per valutare la velocità con cui varia la domanda per i vari combustibili e nei vari settori. Nelle Equazioni (2.1) e (2.3) sono presentate le espressioni dei tassi di crescita annuale e medio rispetto a un periodo

$$a = \frac{(E_{t+1} - E_t)}{E_t}, \quad (2.1)$$

$$E_{T1} = E_{T0}(1 + a_g)^{(T1-T0)}, \quad (2.2)$$

da cui si ricava l'espressione equivalente.

$$a_g = \frac{E_{T1}^{\frac{1}{(T1-T0)}}}{E_{T0}}. \quad (2.3)$$

Nelle espressioni presentate sopra  $a$  indica il tasso di crescita della domanda,  $E_t$  o  $E_T$  indica il consumo di energia nel tempo,  $a_g$  il tasso di crescita annuale.

### Elasticità della domanda [14]

L'elasticità della domanda misura la variazione percentuale di questa in seguito ad un cambiamento della variabile di influenza; in ambito economico, le variabili messe in relazione con la domanda di energia sono il prodotto interno lordo (o il valore aggiunto ai prezzi), il prezzo (dell'energia in questo caso) ed il reddito. Per quanto riguarda l'elasticità relativa al prodotto interno lordo (GDP elasticity) si ottiene in generale un valore positivo che però varia molto in relazione alla situazione economica e di sviluppo della realtà in analisi; si notano infatti domande di tipo anelastico per nazioni con un elevato livello di sviluppo mentre per Paesi in via di sviluppo la domanda è solitamente elastica. Per ciò che concerne invece l'elasticità ovvero la variazione della domanda in seguito al cambio del prezzo (price elasticity) dell'energia del 1%, va precisato il fatto che il prezzo preso in considerazione debba essere quello realmente percepito dai consumatori finali che in base alle sue oscillazioni decidono di variare la loro richiesta di energia.

$$e_t = \frac{(\Delta EC_t/EC_t)}{(\Delta I_t/I_t)}. \quad (2.4)$$

Nella Equazione (2.4) viene presentata l'espressione dell'elasticità della domanda, dove:  $t$  è l'intervallo di tempo considerato;  $I$  è la variabile economica di guida considerata come possono essere il prezzo, il PIL, il valore aggiunto ai prezzi;  $\Delta$  è l'operatore differenza.

### Intensità energetica

Il terzo indicatore maggiormente significativo nell'ambito dell'analisi descrittiva della domanda è l'intensità energetica che misura l'energia necessaria per unità di una variabile guida di tipo economico. Analiticamente viene calcolata come rapporto tra consumo di energia e variabile guida che va scelta in base al settore che si vuole analizzare. Per un'analisi generale del sistema Paese sarà più appropriato riferirsi al prodotto interno lordo così come se si analizzano settori non produttivi (trasporti, residenziale); invece per quanto riguarda settori produttivi come l'industria, il commercio e l'agricoltura è più opportuno l'utilizzo del valore aggiunto ai prezzi generato dal settore in questione come mostrato in Tabella 2.1.

Tabella 2.1: Variabili guida dell'intensità energetica per settore

Settore	Variabile economica di guida
Intero paese	PIL
Industria	Valore aggiunto all'industria
Agricoltura	Valore aggiunto all'agricoltura
Commercio	Valore aggiunto al commercio
Trasporti	PIL
Residenziale	PIL o consumi privati

L'utilizzo dell'indicatore intensità energetica presenta alcuni problemi di cui si deve tener conto nel condurre l'analisi, problemi riguardanti sia la valutazione del consumo di energia (numeratore) sia la variabile guida economica (denominatore):

- Per quanto riguarda il PIL ad esempio va tenuto in considerazione il fatto che:
  - nei Paesi in via di sviluppo non tutta l'economia reale viene considerata, ampie fette di economia sommersa non vengono catturate dalle statistiche ufficiali;
  - [15] il PIL non tiene conto delle inefficienze strutturali del sistema economico;
  - va considerato il problema della conversione monetaria, perciò viene utilizzato il cosiddetto GDP PPP ovvero il prodotto interno lordo misurato a parità di potere d'acquisto che viene calcolato riferendosi al potere relativo ad un paniere predefinito di prodotti base.
- Per quanto riguarda invece le misure dei consumi di energia problemi derivano dalla difficile valutazione dei consumi di energia tradizionale nei Paesi in via di sviluppo, dall'utilizzo di unità di misura comuni.

### 2.1.2 Analisi della domanda per decomposizione

Questo tipo di analisi della domanda di energia si pone l'obiettivo di comprendere i fattori causali alla base delle variazioni della richiesta e non solo la loro natura come accadeva con il metodo precedente. L'analisi per decomposizione sta vedendo una sempre maggiore diffusione in letteratura e tenta di spiegare le variazioni della domanda attraverso l'utilizzo di una serie di fattori di influenza, i più significativi e largamente utilizzati sono [15]:

- “activity effect” che tiene in considerazione i cambiamenti dell'attività economica del Paese,  $Q_{effect}$ ;
- “structural effect” riferito alle variazioni della struttura economica,  $S_{effect}$ ;
- “intensity effect” che si riferisce all'intensità energetica e dunque principalmente all'efficienza di conversione e consumo dell'energia,  $I_{effect}$ .

Un tipo di analisi per decomposizione è quella relativa alla variazione della domanda di energia totale che può essere descritta dalla seguente relazione [16]:

$$E = Q \cdot EI = Q \cdot \sum_i^n \frac{E_i Q_i}{Q_i Q} = Q \cdot \sum_i^n (EI_i S_i). \quad (2.5)$$

Dove:  $EI_i$  è l'intensità energetica nel settore i-simo ( $J/$ ),  $S_i$  lo share del settore i-simo (definito dal rapporto tra  $Q_i$  e  $Q$ ),  $Q_i$  l'attività economica del settore i-simo ( $J$ ) e  $E_i$  il consumo energetico del settore i-simo ( $J$ ). Per valutare l'influenza del singolo fattore sulla domanda totale è necessario analizzare come questo sia variato nel tempo mantenendo costanti gli altri parametri di influenza; in quest'ottica devono essere considerati due periodi, l'anno di riferimento 0 e l'anno corrente t. Così facendo potranno essere calcolati come segue i tre fattori d'influenza sopra descritti:

$$Q_{effect} = (Q^t - Q^0) \cdot \sum EI_i^0 \cdot S_i^0; \quad (2.6)$$

$$S_{effect} = Q^0 \cdot \sum S_i^t - S_i^0 \cdot (E_i^0); \quad (2.7)$$

$$I_{effect} = Q^0 \cdot \sum EI_i^t - EI_i^0 \cdot (S_i^0). \quad (2.8)$$

Si ottiene infine la variazione totale della domanda di energia come [16]:

$$\Delta E = Q_{effect} + S_{effect} + I_{effect}. \quad (2.9)$$

### 2.1.3 Analisi della domanda attraverso approccio econometrico

I modelli di tipo econometrico hanno l'obiettivo di valutare una relazione funzionale tra varie variabili economiche e la domanda di energia, riconducendosi al processo decisionale descritto in precedenza che determina la costituzione della domanda. Il punto da cui la costruzione di questi modelli parte può essere identificato con la seguente espressione [17]:

$$Q_i \equiv \sum_{k=1}^n R_{ki} A_{ki}. \quad (2.10)$$

L'Equazione (2.10) rappresenta l'identità tra il consumo totale dell i-esimo combustibile ( $Q_i$ ) e la sommatoria dei consumi degli  $n$  tipi di apparecchi utilizzando quel combustibile, espressi come il prodotto tra il numero degli apparecchi ( $A$ ) ed il loro tasso di utilizzo ( $R$ ).

1. Riferendosi a modelli econometrici di tipo **strutturale** si stabiliscono per le succitate variabili le seguenti dipendenze: il numero di apparecchi come funzione del prezzo del carburante in questione e del carburante alternativo, del prezzo dell'apparecchio e del reddito. Il tasso di utilizzo è invece visto come una funzione del prezzo del combustibile e del reddito. Nel caso non si abbiano a disposizione tutti i dati necessari è possibile utilizzare il modello in forma ridotta dove la domanda è data come funzione solo dei prezzi dei combustibili e degli apparecchi e del loro tasso di utilizzo.

2. Considerando i modelli econometrici di tipo **dinamico** si assiste alla distinzione tra la domanda attuale e quella auspicata e l'espressione si conforma sulla rapidità del processo di aggiustamento che porta dal consumo attuale a quello auspicato:

$$Q_t = a + bP_t + cZ_t + dQ_{(t-1)} + e_t. \quad (2.11)$$

Dove  $P_t$  è il prezzo del combustibile,  $Q_{(t-1)}$  è il consumo dell'anno passato ed  $e_t$  rappresenta i residui. La forma in generale più utilizzata relativa a questo modello è quella logaritmica - lineare [18]:

$$\log E_t = a + b \cdot \log P_e + c \cdot \log Y_t + u_t. \quad (2.12)$$

Dove compaiono  $E_t$  consumo pro capite di energia,  $P_e$  prezzo relativo dell'energia,  $Y_t$  reddito medio procapite,  $u_t$  termine di disturbo. La forma logaritmica è la più indicata per analizzare la domanda energetica, arriva a valutare le elasticità sui prezzi e sul reddito ( $b$  e  $c$ ) e può essere utilizzata per condurre analisi sia a livello generale che disaggregato. Le problematiche di questo modello risiedono nel non considerare l'impatto delle variazioni dei prezzi sulla crescita economica, sull'inflazione e su altre variabili macroeconomiche. Una semplice estensione del modello base è il cosiddetto lagged [19] model che prevede l'inserimento della dipendenza dalla domanda pregressa di energia:

$$\log E_t = a + b \cdot \log Q_t + c \cdot \log P_t + d \cdot \log E_{t-1}. \quad (2.13)$$

In questa maniera si riescono giustificare le variazioni presenti nell'andamento della domanda, il problema è però che l'elasticità della stessa è assunta costante: questo può portare ad una forte sovrastima se ci si trova nel caso in cui l'elasticità del reddito è maggiore di uno. Un'altra variante comunemente utilizzata è quella del *fuel share model* [20] adeguata soprattutto al settore dei trasporti dove la domanda è costituita dall'integrazione di una certa quantità di diversi combustibili.

3. Tra le tipologie di modelli econometrici compaiono quelli basati sulle **serie storiche** [19], dove non si introducono variabili indipendenti ma ci si basa sul comportamento passato di variabili dipendenti per stimare l'evoluzione futura della domanda. Sono metodi usati soprattutto in processi di previsione (forecasting), esempi molto diffusi sono modelli come ARMA (Auto Regressive Moving Average), ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average), Box-Jenkins method, ecc. I modelli basati sulle serie storiche risultano particolarmente efficaci per analisi della domanda di corto e medio periodo.

### 2.1.4 Analisi della domanda ad un livello disaggregato

Mentre nell'analisi della domanda totale (a livello aggregato) si segue un approccio top-down, in questo caso si parte dall'analisi degli usi finali dell'energia in ogni singolo settore (dunque livello disaggregato) per poi arrivare alla domanda totale attraverso una somma e dunque seguendo un approccio di tipo bottom-up. Si può affermare che mentre l'analisi a livello aggregato serve a fornire un quadro generale della situazione e dell'evoluzione del Paese in campo energetico, l'approccio a livello disaggregato si presenta come uno strumento determinante all'interno del processo decisionale relativo alle politiche energetiche; infatti permette di analizzare le particolari caratteristiche di ogni settore e quindi di comprendere quali siano le modifiche e gli sviluppi maggiormente auspicabili da applicarvi.

*Livelli di disaggregazione:* la suddivisione settoriale della domanda di energia è attuata su un insieme di macrosettori che sono: industria, trasporti, residenziale, commerciale, agricoltura. Naturalmente all'interno di questa divisione sono presenti settori con consumi specifici di energia molto differenti, perciò in generale si avranno livelli di disaggregazione ancora maggiori per quanto riguarda l'industria (mineraria, manifatturiera, edilizia) ed i trasporti (su terra, aria, rotaie, acqua) mentre settori quali residenziale e commerciale vengono presentati assieme a volte accorpati anche a quello agricolo. Si presentano di seguito le metodologie di analisi adottate per i singoli settori in cui si disaggrega la domanda energetica.

#### Analisi della domanda energetica per il settore industriale

Il settore industriale è quello in cui è concentrata la porzione maggiore della domanda totale di energia; di questa richiesta i due terzi sono necessari all'industria pesante (chimica, petrolchimica, ferro e acciaio, carta, ecc.). L'energia viene utilizzata in questo settore come bene intermedio finalizzato alla fabbricazione del prodotto finale.

1. Analisi con **approccio econometrico** [19] Questo tipo di analisi ha assunto ultimamente una sempre maggiore importanza nella forma, per quanto riguarda questo settore, funzionale flessibile del "Translog model" e nella forma polinomiale del "Logit Model" [21]. Il primo è molto diffuso grazie alle sue solide basi teoriche e alle scarse imposizioni relative ai parametri; presenta alcuni svantaggi quali l'approssimazione locale della domanda che può non essere accettabile globalmente, la perdita di gradi di libertà e le difficili tecniche per stimare [22]; questo rende il Translog model poco adatto ad analisi di lungo periodo. Il Logit model, metodologia sempre più diffusa per via della sua semplicità, viene principalmente usato per stimare le percentuali di mercato dei vari combustibili.
2. Analisi con **approccio tecno-economico** Questa metodologia di modelli agli usi finali identifica le tipologie di industrie che presentano con-

sumi omogenei. Valuta da cosa siano influenzati i consumi e in seguito, a seconda della natura dell'industria considerata, analizza la domanda di energia per il processo industriale o per gli edifici. Nell'analisi vengono inclusi gli aspetti particolari delle tecnologie come i consumi specifici o le efficienze di conversione. Un altro vantaggio importante dei modelli tecno-economici sta nel non avere bisogno di serie storiche di dati settoriali di lungo periodo; infatti l'analisi viene condotta come una fotografia in uno specifico momento dal quale si parte per elaborare scenari utili ad analisi anche di tipo politico [23].

### Analisi della domanda energetica per il settore dei trasporti

Il consumo energetico in questo settore costituisce una fetta importante della quantità totale e si compone dell'energia utilizzata per i trasporti aerei e navali di tipo nazionale più quella consumata nei trasporti su strada e su rotaia; c'è da specificare che sono escluse invece le quantità usate per i trasporti internazionali aerei e via mare.

1. **Modello di tipo econometrico** Si riporta la descrizione di un modello basato sugli studi di Mikilius et al. [24] di tipo semplificato che considera come combustibili sostituibili nel settore dei trasporti gasolio e benzina. L'approccio utilizzato si compone di due passi fondamentali.

- Viene valutata la domanda totale di due combustibili, ad esempio attraverso una relazione funzionale (Equazione (2.14)) dove compaiono: la media ponderata dei prezzi reali ( $P$ ), il prodotto interno lordo reale procapite ( $GDP$ ) ed il consumo totale nell'anno precedente ( $TC_{t-1}$ ). Bisogna però definire, nella Equazione (2.15), con  $DC$  il consumo di gasolio, con  $GC$  il consumo di benzina,  $DP$  è il prezzo del gasolio,  $GP$  il prezzo della benzina e  $TC$  il consumo totale.

$$\ln TC = a + b \cdot \ln P + c \cdot \ln GDP + d \cdot \ln TC_{t-1}. \quad (2.14)$$

$$P = \frac{DC}{TC} \cdot DP + \frac{GC}{TC} \cdot GP. \quad (2.15)$$

- Si valutano le quote di mercato dei due combustibili, nella Equazioni (2.16) e (2.17) che saranno funzione del prezzo reale del combustibile ( $DP$ ) e del combustibile sostitutivo ( $GP$ ), del prodotto interno lordo ( $GDP$ ) e delle quote di mercato all'anno precedente ( $GC/TC_{t-1}$ ).

$$\ln \frac{GC}{TC} = a + b \cdot \ln DP + c \cdot \ln GP + d \cdot \ln GDP + d \cdot \ln \frac{GC}{TC_{t-1}}; \quad (2.16)$$

$$DC/TC = 100 - \frac{GC}{TC}. \quad (2.17)$$



Si riporta l'espressione della quota della benzina e poi come complemento quella del gasolio.

2. **“Vehicle ownership modeling”** Questo tipo di modelli è basato sull'espressione seguente che esprime il consumo del combustibile ( $F$ ) in funzione del numero di autovetture ( $C$ ), del loro fattore di utilizzo annuale ( $U$ ) e del consumo specifico di combustibile ( $SC$ ) [25]:

$$F = C \cdot \frac{U}{SC}. \quad (2.18)$$

Diversi tipi di approcci sono stati utilizzati nel corso del tempo per stimare le variabili dai cui dipende il consumo di combustibile, si riporta qui come esempio esplicativo il modello di Gompertz [26] in cui il numero di veicoli ( $C$ ) è valutato in funzione del prodotto interno lordo ( $GDP$ ) e dell'elasticità relativa alla proprietà di veicoli ( $e$ ) in questo modo:

$$C_t = S \cdot e^{a \cdot e^{(b \cdot GDP_t)}} \quad (2.19)$$

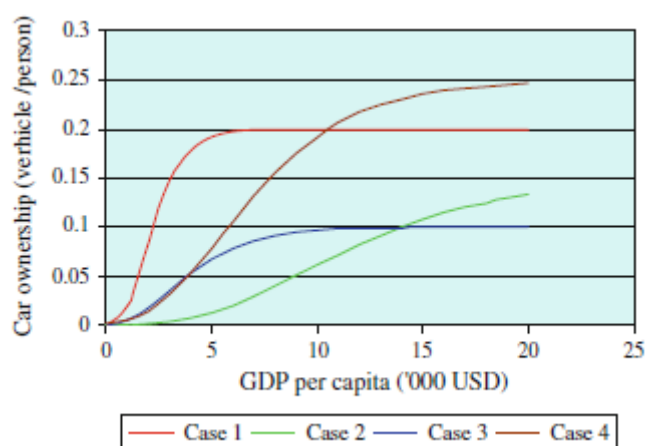


Figura 2.1: Forma tipica di una funzione modellizzata come nella Equazione (2.19).

$$e_t = a \cdot b \cdot GDP_t \cdot e^{b \cdot GDP_t} \quad (2.20)$$

Nella Figura 2.1 si nota la funzione dal classico andamento a forma di S che implica il fatto che per bassi redditi c'è un ridotto numero di veicoli che cresce poi rapidamente all'aumentare del reddito fino a raggiungere un livello di saturazione. Conseguentemente l'elasticità, che per il modello descritto è descritta nella Equazione (2.20), avrà un andamento inizialmente crescente per bassi valori di GDP per poi raggiungere un massimo in corrispondenza della saturazione e poi calare per redditi maggiori.

- 3. Approccio agli usi finali** Questo tipo di analisi si basa su una disaggregazione che deve essere la maggiore possibile in modo da valutare quali siano i singoli usi finali dell'energia nel settore dei trasporti. Un problema importante da affrontare riguarda le unità di misura, per il trasporto passeggeri si utilizza il consumo di combustibile per passeggero e per chilometro mentre per il trasporto merci è comune il consumo e per tonnellata di prodotto per chilometro. Per risolvere questo problema si ricorre ad una valutazione del consumo diviso per il numero di veicoli presenti, ciò determina l'introduzione del concetto di veicolo equivalente. In pratica vengono assunte le caratteristiche di un certo tipo di veicolo (di solito l'automobile) come base di riferimento e tutti gli altri veicoli sono rappresentati come porzione o multipli del riferimento. In questa maniera è possibile giungere al calcolo di serie storiche del numero di veicoli equivalenti presenti e quindi risalire al consumo totale di energia sempre in termini di veicoli equivalenti.

### **Analisi della domanda energetica per i settori residenziale e commerciale**

Gli utilizzi di energia in questi settori possono essere suddivisi secondo i seguenti usi finali: mantenimento di una certa temperatura ambiente, riscaldamento dell'acqua, cucina, applicazioni elettriche. Per il settore residenziale l'energia è usata come prodotto finale mentre per il commerciale si tratta di un prodotto intermedio usato per arrivare alla produzione di un bene. Gli utilizzi di energia in questi settori sono notevolmente inferiori se paragonati all'industria ed ai trasporti ma c'è da sottolineare come siano estremamente variabili a seconda del livello di sviluppo del Paese o della regione presa in considerazione.

- 1. Approccio econometrico** Un modello del tutto simile a quello visto in precedenza per il settore dei trasporti può essere usato, di solito per la difficoltà nel reperire dati disaggregati si valuta il consumo medio totale per utenza domestica. La variabile che si vuole determinare sarà assunta funzione di prodotto interno lordo pro capite, del prezzo dell'energia e della variabile ambientale espressa come HDD (Heat Degree Days) o CDD (Cooling Degree Days); l'espressione analitica più usata è del tipo:

$$\log E = \log a + b \cdot \log Y + c \cdot \log Z + d \cdot \log P + e \cdot \log T + e. \quad (2.21)$$

- 2. Approccio agli usi finali** Come già visto in precedenza la "end use analysis" si basa su un importante livello di disaggregazione, in questo caso i sottosettori in cui viene divisa la domanda residenziale sono: riscaldamento e raffrescamento ambientale, cucina, riscaldamento dell'acqua ed usi elettrici. Per il consumo dovuto al mantenimento della temperatura ambientale si avrà dipendenza dal consumo medio per

utenza domestica e dal numero totale di utenze domestiche. Per la domanda energetica riguardante la cucina anche qui la dipendenza sarà dalla richiesta unitaria di un utenza e dal numero di utenze; infine per i consumi elettrici e l'illuminazione ci si riferisce al fabbisogno energetico per ogni casa ed al numero totale di utenze domestiche. Per il settore commerciale la disaggregazione è dello stesso tipo ma il parametro di attività in questo caso al posto del numero di utenze domestiche sarà il valore aggiunto dal comparto commerciale.

## 2.2 Analisi dei metodi di previsione

Nella letteratura scientifica troviamo un gran numero di approcci per la previsione della domanda di energia. Alcuni di questi sono relativamente semplici e facili da usare, mentre altri utilizzano metodologie più avanzate. Alcuni approcci sono statici mentre altri considerano un processo di regolazione dinamico. Allo stesso modo alcuni utilizzano un quadro probabilistico mentre altri sono deterministici.

### 2.2.1 Approcci semplici

#### Previsione mediante l'utilizzo di semplici indicatori

Tali tecniche sono poco comuni nella letteratura scientifica, anche se chi li utilizza cerca di farli valere in molti casi. Quattro semplici indicatori sono comunemente utilizzati per la previsione: tassi di crescita, elasticità (soprattutto l'elasticità del reddito), consumo specifico ed intensità energetica. Inoltre viene anche comunemente utilizzato come strumento di previsione una semplice retta di regressione che approssima una serie storica di punti. Tutti questi approcci si basano su un singolo indicatore e la previsione viene effettuata basandosi sulle variazioni dello stesso durante il periodo di previsione. Chiaramente questi metodi mancano di potere esplicativo e si fondano sulla base di estrapolazioni arbitrarie, la loro capacità di previsione per qualsiasi lavoro a lungo termine è piuttosto bassa.

#### Analisi del Trend

Questa analisi estrapola le tendenze di crescita del passato e viene normalmente effettuata inserendo una qualche forma di funzione temporale che approssimi il comportamento passato. A seconda della disponibilità dei dati, l'analisi può essere eseguita sia a livello nazionale che regionale, usata da sola o in combinazione con un altro metodo. Questo tipo di analisi:

- Parte dal presupposto che ci saranno pochi cambiamenti sia nel modello di crescita sia nelle determinanti della domanda cioè redditi, prezzi, gusti dei consumatori, ecc.

- Trova la migliore linea di tendenza che si adatti ai dati, di solito stimata attraverso i dati di consumo passati con il metodo dei minimi quadrati o con qualche metodologia statistica equivalente.
- La tendenza ricavata viene poi utilizzata per prevedere il futuro, spesso si creano aggiustamenti ad hoc per tener conto di cambiamenti sostanziali previsti in futuro a causa di motivi specifici.

La semplicità di utilizzo è il principale vantaggio di questa metodologia unita al fatto che può essere applicata a livelli aggregati e disaggregati. Nel contempo è svantaggiata dal fatto che:

- non si può pretendere che la domanda futura dipenda solamente dall'andamento passato;
- non si tiene sufficientemente conto dei cambiamenti strutturali;
- non spiega ciò che determina la domanda, poiché non si tiene conto di variabili come il prezzo, reddito, ecc.;
- non può essere adatta per delle analisi politiche.

### Indagini dirette

Le indagini dirette sono generalmente utilizzate per produrre informazioni per il breve termine, ma possono anche essere utilizzate come strumento diretto e affidabile per l'analisi e la previsione della domanda. Le indagini chiedono agli utenti importanti di rivelare i loro consumi attuali e i piani di consumo futuri; attraverso ciò cercano di tener conto delle variazioni nel consumo energetico. Inoltre, analizzando i piani di investimento, vengono rivelati i cambiamenti nella domanda e offerta. Tuttavia sono procedure costose, il loro utilizzo è generalmente limitato ai grandi consumatori di energia come, per esempio i grandi impianti industriali. E' abbastanza comune ricorrere ad indagini industriali per generare informazioni: sui livelli di attività, sull'uso di energia per tipo di combustibile, sull'efficienza del consumo energetico, sui costi energetici del processo di produzione e sui piani futuri per lo sfruttamento energetico. Mentre i sondaggi industriali sono più comuni, le indagini energetiche alle famiglie sono meno frequenti particolari domande legate all'energia sono aggiunte nel censimento della popolazione nazionale. I principali problemi con le indagini usate come strumento per la previsione della domanda sono i seguenti:

- Si tratta di un processo che richiede tempo e comporta di conseguenza alti costi.
- Si richiede personale specializzato per intraprendere l'indagine e l'analisi dei risultati.

- L'indagine dipende dalle informazioni fornite dagli intervistati, la qualità delle risposte influisce sui risultati. E' molto probabile che gli intervistati non siano disposti a divulgare informazioni e possano fornire informazioni inesatte deliberatamente.
- I piani per il futuro consumo energetico possono essere vaghi o troppo ottimistici/pessimistici. Basandosi su queste informazioni la previsione potrebbe risultare al di sopra/sotto dell'attesa.

### 2.2.2 Tecniche avanzate o sofisticate

Le tecniche sofisticate di previsione della domanda si basano su metodologie più avanzate. Tali tecniche possono essere classificate in base a criteri alternativi: per esempio attraverso una metodologia top-down o bottom-up. Un'altra classificazione si basa sulla filosofia di modellazione:

- i modelli econometrici si fondano sulle teorie economiche e tentano di validare le regole economiche empiricamente;
- modelli agli usi finali si basano sul tentativo di stabilire la coerenza contabile con rappresentazione ingegneristicamente dettagliata del sistema energetico;
- i modelli combinati o ibridi che tentano di ridurre il divario metodologico tra i modelli econometrici e di ingegneria, combinando le caratteristiche dei due .

#### Approccio econometrico

[11]La relazione determinata precedentemente tra la domanda di energia e alcune variabili economiche può essere utilizzata per compiere previsioni semplicemente analizzando la variazione delle variabili indipendenti per determinare il loro effetto sulla variabile dipendente. Il passo principale è quello di decidere una metodologia di previsione delle variabili indipendenti, questa pratica è tuttavia poco presente in letteratura. Si potrebbe scegliere tra una serie di possibili opzioni:

- previsioni ricavate dalla letteratura, da un sondaggio, da opinioni di esperti o in altro modo;
- utilizzare indicatori semplici (come i tassi di crescita) per generare un insieme di dati per il futuro, i tassi di crescita possono essere basati su dati storici o attesi come suggeriti da istituti o esperti;
- utilizzare una analisi dei trend delle variabili indipendenti per estrapolarne i valori futuri;
- utilizzare una combinazione di quanto indicato sopra o qualsiasi altro metodo plausibile.

In generale, sono usati più scenari alternativi per analizzare una serie di risultati plausibili. La scelta di proporre scenari alternativi ha bisogno di particolare attenzione, anche se sono comunemente utilizzati un caso base o di riferimento e di due ipotesi alternative (per esempio di alta o bassa crescita). L'approccio econometrico ha i seguenti vantaggi :

- può essere utilizzato sia per proiezioni di breve periodo che di lungo periodo e per l'analisi politica;
- è un metodo flessibile, può essere applicato a livello sia aggregato che a livello settoriale,
- è forse l'unico metodo in grado di catturare l'effetto del prezzo sulla domanda di energia e il fenomeno dell'inter-sostituzione tra i carburanti;
- può individuare le più importanti determinanti della domanda;
- può essere usato per produrre interazioni tra settore energetico ed economico.

Le principali difficoltà associate al metodo econometrico sono individuabili nel fatto che:

- l'uso corretto di questo metodo richiede molta esperienza, solida formazione sia nella teoria economica che econometrica;
- l'analisi statistica della domanda di energia necessita di dati consistenti e di qualità sufficiente (ciò potrebbe non accadere in molti casi);
- il metodo si basa essenzialmente sul comportamento della domanda del passato per determinare quella futura, tuttavia, poiché tutte le economie subiscono cambiamenti strutturali, l'estrapolazione dal passato può portare a previsioni errate;
- i metodi econometrici non sono ideali per esplicitare in dettaglio il cambiamento tecnologico, è il caso di nuove tecnologie e di materie prime non ancora esistenti.
- gli assunti teorici alla base delle funzioni di domanda potrebbero non valere a causa di un intervento del governo, dell'affidabilità e disponibilità delle forniture e di vincoli simili.

### **Metodo di previsione agli usi finali**

[11]Contrariamente all'approccio econometrico, che si concentra sul livello aggregato di attività, il modello agli usi finali consiste nel disaggregare la domanda in moduli omogenei e settori per poter collegare la domanda di ogni modulo a indicatori tecnici ed economici. L'elemento di base dell'analisi è l'uso finale, la domanda è quindi stimata a ritroso, per questo motivo è

anche conosciuto come un approccio bottom-up”. Ad esempio, per stimare la domanda di benzina nel settore dei trasporti, ci si concentrerà sull’uso finale della benzina in auto e moto. L’analisi dovrebbe prendere in considerazione il numero ed i tipi di auto, consumo medio di energia di ogni tipo di mezzo, la durata media di viaggio, ecc. per poi arrivare a una stima della domanda.

L’analisi agli usi finali da particolare risalto a:

- il ruolo della tecnologia (cioè il ruolo ricoperto dal rendimento delle macchine utilizzatrici);
- il comportamento dei consumatori;
- il contesto economico per l’analisi della domanda.

Non viene tradizionalmente considerato in questi modelli il ruolo dei prezzi, così come non ci si concentra su una possibile cambiamento di tipo strutturale dei consumi; detto ciò questa famiglia di modelli è più adatta a generare stime di medio - lungo termine. I modelli agli usi finali normalmente hanno le seguenti caratteristiche:

- Contengono una rappresentazione dettagliata degli usi finali dell’energia: essendo un metodo di analisi disaggregata, questo approccio spezza la domanda in tanti piccoli componenti e viene incluso nell’analisi un quadro tecnico del consumo di energia per ogni livello. Ad esempio, la domanda viene suddivisa in diversi settori: industria, trasporti, residenziale e commerciale. Per ogni settore viene fatta un’altra suddivisione: per esempio, nel caso di domanda residenziale, una distinzione tra il consumo urbano e rurale.
- Possono essere utilizzate solo un numero limitato di variabili indipendenti, queste variabili sono previste attraverso scenari o giudizi esterni alla previsione della domanda di energia.
- Questi modelli utilizzano variabili come l’intensità energetica, il consumo specifico, il mix di combustibili, ecc. variabili che potrebbero essere cambiate per analizzarne l’effetto sulla domanda complessiva.
- I dati e le informazioni del passato sono utilizzati per stabilire una base o un caso di riferimento. Questi dati potrebbero essere utilizzati per calibrare il modello. L’analisi viene fatta attraverso una serie di scenari che vengono confrontati con il caso di riferimento. I risultati mostrano come le diverse scelte politiche possano influenzare la domanda futura.
- L’analisi viene fatta normalmente attraverso istantanee del futuro e non fornisce perciò il percorso fatto per raggiungere dei fini diversi.

Nei modelli di prima generazione viene specificata la maggior parte delle variabili esterne le quali sono utilizzate per eseguire una serie di moltiplicazioni e addizioni; questi modelli erano molto simili a modelli di contabilità.

I modelli agli usi finali di più recente sviluppo hanno cercato di superare queste limitazioni sia con l'introduzione di relazioni econometriche, per tenere conto di risparmio energetico e sostituzioni, sia basandosi su modelli di simulazione del comportamento dei consumatori.

### Approccio Ibrido

[27]Questo tipo di approccio si basa su una combinazione di due o più metodi sopra citati con l'obiettivo di superare le limitazioni specifiche delle strategie individuali. Questi modelli sono diventati molto diffusi oggi ed è veramente difficile attuare una classificazione in una categoria specifica. Per esempio, i modelli econometrici ora adottano una rappresentazione disaggregata dell'economia e hanno interiorizzato l'idea di rappresentare dettagliatamente l'energia e l'attività economica. Allo stesso modo, i modelli ingegneristici - econometrici utilizzano le relazioni econometriche a livello disaggregato. Anche i modelli "end use" utilizzano vari scenari per descrivere meglio le previsioni che compiono.

Vi è un crescente interesse per i modelli ibridi con l'obiettivo di conciliare le differenze tra gli approcci top-down e bottom-up, questo viene realizzato:

- Per conciliare il divario di efficienza con i modelli top-down si utilizzano le informazioni ottenute attraverso un approccio bottom-up per stimare i parametri .
- Per poter utilizzare insieme i dettagli tecnologici forniti dalla tipologia bottom-up con i dettagli tipici dei modelli micro e macroeconomici.
- Per potenziare un modello bottom-up con la capacità di includere il prezzo.

### La metodologia degli scenari

Gli scenari sono parte integrante del modello di previsione infatti sono stati ampiamente utilizzati sia nello studio del cambiamento climatico sia nelle politiche energetiche. In termini semplici, gli scenari di riferimento sono una serie di percorsi illustrativi" che indicano come il futuro può svolgersi" [28]. Evidentemente, non si può cercare di catturare tutte le eventualità possibili, ma si può cercare di indicare come le cose potrebbero evolversi. Gli scenari permettono all'analista di avere l'opportunità di evidenziare le diverse combinazioni di varie influenze, in modo che vari contesti alternativi possano essere delineati per il futuro. Gli scenari si basano su intuizioni, ma vengono realizzati come strutture di analisi. Essi non forniscono una visione consensuale del futuro, né sono solamente previsioni" [28]. Chiaramente, gli scenari sono distinti dalle previsioni, nel senso che esplorano una vasta gamma di possibili risultati derivanti dalla incertezza, al contrario, le previsioni hanno lo scopo di identificare il percorso più probabile" [28]. La forza degli scenari è la loro capacità di cogliere i cambiamenti strutturali in modo esplicito, considerando



cambiamenti improvvisi o bruschi nei percorsi di sviluppo. Si può concludere che lo sviluppo di scenari plausibili che potrebbero catturare i cambiamenti strutturali, come lo sviluppo di nuove attività economiche o la scomparsa di attività, non sia certamente un compito facile.



# Capitolo 3

## Costruzione del modello di previsione

L'analisi dei fondamenti teorici caratterizzanti le modalità di analisi e l'architettura di modelli di previsione dei consumi di energia viene utilizzata per la progettazione del tipo di studio che meglio si adatti al caso in esame. Come visto in precedenza, le grandi famiglie di modelli previsione sono sostanzialmente due e si basano su:

- un approccio relativo agli usi finali;
- un approccio di tipo econometrico.

La pratica solitamente adottata nello sviluppo di modelli, riscontrata all'interno della letteratura scientifica sull'argomento ([29]; [30]; [31]), è quella di adottare un approccio di tipo ibrido che combini i vantaggi di entrambe le famiglie e che possa adattarsi il più possibile alle caratteristiche del singolo caso.

### 3.1 Architettura generale del modello

Il processo seguito per la costruzione del modello di previsione dei consumi energetici si è articolato secondo i passi descritti in Figura 3.1 che verranno descritti all'interno di questo e dei successivi capitoli riferendosi inizialmente alla realtà italiana scelta come caso di validazione e successivamente a quella sarda.

La struttura generale in termini matematici del modello può essere espressa come segue:

$$Cons_{TOT} = \sum_i Cons_i \quad (3.1)$$

$$Cons_i = f(Var_1; Var_2; Var_3; \dots) \quad (3.2)$$

$$Cons_i = f(Eco_i; Soc_i; Demo_i; Tec_i) \quad (3.3)$$

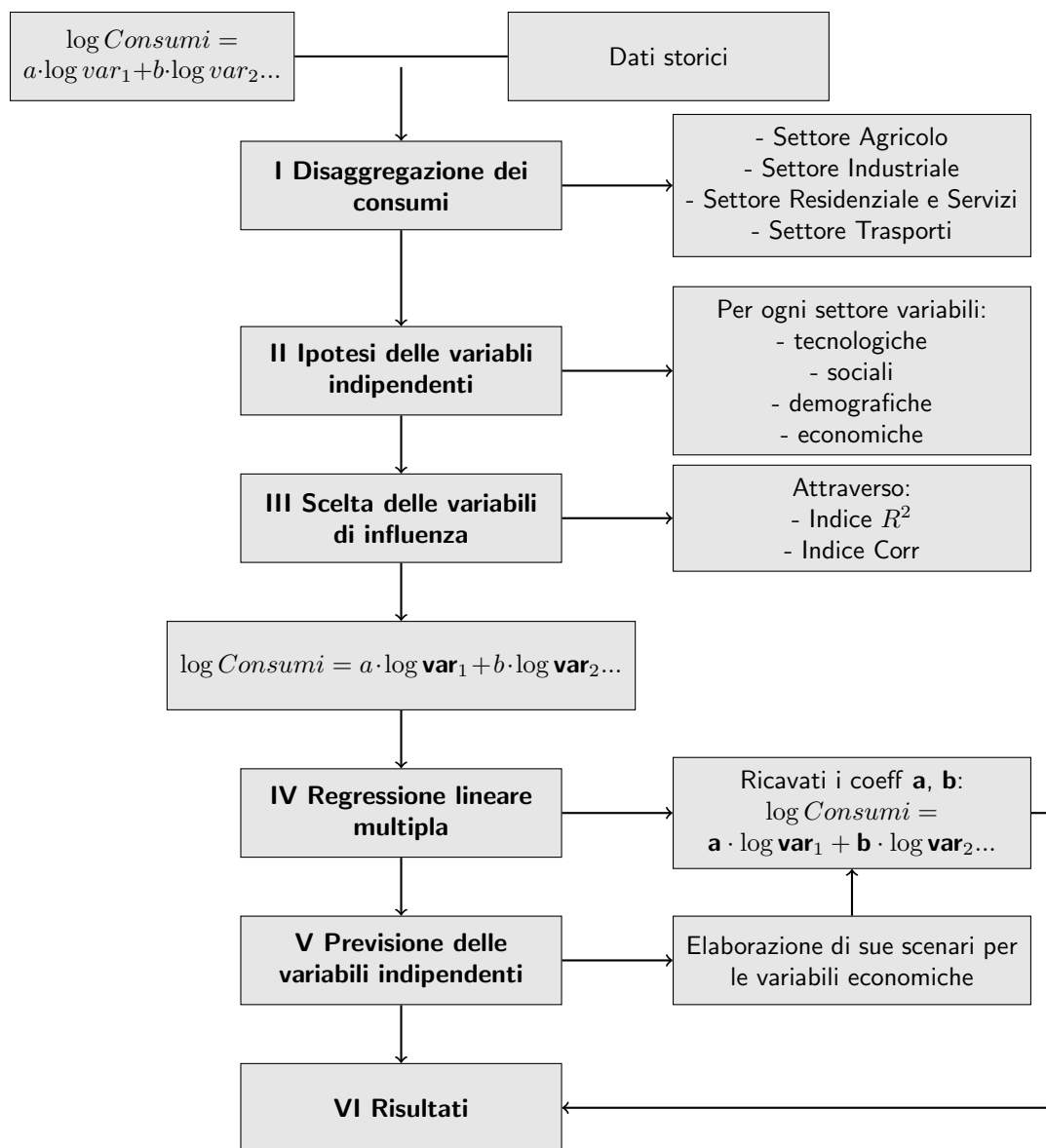


Figura 3.1: Diagramma di flusso del modello di previsione

dove con l'indice  $i$  si intendono i settori in cui i consumi sono disaggregati. Si ipotizza che i consumi del singolo settore siano dipendenti da una serie di variabili (Equazione 3.2) e nel passo successivo si identificano le variabili di influenza nei diversi tipi (economica, sociale, demografica e tecnologico). In conclusione si arriva a definire la struttura funzionale precisa del modello ed a valutare i vari coefficienti  $\beta_i$  attraverso una regressione lineare multipla (Equazione 3.4).

$$\log Cons_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log Eco_i + \beta_2 \cdot \log Soc_i + \beta_3 \cdot \log Demo_i + \beta_4 \cdot \log Tec_i \quad (3.4)$$

### 3.2 Struttura funzionale e disaggregazione per settori

Lo studio del caso in esame è stato condotto analizzando i consumi ad un livello disaggregato, secondo una peculiarità tipica dell'approccio relativo agli usi finali, considerando separatamente i settori:

- agricoltura;
- residenziale e servizi;
- trasporti;
- industria.

E' stata scelta questa modalità di compilazione al fine di poter considerare per ogni ambito le variabili specifiche maggiormente significative e dunque avere un modello il più possibile aderente alla realtà. Per analizzare e prevedere i consumi di ciascun settore è stata adottata un tipo di architettura, direttamente derivante dall'approccio econometrico, basata su una relazione funzionale che correli la variabile dipendente in esame ovvero i consumi energetici, con una serie di variabili indipendenti di influenza che ne determinino l'evoluzione.

La forma generale di relazione funzionale che viene adottata è ricavata dalle classiche dipendenze teorizzate in letteratura. Ci si riferisce alla identità di Kaya [32], strumento molto utilizzato nelle valutazioni tecniche e politiche:

$$C \equiv E \tag{3.5}$$

$$C \equiv (POP) \cdot \left( \frac{PIL}{POP} \right) \cdot \left( \frac{E}{PIL} \right) \tag{3.6}$$

$$C \equiv (POP) \cdot \left( \frac{PIL}{POP} \right) \cdot \left( \frac{E}{PIL} \right) \cdot C \cdot S \tag{3.7}$$

$$C = f(D, E, T, G, S) \tag{3.8}$$

La costruzione dell'equazione parte dall'identità tra i fattori  $C$  ed  $E$  che rappresentano i consumi energetici; moltiplicando e dividendo per la popolazione ( $POP$ ) ed il prodotto interno lordo ( $PIL$ ) ed inserendo i fattori adimensionali climatico e sociale si giunge a definire le dipendenze dei consumi energetici. Nell'Equazione 3.8 con  $G$  si intende un fattore geografico - climatico,  $D$  è il fattore demografico,  $E$  il fattore economico,  $S$  quello sociale e con  $T$  si intende un fattore tecnologico.

Nel caso in esame non viene considerato il fattore geografico in quanto ci si propone di effettuare l'analisi di una entità geografica di porzioni ridotte come una regione lungo la quale si possono trascurare variazioni climatiche o

comunque la variazione di altri parametri geografici e dunque la loro influenza sui consumi energetici.

Per quanto riguarda il fattore tecnologico, in relazione ad ogni settore è stato formulato un indice relativo all'efficienza di conversione; le definizioni ed il calcolo delle efficienze settoriali vengono trattate nel Paragrafo 3.4.5. Per quel che concerne gli altri fattori, per ogni settore si attua una specifica analisi che porta alla loro individuazione, in base alle caratteristiche specifiche del settore stesso.

### 3.3 Ipotesi delle variabili di influenza

Il processo seguito per arrivare alla costruzione del modello di previsione, o meglio dei quattro modelli riferiti ad i quattro settori considerati, si è articolato partendo dall'ipotesi di un ventaglio di possibili variabili di influenza. L'idea sviluppata è stata quella di calcolare i consumi di ogni settore, che sono le variabili dipendenti, come funzione di una serie di variabili indipendenti la cui variazione dovrebbe influenzare e determinare, il più possibile in maniera completa, l'evoluzione futura dei consumi finali [33].

Come parametri di influenza relativi ai consumi di energia vengono ipotizzate una serie di variabili di tipo economico, demografico e sociale il cui significato in relazione ai consumi di ciascun settore viene spiegato nei paragrafi successivi. L'elenco delle variabili inizialmente ipotizzate, la loro definizione e la fonte da cui esse sono state reperite viene riportato in Appendice.

A titolo esplicativo si può riportare un esempio, per valutare il fattore economico relativo al settore residenziale e dei servizi sono state ipotizzate una serie di variabili economiche quali prodotto interno lordo, valore aggiunto ai prezzi base, investimenti in costruzioni, investimenti in servizi seguendo le relazioni di dipendenza utilizzate nella prassi della letteratura [34] relativa ai modelli di previsione dei consumi. Il passo successivo descritto in seguito è stato quello di condurre una analisi sulle serie storiche per valutare quale delle variabili ipotizzate potesse meglio esprimere il fattore economico del settore, ossia quale tra quelle ipotizzate fosse la variabile meglio correlata ai consumi.

Nel paragrafo seguente viene esposto il procedimento con il quale sono state ipotizzate ed in seguito scelte le variabili con le quali è stato costruito il modello di previsione della domanda per i singoli settori. Inizialmente non sono stati inclusi nell'analisi i vari fattori tecnologici dato che la loro definizione ed il loro calcolo saranno descritti di seguito in una sezione a parte.

#### 3.3.1 Definizione del caso di validazione

Per un discorso di semplicità nell'analisi e per superare problemi nel reperimento dei dati regionali, oltre che per avere la possibilità di validare il modello costruito, tutti i calcoli e le valutazioni sono state effettuate in riferimento ai

consumi nazionali. Ci si propone di validare il modello prevedendo i consumi italiani e dopodiché utilizzare la stessa struttura per riferirsi alla situazione sarda per la quale, essendo disponibile un minor numero di punti per le varie variabili, il procedimento statistico risulterebbe più difficoltoso. Per questa ragione da questo punto le variabili prese in esame e le tabelle riportate sono da leggere riferite alla situazione del caso Italia, solo nella fase successiva, si riporteranno i risultati relativi alla Sardegna.

L'approccio seguito in questo studio è quello di proseguire con la valutazione del modello più adatto alla situazione italiana al fine di avere la possibilità di validare l'analisi fatta al livello dei consumi totali attraverso un confronto con le previsioni energetiche di enti nazionali ed internazionali.

### 3.4 Scelta delle variabili di influenza

La valutazione è stata effettuata partendo da una ipotesi importante: da una prima analisi dei consumi graficati con le singole variabili ipotizzate è stata osservata la presenza di due comportamenti alternativi, si nota o una completa casualità della distribuzione dei punti e dunque una palese mancanza di correlazione oppure un andamento facilmente assimilabile alla linearità.

L'ipotesi scaturita da questa analisi iniziale è di assumere quello lineare come unico andamento possibile tra consumi e variabile dipendente ad essi correlata. Alla luce di questa assunzione è stato adottato l'indice di correlazione lineare come criterio di scelta della variabile più adatta ad interpretare il ruolo di uno dei quattro fattori visti in precedenza per il singolo settore. Si riporta di seguito la definizione dei parametri di valutazione:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}, \quad (3.9)$$

dove  $y_i$  sono i dati osservati,  $\bar{y}$  è la media degli  $y_i$ ,  $\hat{y}_i$  sono i dati stimati dalla retta di regressione e  $n$  è il numero dei dati a disposizione, nel caso in esame gli anni di cui si dispongono i dati;

$$\text{correlazione}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.10)$$

dove  $X$  e  $Y$  sono i vettori delle due serie che si confrontano,  $x_i$  e  $y_i$  sono i dati osservati,  $\bar{y}$  e  $\bar{x}$  sono le medie degli  $y_i$  e  $x_i$  e  $n$  come sopra è il numero dei dati a disposizione.

Entrambi questi parametri possono assumere valori in modulo compresi tra zero ed uno; il livello dei valori è direttamente proporzionale alla presenza o meno di correlazione lineare tra le due serie di dati analizzate. Elevati valori dei due parametri, dunque vicini in modulo all'unità evidenziano che gli andamenti sono molto ben approssimabili con una retta mentre valori

prossimi allo zero significano che tra le due serie di dati non è presente una correlazione di tipo lineare.

Tabella 3.1: Sigle utilizzate per le tabelle successive

INV	Investimenti	agr.	Agricoltura, silvicoltura e pesca
VA	Valore aggiunto	ind.	Industria
NV	Numero di veicoli	ind. ss.	Industria in senso stretto
UL	Unità di lavoro	ind. m.	Industria manifatturiera
PIL	Prodotto interno lordo	r&s	Residenziale e dei servizi
Cons	Consumi energia	costr.	Costruzioni
y	variabile dipendente	x	variabile dipendente
Prod.	Produzione	Pop.	Popolazione

### 3.4.1 Settore Agricolo

La scelta delle possibili variabili di influenza da correlare ai consumi energetici è stata condotta attraverso una analisi delle caratteristiche specifiche del settore ed una ricerca dei set di dati ad esso riferibili.

**Fattore economico** Sono state ipotizzate due possibili variabili economiche che possano essere correlate con i consumi energetici del settore agricolo: *investimenti lordi in agricoltura, silvicoltura e pesca* e *valore aggiunto ai prezzi base per agricoltura, silvicoltura e pesca*.

**Fattore demografico** Per ben descrivere l'influenza della demografia sui consumi energetici del settore agricolo si è inserita come variabile indipendente il *numero totale di occupati in agricoltura silvicoltura e pesca*. Non è stata scelta semplicemente la popolazione residente perché il settore agricolo, in Sardegna, ha una vocazione produttiva tesa principalmente all'esportazione, dunque la produzione e conseguentemente i consumi energetici non sono influenzati dal numero di consumatori presenti nella regione.

**Fattore sociale** La definizione adottata di fattore sociale in questo studio ha un senso molto esteso. Si è considerato come fattore sociale una variabile indicativa dello sviluppo del settore, riferibile all'output misurato in quantità fisiche generato o comunque ad un indice delle quantità fisiche utilizzate dal settore in questione per generare il suo prodotto di interesse. In quest'ottica le variabili ipotizzate sono state le seguenti: *produzione agricola totale e numero di veicoli agricoli e trattori*.

A valle della definizione delle variabili di influenza ipotizzate per il settore agricolo, è stata attuata la scelta di quelle che andranno ad essere parte integrante del modello di previsione attraverso la valutazione dei parametri



di correlazione. Per ogni variabile ipotizzata è stato valutato l'indice di correlazione rispetto ai consumi settoriali, la scelta è ricaduta sui parametri aventi correlazione migliore. Di seguito viene riportata la Tabella 3.2 riassuntiva di questo processo di calcolo in cui compaiono i parametri della retta di regressione ( $m$  e  $q$ ), il numero di punti utilizzati ( $p.ti$ ) ed i parametri di correlazione ( $R^2$  e  $Corr$ ).

Tabella 3.2: Correlazioni con i consumi agricoli

<b>y</b>	<b>x</b>	<b>m</b>	<b>q</b>	<b>p.ti</b>	$R^2$	<b>Corr.</b>
Cons agr.	NV agr.	$1 \cdot 10^{-6}$	1,36	39	0,881	0,939
Cons agr.	UL agr.	$-7 \cdot 10^{-4}$	4,19	30	0,861	0,928
Cons agr.	INV agr.	$1 \cdot 10^{-4}$	2,08	28	0,81	0,9
Cons agr.	VA agr.	$6 \cdot 10^{-5}$	1,62	30	0,755	0,869
Cons agr.	Produzione tot.	$-2 \cdot 10^{-10}$	3,45	11	0,025	0,16

In definitiva il presente metodo di costruzione di un modello di previsione riferito ai consumi energetici del settore agricolo porta alla scelta dei fattori aventi correlazione migliore e dunque all'ottenimento di una relazione funzionale (in cui non è stata ancora definita l'efficienza) esprimibile come segue:

$$Consumi_{AGR} = f(UL_{AGR}, NV_{AGR}, INV_{AGR}, Efficienza_{AGR}). \quad (3.11)$$

### 3.4.2 Settore Residenziale e dei servizi

Si è soliti considerare congiuntamente, anche in letteratura [30], questi due settori principalmente in relazione al fatto che i consumi energetici risultano notevolmente inferiori rispetto agli altri ambiti analizzati, sono presenti inoltre importanti affinità riguardo al tipo di fonti energetiche utilizzate ed alle modalità di impiego. Si è cercato di considerare variabili il più possibile riferibili ad entrambi i settori anche se, soprattutto in ambito economico, i dati reperiti non lo hanno sempre permesso.

**Fattore economico** Le variabili ipotizzate in questo caso sono necessariamente differenti per i due sottosettori: *investimenti lordi in servizi*, *valore aggiunto ai prezzi base nei servizi* e *investimenti lordi in costruzioni*, viene considerato come un parametro riferibile al settore residenziale in quanto valuta quanto si è investito per la costruzioni di nuovi immobili compresi quelli ad uso abitativo. Nella stessa ottica si colloca la variabile *valore aggiunto ai prezzi base nelle costruzioni*.

**Fattore demografico** In questo caso la variabile ipotizzata non può che essere la *popolazione residente* visto che si sta analizzando sia il settore residenziale i cui consumi ne sono inevitabilmente influenzati, sia il settore dei servizi il cui prodotto è fornito essenzialmente a vantaggio dei bisogni della popolazione locale.

**Fattore sociale** Per il settore in esame si è scelto di ipotizzare delle variabili economiche che esprimano in qualche modo la ricchezza media della popolazione. Il ragionamento seguito, soprattutto in riferimento al settore residenziale, è che maggiore è la ricchezza di un nucleo familiare, maggiore sarà l'attitudine di questo a consumare energia in ambito domestico ad esempio per raffrescamento, riscaldamento ed acquisto e utilizzo di elettrodomestici. Le variabili ipotizzate saranno dunque: *prodotto interno lordo ai prezzi di mercato e valore aggiunto ai prezzi base*.

Anche per questo settore dopo l'individuazione delle possibili variabili di influenza che possono essere considerate si effettuano i calcoli relativi alla correlazione lineare (Tabella 3.3) e si arriva alla scelta delle variabili che comporranno il modello di previsione (evidenziate), quelle cioè che, all'interno del ventaglio proposto per ciascun fattore, presentano i valori più alti dei parametri di correlazione.

Tabella 3.3: Correlazioni con i consumi residenziali e dei servizi

y	x	m	q	p.ti	$R^2$	Corr.
Cons r&s	Pop.	$4 \cdot 10^{-6}$	-176,5	39	0,79	0,889
Cons r&s	VA costr.	$2 \cdot 10^{-4}$	28,28	30	0,928	0,963
Cons r&s	VA serv.	$2 \cdot 10^{-5}$	26,25	15	0,832	0,912
Cons r&s	VA	$1 \cdot 10^{-5}$	28,6	30	0,914	0,956
Cons r&s	PIL	$1 \cdot 10^{-5}$	29,04	30	0,919	0,959
Cons r&s	INV serv.	$7 \cdot 10^{-5}$	29,33	13	0,780	0,883
Cons r&s	INV costr.	$1 \cdot 10^{-3}$	31,24	28	0,863	0,929

Dunque per quel che concerne il settore residenziale e dei servizi, non considerando per il momento il fattore tecnologico che verrà analizzato in seguito, so ottiene una espressione del tipo:

$$Cons_{R\&S} = f(Pop, INV_{costr}, PIL, Efficienza_{R\&S}). \quad (3.12)$$

### 3.4.3 Settore Trasporti

Il settore dei trasporti ha un peso specifico molto importante in relazione ai consumi energetici, soprattutto se si pensa alla conformazione geografica della realtà sarda. Come visto in letteratura ed analizzato nel capitolo precedente esistono svariati metodi e molti modelli atti all'analisi ed alla previsione dei consumi di energia di questo particolare settore (ad esempio il Car Ownership Model [35]). In questo studio si è deciso di adottare una struttura che segua l'idea di modello ibrido esposta in precedenza ed applicata anche agli altri settori principalmente per la migliore adattabilità ad i dati reperiti.

**Fattore economico** Nella stessa maniera già descritta nella sezione precedente la variabile economica scelta è stata il *prodotto interno lordo ai*

*prezzi di mercato*. Si intende questo fattore come rappresentativo della ricchezza media della regione in analisi e dunque legato a quanto la popolazione possa permettersi di spendere e dunque consumare energia anche per quanto riguarda il trasporto (pensando ad esempio alla potenza degli autoveicoli posseduti).

**Fattore demografico** In questo caso la scelta non poteva che ricadere sulla *popolazione residente* in quanto soggetto al quale il servizio di mobilità è rivolto e dunque direttamente correlato al fabbisogno e ad i consumi energetici del settore.

**Fattore sociale** Come visto nel settore agricolo il ragionamento seguito per la definizione del fattore sociale è stato quello di legare i consumi di energia del settore con una variabile espressa in quantità fisiche che sia rappresentativa del livello di sviluppo e quindi delle dimensioni energetiche del settore stesso. In questo caso la variabile scelta è stata il *numero totale di veicoli a motore*.

Seguendo la procedura adottata anche in precedenza viene di seguito riportata la Tabella 3.4 riassuntiva delle variabili scelte per comporre il modello relativo al settore dei trasporti, sempre tralasciando momentaneamente il fattore tecnologico che verrà analizzato in seguito. Le variabili presenti nella tabella sono i parametri della retta di regressione originata dal confronto tra i dati storici della singola variabile ed i consumi settoriali (coefficiente angolare  $m$  ed intercetta  $q$ ), il numero di punti ( $p.ti$ ) su cui è effettuato il calcolo ed i parametri di correlazione ( $R^2$  e  $Corr$ ).

Tabella 3.4: Correlazioni con i consumi dei trasporti

y	x	m	q	p.ti	$R^2$	Corr.
Cons trasp.	Popolazione	$6 \cdot 10^{-6}$	-317,83	39	0,687	0,829
Cons trasp.	Numero veicoli	$1 \cdot 10^{-6}$	0,06	39	0,97	0,985
Cons trasp.	PIL	$2 \cdot 10^{-5}$	21,89	30	0,958	0,979

In definitiva, considerando gli elevati valori dei coefficienti di correlazione lineare, i consumi energetici del settore dei trasporti saranno valutati secondo una funzione del tipo seguente:

$$Const_{TRASP} = f(PIL, Pop, NV_{TOT}, Efficienza_{TRASP}). \quad (3.13)$$

### 3.4.4 Settore Industriale

Assieme a quello dei trasporti è, in generale, il settore con il maggior consumo di energia, sia che si analizzi una realtà territoriale in cui è particolarmente sviluppata industria di tipo pesante o comunque molto energivora come la chimica e la petrolchimica (è il caso della Sardegna) sia nel caso in cui sia il manifatturiero il sottosettore più presente (come avviene per l'Italia in generale).

**Fattore economico** Tra le variabili ipotizzate sono stati introdotti dei fattori che tenessero conto dell'architettura del settore industriale, cercando di valutare come il peso dei vari sottosettori influenzi i consumi industriali della realtà in esame. Le variabili ipotizzate sono le seguenti: *investimenti lordi nell'industria, investimenti lordi nell'industria manifatturiera, investimenti lordi nell'industria in senso stretto, valore aggiunto ai prezzi base dell'industria, valore aggiunto ai prezzi base dell'industria manifatturiera, valore aggiunto ai prezzi base dell'industria in senso stretto.*

**Fattore demografico** Dato che per la realtà che ci si propone di analizzare il settore industriale ha un carattere teso unicamente, o quasi, all'esportazione [36], si è ritenuto non utile l'inserimento di variabili di tipo demografico all'interno del modello per quanto riguarda questo settore.

**Fattore sociale** Ci si colloca anche in questo caso nell'ottica di assimilare il fattore sociale a delle variabili che misurino, in quantità fisiche, i beni generati dal settore in esame. Inoltre sono state ipotizzate più variabili per identificare la struttura predominante che regge la regione in esame. Si avranno dunque: *indice della produzione industriale escluse le costruzioni e indice della produzione industriale da attività manifatturiere.*

Come visto in precedenza, viene riportata a questo punto la Tabella 3.5 riassuntiva delle variabili indipendenti ipotizzate tra le quali vengono scelte per costruire il modello di previsione relativo al settore industriale quelle, per ogni fattore, aventi i migliori parametri di correlazione (messe in evidenza).

Tabella 3.5: Correlazioni con i consumi industriali

<b>y</b>	<b>x</b>	<b>m</b>	<b>q</b>	<b>p.ti</b>	$R^2$	<b>Corr.</b>
Cons ind.	INV ind.	$1 \cdot 10^{-4}$	29,48	13	0,634	0,796
Cons ind.	INV ind. ss.	$1 \cdot 10^{-4}$	31,05	28	0,728	0,853
Cons ind.	INV ind. m.	$-1 \cdot 10^{-4}$	49,24	8	0,505	0,71
Cons ind.	VA ind.	$1 \cdot 10^{-5}$	34,44	15	0,601	0,776
Cons ind.	VA ind. ss.	$3 \cdot 10^{-5}$	30,78	30	0,42	0,649
Cons ind.	VA ind. m.	$-1 \cdot 10^{-5}$	43,66	8	0,065	0,254
Cons ind.	Prod. ind. m.	0,402	-2,18	20	0,77	0,877
Cons ind.	Prod. ind.	0,393	-0,48	20	0,791	0,889

Dai valori degli indici di correlazione presentati in tabella si ricava la seguente espressione relativa ad i consumi energetici del settore industriale, in cui non è stata ancora valutata l'efficienza settoriale:

$$Cons_{IND} = f(INV_{INDSS}, Prod, Efficienza_{IND}). \quad (3.14)$$

### 3.4.5 Fattore tecnologico

Per tutti i settori presi in considerazione per la costruzione del modello il fattore tecnologico è stato assimilato ad una efficienza media dei processi specifici definita in maniera diversa per ognuno degli ambiti. L'idea generale sviluppata è stata quella di valutare un parametro rappresentativo della qualità con cui viene sfruttata l'energia dai vari utilizzatori del settore in esame; la definizione generale utilizzata è:

$$\eta_{settore} = \frac{\sum_i^n \eta_{utilizzatore} \cdot TFC_{utilizzatore}}{TFC_{settore}}, \quad (3.15)$$

con  $n$  numero di utilizzatori dell' $i$ -esimo settore.

#### Settore Agricolo

Come evidenzia il bilancio energetico della regione [3] i principali consumi di energia sono relativi da un lato a combustibili liquidi (prodotti petroliferi) usati per alimentare i macchinari agricoli e dall'altro ad energia elettrica impiegata in varie forme nelle attività del settore. Per questo motivo si è giunti alla seguente definizione di efficienza per il settore agricolo:

$$\eta_{agr} = \frac{\bar{\eta}_{el} \cdot TFC_{elettricit\grave{a}}^{agr} + \bar{\eta}_{MacchineAgr} \cdot TFC_{gasolio}^{agr}}{TFC_{tot}^{agr}}. \quad (3.16)$$

I consumi di energia elettrica, di combustibili liquidi ed i consumi finali del settore sono stati ottenuti dai Bilanci Energetici Regionali ([3]); il rendimento del parco di generazione è stato calcolato come segue:

$$\bar{\eta}_{el} = \frac{Consumi_{el}}{Produzione_{el}}. \quad (3.17)$$

I dati utilizzati sono provenienti da fonti TERNA [37] ed ENEA [3], espressi in termini di energia primaria e valutati per Italia e Sardegna; si è assunta accettabile l'ipotesi di considerare per il caso di validazione la stessa efficienza media derivante dai calcoli relativi alla realtà sarda il cui andamento è rappresentato in Figura 3.2.

Per quanto riguarda invece il rendimento medio delle macchine agricole sono state fatte valutazioni a partire dal consumo specifico di un particolare modello di trattore [38] espresso in grammi al kilowattora di effetto utile generato (unità di misura che si solitamente usata nel settore). L'evoluzione nel tempo è stata fatta ipotizzando consumi crescenti per gli anni passati, mancando schede tecniche di modelli più datati. Una ulteriore assunzione è stata quella di considerare il consumo specifico dei trattori come rappresentativo di quello dell'intero parco di veicoli agricoli, ipotesi giustificata dal fatto che i trattori ne costituiscono la porzione più importante.

Si riportano in Figura 3.3 i risultati ottenuti dal processo di calcolo appena presentato; si nota un trend mediamente crescente dell'efficienza seppur caratterizzato da un andamento a gradini determinato dall'assunzione di consumi specifici dei macchinari agricoli costanti a periodi.

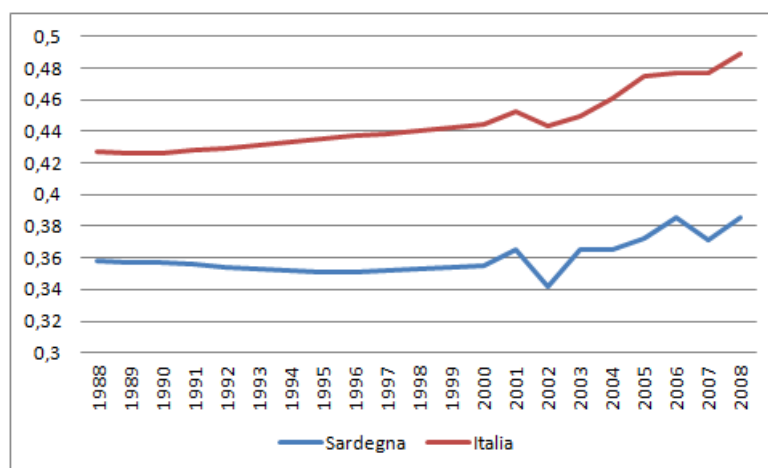


Figura 3.2: Serie storica, rendimento elettrico medio in Italia e in Sardegna. Elaborazioni fonte ENEA

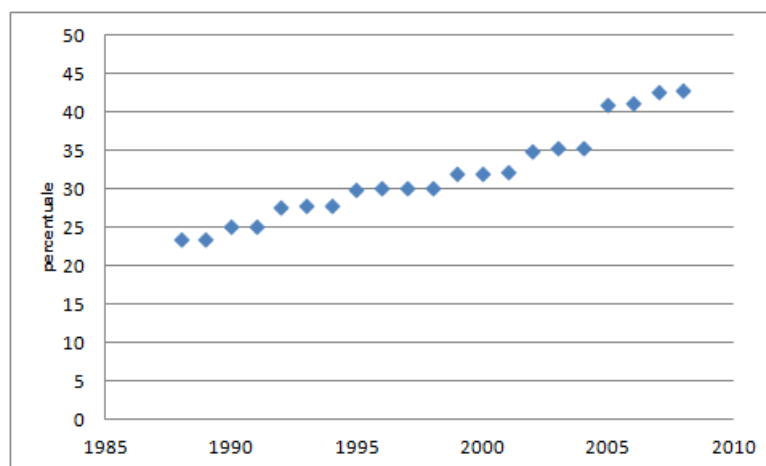


Figura 3.3: Serie storica, efficienza media del settore agricolo. Elaborazioni fonte ENEA

### Settore Residenziale e dei Servizi

In questo caso i consumi settoriali sono fondamentalmente composti da energia elettrica (per illuminazione, alimentazione apparecchi elettrici in uffici ed abitazioni, raffrescamento, ecc.) e da combustibili fossili per il riscaldamento. In base a queste valutazioni l'espressione dell'efficienza media settoriale adottata è la seguente:

$$\eta_{R\&S} = \frac{\bar{\eta}_{el} \cdot TFC_{elettricit\grave{a}}^{R\&S} + \bar{\eta}_{caldaia} \cdot TFC_{comb}^{R\&S}}{TFC_{tot}^{R\&S}} \quad (3.18)$$

Dove il rendimento elettrico medio è stato calcolato nella stessa maniera vista in precedenza, il rendimento medio di una caldaia a combustibili fossili è stato assunto pari al 80% costante nel corso degli anni. La quota parte di energia utilizzata per il riscaldamento è stata valutata dai Bilanci En-

ergetici Regionali [3] come coincidente con l'energia derivante dai prodotti petroliferi per il caso Sardegna in cui, si ricorda, non è presente una rete di distribuzione del gas naturale. In Figura 3.4 vengono presentati i risultati ottenuti, sempre riferiti alla realtà sarda; l'andamento risulta essere pressochè costante ma con una tendenza alla diminuzione. Il calo è determinato dal progressivo spostamento dei consumi dai prodotti petroliferi all'elettricità, che ha un rendimento di generazione intrinsecamente minore essendo una forma più pregiata di energia; in sostanza si può affermare che nonostante la diminuzione dell'efficienza media è in atto un processo virtuoso di passaggio all'utilizzo dell'elettricità negli impieghi di questo settore.

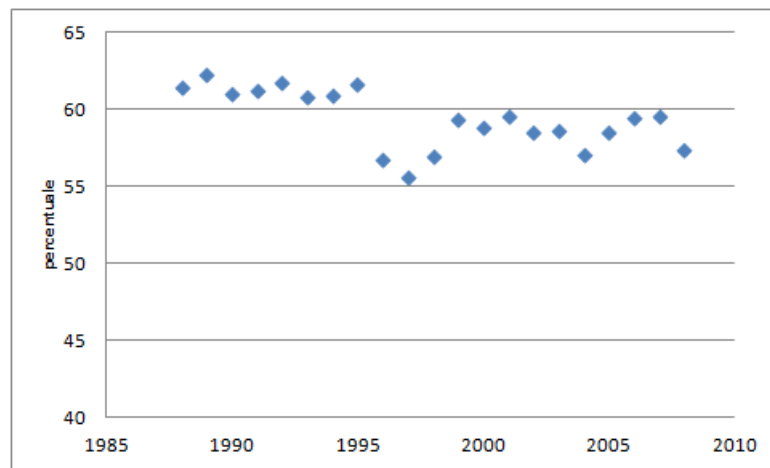


Figura 3.4: Serie storica, efficienza media del settore residenziale e dei servizi. Elaborazioni fonte ENEA

### Settore Trasporti

Per quanto concerne questo settore, si dispone (sempre da BER ENEA [3]) dei consumi finali disaggregati nei vari sottosettori del trasporto ovvero: ferroviari ed urbani, stradali, navigazione marittima e navigazione aerea. Seguendo la stessa metodologia di analisi vista in precedenza per gli altri settori, l'espressione dell'efficienza media in questo caso viene valutata in questa maniera:

$$\eta_{trasp} = \frac{\bar{\eta}_{treni} \cdot TFC_{ferr}^{trasp} + \bar{\eta}_{auto} \cdot TFC_{strad}^{trasp} + \bar{\eta}_{navi} \cdot TFC_{navig}^{trasp} + \bar{\eta}_{aerei} \cdot TFC_{aerei}^{trasp}}{TFC_{tot}^{trasp}} \quad (3.19)$$

**Stima del rendimento medio dei mezzi di trasporto ferroviari** Il calcolo è stato svolto riferendosi ai consumi specifici della flotta di treni presente in Sardegna. Nella regione in questione la rete ferroviaria non è elettrificata dunque sono utilizzati locomotori alimentati a gasolio. Il tipo di treno presente in Sardegna per svariati decenni è stato il Aln

668 [39] [40] sostituito gradualmente solo negli anni successivi al 2004 dal nuovo Minuetto [41]. Dall'analisi delle schede tecniche sono stati ottenuti i consumi specifici di combustibile espressi in chilogrammi di gasolio al chilometro percorso (Tabella 3.6), è stata poi attuata una conversione servendosi del potere calorifico medio del combustibile per ottenere una unità di misura coerente per tutti i rendimenti [km/MJ].

Tabella 3.6: Consumi specifi flotta ferroviaria

modello	esercizio	consumi	
		kg/km	km/MJ
Aln 668	pre 2003	0,490	0,050
Minuetto	post 2003	1,113	0,022

**Stima del rendimento medio del parco automobilistico** Il criterio utilizzato in questo caso parte dall'assunzione che i consumi per il trasporto stradale siano totalmente ascrivibili al reparto automobilistico, questo è stato possibile soprattutto in ragione del fatto che i consumi per il trasporto merci non siano contabilizzati in questo settore bensì in quello industriale. La stima è stata attuata suddividendo il parco auto in tre categorie di veicoli: di piccole, medie e grandi dimensioni rispettivamente presenti con una percentuale del cinquanta, trenta e venti per cento.

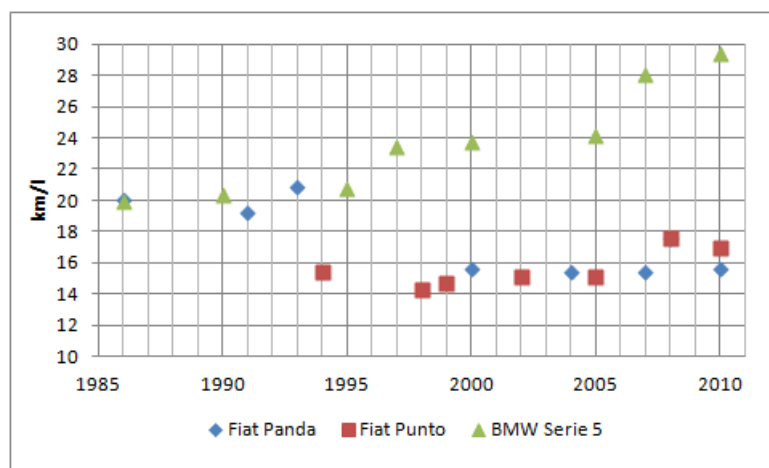


Figura 3.5: Serie storica, consumi specifici di carburante per i modelli di auto considerati [l/km].

Per semplicità nel reperimento dei dati e considerando la notevole penetrazione dei tipi di veicoli nel mercato italiano sono state assunte come rappresentative delle tre categorie i seguenti modelli di autovetture: Fiat Panda [42] (piccole dimensioni), Fiat Punto [42] (medie dimensioni), BMW Serie 5 [43] (grandi dimensioni). Il calcolo è stato condotto anche in questo caso partendo dai consumi specifici di carburante espressi



in litri al chilometro (Figura 3.5), è stata poi attuata una conversione servendosi della densità media e del potere calorifico medio della benzina per ottenere un fattore espresso nell'unità di misura comune [km/MJ]. In conclusione è stato calcolato il rendimento medio pesando i tre valori sulla percentuale di penetrazione assunta nel parco di autoveicoli(Figura 3.6).

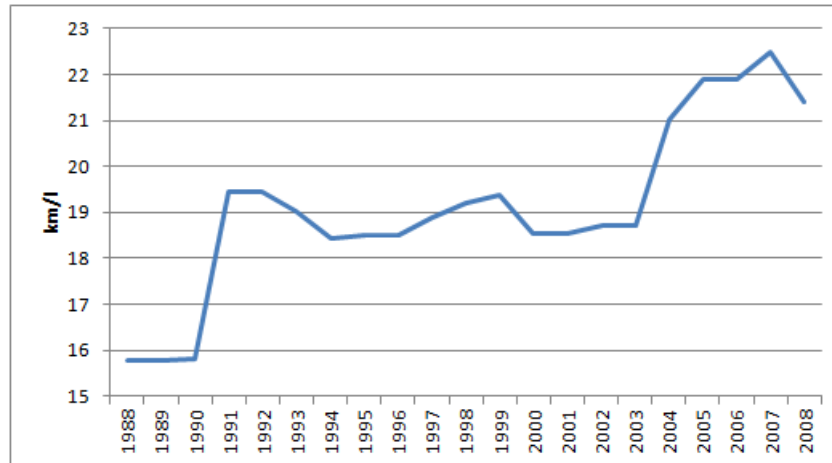


Figura 3.6: Serie storica, efficienza media del parco automobilistico [km/MJ].

**Stima del rendimento medio del parco navale** Le assunzioni adottate in questo caso derivano principalmente dall'analisi della situazione sarda. Si è considerato il consumo per navigazione marittima riferibile in maniera sostanziale ai consumi delle grande imbarcazioni che collegano l'isola al continente Per questa ragione il calcolo del rendimento medio delle navi è stato effettuato partendo da una ricerca delle caratteristiche tecniche dei traghetti della più grande compagnia che si occupi di questi collegamenti, la Tirrenia di Navigazione Società per azioni [44]. Il processo di calcolo parte dall'analisi dei motori presenti su queste imbarcazioni per i quali sono stati reperiti i consumi medi di combustibile espressi in grammi al kilowattora di effetto utile prodotto (unità di uso comune nel settore) ed il flusso medio di combustibile utilizzato espresso in metri cubici per ora [45] [46] (Tabella 3.7).

Tabella 3.7: Consumi specifici valutati dell'insieme di imbarcazioni analizzate

società	esercizio	consumi	
		gr/kWh	km/MJ
Tirrenia	pre 2003	1061	0,022
Tirrenia	post 2003	708	0,050

A questo punto servendosi della densità media del gasolio, del suo potere calorifico e della velocità media di crociera è stato possibile valutare un rendimento medio del mezzo di trasporto espresso nell'unità

di misura vista in precedenza per gli altri sottosettori. Le valutazioni riguardo all'evoluzione storica del rendimento del parco navale sono state fatte riferendosi al ricambio della flotta Tirrenia avvenuto a partire dal 2000; i dati sono stati reperiti solo in relazioni alle imbarcazioni utilizzate attualmente, per gli anni precedenti al duemila si è assunto un consumo specifico maggiorato del 50%.

**Stima del rendimento medio del parco velivoli** Anche per questa valutazione si è preso come riferimento la situazione della Sardegna. Le assunzioni fatte sono state quella di assimilare il consumo del sottosettore della navigazione aerea con quello dei mezzi che collegano l'isola con l'Italia ed in più di assumere come riferimento gli aerei operanti su tratte regionali della compagnia di bandiera italiana.

Tabella 3.8: Consumi specifici dei velivoli considerati

modello	esercizio	autonomia <i>km</i>	capacità serbatoi ( <i>kg</i> )	consumi <i>km/MJ</i>
ATR 72-200	pre 2000	0,2488	3780	0,0147
Embraer 170	post 2000	0,2557	10260	0,0151

Il calcolo è stato effettuato partendo dal reperimento dei dati tecnici relativi ai sistemi di propulsione dei vari aerei utilizzati dalla compagnia nel corso del tempo ovvero ATR72 [47] [48] negli anni precedenti al 2000 ed Embraer 170 [49] negli anni successivi. Le specifiche tecniche utilizzate sono state l'autonomia espressa in chilometri e la capacità del serbatoio espressa in kilogrammi. A questo punto utilizzando densità media e potere calorifico medio del combustibile è stato possibile giungere al valore del consumo specifico medio espresso nella solita unità [km/MJ].

I risultati ottenuti da questo processo di calcolo sono riportati in Figura 3.7; l'andamento non è del tutto continuo anche a causa delle tante ipotesi su cui si basa l'elaborazione. Si nota ad ogni modo un trend mediamente crescente determinato sia dalla crescita generale dei singoli rendimenti dei vari utilizzatori sia da uno spostamento dei consumi verso sottosettori dei trasporti con un consumo energetico a più alta efficienza.

### Settore Industriale

La valutazione dell'efficienza media in questo caso è stata condotta riferendosi agli studi condotti nell'ambito del progetto Odyssee – Mure [50] che riunisce svariate agenzie energetiche europee (ENEA per l'Italia) sotto la supervisione della *Agence de l'environnement et de la maitrise de l'energie* francese. Questo progetto internazionale si propone di monitorare l'evoluzione dell'efficienza energetica e le possibili politiche di miglioramento nei vari Paesi dell'unione

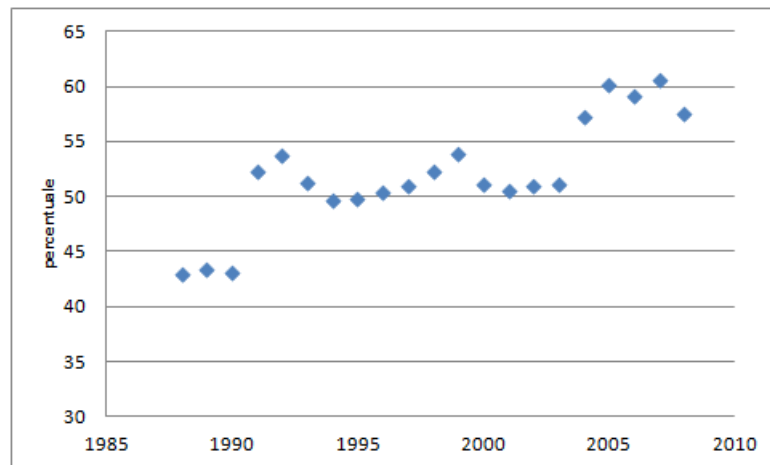


Figura 3.7: Serie storica, efficienza media del settore trasporti. Elaborazioni fonte ENEA

europa. Per quanto riguarda il settore industriale l'indice di efficienza energetica settoriale utilizzato è denominato ODEX [5] e viene calcolato come media pesate degli indici di efficienza energetica dei sottosettori.

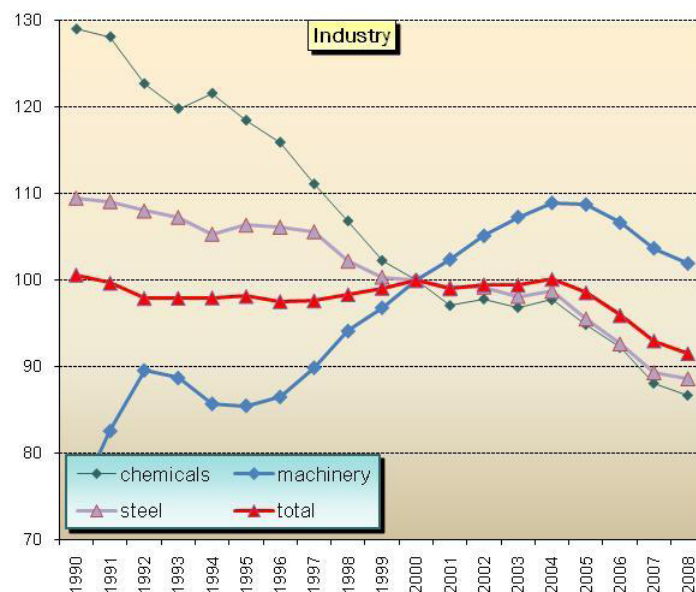


Figura 3.8: Serie storica, efficienza media del settore industriale, numeri indice. Fonte ODYSSEE - MURE

Per ogni sottosettore industriale (tessile, minerario, chimico, manifatturiero, ecc.) sono valutati a partire dalle variazioni anno per anno dei consumi specifici di energia, misurati in unità fisiche, e poi indicizzati per avere unità di misura coerenti pesati infine attraverso la porzione dei consumi energetici industriali del singolo sottosettore (Figura 3.9). L'espressione

analitica dell'indice utilizzato può essere espressa come segue:

$$Efficienza_{ind} = \sum_{i=1}^n \eta_i \cdot PorzioneConsumi_i \quad (3.20)$$

Va sottolineato che in questo caso i valori utilizzati per l'efficienza media sono relativi alla media italiana, è stata ipotizzata l'applicazione di questi valori anche al caso Sardegna come si vedrà in seguito. L'andamento dell'efficienza media industriale utilizzato in questo studio è pari all'inverso di quella presentata in precedenza (opportunamente scalato), operazione fatta senza conseguenza sui risultati visto che non influenza l'andamento della variabile (Figura 3.9). Si nota la presenza di un andamento particolare con una situazione mantenutasi circa costante per un lungo periodo fino a subire negli ultimi anni un miglioramento importante come testimonia la forte crescita del trend a partire dall'anno 2003. L'andamento relativo agli ultimi anni sembra prospettare per il futuro la continuazione della crescita ma con tendenza al raggiungimento di un valore asintotico.

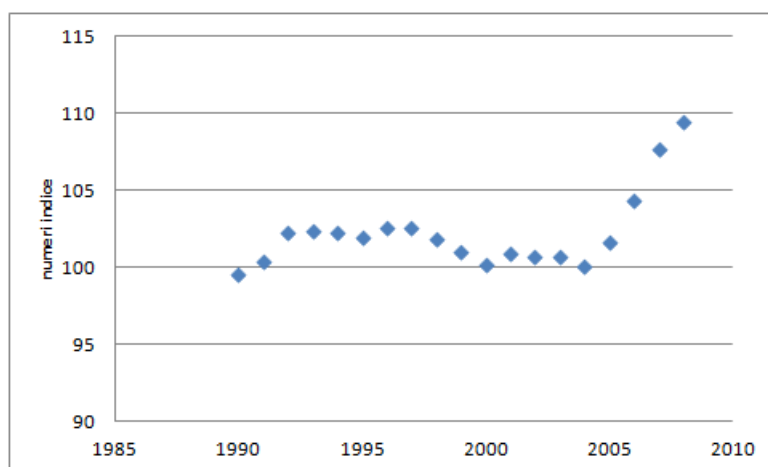


Figura 3.9: Serie storica, efficienza media del settore industriale, numeri indice. Elaborazioni da fonte ODYSSEE - MURE

### 3.4.6 Riassunto

Si conclude la sezione relativa alla scelta delle variabili di influenza e dunque alla costruzione del modello di previsione riportando a scopo riassuntivo la Tabella 3.9 in cui sono presentate le variabili indipendenti scelte per ogni settore ed i relativi indici di correlazione calcolati ( $R^2$  e  $Corr$ ), oltre al numero di punti ( $p.ti$ ) a disposizione utilizzati per l'analisi e dunque per la scelta. Va sottolineato il fatto che sono presenti valori molto elevati dei parametri di correlazione per tutte le variabili considerate siano esse identificabili con fattori di tipo economico, demografico o sociale.

Un discorso a parte deve essere fatto per quanto riguarda i fattori tecnologici ossia le efficienze medie settoriali ed in particolar modo in riferimento

al settore residenziale e dei servizi ed al settore industriale. Si nota la presenza di una correlazione relativamente bassa dei consumi di questi settori con le rispettive efficienze, che non giustificherebbe l'inclusione delle variabili all'interno del modello di previsione. La decisione adottata è quella di considerare comunque i fattori tecnologici parte del modello per tutti i settori in ragione del forte significato teorico che determina l'influenza dello sviluppo tecnologico sul livello dei consumi energetici [34]. Ad ogni modo nella parte successiva verranno effettuate analisi di perfezionamento del modello per ottimizzarne le capacità predittive e verrà tenuto in debito conto la bassa correlazione tra efficienze e consumi di questi due settori.

Tabella 3.9: Variabili di influenza scelte per settore e rispettivi di correlazione, ITA

<b>y</b>	<b>x</b>	<b>p.ti</b>	$R^2$	<b>Corr.</b>
Cons agr.	NV agr.	39	0,881	0,938
Cons agr.	UL agr.	30	0,861	0,928
Cons agr.	INV agr.	28	0,810	0,900
Cons agr.	Efficienza	21	0,503	0,709
Cons r&s	Pop.	39	0,790	0,889
Cons r&s	PIL	30	0,919	0,959
Cons r&s	INV costr.	28	0,863	0,929
Cons r&s	Efficienza	21	0,258	0,508
Cons trasp.	Pop.	39	0,687	0,829
Cons trasp.	NV tot.	39	0,970	0,985
Cons trasp.	PIL	30	0,958	0,979
Cons trasp.	Efficienza	21	0,659	0,812
Cons ind.	INV ind. ss.	28	0,728	0,853
Cons ind.	Prod ind. ss.	20	0,791	0,899
Cons ind.	Efficienza	19	0,004	0,065

### 3.5 Regressione lineare multipla

Una volta scelte le variabili indipendenti per ogni settore per poter procedere nell'analisi bisogna effettuare una regressione lineare multipla. In statistica la regressione lineare rappresenta un metodo di stima di una variabile dipendente, in questo caso i consumi, dati i valori di altre variabili indipendenti. Effettuando un regressione multipla lineare si impone un legame del tipo:

$$Cons = a \cdot Var_{economica} + b \cdot Var_{sociale} + c \cdot Var_{demografica} + d \cdot Var_{tecnologica}; \quad (3.21)$$

in cui attraverso il metodo dei minimi quadrati si ottengono i valori dei coefficienti di regressione  $a, b, c, d$ . Un generale problema di regressione lineare multipla può essere espresso nella forma seguente:

$$y = a + b \cdot var_1 + c \cdot var_2 + \dots + k \cdot var_k + u; \quad (3.22)$$

in cui si hanno  $k$  regressori e  $n$  osservazioni, nel caso in esame  $n$  sarà pari al numero di anni in cui sono disponibili i dati relativi ai bilanci energetici e/o alle variabili indipendenti e  $k$  il numero delle variabili indipendenti che cambierà a seconda del settore;  $u$  è l'errore statistico.

### 3.5.1 Insiemi Eteroschedastici

In statistica, un insieme di variabili casuali è detto eteroschedastico se vi sono sotto-popolazioni che hanno variabilità differenti rispetto ad altri. Il termine variabilità può essere quantificato come la varianza o qualsiasi altra misura di dispersione statistica. La possibile esistenza di eteroschedasticità è una preoccupazione importante per l'applicazione dell'analisi di regressione, poiché la sua presenza potrebbe invalidare i test statistici di significatività. Questi test assumono che gli errori di modellazione non siano correlati e normalmente distribuiti e che le loro varianze non varino con gli effetti da modellare. Nel caso in esame potrebbe accadere che le varianze delle serie di variabili indipendenti abbiano qualità eteroschedastiche, per eliminare il problema occorre applicare l'operatore logaritmo decimale a tutte le serie di dati, sia ai consumi di energia sia a tutte le variabili indipendenti. Questo procedimento è indicato numerose applicazioni in letteratura [51] [31]. L'equazione (3.22) si trasforma in:

$$\log y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log var_1 + \beta_2 \cdot \log var_2 + \dots + \beta_k \cdot \log var_k + \epsilon. \quad (3.23)$$

Volendo esprimere la variabile indipendente si ha che:

$$\log y = \log (10^{\beta_0} \cdot var_1^{\beta_1} \cdot var_2^{\beta_2} \cdot \dots \cdot 10^\epsilon) \quad (3.24)$$

$$y = (10^{\beta_0} \cdot var_1^{\beta_1} \cdot var_2^{\beta_2} \cdot \dots \cdot 10^\epsilon) \quad (3.25)$$

Anche applicando il logaritmo a tutti i valori delle serie il risultato della regressione non cambierà. Se si inseriscono al posto dei dati presi tal quali i loro logaritmi ciò che viene modificato non è la qualità delle regressioni ma l'interpretazione dei parametri  $\beta_i$ :

- introducendo i valori tal quali si ha che un incremento unitario della variabile indipendente provoca un incremento lineare della variabile dipendente,
- introducendo il logaritmo decimale dei valori si deve ragionare in termini percentuali; ovvero, se la variabile indipendente subisce un incremento unitario, la variabile dipendente subirà una variazione percentuale.

## 3.6 I risultati della regressione

Vengono analizzati di seguito quegli indici che permettono di studiare la correttezza e la bontà della regressione, gli indici presentati sono quelli che compaiono nel software utilizzato. *Essential Regression and Experimental Design for Chemist and Engineers* è un tipo di software che utilizza la piattaforma Microsoft Office come componente aggiuntivo per permettere l'analisi statistica sperimentale dei dati attraverso la regressione multipla di tipo lineare o polinomiale. L'utente ha la possibilità di utilizzare questo modulo continuando a lavorare con Excel, senza dunque dover prendere domestichezza con un programma totalmente sconosciuto, in più c'è il vantaggio di ottenere risultati stampati direttamente su un foglio di calcolo e dunque resi immediatamente disponibili per nuove elaborazioni.

### 3.6.1 Indici relativi alla bontà della regressione

L'indice  $R^2$

Questo parametro rappresenta una misura della bontà dell'adattamento della regressione lineare stimata ai dati osservati. Per definire  $R$  occorre prima definire:

$$M_0 = I - \frac{U}{n}. \quad (3.26)$$

Dove  $I$  è la matrice identità,  $U$  è la matrice unità formata di soli 1 e  $n$  è il numero di osservazioni. La matrice  $M_0$  trasforma i vettori in scarti dalla propria media, è simmetrica e idempotente. Si può quindi definire  $R$  come:

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}' X' M_0 X \hat{\beta}}{y' M_0 y} = \frac{\hat{y}' X' M_0 X \hat{y}}{y' M_0 y} = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.27)$$

e anche:

$$R^2 = 1 - \frac{\hat{\epsilon}' \hat{\epsilon}}{y' M_0 y} \quad (3.28)$$

Solitamente la quantità al numeratore della Equazione (3.27) viene denominata ESS (Explained Sum of Squares), e la quantità al denominatore TSS (Total Sum of Squares). Il fattore  $R^2$ , data la (3.28), sarà un numero compreso tra 0 e 1; misura la frazione della variabilità delle osservazioni  $y_i$  che si è in grado di spiegare attraverso il modello lineare; non valuta se effettivamente sussista una relazione tra le  $y_i$  e i regressori, ma soltanto fino a che punto un modello lineare consenta di approssimare la realtà dei dati osservati. Un modello non lineare, ad esempio, potrebbe meglio rappresentare la relazione tra variabile dipendente e regressori, e presentare un buon potere esplicativo, anche in presenza di un  $R^2$  prossimo allo zero.

### L'indice $R^2$ corretto

È possibile dimostrare che aggiungere regressori al modello non può che incrementare il valore assunto dal parametro  $R^2$ . Al fine di correggere la misura di bontà del fitting indicata, in maniera da penalizzare un modello caratterizzato da  $k$  regressori, certi pacchetti statistici riportano un  $\bar{R}^2$  corretto, definito come:

$$R^2_{\text{corretto}} = 1 - \frac{(n-1)(1-R^2)}{n-k-1} \quad (3.29)$$

### L'indice $R^2$ di previsione

Deriva dal parametro PRESS (Predicted Residual Sums of Squares) presentato di seguito. Indica in maniera più diretta, infatti è un numero compreso tra zero e uno, quanto la regressione svolta sia adatta a fare delle previsioni. L'analisi pone l'accento sulla regressione nel complesso e non sulla singola significatività dei valori di  $\beta_i$  ricavati. Per esempio potrebbe accadere che i valori dei p-value dei singoli  $\beta_i$  non siano "buoni" (si è soliti considerarli accettabili al di sotto del 10%), ma nel contempo ottenere un  $R^2$  di previsione alto (lo si ponga del 90%); se lo scopo dello studio è simile a quello in esame, ovvero quello di effettuare una previsione, si può procedere all'analisi dei risultati senza migliorare, con opportune tecniche, i singoli valori di  $\beta_i$ .

### 3.6.2 Indici relativi alla significatività

Il livello di significatività di un test è dato solitamente da una verifica del test d'ipotesi. Nel caso più semplice è definita come la probabilità di accettare o rigettare l'ipotesi nulla. Un'ipotesi nulla è un'affermazione sulla distribuzione di probabilità di una o più variabili casuali, nel test statistico viene verificata in termini probabilistici la validità di un'ipotesi statistica. Attraverso una funzione dei dati campionari si decide se accettare l'ipotesi nulla o meno. Nel caso in esame si fa l'ipotesi che le variabili indipendenti seguano la distribuzione temporale dei consumi di energia nei vari settori. L'indice che esprime la significatività della regressione è  $F - signif$ . Più il suo valore è piccolo più la regressione conferma l'ipotesi che i regressori spieghino l'andamento dei consumi energetici.

### 3.6.3 Indici relativi alla multicollinearità

Si parla di multicollinearità allorché una o più colonne della matrice dei regressori sono prossime ad essere linearmente dipendenti. Questo ha due conseguenze di particolare rilievo nelle applicazioni:

- La significatività statistica dei singoli coefficienti ricavabili dalla regressione risulterà modesta; ciò porta a dire che gli intervalli di confidenza per i valori dei coefficienti saranno relativamente ampi e quindi,



se tali intervalli includono lo zero, non si può rifiutare l'ipotesi nulla che la variabile corrispondente non abbia alcun effetto sulla variabile dipendente.

- Il fitting della regressione risulta elevato (si osservano elevati valori dell'indice  $R^2$ ).

## II VIF

Un indicatore di multicollinearità spesso utilizzato nella pratica è il Variance Inflation Factor (fattore di inflazione della varianza), o VIF. Viene calcolato per ciascuna variabile del modello (spesso automaticamente da diversi software statistici), in base all'espressione:

$$VIF_i = \frac{1}{1 - R_i^2} \quad (3.30)$$

dove  $R_i^2$  è il coefficiente  $R^2$  di una regressione della colonna  $i$ -esima di  $X$  su tutti gli altri regressori (incluso il termine costante, se è presente). È possibile dimostrare che la varianza dell'elemento  $i$ -esimo del vettore delle stime  $\hat{\beta}$  è proporzionale al  $VIF$ ; dunque un  $VIF$  elevato comporterà una minore significatività del coefficiente ricavato, andando a ridurre il valore della statistica  $t$  di Student associata. Un  $VIF$  elevato è indice di dipendenza lineare tra la colonna  $i$ -esima e le restanti colonne della matrice delle variabili indipendenti, ossia è un indice di multicollinearità. Non esiste, tuttavia, un particolare valore soglia di questo parametro che determini inequivocabilmente la multicollinearità; sta alla sensibilità del ricercatore valutare, con l'ausilio dell'indicazione del VIF, se sussista o meno multicollinearità, nel qual caso è opportuno rimuovere il regressore  $i$ -esimo.

## Il p-value associato ai regressori

Questo indice valuta se l' $i$ -esimo regressore offra o meno informazioni aggiuntive rispetto a tutti gli altri regressori. Il test statistico che viene condotto (il risultato del quale è proprio il p-value) confronta l'ipotesi nulla in cui si hanno tutti i regressori tranne quello considerato contro l'ipotesi in cui sono presenti tutti i regressori. Più il valore del p-value è basso più sarà falsa l'ipotesi nulla, come valore discriminante per rifiutare l'ipotesi si è soliti considerare il 10%.

## II PRESS

Il PRESS (Predicted Residual Sums of Squares) viene utilizzato per fornire una misura sintetica del fitting di un modello in relazione ad un campione di osservazioni, nel caso in esame sempre i consumi di energia. Per poter calcolare il PRESS, si deve calcolare la somma dei quadrati dei residui di previsione per le osservazioni a disposizione. Solo dopo aver prodotto un modello adattato ovvero con un  $R^2$  alto è meglio procedere. Una per una le

osservazioni vengono rimosse ed in seguito, con i punti rimanenti, va calcolato un valore di predizione dell'osservazione eliminata. Il PRESS viene calcolato come la somma di tutte gli errori (differenze tra le osservazioni rimosse e le previsioni del modello) risultanti.

### 3.7 Conclusioni

Questo capitolo è stato strutturato attraverso la descrizione dei passi seguiti per costruire il modello di previsione dei consumi energetici. Inizialmente si è descritta la struttura del modello che si è voluta adottare, si è passati poi alla ipotesi e successivamente alla scelta delle variabili indipendenti da utilizzare. In conclusione è stato presentato il metodo con cui verranno effettuate le regressioni lineari multiple nel capitolo successivo ed il significato degli indici e dei risultati che da queste saranno generati. Si è a questo punto in possesso di tutti i dati necessari per calcolare ed analizzare i risultati finali del modello che verranno presentati di seguito. La strategia seguita all'interno del capitolo successivo è quella, in riferimento inizialmente al caso di validazione, di riportare inizialmente i risultati delle regressioni lineari di ogni settore con i valori degli indici descritti nell'ultima parte di questo capitolo; in seguito saranno analizzate le previsioni relative alle singole variabili di influenza ed in fine si passerà alla presentazione dei risultati finali del modello di previsione la cui accuratezza potrà essere confrontata con gli studi condotti da enti nazionali ed internazionali.

# Capitolo 4

## Validazione e taratura del modello: caso Italia

### 4.1 Risultati della regressione

La presentazione dei risultati ottenuti dalle regressioni multiple effettuate per i vari settori considerati, sempre in riferimento al caso di validazione riferito alla realtà nazionale, parte dalla Tabella 3.9 che riporta il riassunto del modello costruito con le variabili indipendenti utilizzate per caratterizzare i consumi dei vari settori. In seguito alle valutazioni espresse sulla regressione lineare multipla, soprattutto per quanto riguarda gli indici statistici ed il problema dell'eteroschedasticità, come anticipato nella sezione precedente, si è deciso di effettuare i calcoli delle regressioni non utilizzando semplicemente le variabili in questione bensì i loro logaritmi decimali. In sostanza si otterranno espressioni come quella generale rappresentata in (4.1).

$$\log Cons = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log Var_1 + \beta_2 \cdot \log Var_2 + \dots \quad (4.1)$$

Questa variazione di riferimento necessita una verifica delle valutazioni fatte in precedenza; infatti le correlazioni che servono ai fini dell'accuratezza del modello non sono quelle tra variabili indipendenti e consumi bensì tra i loro logaritmi in base dieci. La verifica di cui si necessita è costituita dalla Tabella 4.1 in cui, allo stesso modo fatto in precedenza per la scelta delle variabili, vengono riportati i parametri di correlazione (numero punti ed indici  $R^2$  e  $Corr$ ) tra il logaritmo dei consumi settoriali ed il logaritmo di ogni variabile di influenza ipotizzata.

Di seguito si riportano, a valle di una valutazione di tipo statistico sulla scelta delle migliori regressioni, i risultati ottenuti dalle regressioni multiple effettuate per i vari settori (si riportano i risultati della regressione completa ossia che include tutti i regressori scelti e di quella migliore nel senso che viene spiegato nell'analisi descritta di seguito) attraverso i parametri statistici di significatività ( $R^2$ ,  $R^2$  corretto,  $PRESS$  ed  $R^2$  per predizione) e di multicollinearità ( $p$ -value e  $VIF$ ) descritti nel capitolo precedente.

Tabella 4.1: Analisi di correlazione tra consumi settoriali e variabili di influenza espressi tramite logaritmi decimali, ITALIA

<b>y</b>	<b>x</b>	<b>p.ti</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>Corr.</b>
Cons agr.	NV agr.	39	0,873	0,934
Cons agr.	UL agr.	30	0,835	0,914
Cons agr.	INV agr.	28	0,856	0,925
Cons agr.	Efficienza	21	0,506	0,711
Cons r&s	Pop	39	0,790	0,889
Cons r&s	PIL	30	0,844	0,919
Cons r&s	INV costr.	28	0,901	0,949
Cons r&s	Efficienza	21	0,261	0,511
Cons trasp.	Pop.	39	0,699	0,836
Cons trasp.	NV tot	39	0,976	0,988
Cons trasp.	PIL	30	0,967	0,983
Cons trasp.	Efficienza	21	0,670	0,819
Cons ind.	INV ind. ss.	28	0,611	0,782
Cons ind.	Prod ind. no costr.	20	0,801	0,895
Cons ind.	Efficienza	19	0,004	0,062

#### 4.1.1 Analisi statistica del numero di regressori

Inizialmente i calcoli relativi alle regressioni multiple sono stati effettuati includendo tutti i regressori, ovvero le variabili indipendenti scelte per ogni settore, facenti parti del modello elaborato. Da una prima analisi dei risultati ottenuti agendo in questa maniera si è verificata per tutti i settori l'elevata accuratezza del modello in termini di previsione, denotata da elevati valori dell'indice  $R^2$  per previsione e da buoni risultati dei test di significatività. Si è in aggiunta notato il fatto per la maggior parte delle regressioni, sia in riferimento al caso Italia per la validazione sia in seguito per il caso Sardegna, gli indicatori *p-value* relativi ai singoli indici della regressione presentano valori elevati e statisticamente non accettabili. Il significato di questa annotazione risiede nel fatto che, pur essendo chiara la capacità di tutti i regressori considerati di spiegare efficacemente i consumi settoriali e quindi di prevederli, si riscontra una certa ridondanza tra alcuni di essi; capita dunque che alcune delle variabili considerate portino al modello la stessa informazione, utile ai fini dell'accuratezza del calcolo ma inutilmente ripetuta.

Alla luce di questa analisi si è deciso di attuare un tentativo di affinamento del modello ottimizzando le regressioni ed i parametri statistici da esse generate. Si è agito seguendo i seguenti passi, che vengono descritti riferendosi al singolo settore:

- Identificazione, attraverso l'analisi dei parametri statistici di significatività e multicollinearità (*p-value* dei regressori e VIF), dei regressori ridondanti;

- Ricalcolo dei parametri della regressione in seguito alla eliminazione di quelli valutati come ridondanti;
- Scelta della regressione multipla avente migliori prestazioni in termini di previsione e significatività ma anche in termini di assenza di multicollinearità tra i regressori utilizzati.

### 4.1.2 Settore agricolo

Dall'analisi dei parametri statistici della regressione si è stabilito che, per limitare gli effetti distorsivi che la multicollinearità esercita sui coefficienti  $\beta_i$ , il modello adottato per questo settore debba essere quello espresso nella formulazione di Equazione (4.2). Si presentano i risultati dei parametri significativi della regressione in Tabella 4.2.

$$\log Cons_{AGR} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log NV_{AGR} + \beta_2 \cdot \log Efficienza_{AGR} \quad (4.2)$$

Tabella 4.2: Risultati della regressione nel settore agricolo, Italia

	Completa		Migliore	
$R^2$	0,685		0,674	
$R^2$ corr.	0,601		0,635	
PRESS	0,008		0,005	
$R^2$ pred.	0,383		0,567	
	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>
$\beta_0$	0,06943		0,01831	
UL	0,606	9,583		
INV agr.	0,506	26,91		
NV agr.	0,05521	44,37	0,01566	17,88
Efficienza	0,167	20,53	0,192	17,88

### 4.1.3 Settore residenziale e dei servizi

Per quanto riguarda il settore residenziale e dei servizi l'analisi statistica relativa al numero dei regressori ed alla qualità della regressione lineare multipla da adoperare porta ad ottenere la relazione funzionale riportata in Equazione (4.3). Utilizzando questi regressori si ottengono i risultati dei parametri statistici della regressione presentati in Tabella 4.3.

$$\log Cons_{R\&S} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log Pop + \beta_2 \cdot \log INV_{costr} \quad (4.3)$$

Tabella 4.3: Risultati della regressione nel settore residenziale e dei servizi, Italia

	Completa		Migliore	
$R^2$	0,864		0,974	
$R^2$ corr.	0,828		0,971	
PRESS	0,008		0,007	
$R^2$ pred.	0,726		0,965	
	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>
$\beta_0$	0,141		0,05	
Pop.	0,15	2,71	0,04	2,13
PIL	0,233	10,81		
INV costr.	0,197	9,07	$1,2 \cdot 10^{-4}$	2,13
Efficienza	0,709	1,91		

#### 4.1.4 Settore trasporti

Anche nel caso del settore dei trasporti è stata condotta l'analisi descritta in precedenza sulla qualità statistica della regressione lineare; questo procedimento ha portato alla eliminazione di due dei quattro regressori inizialmente scelti per costituire il modello perchè valutati ridondanti rispetto alle informazioni fornite dagli altri parametri. In definitiva si è scelto di utilizzare l'espressione riportata in Equazione (4.4). I risultati ottenuti per i parametri statistici più importanti, le cui definizioni e descrizioni sono state presentate nel capitolo precedente, vengono riportati per il settore in questione in Tabella 4.4.

$$\log Const_{TRASP} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log Pop + \beta_2 \cdot \log NV_{TOT} \quad (4.4)$$

Tabella 4.4: Risultati della regressione nel settore dei trasporti, Italia

	Completa		Migliore	
$R^2$	0,993		0,974	
$R^2$ corr.	0,991		0,971	
PRESS	$6 \cdot 10^{-4}$		0,002	
$R^2$ pred.	0,986		0,965	
	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>
$\beta_0$	$1,76 \cdot 10^{-4}$		0,004	
Pop.	$8,78 \cdot 10^{-5}$	4,12	$1,5 \cdot 10^{-4}$	3,021
PIL	$2,87 \cdot 10^{-5}$	34,42		
NV	0,01349	43,11	$3,4 \cdot 10^{-13}$	3,021
Efficienza	0,135	3,715		

### 4.1.5 Settore industriale

L'ultimo settore analizzato è quello industriale per il quale erano stati inizialmente scelti tre parametri a comporre la struttura del modello; anche in questo caso l'analisi statistica relativa al numero dei regressori ha portato alla riduzione del numero di variabili utilizzate. Come si nota nella relazione funzionale riportata in Equazione (4.5) si è deciso di eliminare un regressore perchè ritenuto ridondante rispetto agli altri due. A questo punto è stato possibile effettuare la regressione lineare multipla che ha generato i risultati statistici riportati in Tabella 4.5 e confrontati con quelli prodotti dall'utilizzo di tutti i regressori.

$$\log Cons_{IND} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log INV_{INDSS} + \beta_2 \cdot \log Efficienza_{IND} \quad (4.5)$$

Tabella 4.5: Risultati della regressione nel settore industriale, Italia

	Completa		Migliore	
$R^2$	0,939		0,938	
$R^2$ corr.	0,296		0,929	
PRESS	0,001		0,001	
$R^2$ pred.	0,912		0,917	
	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>
$\beta_0$	$1,58 \cdot 10^{-3}$		$1,51 \cdot 10^{-5}$	
INV ind.	$2,49 \cdot 10^{-4}$	12,81	$1,9 \cdot 10^{-10}$	1,114
Prod. ind.	0,584	12,08	0,01566	
Efficienza	$2,77 \cdot 10^{-4}$	1,22	$1,64 \cdot 10^{-4}$	1,114

## 4.2 Previsione delle variabili indipendenti

A questo punto della costruzione del modello di previsione si attua la previsione delle singole variabili del modello; questo permette, avendo a disposizione le relazioni funzionali che legano le variabili indipendenti ai consumi energetici settoriali, di ricavare gli andamenti futuri dei consumi. La previsione è stata effettuata servendosi di una analisi specifica relativa agli andamenti storici delle singole variabili e assumendo che nel futuro non ci saranno stravolgimenti dovuti a fattori esterni che possano modificare sostanzialmente i trend verificabili storicamente.

Va precisato che per quanto riguarda le variabili di tipo tecnologico, ossia le efficienze che sono state calcolate con le modalità espresse nel capitolo precedente, le proiezioni sono state effettuate riferendosi agli andamenti storici dell'efficienza in generale e non dei singoli parametri che ne compongono la formulazione. Negli andamenti passati di tutte le variabili, in particolare di

quelle di tipo economico, è facile notare gli importanti effetti della crisi economica e finanziaria internazionale originatasi nel 2008, proprio in relazione a questa situazione si è scelto di attuare delle previsioni che contemplino due differenti scenari di sviluppo.

- **Scenario 1:** basato sull'ipotesi che sia stato superato il momento più critico della crisi e che gli anni futuri saranno caratterizzati da una ripresa dell'economia del Paese. Specificatamente in questo scenario si considera una forte risposta dell'economia italiana agli anni di recessione con una importante spinta di sviluppo che porterà ad una rapida ripresa. Si assume che nell'arco di pochi anni si possa tornare ai valori verificabili prima della crisi e che, una volta raggiunti questi livelli, lo sviluppo possa proseguire seguendo gli andamenti che si erano riscontrati prima dell'inizio della fase di recessione.
- **Scenario 2:** assume alla stessa maniera del primo che dopo la fase di crisi il comparto economico torni a migliorare le proprie prestazioni, ma in questo caso non si ipotizza un rapido ritorno ai livelli pre - crisi bensì una ripresa, dai livelli attuali, che segua lo stesso andamento verificabile negli anni precedenti al 2008.

La previsione delle singole variabili indipendenti viene presentata di seguito mantenendo la divisione nei settori in cui queste sono state scelte come regressori.

### 4.2.1 Settore Agricolo

Si riportano di seguito le previsioni per le variabili di influenza scelte a far parte del modello per la previsione dei consumi energetici del settore agricolo.

- *Numero di veicoli agricoli:* l'evoluzione calcolata viene rappresentata dapprima in Figura 4.1, per questa variabile si disponeva inizialmente di una serie storica relativa al periodo 1971 - 2002. Il calcolo è stato effettuato attuando una stima dell'evoluzione per gli anni dal 2003 al 2008; la stima è stata fatta servendosi di una seconda variabile ossia il numero totale di veicoli. L'assunzione su cui la stima si basa è che il rapporto tra veicoli agricoli e veicoli totali si conservi inalterato nel corso degli anni. L'ipotesi è stata verificata calcolando questo rapporto per il periodo per il quale si dispone dei dati, effettivamente i valori hanno delle oscillazioni molto ridotte che vanno dal 3,8% al 4,5%. Essendo accettabile l'ipotesi appena descritta la stima del numero di veicoli agricoli è stata fatta dapprima moltiplicando il valor medio del rapporto visto in precedenza (pari al 4,17%) per il numero di veicoli totali, i cui valori sono noti anche per il periodo 2003 - 2008. A valle della stima si è passati al calcolo dell'evoluzione futura della variabile in questione; dall'analisi dell'andamento rappresentato in Figura 4.1 delle prime due serie di punti e dalla considerazione che, al contrario delle



variabili economiche, gli effetti della crisi in questo caso abbiano un peso non eccessivo, si è ritenuta accettabile l'assunzione che il numero di veicoli agricoli si evolva seguendo un andamento lineare originato dalla retta che, secondo la formulazione ai minimi quadrati, approssima meglio la serie storica dei dati.

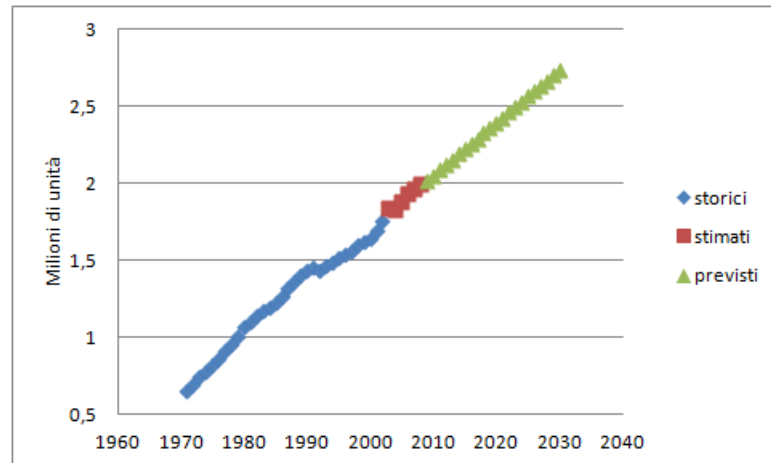


Figura 4.1: Serie storica e previsioni, numero di veicoli utilizzati nel settore agricolo in Italia, migliaia di unità. Fonte World Bank

- *Unità di lavoro totali in agricoltura:* in questo caso la serie di dati a disposizione copre il periodo che va dal 1980 al 2009 e come si evidenzia nella Figura 4.2 ha un andamento decrescente. Analizzando il trend della serie storica si è pensato che un andamento di tipo lineare non potesse ben rappresentare l'evoluzione futura perchè troppo penalizzante, arriverebbe infatti quasi ad annullare le unità di lavoro nel 2030; si è dunque optato per un andamento di tipo asintotico ben rappresentato da una funzione esponenziale.
- *Investimenti fissi lordi in agricoltura, silvicoltura e pesca:* essendo questa una variabile di tipo economico, il suo andamento viene influenzato in maniera importante dagli effetti della crisi economica come si vede chiaramente in Figura 4.3 per l'anno 2009. Risulta dunque lecito ed utile utilizzare l'analisi descritta in precedenza relativa al doppio scenario di sviluppo economico. Per quanto riguarda il primo scenario, che potrebbe essere definito ad alta crescita, si è assunta una rapida crescita che porta in tre anni (2010-2012) a tornare ai livelli antecedenti alla crisi (2008), a questo punto il trend torna a seguire linearmente l'andamento riscontrabile nel periodo antecedente, in particolare dal 1993 al 2003 prima dell'ultimo periodo di stallo. In riferimento invece al secondo scenario l'assunzione fatta è che a partire dall'anno 2010 venga ripreso l'andamento lineare medio del periodo 1993-2003 partendo da un livello pari a quello dell'anno precedente.

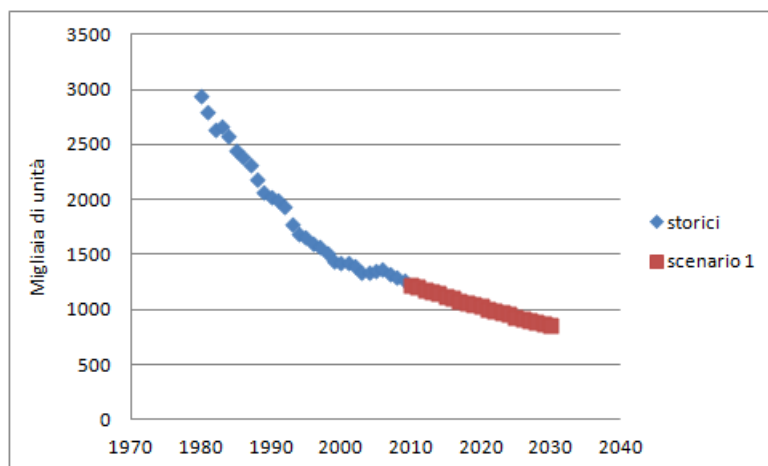


Figura 4.2: Serie storica e previsioni, unità di lavoro totali nel settore agricolo in Italia, media annua in migliaia. Fonte ISTAT

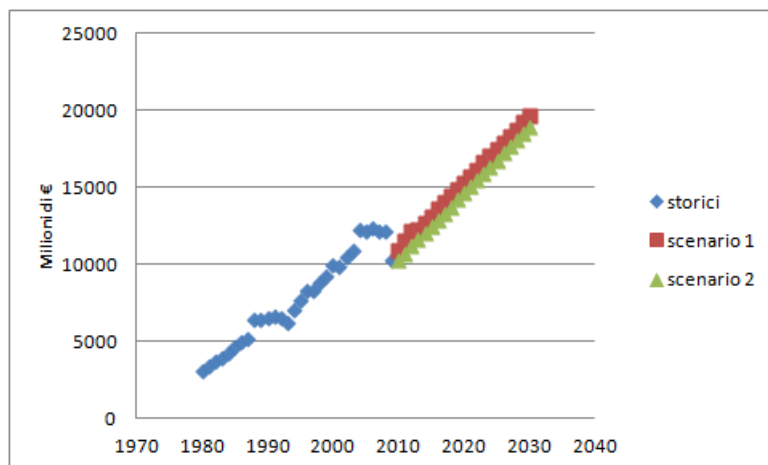


Figura 4.3: Serie storica e previsioni, investimenti fissi lordi in agricoltura, silvicoltura e pesca in Italia, milioni di euro in valori correnti. Fonte ISTAT

- *Efficienza media del settore agricolo*: per questa variabile i calcoli sono stati effettuati a partire dal 1988 e fino al 2008. Dall'andamento rappresentato dalla prima serie di punti in Figura 4.4 si nota che l'evoluzione di questa variabile segue un miglioramento facilmente approssimabile con una retta; per questa ragione si è deciso di attuare una previsione di tipo lineare servendosi della retta di tendenza che meglio approssima i valori della serie storica.

## 4.2.2 Settore residenziale e dei servizi

In questa sezione vengono presentate le modalità di calcolo ed i risultati relativi alla previsione della variabili di influenza scelte per costruire il modello di previsione dei consumi energetici del settore residenziale unito a quello

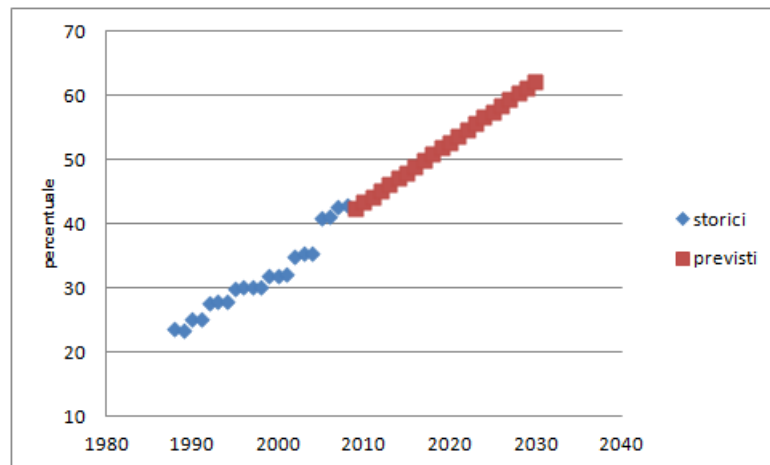


Figura 4.4: Serie storica e previsioni, efficienza media del settore agricolo. Elaborazione da fonte ISTAT, ENEA

dei servizi; ci si riferisce sempre alla Tabella 4.1 riassuntiva del modello di calcolo per ricordare le variabili scelte.

- *Popolazione residente ad inizio anno*: in questo caso, unico tra tutte le variabili scelte, si dispone già delle previsioni effettuate da ISTAT [52] sia per quanto riguarda il totale nazionale sia, come vedremo in seguito, per lo specifico caso sardo. Nella Figura 4.5 vengono rappresentati i risultati presi dallo studio dell'istituto nazionale.

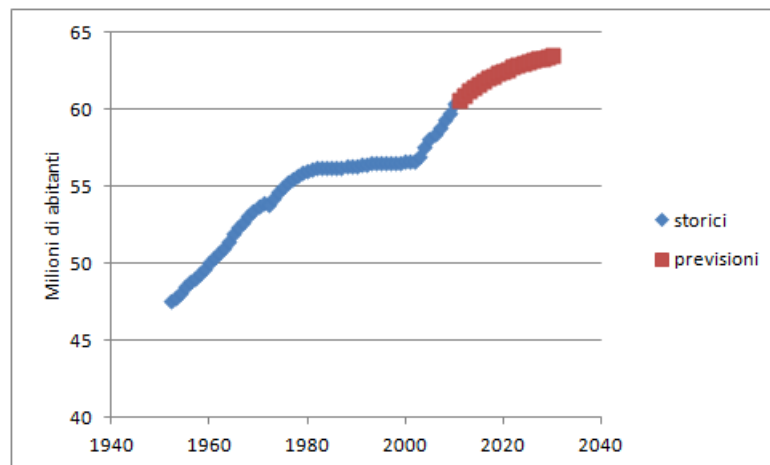


Figura 4.5: Serie storica e previsioni, popolazione residente ad inizio anno in Italia, milioni di unità. Fonte ISTAT Previsioni

- *Prodotto interno lordo ai prezzi di mercato*: in questo caso viene ripreso l'approccio descritto in precedenza per le variabili di tipo economico (seppur nel modello questa variabile costituisca il fattore sociale come spiegato in precedenza) ovvero quello del doppio scenario. Come si

evidenzia dalla Figura 4.6 il primo scenario, quello ad alta crescita contempla una rapida uscita dalla crisi economica con un ritorno già nel 2011 al livello registrato a monte della recessione (relativo al 2008); per gli anni successivi l'andamento seguito è quello lineare medio registrato durante il periodo al quale si riferiscono i dati storici reperiti (1980 - 2008). Il calcolo dell'andamento relativo al secondo scenario è stato invece condotto ponendo per il primo anno di previsione un livello pari a quello dell'anno precedente (il 2009 ultimo dato noto), e da qui si è assunta una ripresa graduale della crescita con andamento pari a quello lineare medio del periodo pre crisi noto dalla serie storica in analisi. Si nota chiaramente come, essendo per gli anni 2008 e 2009 l'effetto della crisi non ancora troppo marcato, i due scenari elaborati, a causa della loro stessa definizione, generino risultati molto vicini; si può dunque affermare che l'influenza del doppio scenario relativo a questa variabile avrà una scarsa influenza sui risultati finali.

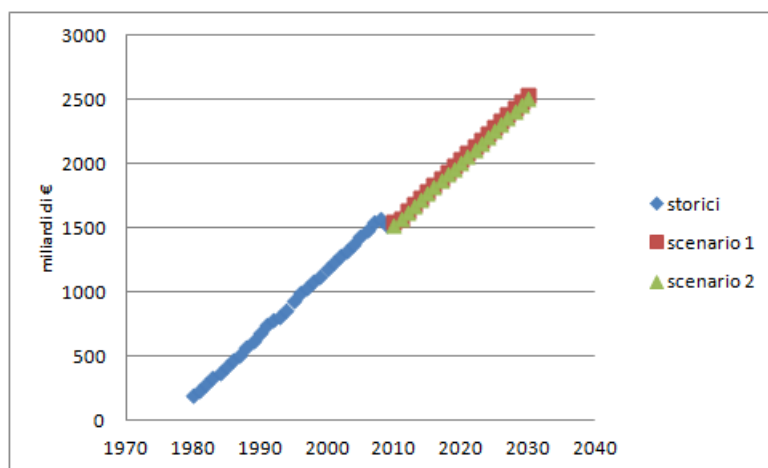


Figura 4.6: Serie storica e previsioni, prodotto interno lordo ai prezzi di mercato per l'Italia, miliardi di euro. Fonte ISTAT

- *Investimenti fissi lordi in costruzioni*: si parla anche in questo frangente di una variabile di tipo economico e dunque lo studio di previsione è stato effettuato considerando il doppio scenario di sviluppo economico. Per lo scenario ad alta crescita si è assunto un ritorno ai valori antecedenti la crisi nell'arco di tre anni (dal 2010 al 2012) ed in seguito l'andamento è stato calcolato seguendo la linea di tendenza approssimante il periodo precedente alla crisi in cui si è registrata una crescita costante e con una pendenza notevole (periodo 1994-2007) come appare evidente in Figura 4.7. La previsione con lo scenario a bassa crescita è stata fatta tenendo per il primo anno (2010) un valore costante rispetto al precedente, ed in seguito valutando una evoluzione originata dall'approssimazione lineare del trend seguito dai dati nel periodo di grande crescita che va dal 1994 al 2007.

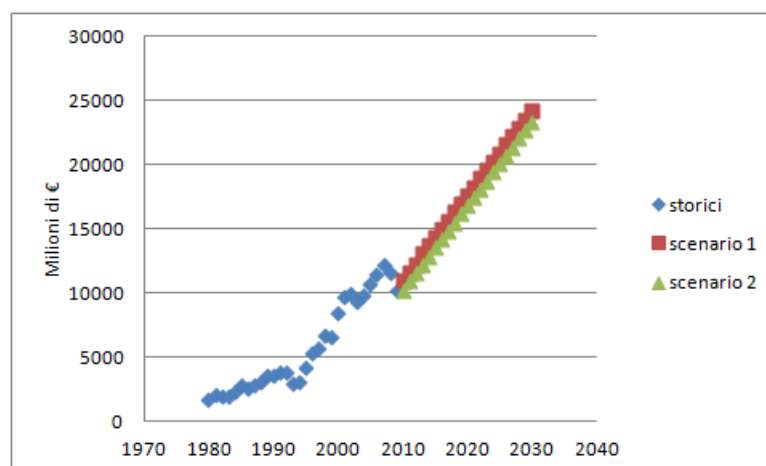


Figura 4.7: Serie storica e previsioni, investimenti fissi lordi in costruzioni per l'Italia, milioni di euro in valori correnti. Fonte ISTAT

- *Efficienza media del settore residenziale e dei servizi:* Appare evidente dall'analisi di Figura 4.8 come l'andamento della serie storica sia insolito se comparato alle altre efficienze settoriali, si nota infatti una riduzione e dunque un peggioramento dell'efficienza. Questa tendenza può sembrare poco plausibile soprattutto in relazione ai grandi sforzi ed alle forti campagne di sensibilizzazione fatte nell'ultimo periodo nell'ambito del risparmio energetico e nel miglioramento delle efficienze dei singoli apparecchi in maniera particolare in questo settore. La spiegazione che si può fornire non contrasta gli sforzi politici in atto e risiede nella definizione stessa dell'efficienza adottata in questo studio, presentata nella Equazione (3.18). Si nota che al numeratore sono presenti i consumi finali di energia elettrica e di combustibili fossili per il riscaldamento moltiplicati rispettivamente per il rendimento medio di generazione elettrica e per il rendimento medio di una caldaia tradizionale; la spiegazione della riduzione del valore dell'efficienza nel tempo risiede nel fatto che con il passare degli anni e con l'avanzamento tecnologico la frazione di consumi di energia elettrica è andata via via crescendo a scapito di quella relativa ai combustibili fossili. Il calo della curva in Figura 4.8 è dovuto al fatto che il peso del primo termine del numeratore è diventato maggiore, ma il rendimento medio di generazione elettrica è chiaramente inferiore a quello di una caldaia che brucia un carburante fossile per produrre calore. In conclusione possiamo affermare che questa diminuzione di efficienza tiene comunque presente lo sviluppo tecnologico dovuto all'utilizzo domestico e non solo di apparecchi elettrici che sfruttano molto meglio l'energia rispetto ad i vecchi utilizzatori come le caldaie. Solo in seguito a queste valutazioni può essere presentata la scelta del metodo di previsione adottato per questa variabile. Si è deciso di prevedere un andamento costante perchè è stato assunto che in futuro la tendenza allo spostamento verso il mag-

gior utilizzo di elettricità sarà mantenuta, fatto questo che tenderebbe a far peggiorare l'efficienza, ma dall'altro lato ci sarà un continuo miglioramento dei rendimenti di generazione dell'elettricità che andranno ad equilibrare dunque l'effetto descritto in precedenza.

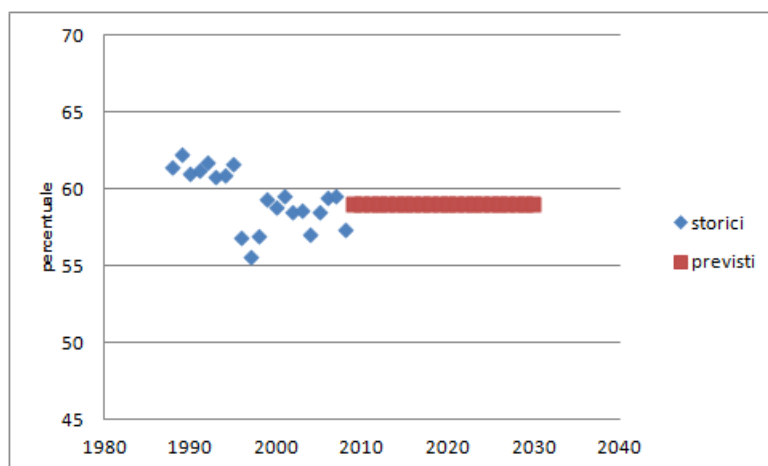


Figura 4.8: Serie storica e previsioni, efficienza media del settore residenziale e dei servizi. Elaborazione da fonte ISTAT, ENEA

### 4.2.3 Settore trasporti

Per quel che riguarda il settore dei trasporti sono state scelte quattro variabili per comporre il modello di previsione del consumo di energia; le prime due sono già state analizzate nella sezione relativa al settore residenziale e dei servizi.

- *Popolazione residente ad inizio anno*
- *Prodotto interno lordo ai prezzi di mercato*
- *Numero di veicoli a motore che ha pagato la tassa automobilistica*: variabile identificata come il fattore sociale settoriale; dalla Figura 4.9 è chiaro come l'evoluzione di questa variabile abbia seguito nel corso degli anni un andamento che molto ben si presta ad essere approssimato con una retta; va detto inoltre che non compaiono nei dati in possesso effetti evidenti della crisi economica originatasi, almeno per le altre variabili analizzate, a partire dal 2008. Alla luce di queste considerazioni si è deciso di attuare una previsione di tipo lineare che seguisse l'andamento descritto dalla retta di interpolazione ai minimi quadrati dei dati della serie storica.
- *Efficienza media del settore dei trasporti*: in questo caso l'andamento della serie storica è molto meno regolare rispetto a quello visto in precedenza con la presenza di alcuni periodi di stallo e di alcuni salti come

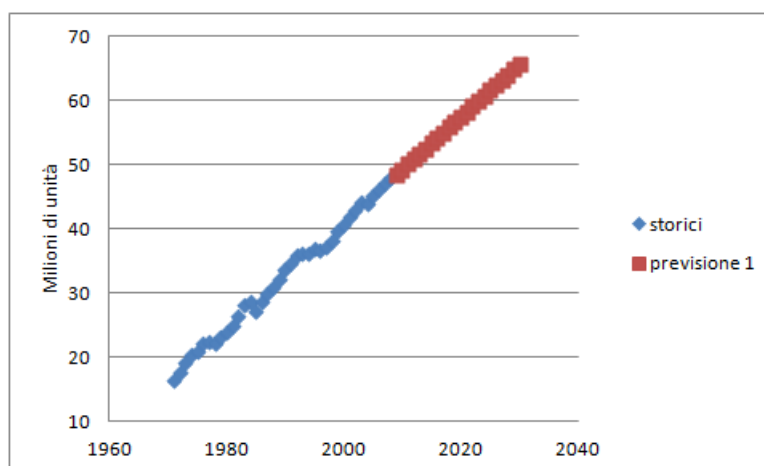


Figura 4.9: Serie storica e previsioni, numero di veicoli a motore che ha pagato la tassa automobilistica in Italia, milioni di unità. Fonte ACI

si può notare dalla Figura 4.10. La metodologia di previsione adottata resta tuttavia la stessa, ossia l'utilizzo di un andamento lineare secondo la retta di interpolazione dei dati storici, perchè si è pensato alla possibilità concreta che l'efficienza di trasformazione dei motori dei mezzi di trasporto in generale possa seguire un miglioramento continuo spinto soprattutto dalla grande sensibilità dimostrata soprattutto negli ultimi anni nei confronti del tema del risparmio energetico e della sostenibilità ambientale.

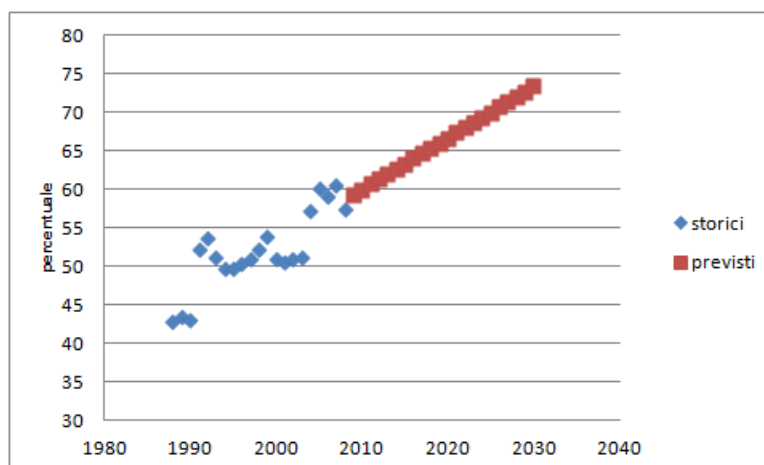


Figura 4.10: Serie storica e previsioni, efficienza media del settore dei trasporti. Elaborazioni da fonte ENEA, ISTAT

#### 4.2.4 Settore industriale

Per quanto riguarda il settore industriale, come visto in precedenza nella costruzione del modello, le variabili scelte per prevedere i consumi sono tre.

- *Investimenti fissi lordi nell'industria in senso stretto*: come tutte le variabili di tipo economico anche in questo caso è stata adottata la previsione secondo due scenari, lo scenario ad alta crescita contempla che nell'arco di tre anni ci sia una forte ripresa che riporti ai valori precedenti la crisi (2007) e che nel periodo successivo si riprenda l'andamento definito dalla retta di interpolazione relativa a tutti gli anni precedenti noti dalla serie storica crisi esclusa (1980-2007). Il secondo scenario elaborato, quello di bassa crescita, è stato invece costruito in modo che, partendo per il 2010 dallo stesso livello dell'anno precedente, i valori futuri si evolvano seguendo quello che era stato l'andamento precedente alla crisi; seguendo dunque la retta di tendenza relativa al periodo 1980-2007.

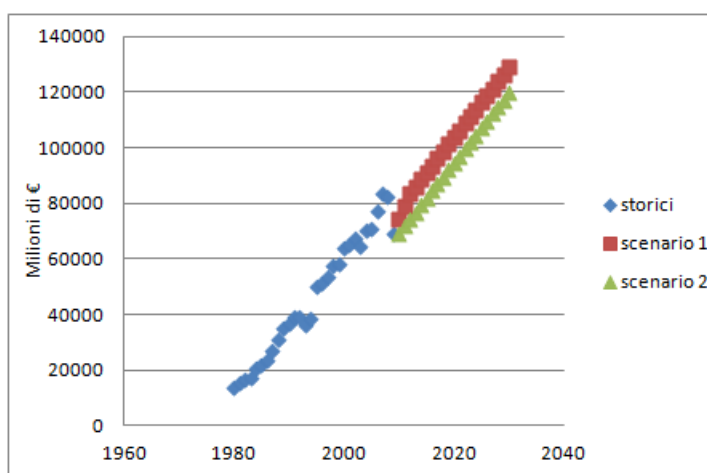


Figura 4.11: Serie storica e previsioni, investimenti fissi lordi nell'industria in senso stretto in Italia, milioni di euro in valori correnti. Fonte ISTAT

- *Indice di produzione industriale*: pur essendo utilizzato nel modello elaborato come fattore sociale resta pur sempre un regressore ottenuto da una variabile di tipo economico. In ragione di queste caratteristiche la previsione futura viene effettuata seguendo l'approccio del doppio scenario di crescita. Si nota dalla Figura 4.12 un andamento particolare che risente in maniera molto forte degli effetti della crisi economica con un calo importante negli anni 2008 e 2009; c'è tuttavia da evidenziare che in questo caso si dispone anche del dato relativo all'anno 2010 che si pone ad un livello superiore rispetto al precedente evidenziando così il verificarsi di una ripresa economica che valida anche le metodologie di previsione adottate per le altre variabili. Per questo regressore, a causa del crollo durante il periodo di crisi, gli andamenti dei due scenari risultano fortemente differenti; infatti l'ipotesi fatta per lo scenario ad alta crescita di un ritorno al 2013 ai livelli pre - crisi determina per questo periodo una crescita con una pendenza molto importante. Per gli anni successivi l'andamento utilizzato è quello lineare che approssima meglio l'insieme dei dati noti relativi al periodo precedente



alla regressione. Nello scenario a bassa crescita questo andamento lineare viene assunto caratterizzare invece tutto il periodo di previsione, a partire dunque dall'anno 2011.

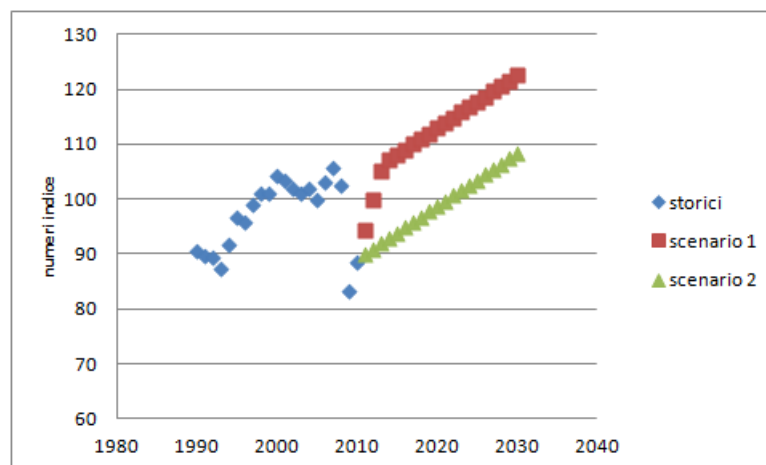


Figura 4.12: Serie storica e previsioni, indice della produzione industriale per l'Italia, numeri indice. Fonte ISTAT

- *Efficienza media dell'industria:* i valori storici e previsti sono riportati in Figura 4.13. Va sottolineato che per quanto riguarda l'evoluzione passata di questa variabile si nota un andamento circa costante o comunque con variazioni di scarso rilievo nel primo periodo mentre negli ultimi anni, orientativamente dal 2003 si è assistiti ad un importante miglioramento dell'efficienza con una crescita con pendenza molto importante. Il ragionamento seguito per la previsione futura è stato quello che un trend di crescita così forte non può conservarsi per un periodo troppo lungo e che le migliorie tecnologiche nei processi industriali tendano a raggiungere un certo livello di saturazione. Queste valutazioni sono supportate anche dal fatto che negli ultimissimi anni il trend, seppure ancora fortemente crescente, ha diminuito la sua pendenza andando ad assecondare l'andamento futuro ipotizzato; va detto in conclusione che stimare una variabile come l'efficienza in una maniera come questa, cioè ipotizzando una crescita inferiore a quella suggerita dai dati, porta a delle valutazioni conservative, preferibili in un modello di previsione della domanda rispetto ad altre troppo ottimistiche che possono portare alla descrizione di scenari sbagliati.

### 4.3 Analisi dei risultati della previsione

In questa sezione vengono presentati i risultati finali del modello di previsione dei consumi di energia dei singoli settori per quanto riguarda il caso Italia utilizzato per la validazione. A questo punto si è arrivati seguendo il percorso che viene di seguito ricordato a scopo esplicativo:

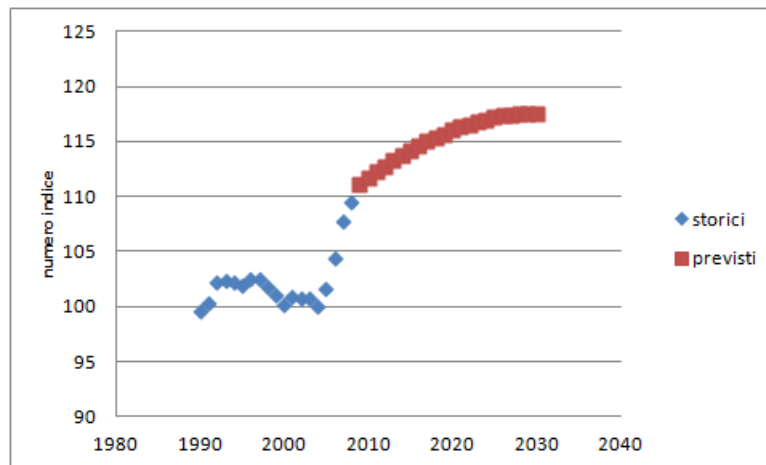


Figura 4.13: Serie storica e previsioni, efficienza media del settore industriale.  
Fonte ODYSSEE - MURE

- Scelta della forma funzionale e del livello di disaggregazione;
- Ipotesi delle possibili variabili di influenza per ciascun settore, seguendo lo schema dei fattori economico, sociale, demografico e tecnologico;
- Studio delle correlazioni tra variabili ipotizzate e consumi settoriali e scelta delle variabili da includere nel modello;
- Calcolo della relazione funzionale su cui basare il modello attraverso una regressione lineare multipla basata sui dati storici;
- Previsione delle singole variabili indipendenti utilizzate nel modello.

Si è dunque in possesso delle relazioni funzionali che legano i consumi di ciascun settore alle proprie variabili di influenza e si conoscono gli andamenti futuri di ciascuna di queste variabili; sarà possibile calcolare gli andamenti futuri dei consumi settoriali.

Va sottolineato il fatto che il metodo di previsione utilizzato per i singoli regressori, che prende in considerazione un doppio scenario alternativo, si ripercuoterà chiaramente anche sui risultati finali che stanno per essere presentati; in sostanza la previsione dei consumi di energia per ciascun settore è stata ottenuta considerando due differenti scenari di crescita.

### 4.3.1 Settore agricolo

Dal processo di costruzione del modello sono state scelte inizialmente quattro variabili per prevedere i consumi finali di questo settore, come si può vedere nella Tabella 4.1 riassuntiva; in seguito all'analisi sulla regressione migliore in termini di previsione e di assenza di correlazione tra le variabili indipendenti scelte si è optato per l'utilizzo di sole due variabili. Il risultato finale ottenuto si traduce nella Equazione 4.6, servendosi in seguito dei calcoli di previsione

per i singoli regressori utilizzando dunque i due scenari di crescita descritti in precedenza, si arriva ad ottenere i risultati di previsione rappresentati in Figura 4.14.

$$\log Cons_{AGR} = -4,315 + 0,842 \cdot \log NV_{AGR} - 0,276 \cdot \log Efficienza_{AGR} \quad (4.6)$$

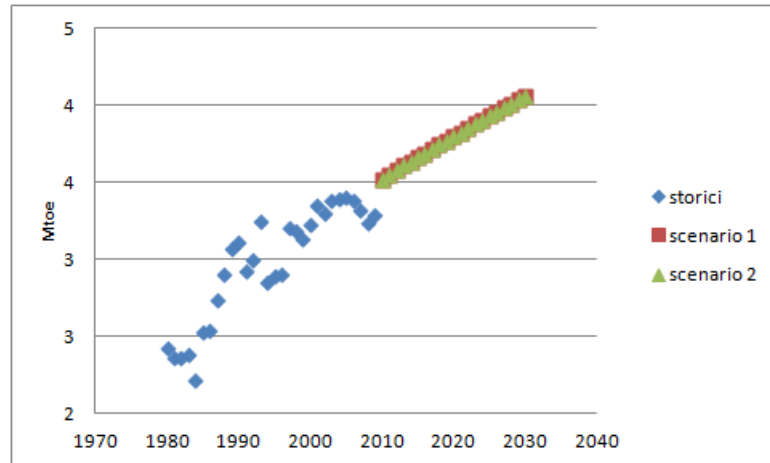


Figura 4.14: Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore agricolo in Italia, milioni di tonnellate equivalenti di petrolio.

In questo caso non c'è alcuna differenza tra i due scenari di crescita perché la regressione migliore esclude le variabili economiche, uniche nei cui andamenti è chiaramente riscontrabile l'effetto della crisi ed uniche dunque per le quali la previsione è stata effettuata utilizzando i due scenari. Quello che si nota dall'analisi della Figura 4.14 è che l'andamento previsto per gli anni futuri è sostanzialmente di tipo lineare e presenta una pendenza inferiore rispetto a quella dei dati storici se si esclude il periodo influenzato dalla recessione economica che ha fatto abbassare i consumi negli ultimi anni. La spinta di crescita relativamente forte registrata negli anni ottanta e novanta, con un aumento del 15% tra 1985 e 1995, è andata via via esaurendosi agli inizi degli anni duemila con un andamento tendenzialmente piatto dal 2002 che si è trasformato in un calo sia dovuto ad una crisi del settore sia alla crisi economica internazionale. Per quanto riguarda il periodo futuro si prevede una crescita costante ma con andamento poco pendente, l'aumento percentuale valutato tra il 2010 ed il 2020 si attesta infatti attorno al 8%.

### Settore residenziale e dei servizi

Anche nello studio di questo settore, come accade negli altri, si è valutata la migliore regressione, ossia quella che massimizza le qualità di previsione e minimizza la ridondanza dei regressori; si ottiene l'espressione finale di Equazione 4.9, che considera dunque solo due delle quattro variabili di influenza inizialmente scelte per comporre il modello.

$$\log Cons_{R\&S} = -15,24 + 2,112 \cdot \log Pop + 0,121 \cdot \log INV_{costr} \quad (4.7)$$

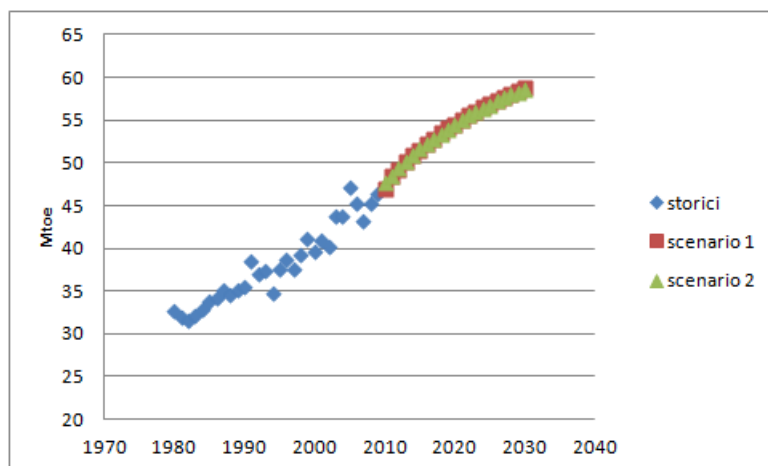


Figura 4.15: Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore residenziale e dei servizi in Italia, milioni di tonnellate equivalenti di petrolio.

Utilizzando questa espressione funzionale e servendosi delle previsioni future delle due variabili indipendenti è stato possibile ottenere i risultati rappresentati in Figura 4.15 relativi alle previsioni dei consumi finali dell'insieme dei settori residenziale e dei servizi. A differenza di quello che si nota negli andamenti storici degli altri settori, in questo caso non si riscontrano effetti evidenti della crisi economica, non c'è in sostanza un andamento decrescente a partire dal 2008. Al contrario negli ultimi anni coperti dai dati storici l'andamento è crescente ed in maniera abbastanza marcata (aumento del 7,4% dal 2007 al 2009), mentre negli anni immediatamente precedenti è stato riscontrata una contrazione dei consumi (pari al 8,9% in tre anni). Riferendosi al quadro generale dei dati storici in possesso si può comunque affermare che il trend dei consumi di questo settore è sempre stato mediamente in aumento a partire dai primi anni ottanta, con una percentuale media annuale di crescita del 1,7%. Per quanto riguarda le previsioni calcolate si nota come i risultati dei due scenari non si discostino molto l'uno dall'altro, in entrambi i casi si registrano andamenti crescenti che seguono una curva con concavità verso il basso destinata dunque a raggiungere un asintoto. Per quanto riguarda le differenze tra i due scenari si osserva che nonostante quello ad alta crescita parta da un valore inferiore, nel corso degli anni superi la curva del secondo scenario; ciò avviene a causa della differente pendenza che, considerando il periodo 2010-2020, equivale rispettivamente ad una percentuale media di crescita annua pari al 1,61% ed al 1,59%.

### 4.3.2 Settore trasporti

Anche per questo settore si riporta in Equazione 4.8 l'espressione ottenuta dalla migliore regressione calcolata in cui sono state escluse due delle quattro variabili indipendenti inizialmente scelte per comporre il modello. In questo caso, come avviene per il settore agricolo, i regressori che compongono la

formulazione ottenuta non sono variabili di tipo economico e dunque non sono state previste utilizzando l'approccio con il doppio scenario; il risultato di questa scelta è che per la previsione dei consumi finali del settore dei trasporti non c'è alcuna differenza tra i due scenari elaborati.

$$\log Const_{TRASP} = 10,9 - 2,23 \cdot \log Pop + 1,05 \cdot \log NVi_{TOT} \quad (4.8)$$

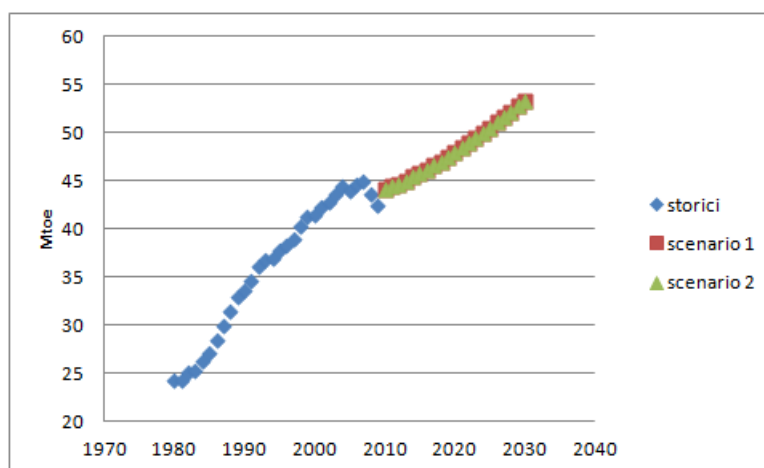


Figura 4.16: Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore trasporti in Italia, milioni di tonnellate equivalenti di petrolio.

In Figura 4.16 sono presentati gli andamenti storici e previsti dei consumi finali italiani del settore dei trasporti; si nota che storicamente non ci sono state grosse variazioni o instabilità ed il trend si è dimostrato essere sempre crescente con una pendenza poco variabile e mediamente pari alla crescita percentuale del 3,13% annuo. Si nota come a partire dal 2007 ci sia una diminuzione dei consumi a causa della solita influenza della crisi economica riscontrata anche negli altri settori. Per quanto riguarda i valori previsti si valuta un andamento che continua ad essere crescente come quello medio generale della serie storica ma con una pendenza inizialmente inferiore a testimoniare una graduale ripresa dopo il periodo di recessione; la pendenza è comunque crescente con il passare degli anni come si evince dalla concavità della curva che è rivolta verso l'alto. La pendenza media del periodo 2010-2020 è data da una percentuale media annua di crescita dello 0,88%.

### 4.3.3 Settore industriale

Si riporta inizialmente con Equazione 4.9, a scopo riepilogativo, l'espressione della funzione valutata attraverso la migliore regressione lineare multipla con i valori dei singoli coefficienti, che include in questo caso due delle tre variabili inizialmente ipotizzate per comporre il modello. In Figura 4.17 invece sono rappresentati i risultati finali dell'analisi relativa al settore industriale con gli andamenti storici dei consumi e le previsioni effettuate secondo i due scenari

elaborati.

$$\log Cons_{IND} = 2,78 + 0,232 \cdot \log INV_{INDSS} - 1,145 \cdot \log Efficienza_{IND} \quad (4.9)$$

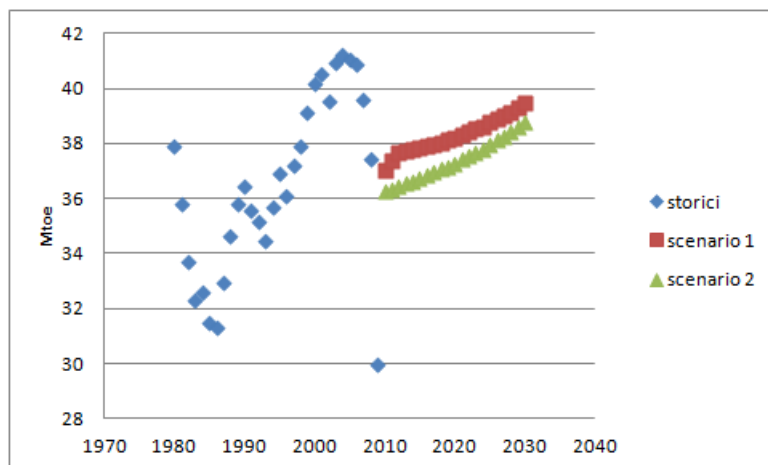


Figura 4.17: Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore industriale in Italia, milioni di tonnellate equivalenti di petrolio.

L'evoluzione storica dei consumi industriali subisce diverse variazioni di andamento nel corso degli anni: dopo un calo abbastanza evidente nella prima metà degli anni ottanta si ha un forte sviluppo con un aumento del 16% in cinque anni (86-90). Durante gli anni novanta si nota ancora un periodo di crisi iniziale e poi un deciso sviluppo con una crescita media annuale del 1,78% che continua fino alla metà degli anni duemila. Si registra infine, così come accade su scala ridotta per il settore agricolo, una fase di stallo con consumi circa costanti per poi precipitare negli ultimi anni in seguito alla crisi economica i cui effetti nel settore industriale sono stati molto pesanti, basti pensare che il calo dei consumi dal 2006 al 2009 è stato di una percentuale pari al 36,5%. Per quanto riguarda invece il periodo a cui si riferiscono i valori previsti si evidenzia per entrambi gli scenari un andamento crescente che presuppone una ripresa dopo la crisi economica; gli andamenti sono in tutti e due i casi con pendenze molto basse, soprattutto se confrontate al periodo di crescita 1993-2004, si parla infatti di aumenti medi annui rispettivamente dello 0,32% per lo scenario ad alta crescita e dello 0,29% per quello a bassa crescita. Questa lenta ripresa porta, come appare chiaramente in Figura 4.17, a raggiungere livelli di consumi per l'anno 2020 che restano comunque inferiori a quelli registrati a monte della recessione iniziata nel 2008.

#### 4.3.4 Consumi finali totali

Per concludere la presentazione dei risultati ottenuti dall'elaborazione del modello di previsione, si riporta in Figura 4.18 l'andamento dei consumi finali italiani calcolati come somma delle quantità relative ai quattro settori

considerati. Va evidenziato, per quanto riguarda i dati storici, come l'andamento dei consumi finali sia stato mediamente crescente per tutto il periodo a cui si riferisce la serie, se si escludono i due estremi; per il periodo che va dal 1983 al 2005 si registra una crescita media annua del 2,15%. Chiaro ed importante risulta essere l'effetto negativo della crisi economica che determina un forte calo dei consumi pari al 7,3% in soli due anni.

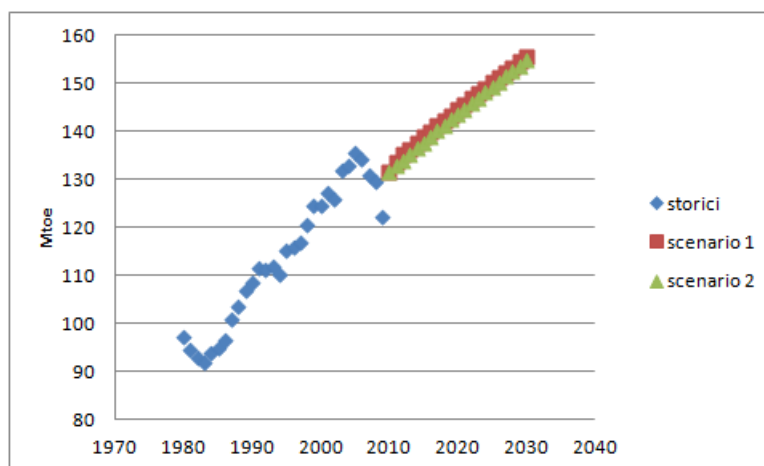


Figura 4.18: Serie storica e previsioni, consumi finali totali di energia primaria in Italia, milioni di tonnellate equivalenti di petrolio.

Per quanto riguarda il periodo a cui si riferiscono le previsioni ottenute attraverso il modello fin qui elaborato, si nota un andamento che per entrambi gli scenari risulta essere crescente e facilmente assimilabile ad una retta. In entrambi i casi si ha una pendenza circa costante ma inferiore a quella del periodo 1983-2005, la crescita media percentuale annua riferita agli anni dal 2010 al 2020 risulta essere dello 0,98% per lo scenario ad alta crescita e dello 0,91% per quello a bassa crescita. Risulta evidente che l'elaborazione dei due scenari ha portato, alla fine del processo e considerando l'insieme di tutti i settori, ad avere due curve i cui andamenti sono molto simili ed i cui valori sono molto prossimi; si può affermare in definitiva che, considerando le ipotesi e le approssimazioni fatte, la differenza tra i due scenari possa essere considerata trascurabile.

## 4.4 Validazione del modello di previsione

In questa sezione ci si propone di analizzare criticamente il modello elaborato e di testarne la validità attraverso un confronto con simili elaborazioni effettuate da enti nazionali ed internazionali del campo dell'energia. In precedenza è stata descritta la procedura con cui il modello è stato costruito: la disaggregazione in settori, la scelta della forma funzionale, l'ipotesi delle possibili variabili di influenza, la scelta delle variabili attraverso l'analisi della correlazione. Sono stati infine presentati i risultati ottenuti attraverso l'utilizzo delle regressioni lineari multiple e gli studi di previsione relativi alle

single variabili indipendenti che hanno portato a definire l'andamento futuro previsto dei consumi finali di energia in Italia.

Si può affermare che il modello elaborato si basa su analisi di scenario di tipo tendenziale, in cui cioè viene ipotizzata una evoluzione futura delle varie variabili di influenza basata sugli andamenti registrati nelle serie storiche, ipotizzando una ripresa rapida dal periodo di recessione economica iniziato nel 2008. Non sono previsti in questo modello scenari di sviluppo particolari come quelli considerati in molte ipotesi a lungo termine elaborate da enti internazionali che considerano la pesante influenza futura di politiche energetiche tese al miglioramento dell'efficienza energetica ed alla riduzione delle emissioni di inquinanti. In sostanza si assume uno sviluppo economico che segua tendenzialmente l'andamento registrato nel periodo precedente la crisi ed un quadro geopolitico che si mantenga circa costante senza mutazioni strutturali importanti durante il periodo di previsione.

Descritta la natura e dunque la collocazione del modello elaborato all'interno di un quadro di metodologie di previsione molto elaborato, è ora possibile valutare la bontà della previsione effettuata in questo studio attraverso dei confronti. Si è deciso di attuare una validazione ad un doppio livello, ci si riferirà inizialmente alla struttura data al modello, ovvero la disaggregazione per settori ed il tipo di variabili di influenza utilizzate; in seguito ci si riferirà direttamente ai risultati finali ottenuti per i consumi di energia primaria in Italia.

Per quanto riguarda l'architettura del modello il confronto è attuato rispetto alle valutazioni effettuate all'interno del progetto *ODYSSEE MURE* [53], si tratta di uno studio internazionale a cui partecipano tutte le agenzie energetiche dei vari Stati europei (ENEA per l'Italia) sotto il coordinamento della *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie* francese. La finalità di questo progetto è la definizione di indicatori atti a descrivere l'evoluzione dell'efficienza energetica di ciascun settore per fornire uno strumento su cui i governi possano impostare politiche energetiche virtuose. Per arrivare al calcolo degli indicatori di efficienza energetica viene effettuata una approfondita analisi dei consumi energetici disaggregati per settore attraverso la scelta dei fattori esogeni che ne influenzino l'andamento. Si riporta in Figura 4.19 un riassunto delle variabili scelte per analizzare i settori il cui confronto con la Tabella 4.1, riassuntiva della struttura del modello elaborato in questo studio, evidenzia come siano state attuate valutazioni dello stesso tipo in relazione alla natura delle variabili scelte per spiegare l'evoluzione e le dipendenze dei consumi energetici finali settoriali.

Il secondo livello al quale ci si propone di validare il modello di previsione elaborato è un livello quantitativo, quello cioè dei risultati veri e propri ottenuti per quanto riguarda i consumi finali della realtà italiana. A questo scopo si è scelto come termine di confronto lo studio di previsione effettuato da ENEA all'interno del Rapporto Energia e Ambiente 2009 [54]. Si riportano in Figura 4.20 le previsioni dei consumi finali italiani ottenute in questo studio, si nota la presenza di differenti scenari, due di tipo tendenziale e due



	MACRO	INDUSTRY	TRANSPORT	RESIDENTIAL	SERVICES/ AGRICULTURE			
BRANCHES/SECTORS/ INDICES	- Total - Industry - Transport - Residential- Tertiary- Agriculture	Chemical industry - Primary metals - Steel - Non ferrous - Non metallic mineral - Cement - Glass - Paper & Printing - Food & beverages	- Textile - Machinery & Fabricated metals - Transport equipment - Wood - Mining - Construction - Misc. Industries	4 Transport modes: - Road - Rail - Water - Air	6 Road vehicles types: - Cars - Two-wheels - Bus - Trucks & light vehicles - Light vehicles - Trucks	4 end-uses: - Space heating - Water heating - Cooking - Electrical appliances	5 Appliances: - Refrigerators - Freezers - Washing machine - Dish washers - TV	7 branches: - Hotels & Restaurants - Health - Education - Administration - Wholesale & retail trade - Private offices - Agriculture
	- Primary consumption - Final consumption - Demography - GDP, Value added	- Energy consumption by branch - Production index by branch - Value added by branch - Physical production for intensive products	- Energy consumption by fuel and by mode - Stock of vehicles by fuel - Registrations by type of vehicle - Traffic by mode - Annual distance travelled by type of vehicle	- Energy consumption - Stock of dwellings - New dwellings - Floor area of dwelling - Stock of appliances - Equipment rate - Degree day	- Energy consumption - Value added - Floor area - Employment			
	- Primary energy intensity - Final energy intensity - Energy efficiency index - CO2 emissions - CO2 intensity	- Energy efficiency index - Energy intensity by branch - Energy intensity at adjusted structure - Specific consumption by intensive products (ton/ton) - CO2 intensity by sector	- Energy efficiency index - Specific consumption by vehicle, in liters / 100km - Specific emissions of CO2 by mode and vehicle	- Energy efficiency index - Specific consumption by dwelling, end uses and by equipment - Specific emissions of CO2 - CO2 indicators	- Energy intensity - Electric intensity - Specific consumption per employee, floor area - CO2 emissions			

Figura 4.19: Disaggregazione per settori dei consumi energetici e scelta delle variabili tecniche ed economiche di influenza. Fonte ODYSSEE MURE Project

scenari di intervento; ne viene di seguito riportata una breve descrizione:

- BAU HG: assume una crescita economica futura relativamente ottimistica nel lungo periodo basata sulle ipotesi del modello PRIMES [55] utilizzato dalla Commissione Europea, ed un moderato aumento dei prezzi dell'energia secondo l'ipotesi di basso aumento riportata del World Energy Outlook 2009 [56].
- BAU LG: la crescita economica viene ipotizzata in linea con la media italiana di lungo periodo definita dagli anni 1990-2010, l'evoluzione dei prezzi dell'energia assunta è la stessa dello scenario precedente.
- BLUE HG e LG: per quanto riguarda la crescita economica ed i prezzi dei combustibili le assunzioni sono le stesse del corrispondente scenario di riferimento (BAU HG); ci sono invece importanti variazioni in relazione al prezzo dei gas serra emessi (in relazione all'ipotesi di immissione di una *carbon tax*) ed in relazione all'introduzione di politiche energetiche finalizzate al rispetto degli impegni presi in ambito comunitario relativamente alla quota di fonti rinnovabili utilizzata, basandosi sul Piano Nazionale per le Fonti Rinnovabili (PAN)[57].

In base alla descrizione effettuata all'inizio di questa sezione riguardo al tipo di modello elaborato, è chiaro che l'unico confronto sensato con le previsioni ENEA è da farsi con lo scenario di riferimento BAU HG. Dall'analisi dei due andamenti riportati in Figura 4.20 e Figura 4.18 si nota come il modello elaborato in questo studio porti ad avere risultati leggermente sovrastimati; riferendosi all'anno 2020 si riscontra un valore maggiore del 3,98% per lo scenario ad alta crescita e del 3,28% per quello a bassa crescita. La giustificazione che può essere fornita in relazione a queste differenze risiede nel fatto che le previsioni ENEA sono calcolate partendo dall'anno 2011 e basandosi dunque sul dato storico relativo all'anno 2010 che si dimostra essere ancora in calo rispetto al periodo precedente. Nel caso del modello elaborato in questo studio invece l'ultimo dato storico utilizzato è stato quello relativo al 2009, i calcoli hanno portato ad avere un andamento crescente a partire

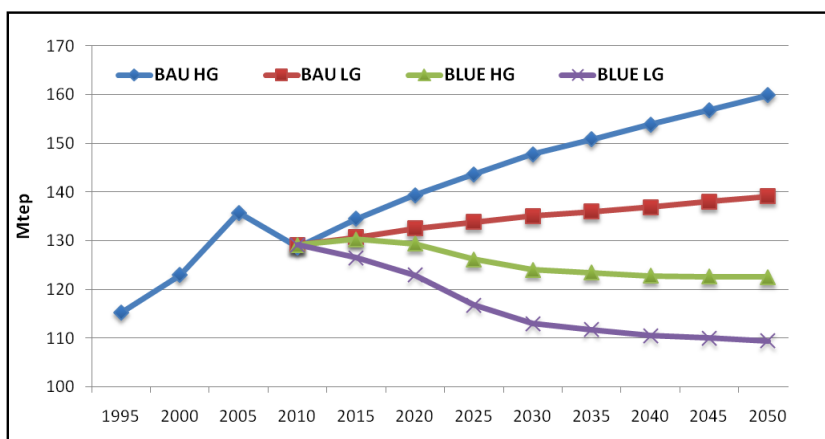


Figura 4.20: Consumi finali lordi di energia negli scenari ENEA. Fonte Rapporto Energia e Ambiente 2009, ENEA

dal 2010, in palese disaccordo con le misure effettive dei consumi penalizzate dalla crisi economica. Questo squilibrio iniziale determinato dal differente punto di partenza della previsione, che viene a trovarsi in un periodo molto incerto come quello dell'attuale recessione, è responsabile dell'andamento leggermente differente dei consumi finali italiani previsti secondo i due modelli confrontati.

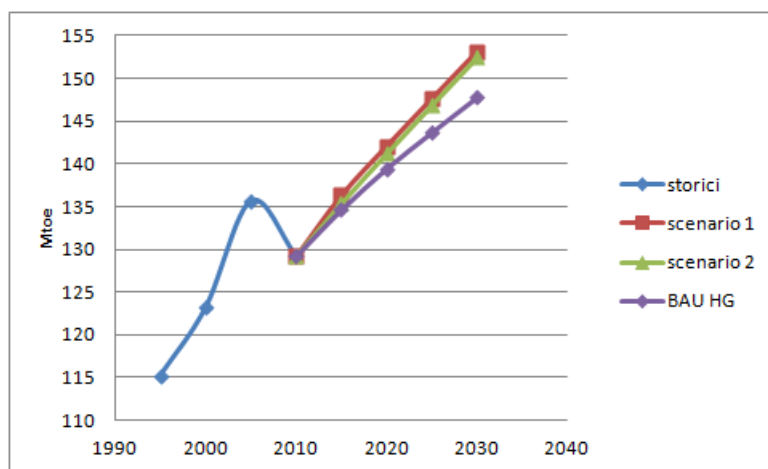


Figura 4.21: Confronto tra scenario ad alta e bassa crescita elaborati in questo studio e scenario di riferimento ENEA.

Per ottenere una ulteriore conferma dei calcoli effettuati si è costruito il grafico riportato in Figura 4.21 in cui le curve elaborate per i due scenari sono traslate verso il basso assumendo come valore dei consumi per l'anno 2010 quello reale riportato dallo studio ENEA. Si nota che, quando le tre curve di previsione partono dallo stesso valore, si riscontra ancora un andamento maggiorato dei valori calcolati in questo studio ma con differenze che sono per lo scenario ad alta crescita del 1,90% all'anno 2020 e del 3,65% al 2030, mentre

per quanto riguarda lo scenario a bassa crescita le differenze riscontrate sono del 1,28% al 2020 e del 3,18% all'anno 2030.



## Capitolo 5

# Applicazione del modello: caso Sardegna

Lo scenario di riferimento a cui si applica il modello di previsione dei consumi costruito sinora si sposta a questo punto dalla realtà nazionale italiana a quella particolare della Sardegna. Come affermato in precedenza il processo di costruzione del modello è stato attuato con riferimento all'Italia sostanzialmente per due motivi: la maggiore disponibilità di dati sia in termini di numero di punti della serie storica sia in termini di semplicità nel reperirli e la possibilità di avere termini di paragone con i quali fosse possibile confrontare e validare i risultati ottenuti dalla previsione.

L'ipotesi alla base del passaggio dal caso italiano a quello sardo è che, per ognuno dei settori presi in considerazione, i consumi energetici della Sardegna seguano, o meglio siano linearmente correlati con, i consumi energetici italiani. La verifica di questa ipotesi può essere riscontrata nella Tabella 5.1 dove sono riportati i parametri originati dal confronto in termini lineari tra i consumi italiani e quelli sardi (coefficiente angolare  $m$  ed intercetta  $q$  della retta di tendenza, numero di punti  $p.ti$ , indice di correlazione lineare  $Corr$  ed indice  $R^2$ ).

Si è assodato in sostanza che per ciascun settore considerato, tranne che per l'industria, la serie storica dei consumi finali per la Sardegna abbia lo stesso andamento di quella relativa all'Italia, questo ha giustificato l'utilizzo delle stesse variabili di influenza per descrivere i consumi del singolo settore.

Tabella 5.1: Analisi di correlazione tra consumi settoriali relativi al caso Italia ed al caso Sardegna

<b>Italia</b>	<b>Sardegna</b>	<b>p.ti</b>	<b>m</b>	<b>q</b>	<b><math>R^2</math></b>	<b>Corr</b>
Cons agr.	Cons agr.	21	13,79	1903,05	0,550	0,742
Cons r&s	Cons r&s	21	30,74	19126,70	0,676	0,822
Cons trasp.	Cons trasp.	21	29,48	8853,72	0,957	0,978
Cons ind.	Cons ind.	21	1,57	35653,92	0,014	0,119
Cons tot	Cons tot	21	26,08	35735,06	0,611	0,782

Si riporta la Tabella 5.2 riassuntiva delle variabili scelte per far parte del modello che contiene inoltre i valori degli indici di correlazione ( $R^2$  e  $Corr$ ) tra consumi e variabili indipendenti sarde; in questo caso i valori riportati sono già espressi tramite i logaritmi decimali con i quali saranno in seguito fatti i calcoli relativi alle regressioni lineari.

Per quanto riguarda il settore industriale si è già detto che non esiste una correlazione lineare tra i consumi della Sardegna e quelli italiani, conseguentemente sarà impossibile applicare il modello sin qui elaborato al settore industriale come testimoniano i bassi valori degli indici di correlazione tra le variabili di influenza scelte ed i consumi del settore industriale (evidenziati sempre in Tabella 5.2). Si è dunque deciso di non effettuare i calcoli relativi alle regressioni lineari dato che si otterrebbero risultati privi di significato, la metodologia di previsione dei consumi industriali per il caso Sardegna è descritta nella sezione relativa all'analisi dei risultati della previsione (Paragrafo 7.5).

Tabella 5.2: Analisi di correlazione tra consumi settoriali e variabili di influenza espressi tramite logaritmi decimali, SARDEGNA

<b>y</b>	<b>x</b>	<b>p.ti</b>	$R^2$	<b>Corr</b>
Cons agr.	NV agr.	20	0,767	0,876
Cons agr.	UL agr.	21	0,757	0,870
Cons agr.	INV agr.	21	0,087	0,295
Cons agr.	Efficienza	21	0,667	0,817
Cons r&s	Pop.	21	0,187	0,432
Cons r&s	PIL	21	0,688	0,829
Cons r&s	INV costr.	21	0,450	0,671
Cons r&s	Efficienza	21	0,012	0,107
Cons ind.	INV ind. ss.	19	0,062	0,250
Cons ind.	Prod ind. no costr.	19	0,122	0,350
Cons ind.	Efficienza	19	0,116	0,341
Cons trasp.	Pop.	21	0,147	0,383
Cons trasp.	NV	20	0,944	0,972
Cons trasp.	PIL	21	0,945	0,972
Cons trasp.	Efficienza	21	0,692	0,832

## 5.1 Risultati della regressione

Come avvenuto per il caso di validazione, una volta scelte le variabili di influenza e deciso di applicare l'operatore logaritmo a tutte le serie utilizzate, si passa al calcolo delle relazioni funzionali che possano esprimere i consumi finali di ciascun settore in funzione delle relative variabili indipendenti attraverso delle regressioni lineari multiple. Allo stesso modo visto e discusso in precedenza, viene condotta una analisi di affinamento delle regressioni

per ottimizzare le proprietà predittive del modello e di limitare il problema dell'eteroschedasticità.

Si riportano di seguito, per ciascun settore, i parametri significativi ottenuti dalle regressioni lineari il cui significato è stato descritto in precedenza, includendo sia la regressione con tutte le variabili inizialmente scelte sia quella migliore nel senso appena esposto e rappresentata dalle funzioni anch'esse presentate di seguito.

### Settore agricolo

L'analisi di ottimizzazione dei risultati della regressione lineare multipla porta, per quanto riguarda il caso Sardegna, a risultati diversi rispetto a quelli presentati per la realtà italiana. In questo caso, come si vede in (5.1), i regressori scelti sono due come avveniva in precedenza ma sono rappresentati da variabili diverse. Nella Tabella 5.3 vengono presentati i valori ottenuti per i parametri statistici più significativi derivanti dalla regressione multipla completa di tutti i regressori e da quella che presenta le caratteristiche migliori in termini di capacità di previsione e di assenza di ridondanza tra le varie variabili indipendenti.

$$\log Cons_{AGR} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log INV_{AGR} + \beta_2 \cdot \log NV_{AGR} \quad (5.1)$$

Tabella 5.3: Risultati regressione AGR, Sardegna

	Completa		Migliore	
$R^2$	0,899		0,880	
$R^2$ corr.	0,757		0,747	
PRESS	0,018		0,016	
$R^2$ pred.	0,638		0,681	
	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>
$\beta_0$	0,693		0,041	
UL	0,130	10,12		
Inv agr.	0,631	1,09	0,475	1,063
NV agr.	0,272	25,72	$1,5 \cdot 10^{-6}$	1,063
Efficienza	0,526	22,26		

### Settore residenziale e dei servizi

Anche in questo caso l'analisi statistica sul numero di regressori determina l'eliminazione di una delle quattro variabili inizialmente considerate, portando alla relazione funzionale di Equazione (5.2); si sottolinea la differenza da quella ottenuta in relazione al caso Italia in cui i regressori più significativi

utilizzati erano solo due. Viene effettuata la regressione lineare sia nel caso migliore sia considerando tutti i regressori e si presentano i risultati dei parametri statistici ottenuti in Tabella 5.4.

$$\log Cons_{R\&S} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log Pop + \beta_2 \cdot \log PIL + \beta_3 \cdot \log Efficienza_{R\&S} \quad (5.2)$$

Tabella 5.4: Risultati della regressione del settore residenziale e dei servizi, Sardegna

	Completa		Migliore	
$R^2$	0,989		0,989	
$R^2$ corr.	0,978		0,977	
PRESS	0,003		0,003	
$R^2$ pred.	0,959		0,965	
	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>	<b>p-value</b>	<b>VIF</b>
$\beta_0$	0,09		0,122	
Pop.	0,262	1,548	0,386	1,159
PIL	$2,7 \cdot 10^{-9}$	6,009	$5 \cdot 10^{-14}$	1,782
INV costr.	0,434	4,898		
Efficienza	$3 \cdot 10^{-10}$	1,593	$1 \cdot 10^{-10}$	1,586

### Settore trasporti

Il settore dei trasporti è l'ultimo che viene analizzato in questa sezione visto che per quanto riguarda l'industria, come descritto in precedenza, non sono state effettuate le regressioni lineari che avrebbero generato risultati privi di significato per il caso Sardegna. Come si nota dall'espressione riportata in (5.3) si considerano nella regressione migliore in termini di capacità predittiva ed assenza di eteroschedasticità solo due dei quattro regressori inizialmente costituenti il modello per limitare i problemi di ridondanza. Dal confronto con l'espressione ottenuta per il caso Italia (4.4) si nota inoltre che per le diverse realtà analizzate i regressori più significativi sono differenti. Si riporta inoltre la Tabella 5.5 in cui vengono presentati i risultati ottenuti dei parametri statistici di interesse sia per la migliore regressione sia, a scopo di confronto e spiegazione, dalla regressione che include tutti e quattro le variabili inizialmente scelte.

$$\log Const_{TRASP} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \log PIL + \beta_2 \cdot \log Efficienza_{TRASP} \quad (5.3)$$



Tabella 5.5: Risultati della regressione nel settore dei trasporti, Sardegna

	Completa		Migliore	
$R^2$	0,959		0,952	
$R^2$ corr.	0,948		0,946	
PRESS	0,005		0,004	
$R^2$ pred.	0,927		0,939	
	p-value	VIF	p-value	VIF
$\beta_0$	0,244		$8 \cdot 10^{-10}$	
Pop.	0,254	2,22		
PIL	0,05	32,35	$1,8 \cdot 10^{-8}$	3
NV	0,435	37,33		
Efficienza	0,26	6,46	0,412	3

## 5.2 Previsione delle variabili indipendenti

Come avvenuto in precedenza in riferimento al caso Italia, a valle del calcolo delle relazioni funzionali che legano i consumi di ciascun settore alle rispettive variabili di influenza è necessario, per arrivare a prevedere i consumi, attuare uno studio di previsione riferito alle singole variabili che sono state scelte per far parte del modello. La presentazione di questa analisi segue lo stesso criterio visto in precedenza per la previsione delle variabili italiane: in relazione ad ogni settore si esporranno i risultati ed i commenti della previsione di ciascuna variabile di influenza.

### 5.2.1 Settore agricolo

Le variabili scelte per costituire il modello di previsione dei consumi del settore agricolo sono quattro, si analizzano separatamente le modalità di previsione.

- *Unità di lavoro totali in agricoltura:* come si vede in Figura 5.1 si registra un andamento decrescente della serie storica, dunque una riduzione delle unità lavoro nel corso degli anni, andamento che viene proposto anche per quanto riguarda le previsioni utilizzando la retta di interpolazione ai minimi quadrati riferita al trend dei dati storici.
- *Numero di veicoli agricoli:* per questa variabile non si dispongono valori riferiti alla Sardegna che sono stati dunque stimati assumendo che il rapporto tra numero di veicoli totali ed agricoli sia lo stesso sia per la realtà nazionale sia per quella sarda. La previsione è stata effettuata, come si vede in Figura 5.2 anche in questo caso seguendo l'andamento lineare fornito dalla retta di tendenza relativa ai dati storici del periodo 1978-2007.

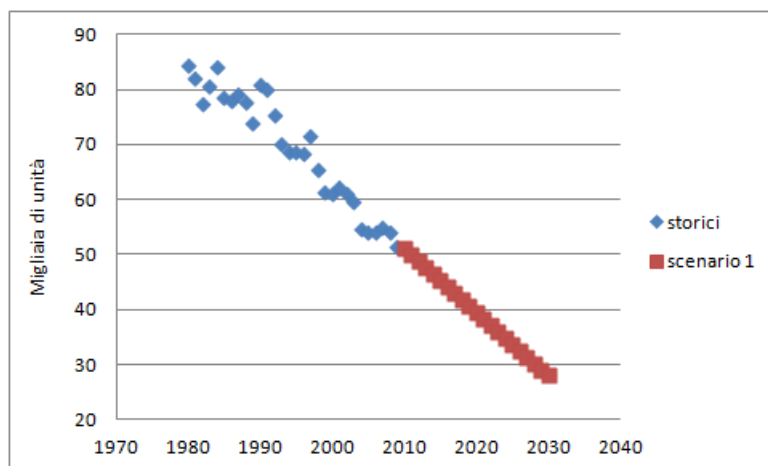


Figura 5.1: Serie storica e previsioni, unità di lavoro totali nel settore agricolo in Sardegna, media annua in migliaia. Fonte ISTAT

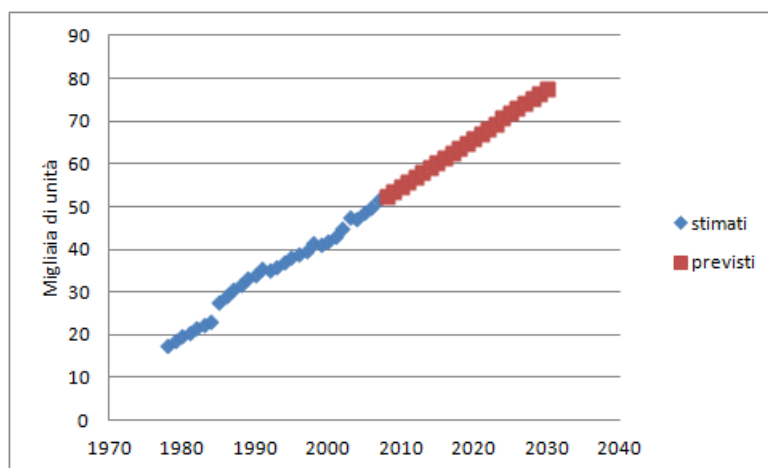


Figura 5.2: Serie storica e previsioni, numero di veicoli utilizzati nel settore agricolo in Sardegna. Elaborazione fonte ISTAT, World Bank

- *Investimenti fissi lordi in agricoltura, silvicoltura e pesca*: si nota chiaramente in Figura 5.3 come l'andamento storico sia molto particolare con periodi di forte crescita degli investimenti favoriti da politiche di incentivazione alternati a bruschi cali ed ad andamenti apparentemente aleatori. Trattandosi di una variabile di tipo economico lo studio di previsione è stato condotto seguendo l'approccio del doppio scenario: per quanto riguarda lo scenario ad alta crescita si è optato per un andamento tendenzialmente crescente che a partire dal valore medio del periodo 2000-2008 assume un aumento degli investimenti graduale e tendente ad un asintoto intorno ai 400 Me. Per il secondo scenario è stato invece calcolato un andamento costante che ha la pretesa di interpretare la grande variabilità dei dati storici registrata nell'ultimo periodo ponendo gli investimenti futuri pari al valore medio del periodo 2000-2008.

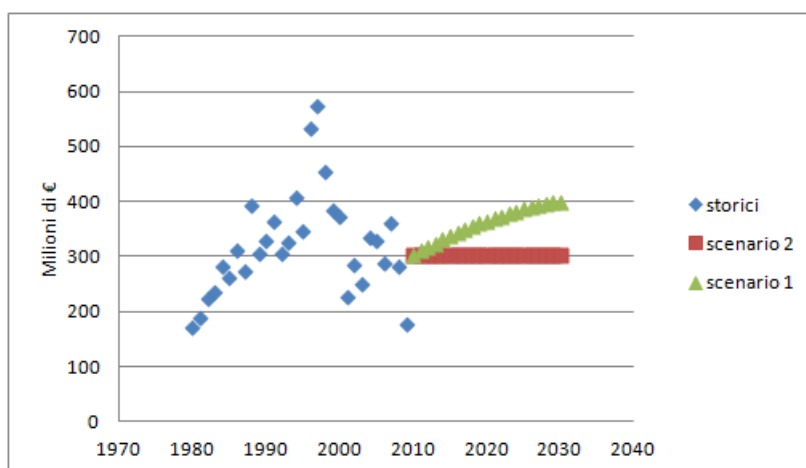


Figura 5.3: Serie storica e previsioni, investimenti fissi lordi in agricoltura, silvicoltura e pesca in Sardegna. Fonte ISTAT

- *Efficienza media del settore agricolo*: le variabili di questo tipo, ossia i fattori tecnologici relativi ai vari settori, sono state calcolate nel corso di questo studio e, per quanto riguarda il settore in questione, le valutazioni sono state effettuate secondo la formulazione esposta in precedenza riferendosi alla situazione della Sardegna. Ai fini del modello che ci si propone di elaborare si è assunta accettabile l'ipotesi di utilizzare gli stessi valori dell'efficienza calcolata per la Sardegna anche in riferimento alla situazione italiana. Si rimanda dunque, per le previsioni di questa variabile, alle valutazioni esposte nella sezione relativa al caso Italia e rappresentate dalla Figura 4.4.

## 5.2.2 Settore residenziale e dei servizi

Si presentano in questa sezione le valutazioni fatte in relazione alla previsione della variabili di influenza scelte per comporre il modello di previsione dei consumi del settore civile.

- *Popolazione residente a inizio anno*: per questa variabile, così come avveniva per il caso nazionale, si dispone dei dati di previsione elaborati da ISTAT [58] che vengono riportati in Figura 5.4.
- *Prodotto interno lordo ai prezzi di mercato*: si tratta chiaramente di una variabile economica la cui previsione è stata effettuata seguendo l'approccio del doppio scenario. Lo scenario ad alta crescita, come si evidenzia in Figura 5.5, prevede un ritorno nell'arco di tre anni ai livelli precedenti la crisi economica ed in seguito un andamento lineare ottenuto dalla retta di tendenza che meglio approssima i dati storici precedenti la recessione. Per quanto riguarda lo scenario a bassa crescita invece le previsioni sono effettuate partendo per il primo anno

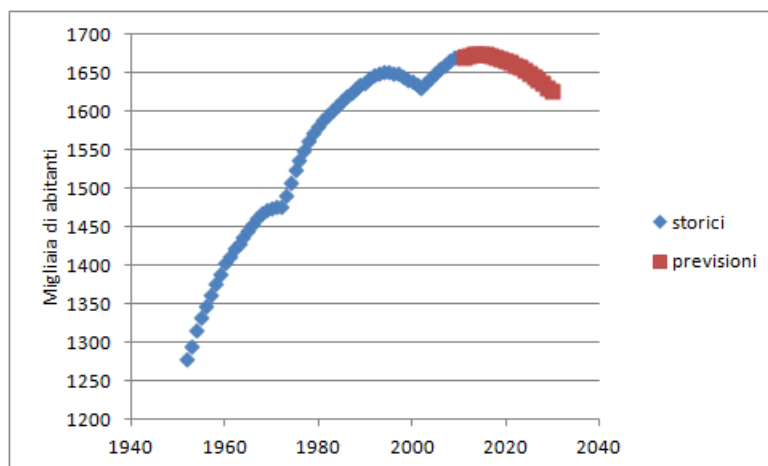


Figura 5.4: Serie storica e previsioni, popolazione residente a inizio anno in Sardegna, migliaia di unità. Fonte ISTAT

dallo stesso livello del 2009 e poi seguendo la pendenza della retta ai minimi quadrati approssimante i dati storici precedenti la crisi.

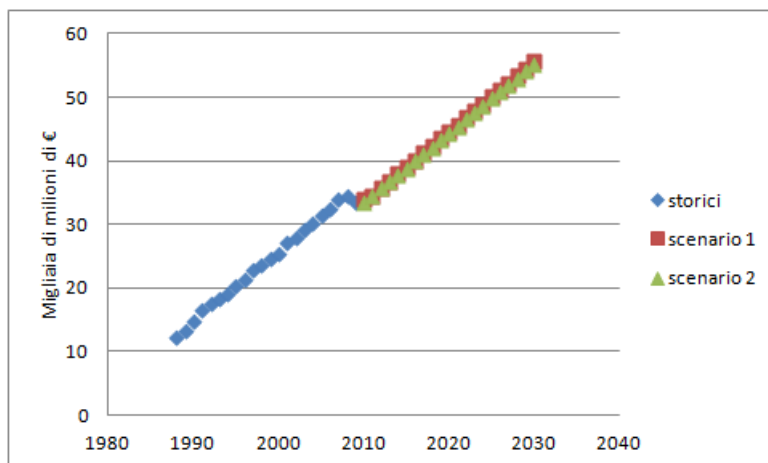


Figura 5.5: Serie storica e previsioni, prodotto interno lordo ai prezzi di mercato per la Sardegna, milioni di euro. Fonte ISTAT

- *Investimenti fissi lordi in costruzioni*: variabile anch'essa di tipo economico e dunque analizzata secondo i due approcci di crescita. Si nota dall'analisi dei dati storici, in Figura 5.6, come ci sia stata un andamento fortemente crescente nel periodo 1995–2007 seguito da un forte calo dovuto agli effetti della crisi economica. La previsione effettuata secondo lo scenario ad alta crescita presenta una forte ripresa iniziale che in tre anni riporta gli investimenti al livello del 2007, nel periodo successivo l'andamento è stato valutato basandosi sulla retta di tendenza relativa al periodo storico di forte sviluppo che come già detto va dal 1995 al 2007. Per quanto riguarda invece lo scenario a bassa crescita

si è assunta la ripresa dal 2010 dell'andamento registrato nel periodo precedente alla crisi economica, quello rappresentato dalla stessa retta descritta in precedenza.

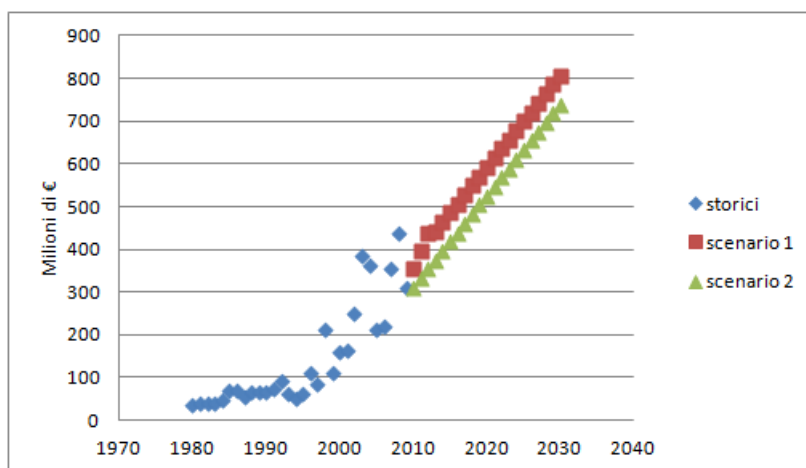


Figura 5.6: Serie storica e previsioni, prodotto interno lordo ai prezzi di mercato per la Sardegna, milioni di euro. Fonte ISTAT

- *Efficienza media del settore residenziale e dei servizi*: si tratta del fattore tecnologico settoriale; come già detto per quanto riguarda l'efficienza media del settore agricolo, anche in questo caso i calcoli sono stati effettuati in riferimento al caso sardo ed utilizzati anche per la previsione dei consumi nazionali italiani. Si rimanda dunque alla Figura 4.8 nella sezione relativa al caso Italia.

### 5.2.3 Settore trasporti

Anche per quanto riguarda il settore dei trasporti le variabili di influenza scelte per comporre il modello di previsione dei consumi sono quattro, gli andamenti previsti vengono presentati di seguito.

- *Popolazione residente a inizio anno*: variabile utilizzata anche nel settore civile a cui si rimanda per le valutazioni relative alla previsione.
- *Prodotto interno lordo ai prezzi di mercato*: i risultati anche in questo caso sono già stati presentati in riferimento al settore residenziale e dei servizi.
- *Numero di veicoli a motore che ha pagato la tassa automobilistica*: l'andamento calcolato viene rappresentato in Figura 5.7. Si dimostra chiaramente l'assenza di un effetto apprezzabile della crisi economica e dunque la mancanza di utilità nell'applicare l'approccio di previsione con i due scenari così come definito in questo studio; si è dunque deciso di calcolare l'andamento futuro di questa variabile con una approssimazione lineare basata sulla retta interpolante secondo il metodo dei

minimi quadrati relativa al periodo a cui si riferiscono i dati storici presentati.

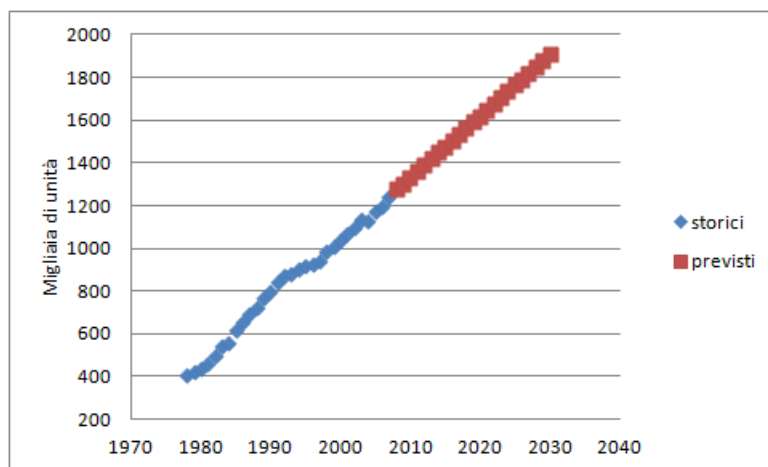


Figura 5.7: Serie storica e previsioni, numero di veicoli a motore che ha pagato la tassa automobilistica in Sardegna, migliaia di unità. Fonte ACI

- *Efficienza media*: si applica ancora una volta il discorso fatto anche per gli altri fattori tecnologici settoriali analizzati. Le valutazioni di previsione sono anche in questo caso state presentate nella sezione relativa al caso Italia, si rimanda perciò alla Figura 4.10.

### 5.3 Analisi dei risultati della previsione

Si conclude la sezione relativa all'elaborazione del modello di previsione presentando, anche in riferimento al caso Sardegna, i consumi finali di energia calcolati per il periodo 2009-2030 per i quattro settori separatamente ed in fine i consumi totali come la loro somma. Come già descritto in precedenza l'ultimo passo, che porta all'ottenimento dei risultati della previsione, è stato compiuto in seguito alla valutazione delle espressioni funzionali che legano consumi e variabili indipendenti ed alla previsione futura di ognuna di queste.

#### 5.3.1 Settore agricolo

Per quanto riguarda il settore agricolo l'espressione finale, comprensiva dei valori dei coefficienti calcolati con la regressione lineare, della funzione con cui si vogliono prevedere i consumi in base alle variabili indipendenti scelte è riportata in Equazione(5.4). Si nota che uno dei due regressori utilizzati è una variabile di tipo economico che, come esposto in precedenza, è stata prevista utilizzando la metodologia del doppio scenario di crescita; ciò sta a

significare che anche il risultato finale dei consumi di questo settore presenterà un doppio andamento alternativo.

$$\log Cons_{AGR} = -1,114 - 0,045 \cdot \log INV_{AGR} + 0,691 \cdot \log NV_{AGR} \quad (5.4)$$

Vengono a questo punto presentati i risultati ottenuti in Figura 5.8, riportati assieme alla serie storica dei consumi del settore agricolo. Si nota chiaramente, per quanto riguarda i dati storici, come l'andamento dei consumi alterni periodi di forte crescita ad altri di sostanziale stallo corrispondenti rispettivamente a periodi in cui si è avuto un importante sviluppo del settore favorito soprattutto da politiche di sostegno ed incentivazione ed a momenti in cui non si è registrato un sostanziale progresso in termini di sviluppo tecnologico e produttività.

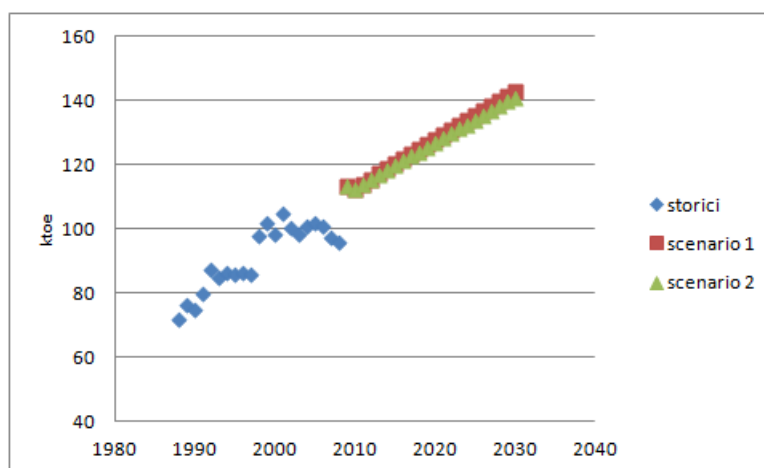


Figura 5.8: Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore agricolo in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio.

Partendo dalla fine degli anni ottanta si registra una iniziale crescita con un aumento dei consumi del 21% in soli quattro anni; una tale percentuale di crescita non deve sorprendere visto che si parla comunque di valori assoluti modesti che come affermato nei capitoli precedenti costituiscono meno del 5% dei consumi totali della regione. Durante il periodo che va circa dal 1992 al 1997 si è assistito ad un sostanziale ristagno del settore con dei valori che si sono mantenuti circa costanti. Si è invece registrato un importante aumento a partire dal 1998 (crescita superiore al 14% in un solo anno) che ha definito un andamento a gradino creando un livello sul quale dopo qualche anno con un certo trend crescente (aumento medio annuale del 2,29%) i consumi sono rimasti circa costanti per tutti gli anni successivi fino all'intervento degli effetti negativi della crisi economica, con un trend in calo per gli ultimi due anni dei quali si posseggono i dati.

Per quanto riguarda i risultati ottenuti dalla previsione si nota come si parta da una discontinuità iniziale generata dal modello a causa dell'influenza del trend storico crescente la cui retta di tendenza, data la natura lineare

delle regressioni effettuate, influenza il valore di partenza delle curve previste. Riferendosi specificatamente agli andamenti previsti si constata la presenza di un primo periodo in cui i consumi si mantengono circa costanti, periodo di graduale ripresa dalla recessione economica, seguito da un trend crescente con pendenza circa costante e differente per i due scenari elaborati. Le pendenze delle due curve sono espresse dalle rispettive percentuali medie annuali di crescita relative al periodo 2011-2020 del 1,37% per lo scenario di alta crescita e del 1,28% per quello a bassa crescita.

### 5.3.2 Settore residenziale e dei servizi

Si riporta inizialmente in Equazione (5.5) l'espressione funzionale ottenuta dai calcoli relativi alla regressione lineare multipla migliore, inserendo i valori numerici dei singoli coefficienti. Va notato che questo è l'unico caso in cui è stato deciso di includere tre dei quattro regressori inizialmente scelti, ciò vuol dire che le variabili considerate hanno la capacità di fornire informazioni complete e che non sono ridondanti in relazione all'andamento osservato dei consumi. Grazie alla previsione attuata per i singoli regressori è stato dunque possibile calcolare l'andamento futuro dei consumi di questo settore, riportato in Figura 5.9. Nell'espressione valutata per esprimere i consumi viene inclusa una variabile di tipo economico (PIL) che è stata predetta utilizzando il metodo del doppio scenario, metodo che dunque si ripercuote nei risultati finali generando, per i consumi, due andamenti alternativi anche se poco differenti riferiti ad uno scenario di alta ed uno di bassa crescita economica.

$$\log Cons_{R\&S} = -12,29 + 1,086 \cdot \log Pop + 0,605 \cdot \log PIL + 3,228 \cdot \log Efficienza_{R\&S} \quad (5.5)$$

Va sottolineato come la serie storica, che presenta un trend mediamente crescente, abbia al suo interno tre andamenti sostanzialmente distinti riferiti a tre periodi storici. Ad una crescita importante, registrata dal 1988 al 1995, con un aumento dei consumi di circa il 35% in pochi anni segue un importante salto che abbassa il livello della variabile negli anni 1996 e 1997. Nel periodo successivo viene ripreso l'andamento crescente descritto in precedenza con una pendenza importante espressa dall'aumento percentuale medio annuale del 5,83% per gli anni che vanno dal 1998 al 2007. Gli ultimi dati storici disponibili (relativi all'anno 2008) evidenziano importanti effetti della crisi economica che determinano un calo dei consumi, nel giro di un anno, pari al 9,37%.

L'analisi degli andamenti previsti porta ad evidenziare come per entrambi gli scenari venga valutato un trend crescente, dopo i primi due anni valutati ad un livello circa costante come graduale uscita dalla crisi economica, con una pendenza in diminuzione dovuta alla concavità verso il basso della curva. La percentuale media annuale di crescita per il periodo 2009-2020 è del 1,75% per lo scenario ad alta crescita e del 1,65% per quello a bassa crescita,



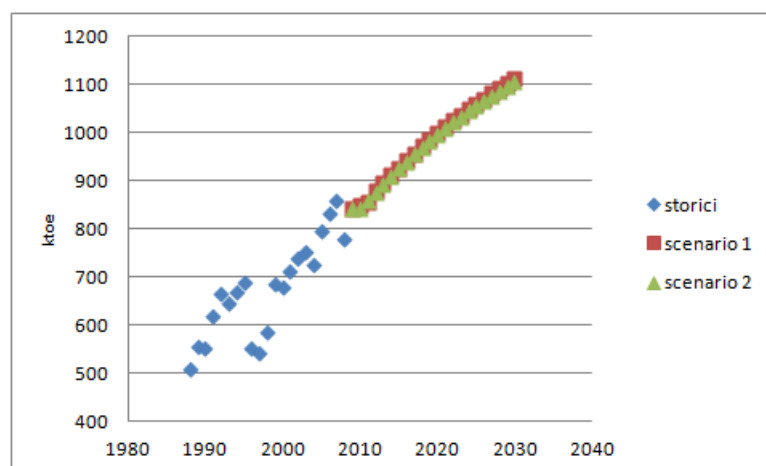


Figura 5.9: Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore residenziale e dei servizi in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio.

entrambe risultano essere decisamente inferiori rispetto alla crescita media registrata dagli andamenti storici, pari alla percentuale annua del 3,60%.

### 5.3.3 Settore trasporti

Anche per quanto riguarda questo settore la relazione funzionale che lega consumi e variabili indipendenti, calcolata secondo la regressione lineare multipla di più alta qualità, porta ad eliminare alcuni regressori generando l'Equazione (5.6) in cui si riportano anche i valori dei tre coefficienti  $\beta_i$  calcolati. Una delle variabili indipendenti incluse nel modello è il Prodotto Interno Lordo, ovvero una variabile di tipo economico; questo determina che i risultati di previsione ottenuti siano espressi secondo i due scenari di crescita descritti in precedenza.

$$\log Const_{TRASP} = 1,86 + 0,235 \cdot \log PIL + 0,109 \cdot \log Efficienza_{TRASP} \quad (5.6)$$

Dall'analisi degli andamenti storici e previsti dei consumi del settore dei trasporti riportati in Figura 5.10 si nota come il trend seguito lungo l'intero arco temporale sia mediamente crescente. Per quanto riguarda i dati storici si registra un andamento che non ha subito grandi variazioni nel corso degli anni; inizialmente, nel periodo tra il 1988 ed il 1998, la crescita presenta una pendenza importante espressa dalla percentuale media annua di aumento del 3,18%. Va notato il valore apparentemente anomalo riferito all'anno 1999, che si colloca molto al di sopra dell'andamento medio probabilmente per una contabilizzazione differente dei consumi per quell'anno che ha preso in considerazione anche altri fattori non determinanti negli altri periodi.

Per quanto riguarda gli anni 2000-2007 si ha una ripresa di un andamento crescente seppur con una pendenza inferiore a quello analizzato per il periodo

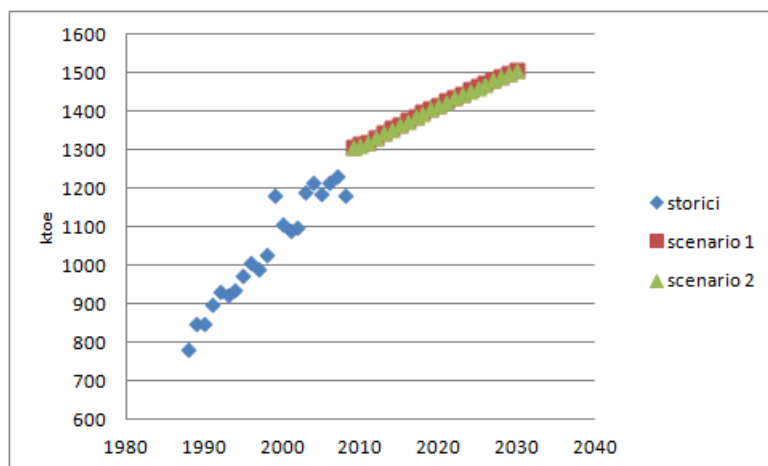


Figura 5.10: Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore dei trasporti in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio.

precedente, che determina un aumento dei consumi del 6,96% in otto anni. L'ultimo dato storico disponibile è ancora quello relativo al 2008 che, anche in questo caso è in diminuzione rispetto all'anno precedente a causa degli effetti negativi dovuti alla recessione economica. Per quanto riguarda le previsioni si nota come in seguito ad i primi anni in cui si teorizza una graduale ripresa del settore dopo la crisi, i consumi assumano un andamento crescente facilmente assimilabile a quello di una retta ovvero con una pendenza che resta pressoché costante. Va evidenziato il fatto che, sempre in relazione agli effetti della crisi economica, il trend generale di crescita futura presenta una pendenza inferiore rispetto a quella registrata nel periodo iniziale a cui si riferiscono i dati storici, il discorso è valido per entrambi gli scenari elaborati che si discostano lievemente tra loro. La pendenza media dell'andamento previsto, considerando la parte lineare che va dal 2011 al 2020, è espressa dalla percentuale media di crescita annua dello 0,82% per lo scenario ad alta crescita e dello 0,79% per quello a bassa crescita.

### 5.3.4 Settore industriale

Come è già stato ripetutamente affermato nelle sezioni precedenti, l'analisi dei consumi industriali del caso Sardegna viene condotta con un approccio diverso rispetto a quello utilizzato per tutti gli altri settori. Il modello di previsione costruito in riferimento al caso Italia risulta non applicabile in questa particolare sezione perchè come già visto in Tabella 5.1 non esiste alcun tipo di correlazione tra i consumi settoriali italiani e quelli sardi. In sostanza la grande differenza tra le due realtà sta nel fatto che mentre i consumi industriali nazionali seguono nel corso degli anni un trend mediamente crescente, per la Sardegna si riscontra il particolare andamento evidenziato

in Figura 5.11 caratterizzato da forti oscillazioni che raggiungono l'ordine di una variazione annuale percentuale pari anche al 15-20%.

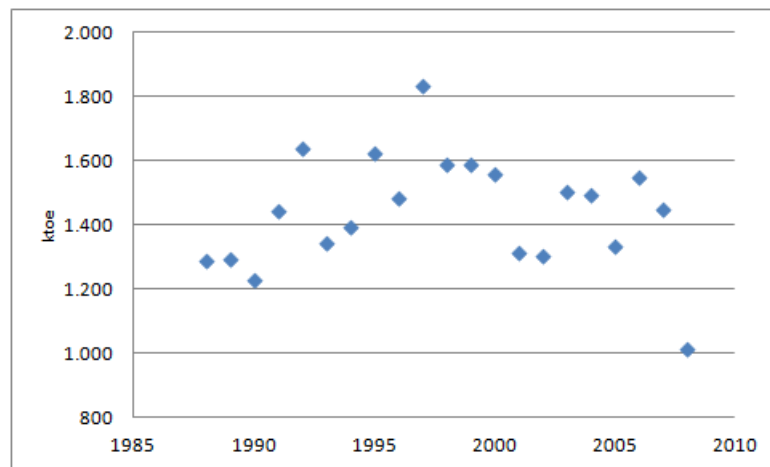


Figura 5.11: Serie storica, consumi finali di energia primaria del settore industriale in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA

Si è voluto analizzare questo andamento apparentemente aleatorio e del tutto insolito per i consumi settoriali di una regione; si riporta in Figura 5.12 la composizione dei consumi per fonte energetica, ciò che appare chiaramente è che il fabbisogno delle industrie sarde è di tipo elettrico e termico, quest'ultimo soddisfatto quasi totalmente attraverso lo sfruttamento (la combustione diretta) di prodotti petroliferi.

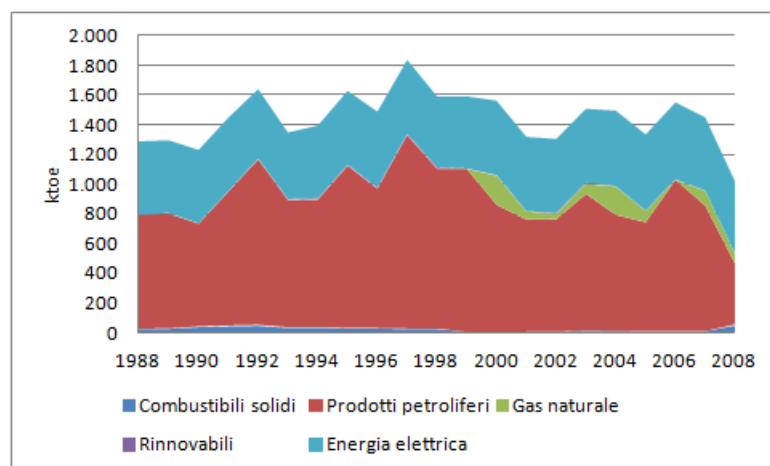


Figura 5.12: Serie storica, consumi finali di energia primaria del settore industriale suddivisi per fonti in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA

Questa composizione può essere giustificata dall'analisi della struttura industriale della regione: va detto che in Sardegna l'industria è insieme ai

trasporti il settore responsabile della porzione principale dei consumi di energia. La struttura del settore è abbastanza atipica, caratterizzata dalla presenza di pochi poli industriali in cui sono concentrate industrie di grandi dimensioni e per la maggior parte dedicate al tipo definibile come “industria pesante”. Grande importanza nella realtà isolana hanno fabbriche dedicate alla produzione di metalli non ferrosi come alluminio e zinco e del settore chimico e petrolchimico in cui va inclusa una delle più grandi raffinerie d’Europa. Si tratta di un tipo di industria *energy intensive* che quindi ha un grosso peso sui consumi finali regionali di energia.

Riferendosi ancora agli andamenti rappresentati in Figura 5.12 si nota chiaramente come, nel corso degli ultimi due decenni, i consumi industriali di energia elettrica si siano mantenuti pressochè costanti, non evidenziando nè particolari oscillazioni nè andamenti tendenziali di crescita o di decrescita. In effetti il comparto responsabile del particolare andamento è quello termico in cui, riferendosi ai prodotti petroliferi ed in maniera particolare ad olio combustibile e gasolio, si registrano negli anni quelle forti oscillazioni che rendono il caso sardo così differente da quello italiano. La giustificazione che è stata fornita per questi andamenti si basa sul fatto che storicamente il settore industriale sardo si sia retto grazie ad importanti politiche di sostegno ed incentivazione che hanno fornito la possibilità a grandi aziende nazionali ed internazionali di impiantarsi nel territorio godendo di quelle particolari agevolazioni senza le quali la nascita di poli industriali sull’isola sarebbe stata economicamente insostenibile. Il fatto che senza il supporto politico gran parte del settore produttivo cessi di generare profitto ha determinato negli anni diverse situazioni in cui svariati impianti sono stati costretti a chiudere i battenti o ridurre notevolmente la produzione (e dunque i consumi) fino all’arrivo di nuove azioni politiche di supporto.

Questo tipo di analisi è supportata anche dalle valutazioni effettuate all’interno del Piano Energetico Ambientale Regionale della Sardegna del 2006 (PEAR) [59], che in ragione degli andamenti storici descritti in precedenza e della forte influenza del quadro geopolitico di riferimento sul settore industriale ha previsto per gli andamenti dei consumi futuri di energia elettrica e prodotti petroliferi gli andamenti presentati in Figura 5.13 e Figura 5.14. Si nota che seguendo il trend storico che vede costante il fabbisogno di elettricità settoriale sia stato ritenuto lecito assumere che tale andamento si mantenga pressochè invariato nel tempo.

Per quanto riguarda invece i consumi di prodotti petroliferi, le previsioni sono state attuate, nello studio regionale, secondo un doppio scenario di crescita che contempla in entrambi i casi un andamento leggermente crescente. Queste valutazioni sono state però effettuate basandosi sui dati storici dei consumi registrati fino all’anno 2000; in questo studio, considerando l’evoluzione del periodo successivo, sono state fatte delle considerazioni aggiuntive. Risulta evidente dalla Figura 5.11 come l’andamento dei consumi a partire dal 2001 non abbia seguito un andamento crescente bensì si sia mantenuto sul livello registrato nel decennio precedente continuando a presentare

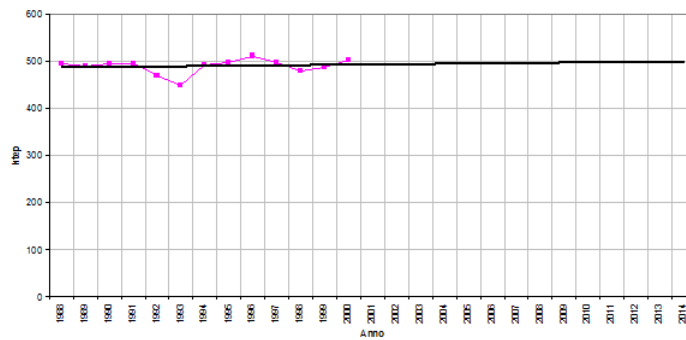


Figura 5.13: Serie storica e previsioni, consumi finali di energia elettrica del settore industriale in Sardegna, espressi in gigawattoraio. Fonte PEAR 2006

delle rilevanti oscillazioni di anno in anno; in aggiunta va considerato anche l'effetto della crisi economica che, come evidenzia il dato relativo al 2008 ha determinato un ulteriore calo del livello dei consumi.

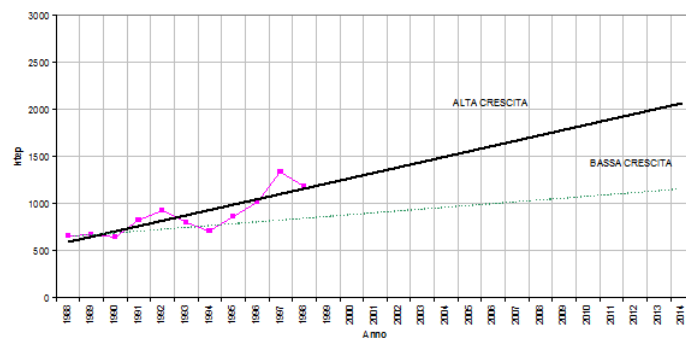


Figura 5.14: Serie storica e previsioni, consumi finali di energia termica da prodotti petroliferi del settore industriale in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte PEAR 2006

Le conclusioni a cui si è giunti dall'analisi specifica del settore sono che non sia possibile, alla luce dei dati riscontrati, prevedere i consumi futuri secondo un andamento crescente come avviene nel PEAR. Si è dunque ritenuta plausibile l'ipotesi che, mantenendosi in futuro costante la struttura del settore e conservandosi il sistema di influenze che ne caratterizzano l'evoluzione, gli andamenti produttivi e dunque dei consumi energetici siano destinati a presentare lo stesso andamento oscillante osservato nei dati storici.

In sostanza la previsione dei consumi settoriali in questo studio, presentata in Figura 5.15, è stata effettuata ipotizzando inizialmente un periodo di ripresa dalla recessione economica che riporti l'andamento ad oscillare intorno allo stesso livello medio precedente; la maniera ritenuta più accettabile per approssimare questo andamento oscillante è stata quella di assumere i consumi futuri costanti ad un livello pari a quello del valor medio riscontrato nei valori dei dati storici.

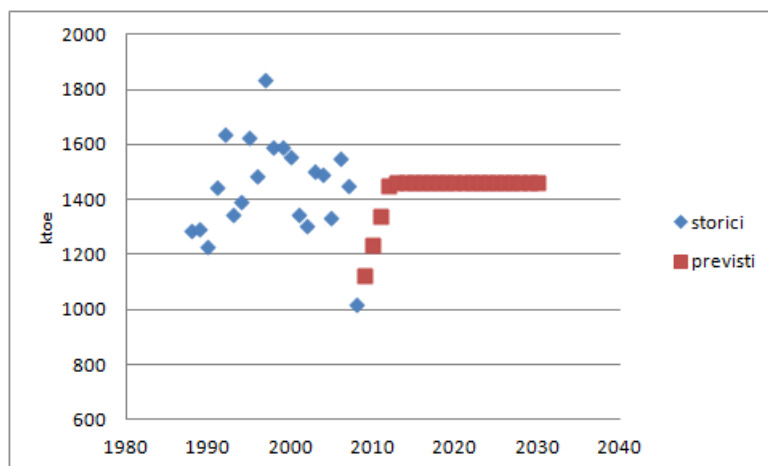


Figura 5.15: Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore industriale in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio.

### 5.3.5 Totale dei consumi

In Figura 5.16 si riportano i risultati conclusivi delle previsioni effettuate, ovvero i consumi finali totali per la Regione Sardegna calcolati come somma dei valori relativi ad i vari settori. Gli andamenti storici presentano una andamento di crescita circa costante nel tempo fino al periodo relativo alla crisi economica in cui si nota un calo evidente dei consumi.

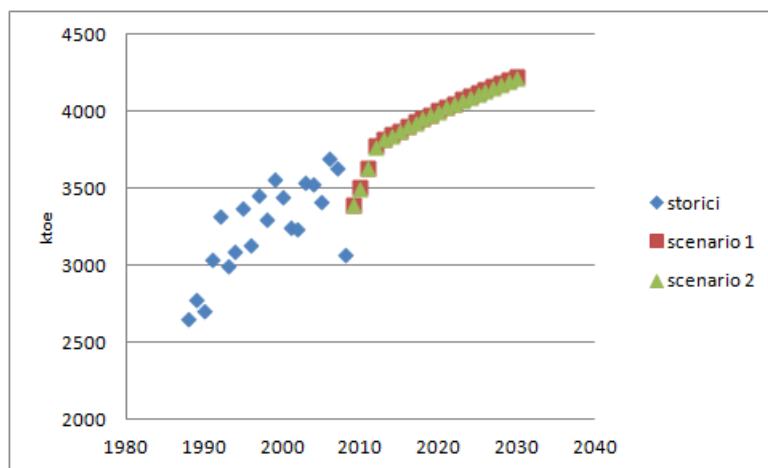


Figura 5.16: Serie storica e previsioni, consumi finali totali di energia primaria in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio.

Le previsioni effettuate generano, per entrambi gli scenari, degli andamenti in linea con le ipotesi e le valutazioni generali effettuate. Si notano due andamenti distinti:

- per il periodo 2009-2012 si verifica una forte crescita con pendenza importante assimilabile ad una percentuale annua media di crescita del

3,80% per il primo scenario e del 3,78% per il secondo. Questo andamento è in linea con le assunzioni fatte relative ad una rapida ripresa economica in seguito alla recessione che riporta i consumi, nell'arco di circa tre anni, ai livelli riscontrati negli anni precedenti la crisi.

- Il periodo seguente all'anno 2012 presenta un andamento circa lineare in cui si verifica dunque una crescita costante con pendenza simile a quella media della serie storica. La percentuale media annua di aumento è pari allo 0,77% per lo scenario ad alta crescita ed allo 0,76% per il secondo scenario.

Si può concludere con una considerazione relativa ad i due scenari elaborati; così come avvenuto per i calcoli del caso di validazione anche qui gli andamenti dei due scenari sono molto vicini e non rappresentano due alternative reali di sviluppo. La spiegazione che può essere fornita è che nelle funzioni elaborate, a causa dell'analisi di taratura che ha eliminato i regressori ridondanti, non sempre sono state incluse variabili di tipo economico che sono state previste con l'approccio del doppio scenario e che dunque non hanno potuto influenzare i risultati dei consumi finali.

In definitiva si ritiene plausibile trascurare le differenze riscontrabili tra i due scenari ed utilizzare nelle analisi condotte successivamente solo i risultati relativi allo scenario ad alta crescita a scopo cautelativo.





# Capitolo 6

## Situazione energetica attuale

In questo capitolo viene riportata la descrizione delle linee guida di sviluppo del Piano Energetico Ambientale Regionale (PEAR) [59] della Sardegna risalente all'anno 2006. Segue una descrizione dettagliata e disaggregata a livello locale della situazione energetica regionale dei vari settori economici e delle varie fonti energetiche considerate. Infine si verificano quali, tra gli obiettivi posti dal PEAR, siano stati attualmente raggiunti. Le sezioni riguardanti l'analisi di quest'ultimo sono riportate in maniera schematica e breve, un'analisi completa e dettagliata viene rimanda all'appendice.

### 6.1 Linee guida del PEAR 2006

#### Settore agricolo

Il comparto dell'agricoltura, silvicoltura e pesca ha un peso molto ridotto in termini di consumi di energia rispetto agli altri settori (intorno al 3% del totale). Sia l'intensità energetica settoriale (rispetto al valore aggiunto) sia il consumo energetico per unità di lavoro presentano livelli significativamente inferiori alla media italiana dimostrando lo scarso livello di industrializzazione del settore e il basso utilizzo dell'apporto tecnologico da parte degli addetti al settore.

Le linee guida di intervento proposte sono articolate in maniera generica:

- si parla di una possibile integrazione del comparto agricolo con quello energetico attraverso lo sviluppo della filiera dei biocombustibili utile per la prospettiva di diversificazione del mix energetico e di riduzione delle emissioni di gas serra;
- si parla inoltre di interventi a sostegno del settore agricolo sotto forma di incentivazioni agli investimenti nelle aziende agricole e nelle opere infrastrutturali.

### Settore residenziale

L'analisi sviluppata all'interno del PEAR riferisce che una importante frazione delle abitazioni dell'isola sia del tutto sprovvista di impianti di riscaldamento o si serva di apparecchi fissi o mobili che riscaldano solo alcuni ambienti dell'abitazione. Quindi, secondo il PEAR, lo scenario deve necessariamente evolversi, si assume infatti che:

- tutti i nuovi edifici saranno dotati di impianti di riscaldamento;
- ogni anno una parte degli edifici esistenti dovrà essere ammodernata e dotata di impianti centralizzati.

In definitiva viene previsto uno scenario in cui:

- si assisterà ad un aumento del consumo energetico derivante da combustibili utilizzati specificatamente per il riscaldamento (GPL sostituito con metano quando disponibile);
- miglioreranno le condizioni di confort nelle abitazioni;
- aumenteranno i consumi relativi al riscaldamento;
- ne risulterà però un miglioramento dell'efficienza di settore, grazie all'utilizzo di combustibili fossili per il riscaldamento si elimina l'utilizzo di energia elettrica pregiata.

### Settore dei servizi

Nel settore dei servizi viene sottolineata la tendenza ad un ulteriore aumento della percentuale di consumi elettrici sul totale (ad ora superiori al 85%) a causa dell'utilizzo sempre maggiore e diffuso di impianti di climatizzazione per il raffrescamento.

Il PEAR conduce una analisi a livello disaggregato definendo che:

- per quanto riguarda le scuole si propone di sostituire le caldaie a gasolio con dispositivi capaci di utilizzare combustibili gassosi;
- per il comparto dell'amministrazione pubblica e degli uffici la soluzione proposta è quella di utilizzare impianti centralizzati con pompa di calore a cogenerazione alimentati a gas.
- per il comparto dell'illuminazione pubblica e degli edifici possono essere raggiunti importanti traguardi dal punto di vista del risparmio energetico pari al 30-50% dell'energia elettrica utilizzata per questi scopi attraverso il risparmio energetico e l'utilizzo di tecnologie più efficienti.
- per il comparto turistico alberghiero, nel quale i consumi energetici sono in costante aumento per via dell'elettricità utilizzata per la climatizzazione, la proposta presentata è quella di sostituire gli impianti di raffrescamento a compressione di vapore con macchine frigorifere cogenerative alimentate a gas.

## Settore dei trasporti

L'incidenza del settore dei trasporti sui consumi finali di energia è di poco più di un terzo sia in Italia che in Sardegna, si parla quindi di un settore che occupa una grande fetta dei consumi. In generale il settore dei trasporti presenta queste particolarità:

- il numero di veicoli a persona è in crescita nonostante la regione abbia crescita della popolazione pressochè nulla,
- la situazione dei motori navali e aerei non sembra destinata a cambiare,
- è improbabile che nuove tecnologie, quali le auto a idrogeno ed elettriche, nei prossimi anni penetrino profondamente nel settore.

Nel 2004 in Italia si contano 581 autovetture ogni 1000 abitanti mentre in Sardegna 540 autovetture ogni 1000 residenti. L'aumento del numero di automobili pro capite di per se comporta un inaccettabile aumento delle emissioni nocive. Non è realistico proporre un inversione di tendenza sul numero di automezzi in circolazione in quanto si andrebbe, tra l'altro, ad intaccare la mobilità individuale, ma si può porre rimedio all'aumento delle emissioni aumentando il più possibile la penetrazione degli automezzi alimentati con combustibili a basso tenore di carbonio (GPL e Metano) sul breve termine, e ad idrogeno nel medio e lungo termine. Il PEAR si prefigge l'obiettivo di arrivare a un 25% di autoveicoli a GPL e un 5% ad idrogeno entro il 2010. Viene inoltre prevista la produzione di 11 *ktep/anno* di biocarburanti, corrispondenti a 500 *ha* coltivati.

## Settore industriale

Le linee guida proposte per il settore industriale sono ovviamente legate alla particolare situazione dell'industria sarda caratterizzata da grandi poli industriali molto energivori. La sopravvivenza di queste industrie è legata alla loro possibilità di accesso all'energia (elettrica e non) a un prezzo che le renda competitive sul mercato. Per abbassare il prezzo dell'energia il PEAR si propone di:

- costruire una centrale termoelettrica che sia in grado di sfruttare il carbone estratto nella regione del Sulcis;
- potenziare il cavo elettrico di collegamento con il continente;
- costruire un metanodotto e, in attesa di questo, realizzare dei rigassificatori nelle zone portuali dell'isola.

L'arrivo del metano può avere il duplice obiettivo di favorire l'autoproduzione di energia elettrica e abbassare i fabbisogni termici del settore industriale sino ad ora soddisfatti attraverso l'utilizzo di derivati del petrolio. Si può aggiungere che l'eventuale arrivo del metano porterebbe alla possibilità di

futuri interventi di re-powering di alcune centrali a olio combustibile con dei cicli combinati alimentati a gas naturale. In concomitanza con quanto proposto finora il PEAR, al fine di diversificare e salvaguardare il settore industriale, propone di incentivare le industrie a bassa intensità energetica quali: l'agronomia, l'industria tessile, del sughero, dei materiali lapidei, del sale, la produzione di biocombustibili.

### Fonte idroelettrica

Le potenzialità idroelettriche della Sardegna sono molto modeste per via del suo particolare regime idrologico, caratterizzato da scarse precipitazioni; pertanto la produzione idroelettrica risulta subordinata alle necessità imposte dagli altri usi prioritari dell'acqua. Il sistema idrico sardo risulta essere molto complesso a causa del clima e dell'orografia della Sardegna, spesso gli invasi per essere interconnessi e consentire una buona utilizzazione della risorsa richiedono travasi e trasporti mediante elettropompe. Il sistema idrico della Sardegna è quindi un carico per la rete elettrica. Il solo impianto di grossa taglia (240 MW) oggi funzionante è quello del Taloro, il quale, per la presenza di gruppi reversibili di notevole potenza, svolge la doppia funzione di garantire energia di punta rinnovabile e di costituire una riserva di potenza essendo l'unico gruppo freddo (non termoelettrico) in grado di consentire la ripresa dell'intera capacità produttiva degli impianti dell'isola in caso di blackout. Sia Enel Green Power, principale produttore idroelettrico privato interessato a sviluppare il settore idroelettrico, che il Piano delle Acque del 1987 mettono in luce come nelle condizioni fisiche degli invasi artificiali della Sardegna non sia economicamente conveniente realizzare nuovi impianti con nuovi sbarramenti, sia per l'elevato costo della diga sia per le implicazioni ambientali ed i lunghi tempi di costruzione e sottolineano che il costo delle opere di miglioramento supererebbe largamente il beneficio conseguibile da una produzione idroelettrica maggiore e di miglior qualità.

Il PEAR afferma che:

- esiste la possibilità di realizzare qualche impianto appartenente alla categoria degli impianti di mini e micro idraulica; i quali potrebbero avere un significato culturale ed economico per piccoli interventi e particolari condizioni ambientali, ma che questi tuttavia non darebbero un significativo contributo al bilancio di energia elettrica della Sardegna;
- sarebbe possibile realizzare ancora impianti di potenza e produttività significative utilizzando sbarramenti ed invasi già realizzati nel quadro del "Piano delle acque" solamente per motivazioni prioritarie quali la fornitura d'acqua per gli usi potabili, irrigui, industriali.

Nel piano energetico vengono formulate alcune proposte di sviluppo del sistema idroelettrico:

1. *Applicazioni di “mini e micro idraulica”*, esistono alcuni esempi di mancato sfruttamento dell'energia potenziale posseduta dall'acqua lungo gli impianti di distribuzione e stoccaggio che sono di seguito descritti:
  - Battente di esubero sulla diga.
  - Pressione di esubero nella distribuzione della risorsa idrica.
2. *Proposta di nuovi impianti di pompaggio reversibili*, la realizzazione di nuovi impianti di pompaggio di media taglia permetterebbe di aumentare il grado di sicurezza della rete elettrica della Sardegna, facilitandone contestualmente la gestione e rendendola più sostenibile a livello economico.

*Uso razionale dell'Energia nel settore acquedottistico.*

### Fonte eolica

In Sardegna la mancanza del piano energetico regionale fino al 2003 ha reso difficile la programmazione di un equilibrato sviluppo degli impianti eolici, tuttavia rispetto alla grande mole di domande inoltrate dai produttori (per circa 4500 MW), in prospettiva 2012 è stata fornita la concessione a costruire per circa il 50% della potenza richiesta. La Valutazione Ambientale Strategica (VAS) a cui il Piano Energetico Ambientale deve essere sottoposto adotta come criterio prioritario, nello sviluppo della fonte eolica, la conservazione dello stato attuale dell'ambiente naturale. Dunque gli impianti eolici debbono essere installati solo in aree ambientalmente degradate e o limitrofe alle principali aree industriali della Regione. Definito ciò il PEAR propone le seguenti linee guida di sviluppo:

1. **Impianti eolici sulle principali aree industriali** Le proposte di sviluppo degli impianti eolici che vengono prese in esame si estendono su siti già compromessi o degradati nei pressi delle aree industriali principali. Le localizzazioni devono essere assoggettate ad uno studio anemometrico apposito di durata almeno annuale.
2. **Ripotenziamento di impianti obsoleti** Si propone anche il ripotenziamento di alcuni parchi eolici già esistenti attraverso la sostituzione di aerogeneratori ormai obsoleti con altri di nuova generazione che presentano potenze unitarie più elevate (da 0,8 a 2 MW).
3. **Mini e micro eolico** Realizzazione di impianti eolici di piccola potenza al servizio di aziende agro-industriali o manifatturiere nei piani di insediamento produttivo di alcuni comuni della Sardegna, con la finalità di ridurre il costo aziendale dell'energia elettrica.
4. **Limiti tecnici alla potenza di impianti eolici installabili in Sardegna** La potenza per gli impianti eolici collegabile alla RTN (Rete di Trasmissione Nazionale) è stata determinata come la massima potenza tale da mantenere gli attuali standard di sicurezza e qualità del

servizio elettrico. Si è individuato il limite tecnico della potenza eolica installabile in sicurezza in Sardegna, con riferimento al 2004, al 2006 e al 2009. Sulla base dello studio è risultato che la potenza installabile è pari a  $384MW$  al 2004,  $498MW$  al 2006 e  $1066MW$  al 2009.

### Fonte solare

All'interno del PEAR viene svolto un lavoro di indagine per l'individuazione di siti adatti per la costruzioni di impianti solari termodinamici, gli unici di cui si preoccupa di tracciare linee guida per il futuro. Nel PEAR si afferma che data la particolare situazione climatica, geografica ed energetica della Sardegna, l'installazione di uno o più impianti solari risulta non solo possibile ma indispensabile se si vuole pianificare uno sviluppo sostenibile ed ecocompatibile dell'isola, a tal fine si è svolta un'indagine sulle potenzialità della fonte solare. Il processo per l'individuazione dei siti adatti allo scopo prefissato procede nella maniera seguente:

- viene consultata la carta di irrigabilità dei suoli, si escludono zone già adibite ad uso agricolo intensivo;
- viene consultata la carta dei suoli, si escludono zone con presenza di vegetazione folta o di particolare interesse ambientale;
- si verificano le pendenze del terreno affinché non siano eccessive rispetto ai valori richiesti per una corretta installazione del campo di specchi;
- si escludono zone troppo vicine al mare, zone di interesse turistico, zone troppo vicine a centri abitati;
- infine si dovrà valutarle con il metodo della matrice di decisione attribuendo ad ogni caratteristica un suo peso per poi scegliere il sito che maggiormente soddisfa le richieste.

Tabella 6.1: Possibili siti per installazione impianto CSP

Sito	Prov	Superficie <i>km<sup>2</sup></i>
Genna Sartania	VS	0,514
Villacidro	VS	0,223
Ottana	NU	0,0994
Birori	NU	1,250
Sindia	NU	1,030
Macchiareddu	CA	38,0

## 6.2 Analisi della situazione energetica a livello locale

### Settore agricolo

La descrizione dello stato attuale del sistema energetico del settore non può che partire dalla considerazione che, in Sardegna, i consumi energetici per l'agricoltura e la pesca hanno un peso limitato se paragonato agli altri settori economici. Dalla considerazione dei dati storici risulta evidente come la percentuale dei consumi agricoli rispetto al totale si mantenga sempre attorno al 3 - 4%.

Questa evidenza è il sintomo della mancata industrializzazione dell'agricoltura sarda che è basata su un certo numero di aziende di piccole dimensioni adoperanti metodi di lavoro tradizionali. Chiaramente quando si parla di settore agricolo si includono, oltre alla parte di coltivazione vera e propria, anche la pesca e l'allevamento, comparti che hanno un peso rilevante nell'economia sarda. Interessante può risultare una caratterizzazione territoriale del settore in analisi ovvero una localizzazione delle aree geografiche in cui queste attività sono maggiormente sviluppate e portano un contributo importante all'economia locale. Si riporta a questo proposito la Tabella 6.2 in cui, per l'anno 2007, è presentata la percentuale del valore aggiunto di ciascun settore rispetto al totale nelle otto province sarde. Quello che si nota è che le province in cui è presente un maggior peso del settore agricolo sono in primis quelle attraversate dalla piana del Campidano (Oristano e Medio Campidano principalmente), la più grande pianura presente sull'isola nonché zona più fertile e di conseguenza più intensamente coltivata. Per quanto riguarda l'allevamento invece le zone più interessanti sono quelle collinari a nord dell'isola (province di Nuoro e Sassari).

Tabella 6.2: Valore aggiunto per province 2008

M€	<b>Agr.</b>	Ind. SS	<b>Ind.</b>	Comm.	Altri serv.	<b>Serv.</b>
Cagliari	2,2	5,6	18,2	25,0	32,6	79,6
Carbonia-Iglesias	3,8	5,7	28,7	19,5	24,3	67,5
Medio-Campidano	9,1	6,3	17,7	24,1	26,0	73,3
Nuoro	5,3	5,1	20,4	23,0	31,4	74,3
Ogliastra	4,3	8,0	15,4	26,8	34,8	80,3
Olbia-Tempio	2,7	7,7	19,0	39,5	19,9	78,4
Oristano	11,8	5,2	14,1	25,6	26,7	74,1
Sassari	5,1	6,1	19,7	25,6	25,8	75,2

Un altro importante elemento da tenere in considerazione è relativo alle fonti da cui derivano i consumi energetici settoriali. Come riportato in Figura 6.1 il fabbisogno è soddisfatto per una porzione ridotta che non supera il 20% da energia elettrica direttamente prelevata dalla rete ed utilizzata per

illuminazione, riscaldamento dell'acqua e funzionamento di macchinari elettrici. La parte più importante dei consumi settoriali ha per fonte prodotti petroliferi ed in primo luogo il gasolio; si tratta dei combustibili utilizzati per alimentare macchinari agricoli come trattori, motozappa o motoseghe.

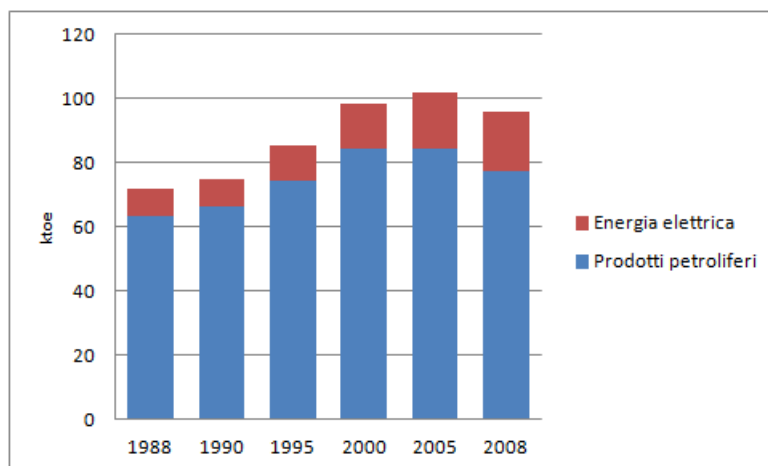


Figura 6.1: Consumi finali di energia del settore agricolo divisi per fonte in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA

### Settore residenziale e dei servizi

I due settori riguardanti l'ambito civile sono fino ad ora stati analizzati e previsti congiuntamente in ragione della loro ridotta frazione di consumi rispetto al totale ed in ragione delle similarità nel tipo di sfruttamento energetico. In questa sezione ci si propone di analizzare lo stato attuale dei due settori separatamente perchè si vuole attuare uno studio a livello locale considerando le varie provincie ed i consumi dei due settori si dividono in maniera diversa a seconda della struttura civile locale.

Per quanto riguarda il settore residenziale da una prima analisi dei consumi a livello regionale (Figura 6.2) si nota la presenza preponderante della fonte combustibili fossili utilizzata principalmente per il riscaldamento domestico attraverso caldaie a gasolio o GPL; va poi sottolineato il fatto che circa la metà dei consumi di energia elettrica settoriali servono al riscaldamento delle acque calde sanitarie [59], pratica per la quale si utilizzano dunque principalmente scaldabagni elettrici, tecnologia obsoleta e poco sostenibile.

Passando ad un livello locale si riporta la Tabella 6.3 che presenta la suddivisione per provincia dei consumi di energia elettrica dei settori analizzati per l'anno 2009 [37]. In riferimento sempre al settore residenziale si nota come i consumi siano divisi nelle realtà provinciali in maniera circa proporzionale alla grandezza ed alla popolazione della provincia, in effetti Cagliari e Sassari presentano il maggior consumo mentre le nuove provincie con meno abitanti come Ogliastra hanno un fabbisogno minore. Questa evidenza deve essere sottolineata anche in vista della sezione che verrà presentata successivamente



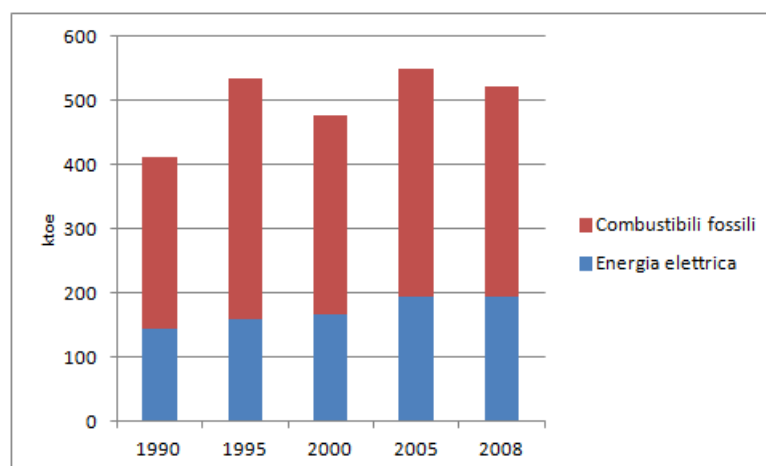


Figura 6.2: Consumi finali di energia del settore residenziale divisi per fonte in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA

in cui i consumi energetici previsti per la regione Sardegna saranno divisi per le varie provincie; il criterio di suddivisione per i consumi del settore residenziale sarà proprio la percentuale di popolazione di ciascuna provincia rispetto al totale regionale.

Tabella 6.3: Consumi di energia elettrica del comparto civile, GWh per l'anno 2009. Fonte Terna

	OT	SS	NU	OR	VS	OG	CI	CA
<b>Terziario</b>	<b>360,8</b>	<b>447,2</b>	<b>185,3</b>	<b>181,7</b>	<b>104,3</b>	<b>63,1</b>	<b>136,3</b>	<b>933,6</b>
<b>Vendibili</b>	<b>291,4</b>	<b>320,8</b>	<b>126,1</b>	<b>120,9</b>	<b>71,9</b>	<b>46,1</b>	<b>96,1</b>	<b>665,2</b>
Trasporti	24,9	21,1	4,3	5,4	6,0	2,0	3,6	56,1
Comunicazioni	13,3	18,2	9,6	10,2	3,7	2,8	6,7	61,8
Commercio	81	120,9	45,6	47	36,3	14,7	42,6	242,6
Alberghi, bar, rist.	122,5	69,6	37	28,4	11	14,5	17,7	120,4
Credito e assicur.	3,5	11,8	3,1	2,7	1,4	1,0	2,7	18,9
Altri vendibili	46,3	79,3	26,4	27,2	13,6	11,1	22,8	165,4
<b>Non vendibili</b>	<b>69,4</b>	<b>126,3</b>	<b>59,2</b>	<b>60,8</b>	<b>32,5</b>	<b>17,0</b>	<b>40,2</b>	<b>268,3</b>
Pubblica ammin.	23,8	31,1	13,5	15,3	7,1	5,5	10,3	68,7
Illuminazione pubb.	23,1	38,3	28,1	26,5	12,6	8,5	15,8	59,9
Altri non vendibili	22,5	56,9	17,7	18,9	12,8	3,0	14,1	139,7
<b>Domestico</b>	<b>293,6</b>	<b>461,6</b>	<b>192,6</b>	<b>199,1</b>	<b>113,5</b>	<b>62,5</b>	<b>176</b>	<b>790,4</b>
di cui serv. edifici	18,3	18,5	2,5	3,2	0,7	0,5	2,2	31,5

Considerando il settore dei servizi le valutazioni che possono essere fatte sono di carattere differente; si nota intanto da Figura 6.3 che al contrario del settore residenziale la parte preponderante del consumo finale di energia è riferibile all'elettricità. Va sottolineato inoltre come non solo i consumi di energia elettrica siano sostanzialmente maggiori rispetto a quelli di combustibili

fossili ma che ci sia inoltre un andamento nel corso degli anni che determina una crescita della percentuale elettrica sul totale dei consumi settoriali. La spiegazione che si può fornire a questa evoluzione sta nel fatto che nel settore dei servizi, in maniera molto più consistente rispetto al residenziale, si nota il forte sviluppo della climatizzazione ambientale, servizio ormai immaneabile in uffici della pubblica amministrazione, strutture ricettive, centri commerciali ecc.

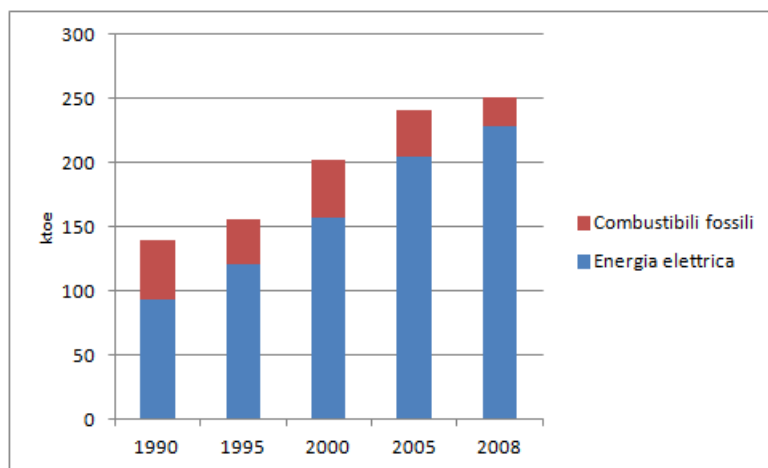


Figura 6.3: Consumi finali di energia del settore dei servizi divisi per fonte in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA

Riferendosi ancora alla Tabella 6.3 possono essere fatte delle considerazioni riguardo alla struttura economica ed energetica delle varie aree dell'isola. Un ragionamento a parte deve essere fatto per le provincie di Cagliari e Sassari in cui sono presenti le aree metropolitane più grandi dell'isola e dove si nota un peso importante del settore commerciale e dei trasporti; per quanto riguarda la provincia di Cagliari in particolare si evidenziano i forti consumi della pubblica amministrazioni dovuti alla presenza di un gran numero di uffici amministrativi e governativi ed un percentuale rilevante di consumi nel comparto ricettivo. In riferimento alle altre provincie si sottolinea il fatto che i consumi maggiori si registrano nel sottosettore commerciale ad eccezione della provincia di Olbia - Tempio dove la concentrazione di una attività turistica di grande importanza anche a livello nazionale porta i consumi energetici del comparto ricettivo ad avere il peso maggiore nel settore terziario.

Una ultima considerazione che può essere fatta a proposito del settore residenziale e dei servizi riguarda la produzione delle quantità energia elettrica richiesta. Per il tipo di fabbisogno della regione e per le caratteristiche della rete elettrica si può affermare che il forte sviluppo delle fonti rinnovabili per la produzione di elettricità, analizzato nelle sezioni successive, sia finalizzato principalmente al soddisfacimento del fabbisogno del settore civile. Le caratteristiche dell'energia elettroolica e fotovoltaica non permettono l'alimentazione di utenze come quelle industriali il cui fabbisogno è infatti sod-

disfatto da grandi centrali termoelettriche non a caso collocate in prossimità dei poli produttivi. La conclusione che si può trarre è che praticamente tutta l'energia generata da fonti rinnovabili venga utilizzata per coprire, in maniera parziale, i fabbisogni del settore civile; da queste considerazioni partiranno le valutazioni di sviluppo analizzate nell'ultimo paragrafo in cui si proporrà la maniera per aumentare la percentuale dei fabbisogni civili soddisfatti da fonti rinnovabili.

### Settore trasporti

In riferimento a questo settore analisi a livello locale risultano essere poco significative in quanto la struttura e le modalità con cui si effettuano i trasporti sull'isola non presentano particolari distinzioni provincia per provincia, salvo per le aree metropolitane di Sassari e Cagliari in cui la presenza di reti di trasporto pubblico ben sviluppate determinano alcune peculiarità nei consumi. Dall'analisi di Figura 6.4 si nota come i consumi energetici del settore siano soddisfatti quasi totalmente (più del 80%) dalle fonti gasolio e benzine; percentuali poco rilevanti sono coperte da GPL e dal carboturbo usato per i trasporti aerei.

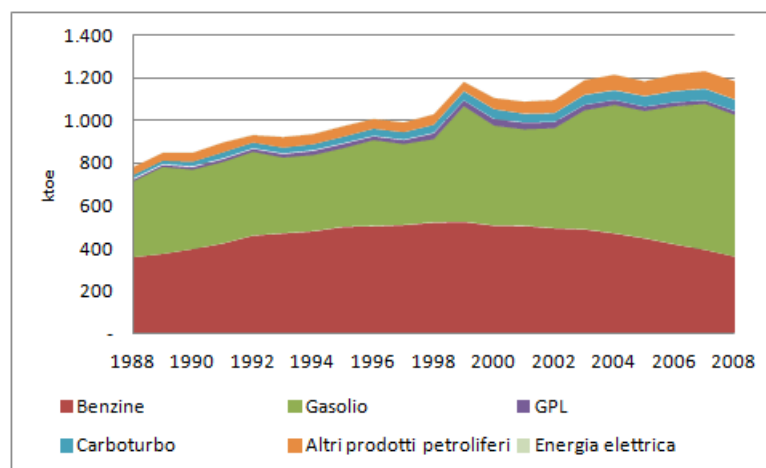


Figura 6.4: Consumi finali di energia del settore trasporti divisi per fonte in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA

L'evoluzione della serie storica denota una variazione delle percentuali coperte dai combustibili principali, si nota che per le benzine dopo un periodo di crescita costante durato circa fino all'anno 2000 ci sia stata un contrazione dei consumi che ha portato ad una riduzione della percentuale coperta sul totale settoriale dal 44% del 1999 al 31% nel 2008. Al contrario si è registrata una crescita considerevole del peso del combustibile gasolio che a partire dai primi anni duemila ha assunto il peso preponderante ed è arrivato nel 2008 a coprire il 56% dei consumi finali settoriali. Va sottolineata la quasi totale assenza della fonte energia elettrica che testimonia come la rete ferroviaria dell'isola, che presenta comunque un livello insufficiente di sviluppo, non sia elettrificata ma si basi sull'alimentazione a gasolio.

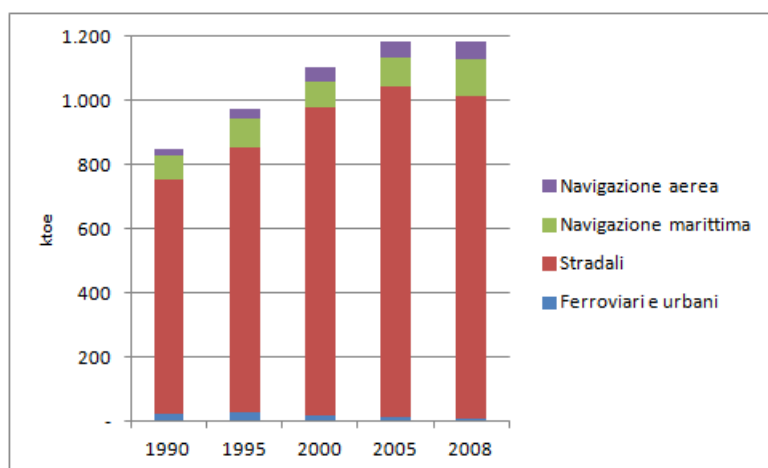


Figura 6.5: Consumi finali di energia del settore trasporti divisi per tipo di utilizzatore in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio. Fonte ENEA

Vengono riportati in Figura 6.5 gli stessi consumi finali di energia del settore in questione suddivisi secondo le tipologie di utilizzo; la grande percentuale dei trasporti stradali è molto significativa perchè da l'idea di come sia strutturato il settore trasporti in Sardegna. Gli spostamenti relativi sia alle merci che ai passeggeri sono effettuati quasi esclusivamente via terra, se si pensa alla natura isolana della regione è facile comprendere la porzione degna di nota dei consumi della navigazione marittima che comunque restano limitati (sotto il 10% del totale) se confrontati con quelli stradali che negli anni si sono mantenuti sempre al di sopra del 85%. Da sottolineare è infine la porzione dei trasporti ferroviari ed urbani che resta sempre molto ridotta a testimonianza dello scarso sviluppo della rete e dunque del basso utilizzo dei treni come mezzi di trasporto.

### Settore industriale

La situazione del comparto industriale sardo è stata già descritta in maniera generale al momento della previsione dei consumi energetici settoriali futuri; in questa sezione si passa ad una analisi della struttura energetica locale in riferimento ad i singoli poli industriali presenti sull'isola. Come già visto in precedenza il comparto produttivo sardo è costituito da un insieme ridotto di aree industriali di grandi dimensioni in cui si concentrano stabilimenti di importanza strategica sia per la realtà regionale sia per quella italiana in generale; i poli industriali principali presenti sul territorio isolano sono:

- Portovesme: località situata nel comune di Portoscuso (CI) in cui sono presenti stabilimenti atti alla produzione di materiali metallici non ferrosi (principalmente piombo e zinco). Si tratta di un polo di importanza strategica a livello nazionale visto che raccoglie gran parte della produzione italiana di questi materiali; basti pensare che gli stabili-

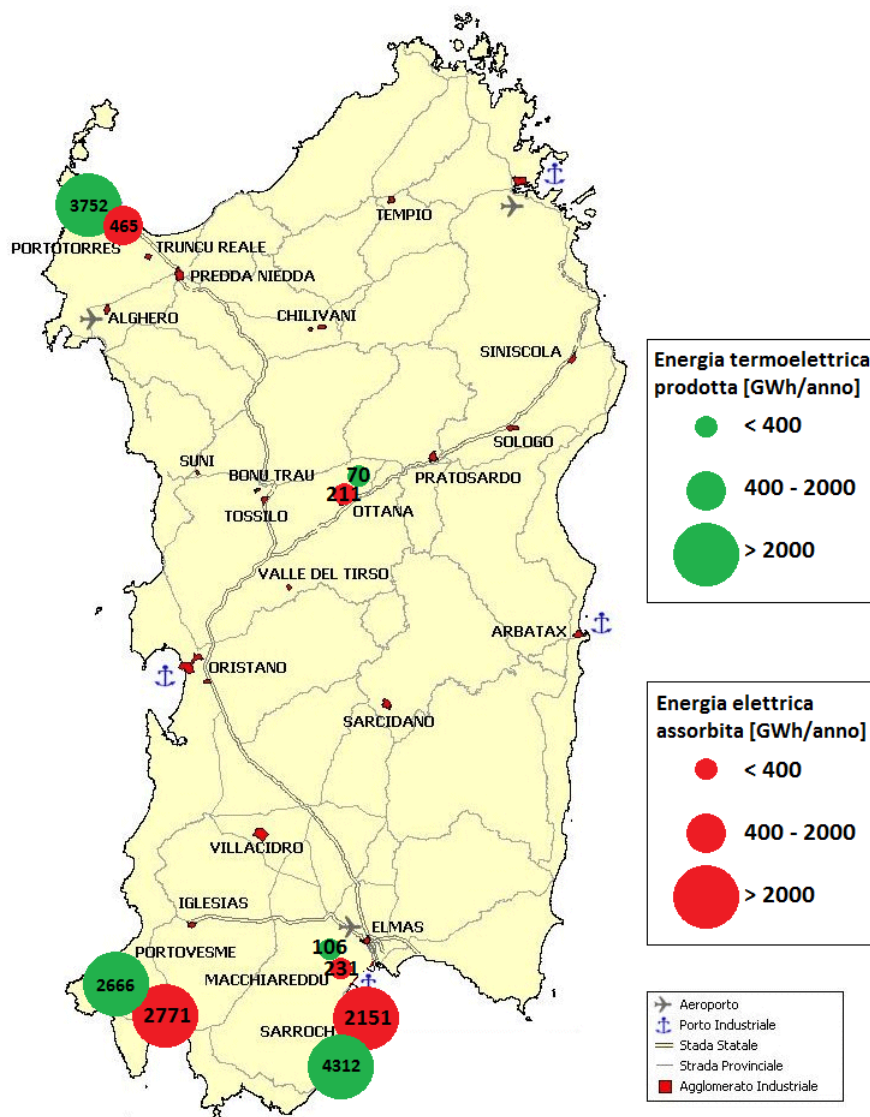


Figura 6.6: Mappa dell'energia elettrica assorbita dai poli industriali e generata dalle centrali idroelettriche in GWh al 2008. Fonte Terna

menti sardi assorbono più della metà dell'eltricità consumata a livello nazionale nel settore dei metalli non ferrosi. Questo tipo di attività produttiva risulta essere particolarmente energivora soprattutto in termini elettrici; attualmente il fabbisogno del polo di Portovesme è soddisfatto dalla presenza di tre centrali termoelettriche della potenza di 240 MW ciascuna. Gli impianti sono tutti basati sul ciclo Rankine per la produzione di potenza e sono alimentati a carbone (due gruppi con una percentuale di combustibile estratto in loco) ed a olio combustibile; si tratta in tutti e tre i casi di centrali con tecnologia e componentistica relativamente datate visto che sono entrate in funzione durante gli anni sessanta e settanta.

- Sarroch: comune situato nella provincia di Cagliari nella zona sud-ovest del capoluogo. Anche questo polo industriale ha una grande importanza a livello nazionale data la presenza del più grande impianto italiano e tra i sei più grandi d'Europa per la raffinazione del petrolio (di proprietà di Saras S.p.A.) con una capacità di 300'000 *bbl/giorno*. Da notare inoltre la presenza in questo sito dello stabilimento petrolchimico per la produzione di polimeri facente capo all'azienda Polimeri Europa S.p.A (controllata ENI). Per quanto riguarda la zona di Sarroch il soddisfacimento del fabbisogno di energia elettrica è garantito dalla presenza di un impianto all'avanguardia basato sulla tecnologia IGCC (*Integrated Gasification Combined Cycle*) della potenza di 560 *MW* alimentato con gli scarti (TAR) generati dalla stessa raffineria ed avente la stessa proprietà.
- Macchiareddu: località sita nel comune di Assemini e situata nella periferia nord di Cagliari. Si tratta in questo caso di un polo industriale con caratteristiche differenti da quelli visti sinora, non sono presenti industrie di tipo pesante ma una serie di piccole aziende che lavorano principalmente nel campo della meccanica, dei materiali per costruzione ed in quello alimentare. Data la tipologia ed il numero degli impianti presenti le richieste di energia elettrica sono inferiori rispetto a quelle dei grandi poli analizzati in precedenza e vengono parzialmente soddisfatti da due impianti a ciclo Joule della potenza di 88 *MW* ciascuno alimentati, per il momento, a gasolio.
- Ottana: comune in provincia di Nuoro situato nella parte interna dell'isola. Le caratteristiche di questo sito sono simili a quelle descritte per quanto riguarda Macchiareddu, con la presenza di una serie di piccoli stabilimenti operanti perlopiù nel campo della produzione di materiali per costruzione ed in quello alimentare a cui va aggiunto una industria chimica per la produzione di polimeri di medie dimensioni. Nelle immediate vicinanze della zona industriale è situato un polo di generazione di elettricità che comprende due gruppi ad olio combustibile che alimentano cicli Rankine della potenza totale di 140 *MW* a cui va aggiunta una nuova centrale ad olio vegetale della potenza di 36,4 *MW*.
- Porto Torres località all'estremo nord ovest dell'isola in provincia di Sassari. Questo polo risulta avere una importanza strategica per l'isola per diversi motivi anche se è stato soggetto ad un ridimensionamento negli anni dal punto di vista produttivo. Attualmente è in funzione una fabbrica di grandi dimensioni che produce polimeri (sempre di proprietà di Polimeri Europa S.p.A.) che determina un consumo energetico sottodimensionato rispetto alla potenza termoelettrica generata da una serie di impianti di produzione presenti nel sito. Il totale installato è di 1040 *MW* fornito da due centrali a carbone da 320 *MW* ciascuna entrate in funzione negli anni novanta e da due centrali ad olio combustibile della potenza di 160 *MW* ognuno funzionanti dai primi anni

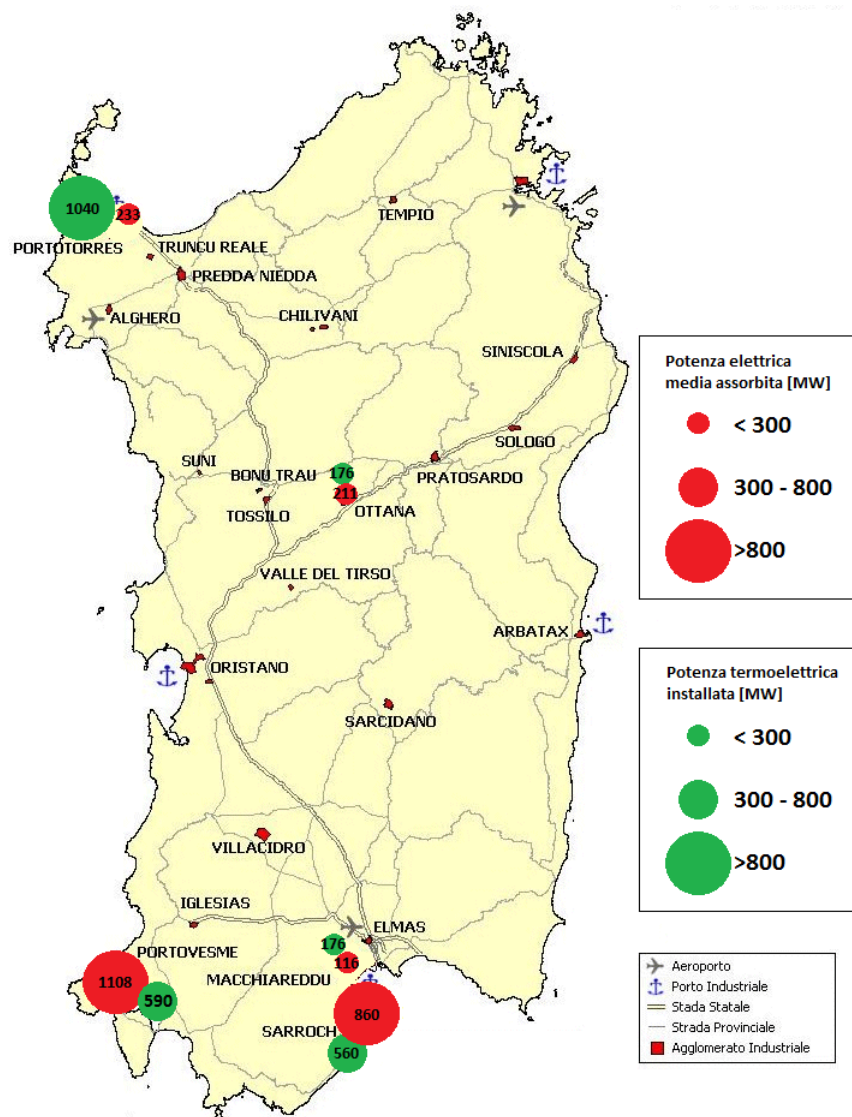


Figura 6.7: Mappa della potenza elettrica assorbita dai poli industriali e generata dalle centrali termoelettriche MW all'anno 2008. Fonte Terna

ottanta oltre che da due gruppi di turbogas da 40 MW ciascuno usati per coprire i picchi di richiesta. Dalle figure relative alla potenza ed all'energia elettrica generata e assorbita (Figura 6.6 e Figura 6.7), ricavate da elaborazioni a partire da dati Terna per il 2009 [37], appare evidente che ci sia una disponibilità sovrabbondante rispetto alle richieste specifiche del polo industriale, questo è dovuto principalmente al ridimensionamento dello stesso che ha portato ad una riduzione della richiesta di energia elettrica pari a circa il 50% nel periodo che va dal 2000 al 2010. L'importanza strategica del polo di Porto Torres risiede in aggiunta nella presenza dell'importante porto commerciale e nell'approdo del nuovo cavo elettrico SAPEI di collegamento dell'isola con il

continente.

### Fonte idroelettrica

Come è stato descritto in precedenza la fonte idrica in Sardegna rappresenta un patrimonio di entità relativamente limitata; sono dislocati sul territorio regionale diversi bacini artificiali che hanno però come scopo principale la fornitura dell'acqua per scopi irrigui e domestici. Sono comunque presenti sul territorio regionale una serie di impianti idroelettrici il cui elenco è riportato in Tabella 6.4 che garantiscono una produzione di elettricità che per l'anno 2010 è stata pari al 5,4% del totale. Va sottolineato il fatto che nell'elenco citato non venga riportata la più grande centrale isolana costruita in località Taloro negli anni settanta e dotata di una potenza elettrica di 240 MW, più della metà della potenza idroelettrica totale della regione.

Tabella 6.4: Impianti idroelettrici presenti in Sardegna all'anno 2010

Nome	Provincia	Anno	Potenza
Coghinas	OT	1927	22,7
Flumendosa1	OG	1949	7,8
Flumendosa2	OG	1949	28,2
Flumendosa3	OG	1949	9,6
Cedrino	NU	1951	1,6
Posada-Torpè	NU	1960	0,812
Uvini	CA	1960	13
Santu Miali	MC	1960	24
Taloro1	NU	1961	41,6
Taloro2	NU	1962	26,4
Taloro3	OR	1962	6,3
Casteldoria	SS	1963	5
Taloro Reversibile	NU	1978	240
Ozieri	SS	1994	9,9
Tirso1	OR	2005	20
Tirso2	OR	2005	4
Uvini ristrutturata	CA	2006	13
Cedrino 1 e 2	NU	2007	3,8
Posada1	NU		1
Posada2	NU		1

Il motivo per cui la centrale di Taloro non viene conteggiata tra gli impianti di produzione è spiegato dall'analisi del bilancio dell'energia idroelettrica riportato in Tabella 6.5 e dal fatto che questo sia l'unico impianto sull'isola con la possibilità di effettuare il pompaggio. Nel bilancio vengono riportati tutti i flussi energetici che interessano questo particolare settore: si considera l'energia prodotta dall'insieme delle centrali idroelettriche ed i consumi di elettricità dovuti sia ai pompaggi sia alla movimentazione delle acque



lungo le reti dell'acquedotto sardo. La produzione netta che viene riportata nell'ultima colonna è il risultato di una sottrazione tra quanto prodotto e quanto consumato all'interno del settore. Quello che si nota è che:

- Rispetto all'elettricità prodotta, quella utilizzata per i pompaggi ha un peso importante giunto in alcune annate ad eguagliare e superare la produzione; questo significa che la centrale di Taloro è costretta ad operare per un numero rilevante di ore equivalenti in pompaggio assorbendo una quantità di energia elettrica paragonabile a quella prodotta.
- I consumi elettrici del sistema di acquedotti che sono molto elevati per la Sardegna tanto da renderla una delle realtà italiane con il maggior fabbisogno pro capite di energia elettrica per il servizio acquedottistico [59], con un consumo totale che risulta essere dello stesso ordine di grandezza della produzione di energia idroelettrica.

Tabella 6.5: Bilancio energia idroelettrica in Sardegna. Fonte Terna

Anno	Potenza <i>MW</i>	Produzione lorda <i>GWh</i>	Pompaggi <i>GWh</i>	Consumi acquedotti <i>GWh</i>	Produzione netta <i>GWh</i>
2000	429,7	362,4	365,9	262,2	-265,7
2001	429,7	455,3	366,6	260	-171,3
2002	431,2	321,3	339,3	254,4	-272,4
2003	431,2	514,2	350,1	256,7	-92,6
2004	435,1	597,7	392	251,4	-45,7
2005	455,6	812,4	477,4	242,4	92,6
2006	455,6	691,5	514,9	256,8	-80,2
2007	455,6	611,9	426	269,7	-83,8
2008	459,2	641,3	513,5	286,8	-159
2009	459,2	748,3	443,7	258,6	46
2010	459,2	662,2	352	255,5	54,7

Si può in definitiva concludere che, come evidenzia il saldo altalenante intorno allo zero di produzione netta in Tabella 6.5, la fonte idroelettrica ad oggi non rappresenta per la realtà sarda una sorgente di energia sfruttabile e che si possa pensare di sviluppare in futuro. Il settore in generale si autosostiene e, a seconda della piovosità dell'annata in considerazione, fornisce un piccolo apporto al sistema elettrico regionale oppure si comporta come utilizzatore consumando una certa quantità di energia elettrica per i fabbisogni acquedottistici e di pompaggio.

### Fonte eolica

La particolare posizione geografica e l'esposizione importante soprattutto al vento di maestrale della regione determina, come analizzato anche nel PEAR

del 2006, una potenzialità elevata di questa fonte. Lo sfruttamento dell'energia eolica in Sardegna ha subito uno sviluppo importante negli ultimi anni con percentuali di crescita annua della potenza installata e della produzione di elettricità, unico prodotto da essa ottenibile, molto forti sia se paragonate alle altre fonti rinnovabili (si riporta in Figura 6.8 la produzione di elettricità da FR) sia nei confronti delle fonti tradizionali. Secondo gli ultimi dati pubblicati da Terna [37] e relativi all'anno 2010 il numero di parchi eolici presenti sull'isola è pari a 31 con una potenza installata di 638,9 MW a cui vanno aggiunti ulteriori 228 MW entrati in funzione nel corso del 2011. La buona potenzialità della fonte è testimoniata dall'elevato numero di ore equivalenti di funzionamento degli impianti attestatesi, sempre per il 2010, a 1600  $h_{eq}$  che hanno determinato una produzione di elettricità di 1023 GWh.

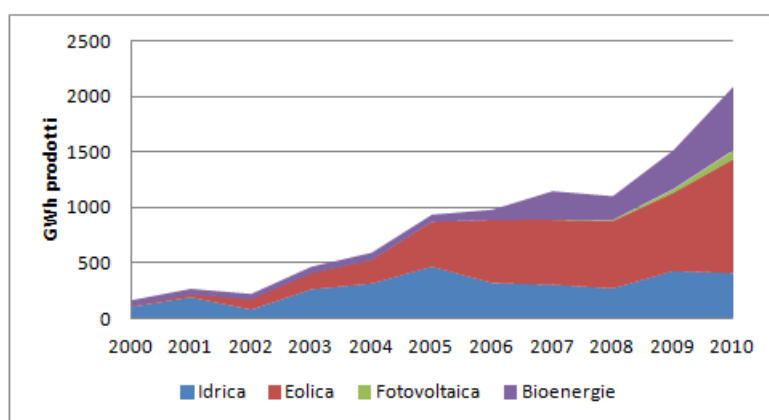


Figura 6.8: Serie storica, produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili in Sardegna in GWh. Fonte Terna

Come si evidenzia in Tabella 6.6 lo sfruttamento dell'energia eolica ha avuto un impulso iniziale significativo a partire dalla metà degli anni duemila ed è andato sviluppandosi in maniera sempre più importante nel corso degli anni con la costruzione di parchi di dimensioni sempre maggiori che sono arrivate molto vicine ai 100 MW di potenza installata. Una crescita di tali proporzioni della produzione energetica dal vento non è giustificabile solo con la forte ventosità che si registra sull'isola e con la sempre maggiore attenzione per le fonti energetiche rinnovabili; l'impulso determinante per lo sviluppo di questo settore deriva dalle forti incentivazioni presenti sia a livello regionale che nazionale con il meccanismo dei Certificati Verdi [7].

La grande redditività derivante dalle forti incentivazioni e dalla situazione geografica favorevole ha portato molti investitori ad affacciarsi per la prima volta nel settore della produzione energetica da fonte eolica, attratti dalla relativa sicurezza e durata dei profitti ottenibili. Se da un lato questa corsa alla costruzione di impianti ha portato la regione Sardegna ad avere una quantità importante di produzione elettrica da fonti rinnovabili bisogna notare come debbano essere considerati anche alcuni effetti negativi. L'installazione di una turbina eolica determina sì produzione di energia "pulita"

Tabella 6.6: Parchi eolici con potenza maggiore di 2 MW in Sardegna

	Comune		Anno	MW	-	Titolare
1	Monte Arci	OR	1997	10,88	34	Enel green power
2	Viddalba	SS	2000	38,94	59	IVPC4
3	Viddalba	SS	2002	30,6	46	IVPC4
4	Porto Torres	SS	2002	12,25	7	Enel green power
5	Tula	SS	2003	25,2	28	Enel green power
6	Viddalba	SS	2003	37,24	44	IVPC4
7	Florinas	SS	2004	20	10	Endesa
8	Nurri	NU	2004	22,1	26	FRI-EL
9	Littigheddu	SS	2004	33	22	Enel green power
10	Nulvi	SS	2005	16,15	19	IVPC Sardegna
11	Ploaghe	SS	2005	27,2	32	IVPC Sardegna
12	Littigheddu	SS	2005	21	23	Enel green power
13	Ulassa	OG	2005	72	48	Sarda Eolica
14	Nulvi-Tergu	SS	2008	29,8	35	FRI-EL
15	Campidano	MC	2008	68	93	FRI-EL
16	San Basilio	CA	2010	24,65		FRI-EL
17	Monte Grighine	OR	2010	98,9	43	Greentech EDF EN
18	Buddusò	OT	2011	138	96	Geopower Sardegna
19	Isperdaias	CI	2011	90	39	Enel green power

ma è anche vero che causa un impatto ambientale non trascurabile sull'ambiente circostante. All'interno del PEAR del 2006 è stata posta particolare attenzione a questo tema sottolineando il fatto che la costruzione di ciascun parco eolico sarebbe dovuta essere condizionata ad una valutazione di impatto ambientale e che, in generale, lo sviluppo della fonte eolica dovesse andare ad intaccare quelle aree già ambientalmente compromesse come quelle dei poli industriali.

Dall'analisi della situazione odierna che vede il posizionamento dei grandi parchi eolici rappresentato in Figura 6.9 si nota chiaramente che la forte spinta allo sviluppo dello sfruttamento della fonte ha portato alla collocazione dei parchi di più grandi dimensioni in zone collinari o montuose che non potevano certo essere definite come già ambientalmente compromesse. Va evidenziato come le zone più densamente popolate da turbine eoliche siano le provincie di Sassari ed Olbia - Tempio (nella tabella i siti nati prima della formazione delle nuove provincie riportano la sigla provinciale relativa al momento della costruzione) particolarmente nelle zone dei rilievi di Punta Balistreri e Monte Puntaccia a nord del lago di Coghinas. Vanno inoltre segnalati gli impianti presenti sul massiccio montuoso del Gennargentu, nella zona del Campidano ed il nuovo parco eolico sorto nell'area industriale di Portovesme.

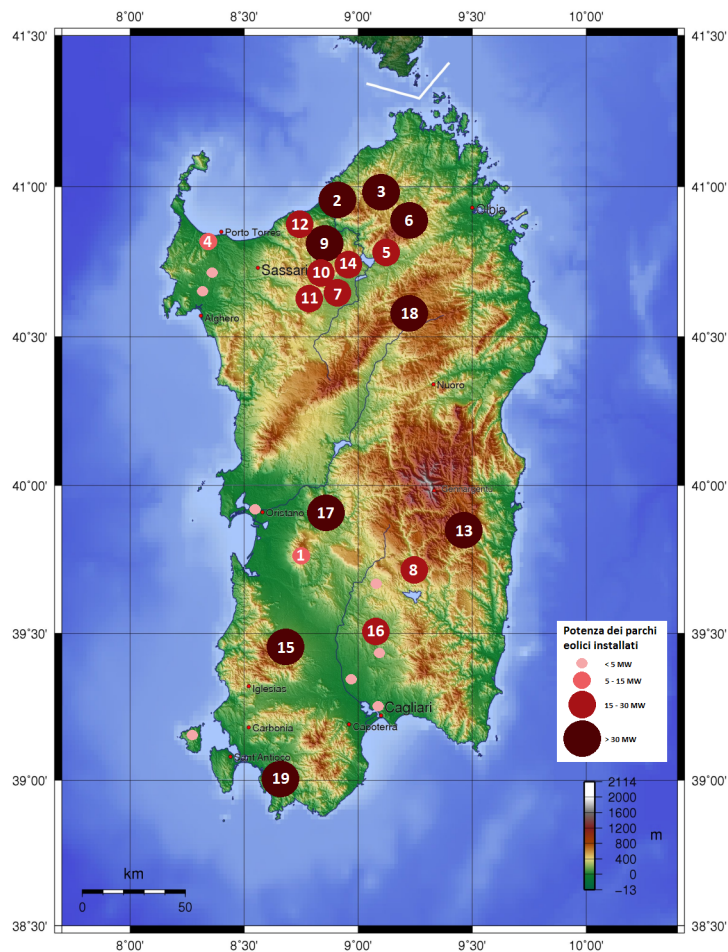


Figura 6.9: Mappa dei parchi eolici in Sardegna

### Fonte solare

Per verificare lo sviluppo della tecnologia fotovoltaica ci si è basati sui dati disponibili dalle statistiche di Terna [37] svolgendo un confronto tra lo sviluppo della fonte fotovoltaica e le altre rinnovabili (Figura 6.8 e Figura 6.10), quella eolica in particolare. Già nel 2000 si può notare come (Tabella 6.7) la fonte eolica sia già una realtà presente sull'isola e come in dieci anni si veda triplicare il numero di impianti e crescere di trenta volte la potenza installata. Il fotovoltaico invece prende piede solamente a partire dal 2007 dove il numero di impianti passa da 2 a 171, nell'anno successivo si verifica il vero boom con la crescita del numero di impianti da 171 a 1303.

A differenza di alcune regioni italiane come ad esempio la Puglia e sostanzialmente in linea con la media italiana [60] sul territorio sardo sono stati installati impianti solari in grandi quantità ma con potenze unitarie ridotte; questo sta a significare che lo sviluppo è avvenuto con la creazione di piccoli parchi collocati su pensiline o tetti e non si è verificato il fenomeno, la cui sostenibilità ambientale è discutibile, della nascita di impianti di potenza rilevante che occupano importanti superfici. Al 2010 la potenza media degli

Tabella 6.7: Evoluzione dello sfruttamento delle fonti eolica e fotovoltaica in Sardegna. Fonte Terna

Anno	Eolico				Fotovoltaico			
	Imp.	MW	GWh	h eq.	Imp.	MW	GWh	h eq.
<b>2000</b>	11	21,1	15,4	730	1	0,6	0,2	333
<b>2001</b>	14	60	34,8	580	2	0,7	0,7	1000
<b>2002</b>	14	69,5	102,2	1471	2	0,7	0,1	143
<b>2003</b>	15	97,8	150,8	1542	2	0,7	0,6	857
<b>2004</b>	17	181,7	218,2	1201	2	0,7	0,6	857
<b>2005</b>	20	332,8	409,3	1230	2	0,7	0,2	286
<b>2006</b>	20	332,8	575,2	1728	2	0,7	0	0
<b>2007</b>	22	383,3	590,2	1540	171	3,5	1,5	429
<b>2008</b>	25	453,3	615,6	1358	1303	15,5	7,9	510
<b>2009</b>	27	606,2	710,8	1173	4202	41,5	31,2	752
<b>2010</b>	31	638,9	1036,1	1622	7630	101,6	74,4	732

impianti solari fotovoltaici installati in Sardegna si attesta intorno ai 20,61 MW. Da questo dato possiamo dedurre che a partire dagli ultimi anni si siano sviluppati piccoli produttori di energia elettrica spinti dalla favorevole incentivazione proposta. Da sottolineare sono i valori anomali per l'anno 2006 in cui, probabilmente per qualche problema di contabilizzazione, viene riportato un valore nullo di energia prodotta. Risulta interessante notare che negli anni riportati in Tabella 6.7 la produzione di elettricità fotovoltaica non abbia viaggiato a pieno regime presentando un numero di ore equivalenti non superiore alle 750  $h_{eq}$ , valore che contrasta con quelli ottenuti dalle valutazioni del potenziale fotovoltaico attuate dal GSE (Gestore dei Servizi Energetici) [61] che colloca la Sardegna, assieme a Puglia e Sicilia, al livello più alto di produttività rispetto all'intero Paese con un funzionamento superiore alle 1350 $h_{eq}$ .

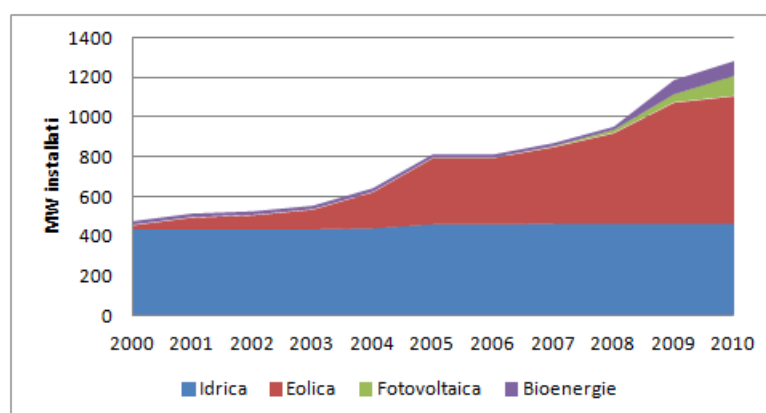


Figura 6.10: Serie storica, potenza installata da fonti rinnovabili in Sardegna in MW. Fonte Terna

Per quanto riguarda il solare termico si può affermare che il suo sviluppo sia legato, così come per il fotovoltaico, ai meccanismi di incentivazione per la produzione di energia da FR elargiti a livello nazionale e regionale. Si può affermare che, soprattutto a livello civile, ci si aspetterebbe una significativa penetrazione dell'utilizzo di questa fonte sia per la forte insolazione presente sull'isola sia per la mancanza ad oggi dell'alternativa del gas naturale. Purtroppo non essendoci come avviene per il fotovoltaico meccanismi di incentivazione che prevedano la contabilizzazione capillare dei flussi di energia prodotti ed essendo questa sezione non trattata dai Bilanci Energetici Regionali, non è stato possibile in questo studio quantificare il livello di sviluppo odierno del solare termico in Sardegna. Si cita infine la tecnologia solare termodinamica di cui si parla nel PEAR del 2006 ma che ad oggi non ha visto la nascita di alcun impianto sul territorio isolano.

### 6.3 Verifica degli obiettivi del PEAR 2006

#### Settore agricolo

Facendo una verifica della situazione del settore agricolo, si nota che la struttura non è mutata in maniera sostanziale rispetto alla situazione del 2005 e che dunque le proposte presentate nel piano si sono rivelate essere degli auspici per uno sviluppo settoriale a lungo termine.

#### Settore residenziale e dei servizi

Attraverso una verifica della situazione di questo settore, si nota che la struttura di quest'ultimo non è mutata in maniera sostanziale rispetto alla situazione del 2005 poichè, come sottolineato in seguito, la Sardegna non è stata raggiunta dal metanodotto previsto. Per quanto riguarda le opere di risparmio energetico, a partire dall'analisi dei consumi elettrici settoriali, si può concludere che anche se si sono adottate misure in questo campo non sono state molto efficaci perchè i consumi elettrici sono cresciuti.

#### Settore industriale

Gli obiettivi concreti di medio termine proposti dal PEAR del 2006, consistenti nella realizzazione di infrastrutture atte al miglioramento dello sviluppo industriale, sono fondamentalmente tre e secondo le previsioni del piano sarebbero dovuti essere raggiunti già nel 2010.

1. **Elettrodotta SAPEI:** è un cavo sottomarino di connessione tra la Sardegna e la penisola italiana. La messa in esercizio del collegamento è stata effettuata nel 2010 attestando dunque il raggiungimento del primo obiettivo fissato dal piano energetico regionale. Si tratta di un cavo di connessione ad altissima tensione (500 kV) capace di trasportare una potenza elettrica di 1000 MW (pari a quasi la metà del fabbisogno sardo). Il percorso del cavo (lungo 435 km) raggiunge l'isola nei

pressi della stazione elettrica di Fiumesanto, presso Porto Torres dove è situata una importante centrale termoelettrica.

2. **Centrale termoelettrica integrata Sulcis:** il progetto presentato inizialmente nel 1994 non è stato realizzato; è stata formulata una nuova proposta di impianto il cui progetto è attualmente in attesa delle necessarie autorizzazioni. Si tratta di una centrale da 450 MW alimentata parzialmente con il carbone prodotto nel Sulcis di tipo USC (ciclo Rankine Ultra Super Critico) con una sezione per il confinamento della  $CO_2$  prodotta [62].
3. **Gasdotto GALSI:** si tratta di un progetto strategico per lo sviluppo economico sardo ed italiano in generale. La sua realizzazione ha subito notevoli ritardi e ad oggi l'obiettivo della messa in esercizio è stato fissato per l'anno 2015. Il piano energetico sardo non parla specificamente della realizzazione del progetto GALSI visto che la sua realizzazione non è di competenza della Regione. Gli obiettivi specifici proposti dal PEAR erano di soddisfare almeno il trenta per cento dei consumi finali settoriali con il gas naturale all'anno 2010 ed il 50% nel 2015; obiettivi che chiaramente non è stato possibile raggiungere.

### Settore dei trasporti

Gli obiettivi fissati da PEAR riguardavano solamente il settore dei trasporti su strada data l'immobilità tecnologica degli altri comparti del settore. Si svolge la verifica degli obiettivi attraverso l'analisi dell'evoluzione del parco di autovetture della Sardegna. Da questa analisi risulta che:

- la crescita totale di autovetture è stata prevista in maniera corretta;
- non era stato previsto un così importante passaggio al gasolio;
- anche la crescita dei combustibili alternativi è stata ben prevista;
- l'obiettivo di passaggio a combustibili a minor tenore di carbonio in generale non è riuscito poichè si è assistito a una grande crescita delle autovetture alimentate a gasolio;
- le previsioni PEAR sono state fatte assumendo che il sistema dei trasporti non sarebbe cambiato, mentre però i suoi obiettivi (25% di auto a GPL nel 2010) auspicavano una modifica dello stesso, nella realtà il sistema è cambiato con un aumento notevole delle autovetture a gasolio.

### Fonte idroelettrica

Gli obiettivi del PEAR in questo settore si possono suddividere in due ambiti: il primo, facilmente verificabile, riguardava la costruzione di centrali idroelettriche; il secondo, meno verificabile, consisteva nel fornire alcune interessanti possibilità di sviluppo del settore. Il primo ambito a sua volta può

essere diviso in due parti la prima riguarda la potenza che nel PEAR ci si proponeva di installare, la seconda riguarda la producibilità attesa dall'intero settore. Per quanto riguarda gli impianti previsti, e quindi la potenza elettrica immessa in rete, possiamo vedere come gli impianti di taglia maggiore siano stati portati a termine nei tempi previsti, non hanno avuto la stessa sorte gli impianti di potenza minore. Anche la produzione idroelettrica sembra essere coincidente con quella prevista, tenendo conto che è sempre molto soggetta all'andamento climatico dell'anno considerato.

Tabella 6.8: Centrali idroelettriche previste dal PEAR

Nome	Comune	Prov	Messa in esercizio		Potenza MW
			stimata	reale	
Tirso1 e 2	Busachi	OR	2005	2005	24
Cedrino 1 e 2	Dorgali	NU	2007	2007	3,8
Posada 1 e 2	Posada	NU	2007	no	1
Uvini ristrutturata	Goni	CA	2007	2007	13
Sarroch	Sarroch	CA	2008	no	2,55

Per quanto riguarda invece le altre possibilità di sviluppo del settore idroelettrico, leggasi mini e micro idroelettrico, non si hanno abbastanza fonti per valutare se si sia riscontrato un aumento degli impianti sull'isola. Non ci sono notizie invece di impianti di pompaggio simili a quello di Taloro anche se con potenze minori, il PEAR aveva individuato tre siti possibili ma in nessuno di questi si è costruito l'impianto. In questo settore è anche importante verificare, anche se esula in parte dal compito di questo studio, quanto sia migliorato il sistema idrico sardo, per fare ciò si rimanda alla Tabella 6.5 che evidenzia la mancata evoluzione del settore idrico in generale.

### Fonte eolica

Nel PEAR si afferma l'importanza del piano paesaggistico regionale al fine di controllare il boom di parchi eolici sorti sull'isola dal 2000 al 2005. Per verificare questo ci è serviti dei dati riportati nella Tabella 6.6 e nella Tabella 6.7. Dalla prima tabella si noterebbe un forte arresto della messa in esercizio di parchi eolici tra il 2005 e il 2008, la stessa pausa non si avverte nei dati provenienti da Terna [37]. Ciò che si evince da entrambe le fonti è che la potenza eolica in Sardegna è raddoppiata dal 2005 al 2010 (passando da circa 300MW a circa 600MW), questo a causa della costruzione negli ultimi anni di grandi parchi. Osservando la Figura 6.9 si nota come, a parte un impianto nel Campidano, tutti i parchi di grande potenza siano situati in zone collinari o montuose lontane dalla costa.

Anche in questo ambito la regione non è riuscita a portare a termine gli obiettivi proposti nel PEAR infatti la potenza in rete è quasi raddoppiata e con la costruzioni di parchi eolici di grandi dimensioni al contrario di quanto



veniva proposto nello studio regionale. Questo grande sviluppo ha portato l'energia elettroeolica a superare quella idroelettrica, il contributo totale delle fonti rinnovabili risulta ancora modesto ma in chiave futura potrebbe giocare un ruolo sempre più importante nel sistema energetico della regione. La spiegazione di questo enorme sviluppo può essere trovata nei grandi vantaggi economici dei Certificati Verdi [7] che hanno spinto nuovi investitori verso l'energia eolica, ciò è testimoniato dal fatto che dal 2005 in avanti chi si è affacciato sul mercato eolico sardo non lo aveva mai fatto fino ad allora e che le ultime aziende investitrici sono in possesso di pochi altri impianti in Italia.

### **Fonte solare**

Nei riguardi della fonte solare il PEAR sottolinea come gli sviluppi delle tecnologie fotovoltaiche e termiche siano legate ai meccanismi di incentivazione proposti dalla legislatura italiana. In questo ambito non sono stati definiti né un numero di impianti auspicabili nel futuro né una quota minima di energia o potenza installata entro un limite temporale. Per il solare termico invece le proposte effettuate non hanno ad oggi portato alla costruzione di alcun impianto. Si rimanda all'analisi della situazione energetica attuale della fonte ed alle proposte di sviluppo presentate in questo studio.



## Capitolo 7

# Proposta di sviluppo sostenibile del sistema energetico

L'analisi che ci si propone di effettuare in quest'ultima sezione si basa sulle valutazioni svolte fino a questo punto:

- i risultati del modello di previsione che forniscono i valori dei consumi futuri di energia primaria per i vari settori (Capitolo 5);
- le proposte effettuate dal piano regionale sardo nel 2006 (Paragrafo 6.1);
- le valutazioni fatte relativamente al sistema energetico a livello locale in cui sono state considerate nel dettaglio l'evoluzione della struttura energetica e lo sviluppo delle varie fonti per le singole realtà provinciali (Paragrafo 6.2).

I consumi energetici calcolati attraverso il modello di previsione, come rappresentato in Figura 7.1, sono disaggregati nei quattro settori (agricolo, residenziale e servizi industriale e trasporti) ma non in base alle fonti o agli utilizzi specifici; per fare delle proposte di miglioramento è necessario attuare queste suddivisioni che saranno effettuate caso per caso utilizzando come discriminante la variabile di influenza più adeguata alla specifica situazione e valutandone nel caso l'evoluzione futura. Gli obiettivi delle proposte che vengono presentate in questo capitolo possono essere riassunti come segue:

- Soddisfacimento dei fabbisogni energetici futuri calcolati nel modello di previsione;
- Riduzione della dipendenza dall'approvvigionamento esterno;
- Aumento della quota di energia prodotta attraverso l'uso di energie rinnovabili rispetto alla situazione attuale;
- Incremento dell'efficienza del comparto di generazione.

Gli obiettivi generali proposti dovranno essere confrontati per ogni settore analizzato con dei vincoli specifici che andranno ad influenzare le singole decisioni e dunque a determinare le linee guide proposte.

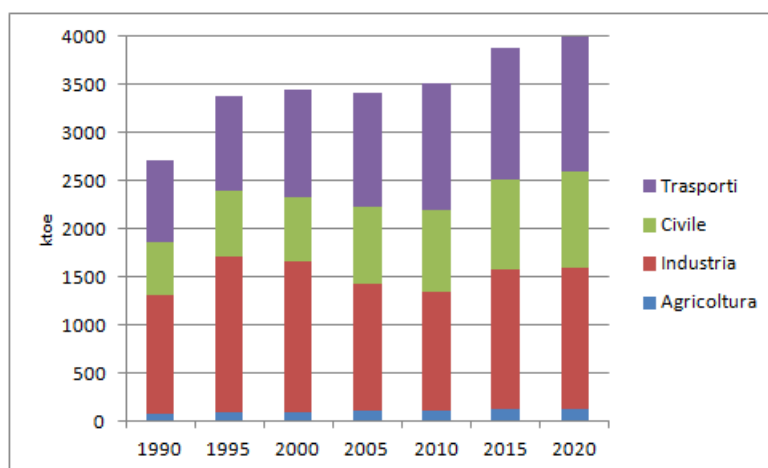


Figura 7.1: Composizione dei consumi finali di energia in Sardegna, valori storici e previsti. Elaborazione da fonte ENEA, ISTAT

## 7.1 Obiettivi e vincoli specifici

In questa sezione si presentano per ciascuno dei settori analizzati quali sono gli obiettivi che ci si propone di raggiungere e quali sono i vincoli con cui questi obiettivi devono essere confrontati.

### 7.1.1 Settori agricoltura e trasporti

L'analisi relativa a questi due settori è presentata congiuntamente perchè le analisi effettuate riguardano una cooperazione tra le loro attività e gli obiettivi proposti considerano lo sviluppo di entrambi; essi possono essere descritti come segue:

- sfruttamento di risorse interne per il soddisfacimento dei fabbisogni energetici;
- rilancio del settore agricolo sardo con lo sfruttamento della superficie coltivabile inutilizzata;
- utilizzo di fonti energetiche rinnovabili per soddisfare il fabbisogno.

Le proposte effettuate dovranno considerare le condizioni al contorno reali che non possono che avere una pesante influenza sulle linee guida adottabili e che possono essere espresse in una serie di vincoli:

- mantenimento dell'assetto strutturale corrente dei due settori nel medio termine;
- superficie coltivabile disponibile limitata.

### 7.1.2 Settore residenziale e dei servizi

Anche in questo caso i due settori vengono considerati congiuntamente perchè presentano caratteristiche comuni in termini sia di obiettivi da perseguire sia di vincoli con cui confrontarsi. Come obiettivi specifici riferiti ai due settori possiamo considerare:

- soddisfacimento dei fabbisogni di energia elettrica attraverso lo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili quali eolico, fotovoltaico, idroelettrico, solare termodinamico;
- soddisfacimento dei fabbisogni di energia termica attraverso lo sfruttamento di apporti “gratuiti” che vanno attualmente sprecati, utilizzo di fonti rinnovabili come il solare termico, utilizzo di impianti ed apparecchi ad elevata efficienza come pompe di calore e caldaie alimentate a metano.

Gli obiettivi proposti devono essere confrontati con una serie di vincoli caratterizzanti la situazione energetica e strutturale reale dell’isola:

- superficie limitata a disposizione per l’installazione di impianti fotovoltaici;
- potenzialità residue limitate per lo sfruttamento dell’energia eolica;
- utilizzo dell’energia idroelettrica prodotta per l’alimentazione del sistema acquedottistico e dei pompaggi;
- incertezza relativa alla data di inizio diffusione del gas naturale sull’isola;
- fattibilità tecnico-economica di impianti di teleriscaldamento;
- mancanza di un censimento e di una contabilizzazione del calore prodotto attraverso impianti solari termici;
- fattori geopolitici e autorizzativi che in passato hanno rallentato lo sviluppo e la costruzione di impianti innovativi.

### 7.1.3 Settore industriale

Per quel che riguarda il settore industriale gli obiettivi proposti devono essere letti in relazione all’assunzione fatta che considera i consumi energetici, di tipo elettrico, soddisfatti interamente da energia generata negli impianti termoelettrici situati in prossimità delle aree industriali. Si possono definire i seguenti obiettivi specifici del settore:

- soddisfacimento totale dei fabbisogni di energia elettrica futura a seconda delle varie ipotesi di sviluppo proposte;

- riduzione del numero degli impianti termoelettrici alimentati a fonti fossili funzionanti sull'isola;
- miglioramento delle efficienze di produzione di elettricità da parte degli impianti termoelettrici;
- soddisfacimento in maniera efficiente e sostenibile dei fabbisogni industriali di energia termica.

Anche in questo caso le linee guida che effettivamente vengono proposte nel seguito sono il frutto di un confronto tra gli obiettivi specifici relativi a questo settore ed una serie di vincoli legati alla struttura reale del comparto produttivo e di quello termoelettrico che come detto sono considerati intimamente legati:

- numero di centrali termoelettriche presenti sul territorio;
- difficili prospettive di ammodernamento o chiusura di impianti relativamente nuovi;
- iter autorizzativo che interventi di costruzione e ammodernamento delle centrali devono seguire;
- incertezza relativa alla data di inizio diffusione del gas naturale sull'isola;
- mancanza di dati sufficientemente specifici e disaggregati riguardo ai fabbisogni termici (temperatura di utilizzo) del settore industriale.

## 7.2 Settori agricoltura e trasporti

Considerati i vincoli elencati in precedenza l'analisi di questi due settori non presenta delle vere e proprie linee guida di sviluppo energetico. Per quanto riguarda i trasporti sarà poco probabile, almeno nel breve periodo, una evoluzione del parco veicoli verso nuovi tipi di alimentazione più efficienti ed ambientalmente sostenibili; la staticità del settore agricolo invece rende difficile una variazione in tempi brevi della struttura produttiva (composta attualmente da aziende di piccole dimensioni) e dunque l'attuazione di proposte di auto sostentamento attraverso installazione di potenza elettrica rinnovabile. Ci si limita ad una analisi generale di una proposta ritenuta interessante per sviluppo combinato dei due settori.

Viene presentata di seguito una valutazione del potenziale relativo allo sviluppo nel settore agricolo di colture finalizzate alla produzione di biocombustibili che possano andare ad auto sostenere, almeno in parte, i consumi futuri del settore dei trasporti. Ci si propone di rispettare l'ipotesi fatta relativa all'assenza di cambiamenti strutturali importanti soprattutto per quanto riguarda il trasporto stradale; questa ipotesi è confermata dal fatto che il ricambio del parco automobilistico, specialmente in relazione al

tipo di combustibile utilizzato, segue dinamiche molto lente che non possono essere incluse nell'orizzonte di previsione analizzato in questo studio. Le valutazioni che scaturiscono da tali ipotesi sono che il biocombustibile da produrre deve essere tale da garantire l'alimentazione dei motori esistenti senza dover prevedere alcuna variazione della struttura del parco automobilistico attuale. In quest'ottica tra le molteplici strade percorribili in riferimento alla produzione di biocombustibili si è deciso di optare per la proposta relativa alla produzione di gasolio Fischer-Tropsch (FT) nella configurazione BTL (*Biomass To Liquid*) per le seguenti motivazioni:

- Si tratta di un processo che può essere integrato con la raffineria presente sull'isola utilizzando alcuni dei suoi impianti, si realizzerebbe quindi un notevole risparmio sugli investimenti iniziali;
- Il prodotto che si andrebbe ad ottenere sarebbe biodiesel perfettamente sostituibile al gasolio tradizionale, combustibile che occupa la frazione più importante dei consumi energetici del settore dei trasporti e che risulta essere in continua ed importante crescita dai dati storici reperiti [3].

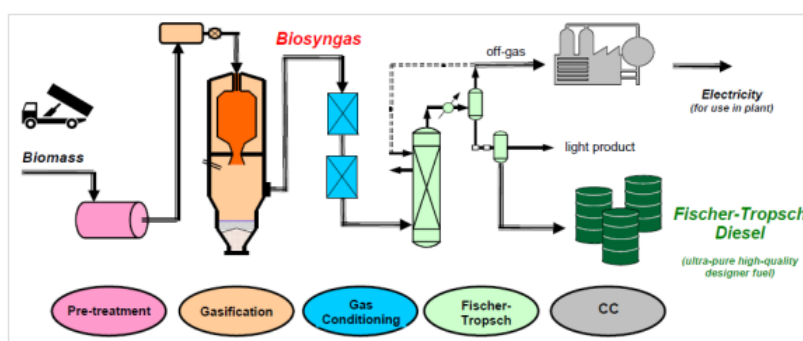


Figura 7.2: Serie di conversioni del processo Fischer - Tropsch. Fonte Energy research Centre of the Netherlands

Una descrizione schematica del processo è espressa in Figura 7.2, dove si evidenzia la presenza di tre fasi fondamentali: la gassificazione, il condizionamento e la produzione vera e propria di combustibile liquido. L'analisi che ci si propone di condurre in questa sezione è di tipo molto generale e non prende in considerazione molti fattori di influenza che possono determinare le scelte sia di tipo strategico sia di tipo tecnologico da adottare; si intende in sostanza presentare uno studio relativo al potenziale di questa filiera sul territorio sardo.

Si riporta di seguito la Tabella 7.2 riassuntiva dei parametri caratterizzanti il processo in generale:

- In relazione al tipo di biomassa si è deciso di considerare l'impianto di coltivazioni di eucalipto considerato maggiormente adatto al clima della Sardegna soprattutto in riferimento al suo livello di aridità [63];

Tabella 7.1: Suddivisione della superficie agraria in Sardegna all'anno 2010.  
Fonte ISTAT

Superficie agraria 2010		
totale	1.467,23	kha
non utilizzata	42,60	kha
altra superficie	38,91	kha
utilizzabile	81,51	kha
utilizzata	1.385,72	kha

- La producibilità è stata valutata pari al valore riportato in tabella da una analisi bibliografica riguardante la diffusione di queste colture in Italia [64];
- Si è risalito in letteratura ad i valori delle efficienze delle singole conversioni che costituiscono il processo: pretrattamento della biomassa, gassificazione, processo FT [65].

Tabella 7.2: Dati in ingresso nel calcolo della potenzialità del biodiesel

$\eta$ pretrattamento	0,97	
$\eta$ gassificazione	0,80	
$\eta$ processo FT	0,71	
Producibilità biomassa	15	t/ha/y
PCI biomassa	16	MJ/kg
Consumi gasolio per i trasporti		
nel 2015	769,10	ktoe/y
nel 2020	797,78	ktoe/y

I calcoli relativi alla valutazione del potenziale di questa filiera in Sardegna sono stati effettuati considerando due scenari alternativi in base ai quali sono stati posti i vincoli che hanno permesso di ottenere i valori finali di produzione e superficie da coltivare. Vengono inoltre effettuate delle valutazioni generali di tipo economico basate sul confronto tra:

- sostenibilità economica dell'intervento, ricavi ottenibili dalla distribuzione e dalla vendita del gasolio FT ad un prezzo fissato ad 1,50 €/l;
- costi relativi alla sola produzione del combustibile [65] tralasciando in questa analisi i costi di investimento (certamente con un peso specifico importante) che devono essere valutati attraverso una analisi approfondita relativa al livello di integrazione con gli impianti della raffineria esistente; viene in aggiunta tralasciato il costo di trasporto della biomassa e del carburante generato.



**Scenario 1.** I calcoli effettuati considerando come vincolo la coltivazione a biomassa per la produzione di gasolio FT dell'intera superficie agricola denominata in Tabella 7.1 "utilizzabile" (somma di non utilizzata ed altra superficie). I risultati ottenuti sono riportati in Tabella 7.3 in cui va evidenziata soprattutto la percentuale di consumi di gasolio del settore trasporti che può essere coperta attraverso questi interventi, pari al 60,7% al 2015 e pari al 58,6% all'anno 2020.

Tabella 7.3: Risultati relativi al primo scenario

Scenario 1		
Potenza impianto	679,27	MW
Ricavi	510,55	M€/y
Costi di produzione	269,46	M€/y
Soddisfacimento dei consumi		
al 2015	60,75	%
al 2020	58,57	%

**Scenario 2.** In questo caso il vincolo alla base dei calcoli effettuati è stata la proposta di soddisfacimento totale del fabbisogno di gasolio attraverso la produzione da filiera di biomassa. Si ottiene dunque una superficie necessaria da coltivare che varia con i consumi nel corso degli anni e che è pari a 171090 *ha* all'anno 2020 corrispondente a poco più del 12% della superficie agricola attualmente utilizzata (in Tabella 7.1 pari alla differenza tra la superficie agricola totale e quella utilizzabile).

Tabella 7.4: Risultati relativi al secondo scenario

Scenario 2		al 2015	al 2020
Sup. necessaria oltre disp.	kha	162,01	171,09
occupazione sup. utilizzata	%	11,69%	12,35%
Potenza impianto	MW	2029	2105
Ricavi	M€	1525	1582
Costi di produzione	M€	547	568

## 7.3 Settore industriale e residenziale e dei servizi

In questa sezione vengono considerati i consumi di energia elettrica dei due settori per i quali è stata effettuata una analisi più approfondita in relazione agli scenari futuri di sviluppo del sistema energetico. Ci si riferisce al settore industriale ed a quello civile (residenziale e servizi) che sono considerati gli ambiti, per le peculiarità della realtà sarda, più dinamici in relazione all'evoluzione in campo energetico rispetto al settore dei trasporti ed a quello

agricolo la cui struttura produttiva e conseguentemente quella dei consumi energetici potrà subire nei prossimi anni variazioni di limitata importanza. Si analizza in particolare l'ambito elettrico perchè risulta essere quello con il peso specifico maggiore sul totale dei consumi.

### 7.3.1 Fabbisogni di energia elettrica

#### Settore residenziale e dei servizi

**Frazionamento dei consumi futuri calcolati.** Il modello elaborato fornisce come risultati i consumi finali totali futuri dei due settori aggregati; come visto nell'analisi delle serie storiche le richieste energetiche sono di due tipi, termiche soddisfatte da una certa quantità di energia derivante fondamentalmente da combustibili fossili, ed elettriche. Per arrivare a formulare delle proposte di miglioramento della struttura energetica dei due settori sarà necessario considerare i consumi futuri a livello più disaggregato possibile, si attuano tre tipi di suddivisione: per settore, per fonte e per provincia.

- La prima disaggregazione è fatta riguardo ai consumi del settore residenziale e quello dei servizi; si è notato che negli andamenti storici le proporzioni tra i consumi dei due settori hanno subito variazioni di scarso rilievo mantenendosi mediamente costanti. La suddivisione dei consumi tra i due settori è stata dunque calcolata utilizzando come discriminante la media delle proporzioni storiche tra i consumi valutata lungo l'intervallo di dati di cui si dispone.
- I consumi futuri del settore residenziale sono stati suddivisi nelle otto province sarde basandosi sulla percentuale di popolazione provinciale rispetto al totale regionale. Per quanto riguarda invece il settore dei servizi il fattore discriminante è stato assimilato con la percentuale di valore aggiunto settoriale generato dalla provincia rispetto a quello totale della regione.
- La suddivisione per tipo di utilizzo (elettrico e termico) del settore residenziale è stata fatta considerando la media della proporzione storica che si è mantenuta circa costante negli anni. Nel settore dei servizi invece la proporzione tra i consumi di energia elettrica e di combustibili ha subito negli anni una variazione che ha visto l'aumento (con andamento ben approssimabile da un logaritmo) della porzione elettrica; il discriminante utilizzato è la proiezione di questo andamento nel futuro.

**Soddisfacimento del fabbisogno elettrico.** Sono dunque stati valutati i fabbisogni di energia elettrica per provincia per i due settori del comparto civile, a questo punto si vogliono effettuare delle proposte sulle modalità più efficienti e sostenibili per soddisfarli. Prima di presentare

le proposte reali di installazione di potenza futura è necessario fare alcune premesse:

- Si assume, come già accennato in precedenza, che il settore di generazione elettrica da fonti rinnovabili venga asservito totalmente al soddisfacimento di parte del fabbisogno del settore civile. Si tratta di una considerazione di comodo finalizzata alla verifica della porzione di fabbisogno che può essere coperta e supportata dal fatto che per questo settore la generazione distribuita di energia elettrica può essere una soluzione realizzabile. Va considerato che la sicurezza del funzionamento delle rete elettrica sarà comunque assicurato dalla fornitura del carico di base proveniente da fonti programmabili (termoelettriche) che oltre a coprire la frazione residua di fabbisogno civile alimenta le utenze industriali i cui consumi hanno un peso decisamente maggiore.
- Dalle valutazioni fatte sullo sviluppo delle FR per l'alimentazione della domanda elettrica del settore viene esclusa la fonte idroelettrica a causa delle valutazioni effettuate nel paragrafo precedente; sempre attuando una distinzione di comodo si è visto che l'energia generata da questa fonte viene utilizzata totalmente (con andamenti leggermente altalenanti a seconda del clima dell'anno considerato) per alimentare i considerevoli consumi del settore idrico per pompaggi e acquedotti.

**Proposte di installazione potenza da FR.** Nel capitolo precedente è stato analizzato il forte sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili in Sardegna negli ultimi anni, si è visto come per quanto riguarda la fonte eolica si sia attualmente arrivati ad una crescita con andamento costante dopo il forte impulso della metà degli anni duemila [37]; per quanto riguarda il fotovoltaico si sta invece assistendo proprio in questi anni ad uno sviluppo molto forte [61] con percentuali annue di crescita che si ipotizza non potranno essere mantenute nel futuro. Partendo da queste considerazioni ed effettuando una analisi a livello locale che ha valutato la struttura economica e sociale delle singole provincie si è arrivati a formulare delle proposte di installazione di nuova potenza elettrica da fonti rinnovabili.

- *Energia eolica:* le considerazioni fatte in relazione a questo comparto di generazione si basano sulla grande diffusione che ad oggi i parchi eolici hanno sulla superficie regionale, si è assunto che negli anni a venire non potranno riscontrarsi trend di crescita della potenza installata pari a quelli del passato perchè non si è lontani dal livello di saturazione. Le proposte effettuate riguardo a nuovi parchi eolici (Tabella 7.5) sono dunque molto cautelative e presentano incrementi ridotti rispetto alla potenza installata al 2012. Va sottolineato il fatto che sono incluse tra i valori presen-

Tabella 7.5: Potenze impianti eolici esistenti e proposti, incrementi percentuali rispetto al 2012.

MW	2008	2010	2012	2015	2020	2015	2020
CA	2	27	27	35	55	30,0%	57,7%
CI	0	0	90	90	120	0,0%	33,3%
VS	68	68	68	68	80	0,0%	17,6%
NU	22	22	22	31	51	40,7%	64,3%
OG	72	72	72	72	72	0,0%	0,0%
OT	0	0	138	138	138	0,0%	0,0%
OR	11	110	110	110	110	0,0%	0,0%
SS	291	291	291	291	311	0,0%	6,9%

tati potenze associate a parchi eolici la cui realizzazione è stata pensata in *off-shore*; questa pratica è ritenuta interessante vista la situazione geografica e climatica della Sardegna, si considera comunque la non semplice valutazione tecnica e ambientale di cui c'è bisogno assumendo che la costruzione dei parchi di questo tipo sia intrapresa oltre il 2015. Le potenze eoliche *off-shore* ipotizzate sono per parchi di 20 MW ciascuno nelle provincie di Cagliari, Nuoro e Sassari e per un parco da 30 MW nella provincia di Carbonia Iglesias.

- *Energia solare fotovoltaica*: l'analisi di questa particolare fonte ha evidenziato come ci sia stato uno sviluppo molto importante negli ultimissimi anni, i trend di crescita con percentuali annue di aumento annuo della potenza installata ben superiori al 100% non potranno essere mantenute nel futuro; in ogni caso a scopo cautelativo in questo studio viene proposta l'installazione di nuova potenza fotovoltaica nelle misure riportate in Tabella 7.6 con aumenti che, nell'arco di otto anni, sono variabili in base alle caratteristiche peculiari delle singole aree provinciali ma non superano mai il 65%. Di seguito, in Tabella 7.7 ed in Tabella 7.8, vengono riportate le superfici fotovoltaiche installate ad oggi e quelle che ci si propone di avere al 2015 ed al 2020 ed a scopo esemplificativo il loro equivalente in campi da calcio.
- *Energia solare termodinamica*: lo sfruttamento dell'energia dal sole comprende anche l'utilizzo di questa tecnologia di cui non sono ad oggi presenti esempi sull'isola ma della quale si parla in maniera molto dettagliata nel PEAR 2006 con proposte concrete di siti e dimensionamenti per impianti solari termodinamici in Sardegna. Va detto che è ad oggi in attesa di approvazione un progetto per la realizzazione di un impianto della potenza di 20 MW all'interno del polo industriale di Ottana in provincia di Nuoro [66]; le proposte fatte in questo studio si basano sulle analisi

Tabella 7.6: Potenze impianti fotovoltaici esistenti e proposti, incrementi percentuali rispetto al 2012.

MW	2008	2010	2012	2015	2020	2015	2020
CA	8,86	26,7	97	105	120	8,3%	14,3%
CI	1,88	3,8	28	35	45	24,7%	28,3%
VS	1,05	9,7	41	50	60	22,2%	20,2%
NU	1,88	13,2	42	52	61	23,6%	17,2%
OG	0,59	5,9	14	23	33	64,2%	43,4%
OT	0,63	3,8	14	23	33	63,6%	43,2%
OR	2,68	24,6	77	87	100	12,9%	14,9%
SS	0,67	13,5	95	102	110	7,3%	7,8%

Tabella 7.7: Superficie occupata da impianti fotovoltaici, attuale e proposta in  $km^2$

	2008	2010	2012	2015	2020
CA	0,059	0,178	0,646	0,699	0,799
CI	0,013	0,025	0,189	0,235	0,302
VS	0,007	0,065	0,271	0,331	0,397
NU	0,013	0,088	0,282	0,349	0,409
OG	0,004	0,039	0,094	0,154	0,220
OT	0,004	0,025	0,094	0,154	0,221
OR	0,018	0,164	0,517	0,583	0,670
SS	0,004	0,090	0,635	0,682	0,735

Tabella 7.8: Equivalenza in campi da calcio della superficie occupata da impianti fotovoltaici, attuale e proposta.

	2008	2010	2012	2015	2020
CA	8	25	92	100	114
CI	2	4	27	34	43
VS	1	9	39	47	57
NU	2	13	40	50	58
OG	1	6	13	22	31
OT	1	4	13	22	32
OR	3	23	74	83	96
SS	1	13	91	97	105

di fattibilità elaborate dal PEAR e sono riassunte in Tabella 7.9.

In relazione all'installazione degli impianti proposti (le cui potenze sono riassunte in Tabella 7.16) sono stati considerate un numero di ore equivalenti di funzionamento che per quanto riguarda l'eolico è pari alla media degli ultimi anni di cui si conoscono i dati (1622  $h_{eq}$ ), per il fo-

Tabella 7.9: Potenze impianti solari termodinamici proposti

MW	2015	2020
CA	40	40
CI		
VS	10	10
NU	20	20
OG		
OT		
OR		20
SS		

tovoltaico si attesta al livello cautelativo di 1350  $h_{eq}$  [60] e per il solare termodinamico è stato assunto sempre cautelativamente pari a 2000  $h_{eq}$ .

Tabella 7.10: Riassunto degli interventi proposti. Potenza da installare in MW

MW	interventi al 2015			interventi al 2020		
	EO	FV	STD	EO	FV	STD
CA	8	8	40	20	15	0
CI	0	7	0	30	10	0
VS	0	9	10	12	10	0
NU	9	10	20	20	9	0
OG	0	9	0	0	10	0
OT	0	9	0	0	10	0
OR	0	10	0	0	13	20
SS	0	7	0	20	8	0

Con queste valutazioni si ottengono le produzioni di energia elettrica riportate in Figura 7.3 per l'anno 2015 ed in Figura 7.4 per il 2020. Nei grafici a barre sono rappresentate le percentuali del fabbisogno del settore residenziale e dei servizi coperte dalla generazione da fonti rinnovabili; la porzione insoddisfatta del fabbisogno elettrico dovrà essere fornita dagli impianti termoelettrici con modalità che saranno presentate nella sezione successiva.

Per quanto riguarda considerazioni relative alla sostenibilità economica degli interventi va sottolineato il fatto che le installazioni di potenza che ci si propone di realizzare potranno godere ancora delle incentivazioni statali e regionali generate dai meccanismi dei Certificati Verdi [7] e del Conto Energia [8] che rendono ampiamente positivo il ritorno degli investimenti che si andranno ad effettuare.

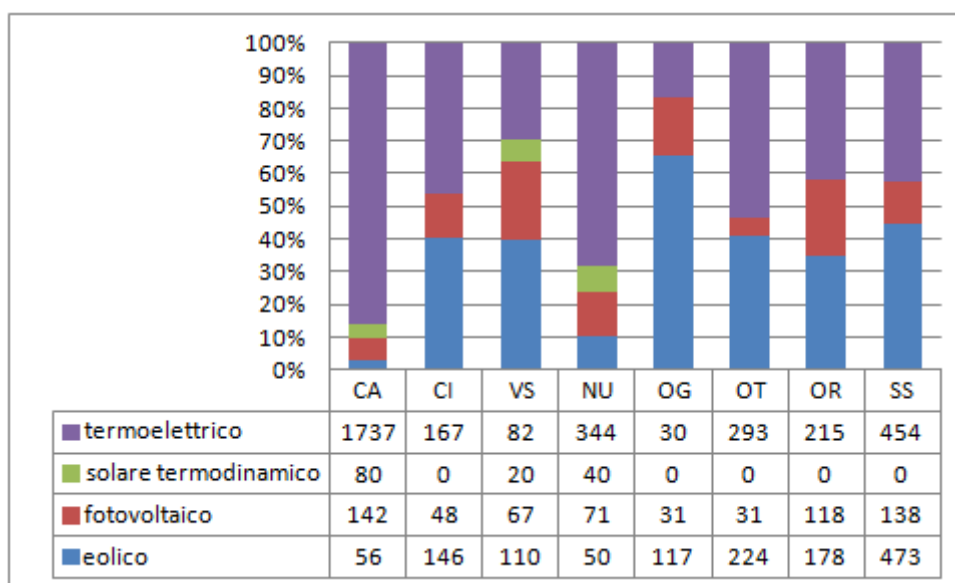


Figura 7.3: Evoluzione dei consumi elettrici del settore residenziale e servizi nel 2015, valori in GWh.

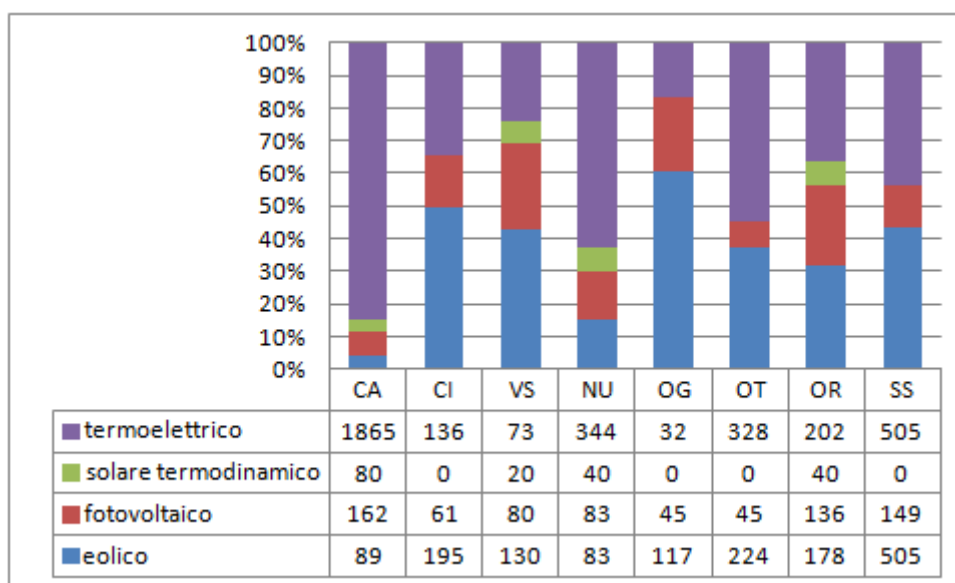


Figura 7.4: Evoluzione dei consumi elettrici del settore residenziale e servizi nel 2020, valori in GWh.

### Settore industriale

Il settore dell'industria sarda è stato dettagliatamente descritto in questo studio sia dal punto di vista produttivo che da quello energetico al fine di comprenderne l'evoluzione ed i fattori di influenza; si è arrivati alla previsione dei consumi riportata in Figura 7.5 ipotizzando uno scenario futuro privo di variazioni strutturali degne di nota e che mantenga gli andamenti e le influenze verificate per gli ultimi venti anni. Da queste analisi è possibile affermare

che i consumi energetici non sono funzione di variabili indipendenti come visto per gli altri settori, i fattori che li determinano sono essenzialmente il numero di fabbriche in funzione e la loro produttività. Se invece di ipotizzare una staticità strutturale del settore si pensa a dei cambiamenti delle variabili di influenza come l'apertura di nuovi stabilimenti o la chiusura di altri, l'andamento dei consumi di Figura 7.5 si modificherà trasladando ad un nuovo livello medio che è lecito continuare ad assumere come costante.

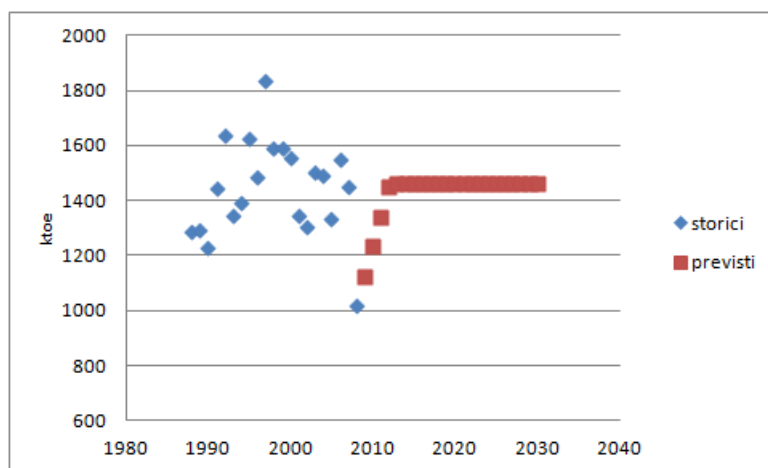


Figura 7.5: Serie storica e previsioni, consumi finali di energia primaria del settore industriale in Sardegna, migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio.

A monte della presentazione dell'analisi effettuata va ricordata l'assunzione discussa nella parte introduttiva del capitolo relativa alla suddivisione di comodo del tipo di alimentazione dei vari settori economici; si considera che il soddisfacimento dei fabbisogni industriali venga garantito esclusivamente da impianti di produzione termoelettrica.

L'analisi viene effettuata partendo dagli obiettivi specifici presentati riferendosi al parco termoelettrico attualmente presente sull'isola descritto nel capitolo precedente e riassunto in Tabella 7.11. I calcoli relativi all'evoluzione futura sono fatti definendo degli elenchi di centrali funzionanti in base a diverse ipotesi di sviluppo dei consumi del settore industriale; bisogna tenere conto che in base alle suddivisioni di comodo fatte per le alimentazioni elettriche dei vari settori, l'energia termoelettrica generata deve servire ad alimentare:

- domanda elettrica dell'intero settore industriale;
- domanda elettrica dell'intero settore agricolo;
- domanda elettrica del settore residenziale e servizi non coperta da fonti rinnovabili.

Viene di seguito presentata l'analisi effettuata attraverso un confronto tra gli obiettivi specifici proposti per il settore industriale ed i vari vincoli che



Tabella 7.11: Parco termoelettrico sardo. Fonte Terna, Emas

<b>Polo</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Comb.</b>	<b>MW</b>	$h_{eq}$	<b>Anno</b>
1.Porto Torres	Rankine	olio	160	2000	1983
2.Porto Torres	Rankine	olio	160	2000	1984
3.Porto Torres	Rankine	carb	320	4800	1992
4.Porto Torres	Rankine	carb	320	4800	1993
5.Porto Torres	Joule	gasolio	40	500	2005
6.Porto Torres	Joule	gasolio	40	500	2006
7.Portovesme	Rankine	carb+olio	350	4518(*)	2005
8.Portovesme	Rankine	carb	240		1986
9.Ottana	Rankine	olio	70	200	n.r.(**)
10.Ottana	Rankine	olio	70	200	n.r.(**)
11.Sarroch	IGCC	TAR	560	7700	1997
12.Macchiareddu	Joule	gasolio	88	200	1992
13.Macchiareddu	Joule	gasolio	88	200	1992

(\*) riferito ad entrambi i gruppi di Portovesme

(\*\*) dato non reperito

influenzeranno le scelte adottate. Si analizzano tre ipotesi distinte di sviluppo del comparto produttivo e dei relativi consumi energetici e per ognuna viene proposta la composizione del parco termoelettrico che si ottiene attraverso l'analisi incrociata di vincoli ed obiettivi. Va sottolineato il fatto che nelle valutazioni seguenti si ipotizza la presenza sull'isola dell'alimentazione di gas naturale il cui arrivo, ad oggi è previsto per l'anno 2015. Prima di presentare le ipotesi analizzate e le soluzioni proposte è necessario tenere presente che sono state effettuate alcune assunzioni. Innanzitutto si considera che ogni impianto termoelettrico o insieme di impianti alimenti il fabbisogno di energia elettrica del polo industriale in cui è collocato; per quanto riguarda invece il fabbisogno agricolo, residenziale e dei servizi si assume che:

- gli impianti di Sarroch e Assemini alimentano le provincie di Cagliari e Ogliastra;
- la produzione del polo di Portovesme soddisfa il fabbisogno delle provincie di Carbonia - Iglesias e Medio Campidano;
- le richieste della provincia di Nuoro sono soddisfatte dalla produzione dell'impianto termoelettrico di Ottana;
- il polo di produzione di elettricità di Porto Torres alimenta i fabbisogni delle provincie di Sassari, Oristano ed Olbia - Tempio.

**Ipotesi 1.** Seguendo le stesse valutazioni ed assunzioni fatte nella costruzione del modello di previsione i consumi di energia elettrica del settore industriale vengono considerati costanti; la produzione termoelettrica deve

Tabella 7.12: Produzione futura di energia termoelettrica da assicurare nelle provincie sarde.

Prov	Produzione EE 2015			Produzione EE 2020		
	Hp1	Hp2	Hp3	Hp1	Hp2	Hp3
CA	3958	3958	3958	4091	4091	4091
CI	2880	1720	2880	2842	1682	2842
VS	0	0	0	0	0	0
NU	633	633	633	634	634	634
OG	0	0	0	0	0	0
OT	0	0	0	0	0	0
OR	0	0	0	0	0	0
SS	1858	1858	3018	1938	1938	3099

soddisfare, oltre a questi fabbisogni, anche la porzione residua della domanda del settore residenziale e dei servizi (valutata nella sezione precedente) e le richieste di elettricit  del settore agricolo (ottenute dal modello di previsione). La produzione totale da soddisfare suddivisa tra le varie provincie (in cui sono posizionati i poli produttivi) viene riportata in Tabella 7.12. La composizione del parco termoelettrico ipotizzata   riassunta in Tabella 7.17 e deve essere confrontata con la struttura attuale riportata in Tabella 7.11; possono essere fatte le seguenti considerazioni:

- Per quanto riguarda il polo di Portovesme si ipotizza la chiusura dell'impianto a carbone pi  datato (da 240 MW) e la sua sostituzione con la centrale a carbone integrata con la miniera del Sulcis di tipo USC (Ultra Super Critico) con sezione di cattura della CO<sub>2</sub> prodotta.
- Nell'area della provincia di Cagliari la struttura resta la stessa con la presenza del ciclo IGCC di Sarroch e le due turbine a gas ad Assemini utilizzate per coprire i picchi di richiesta.
- Le centrali situate ad Ottana vengono chiuse ed i fabbisogni energetici della zona sono soddisfatti dalla produzione del sito di Porto Torres.
- La produzione elettrica nella zona di Porto Torres pu  essere effettuata attraverso due soluzioni alternative. Fermo restando il funzionamento delle due turbine a gas utili per assecondare i picchi di richiesta le due ipotesi previste sono evidenziate in Tabella 7.17. La prima soluzione (Sol1) prevede la chiusura dei due impianti a carbone (320 MW ciascuno) e di uno dei due impianti ad olio (160 MW) ed il ripotenziamento dell'altro che viene trasformato in un ciclo combinato alimentato a gas naturale della potenza di 400 MW. Questa risulta essere l'ipotesi auspicabile in riferimento

agli obiettivi proposti in quanto porta ad un miglioramento energetico - economico. La seconda soluzione possibile (Sol2) prevede invece la chiusura dei due impianti ad olio ed il mantenimento di quelli a carbone entrati in funzione solo a metà anni novanta, ipotesi di più semplice realizzazione ma che non porta nella direzione dell'obiettivo di ottimizzare la produzione.

Tabella 7.13: Elenco delle centrali termoelettriche attive e proposte al 2020. Ipotesi 1

Polo	Ciclo	Combustibile	MW	Anno	Sol1	Sol2
1.Porto Torres	Rankine	olio	160	1983	X	X
2.Porto Torres	Rankine	olio	160	1984	X	X
1N.Porto Torres	NGCC	gas	400	repower1	✓	X
3.Porto Torres	Rankine	carb	320	1992	X	✓
4.Porto Torres	Rankine	carb	320	1993	X	✓
5.Porto Torres	Joule	gas	40	2005	✓	✓
6.Porto Torres	Joule	gas	40	2006	✓	✓
7.Portovesme	Rankine	carb+olio	350	2005	✓	✓
8.Portovesme	Rankine	carb	240	1986	X	X
Portovesme	USC+CCS	carb	450	nuovo	✓	✓
9.Ottana	Rankine	olio	70	n.r.(*)	X	X
10.Ottana	Rankine	olio	70	n.r.(*)	X	X
11.Sarroch	IGCC	TAR	560	1997	✓	✓
12.Assemini	Joule	gasolio	88	1992	✓	✓
13.Assemini	Joule	gasolio	88	1992	✓	✓

(\*) dato non reperito

**Ipotesi 2.** La seconda ipotesi di sviluppo contempla una diminuzione dei consumi industriali, ci si riferisce alla chiusura di un impianto di grandi dimensioni nel polo di Portovesme (si pensa alla possibile chiusura degli stabilimenti Alcoa) che determina un calo della richiesta settoriale pari al 20%. La produzione di energia deve dunque essere inferiore da parte delle centrali termoelettriche situate in questo polo (Tabella 7.14) mentre la struttura del parco di generazione nelle altre province resta la stessa vista per il caso precedente. Nello specifico si possono fare le seguenti considerazioni:

- Nel polo industriale di Portovesme data la diminuzione della richiesta è necessario il funzionamento di un solo impianto di generazione. Si opta per la chiusura della centrale a carbone da 240 MW e si propongono due alternative, la prima (Sol1) prevede la messa in esercizio della centrale a carbone (USC + CCS) integrata con la miniera del Sulcis dotata di una potenza di 450 MW la cui ipotesi di realizzazione è stata discussa in relazione alle proposte

effettuate dal PEAR del 2006. La seconda soluzione proposta (Sol2) contempla il funzionamento della centrale esistente a doppia alimentazione carbone ed olio combustibile ammodernata nel 2005 e risulta la prospettiva di più semplice realizzazione perchè non prevede nuovi investimenti. La costruzione della nuova centrale integrata sarebbe la soluzione migliore in termini di efficienza produttiva e riduzione dell'impatto ambientale, ma risulta essere di più complicata fattibilità rispetto all'opzione di mantenere in esercizio una centrale già esistente.

- Per quanto riguarda l'area di Cagliari la soluzione proposta è equivalente a quella vista nel primo scenario visto che la produzione necessaria non cambia.
- La proposta di chiusura degli impianti situati ad Ottana viene confermata anche in questa ipotesi, i consumi del polo industriale in questione e della provincia di Nuoro saranno soddisfatti dalle centrali di Porto Torres.
- Le soluzioni proposte per garantire la produzione necessaria dalla zona di Porto Torres sono le stesse viste in precedenza; anche per questa zona si può dire che la prima soluzione (Sol1) risulta essere quella più auspicabile dal punto di vista energetico - ambientale ma la sua realizzazione effettiva deve essere messa a confronto con la seconda soluzione possibile (Sol2) che contempla semplicemente il proseguimento dell'attività di impianti già esistenti senza il bisogno di nuovi investimenti.

**Ipotesi 3.** L'ultima ipotesi di sviluppo del settore presa in considerazione riguarda l'installazione di un nuovo impianto produttivo di grandi dimensioni (che determina un aumento dei consumi di elettricità del 20%) nel polo industriale di Porto Torres, sito che è ritenuto il più adeguato ad accogliere un nuovo consumatore visto l'esubero di potenza installata. Lo scenario proposto in relazione alle centrali funzionanti è riassunto in Tabella 7.15. Va sottolineato il fatto che la potenza installata e la produzione di energia elettrica che ci si propone di raggiungere sono legate dal numero di ore equivalenti annue di funzionamento dell'impianto considerato, questo numero può chiaramente essere modulato in base alle richieste di energia ma in linea di massima si cerca di far funzionare impianti come quelli a ciclo Rankine o a ciclo combinato per il maggior tempo possibile (per questioni di redditività). In relazione a questa considerazione c'è da dire che, almeno per quanto riguarda il sito di Porto Torres, non ci sono particolari vincoli riguardo all'immissione di energia nella rete elettrica data la presenza del nuovo cavo di collegamento con il continente (SAPEI) che permette di esportare la produzione in esubero. Si analizza di seguito la composizione del parco termoelettrico proposto per le varie provincie:

Tabella 7.14: Elenco delle centrali termoelettriche attive e proposte al 2020.  
Ipotesi 2

<b>Polo</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Combustibile</b>	<b>MW</b>	<b>Anno</b>	<b>Sol1</b>	<b>Sol2</b>
1.Porto Torres	Rankine	olio	160	1983	X	X
2.Porto Torres	Rankine	olio	160	1984	X	X
1N.Porto Torres	NGCC	gas	400	repower1	✓	X
3.Porto Torres	Rankine	carb	320	1992	X	✓
4.Porto Torres	Rankine	carb	320	1993	X	✓
5.Porto Torres	Joule	gas	40	2005	✓	✓
6.Porto Torres	Joule	gas	40	2006	✓	✓
7.Portovesme	Rankine	carb+olio	350	2005	X	✓
8.Portovesme	Rankine	carb	240	1986	X	X
Portovesme	USC+CCS	carb	450	nuovo	✓	X
9.Ottana	Rankine	olio	70	n.r.(*)	X	X
10.Ottana	Rankine	olio	70	n.r.(*)	X	X
11.Sarroch	IGCC	TAR	560	1997	✓	✓
12.Assemini	Joule	gasolio	88	1992	✓	✓
13.Assemini	Joule	gasolio	88	1992	✓	✓

(\*) dato non reperito

- Mantenimento della proposta effettuata nella prima ipotesi per il sito di Portovesme, proposta che contempla la costruzione della centrale innovativa integrata a carbone con ciclo supercritico e cattura della  $CO_2$  ed il mantenimento a regime dell'impianto ristrutturato nel 2005.
- Mantenimento dello stato attuale per l'area di Cagliari con il funzionamento del ciclo IGCC di Sarroch e delle due turbine a gas, per le quali si prospetta l'alimentazione con gas naturale, di Assemini sfruttate per coprire i picchi di richiesta elettrica (per via della loro rapidità di avviamento).
- Chiusura degli impianti termoelettrici di Ottana come visto per gli altri casi studio, con ulteriore carico da soddisfare per gli impianti di Porto Torres.
- Avendo in questo scenario una richiesta maggiore di zona, a cui va aggiunto anche il fabbisogno della provincia di Nuoro, si propone il *repowering* di una centrale ad olio da cui si ottiene un ciclo combinato a gas naturale (NGCC) della potenza di 400 MW, si mantengono in aggiunta i due cicli Joule alimentati anch'essi a gas naturale ed utilizzati per coprire i picchi di richiesta. La potenza installata in questa maniera non risulta sufficiente a soddisfare la richiesta, è necessario quindi prevedere il funzionamento di un altro impianto anche se in questa maniera la produzione risulta

sovrrabbondante. Per l'impianto ulteriore da utilizzare si propongono due soluzioni come visto in precedenza, maggiormente auspicabile da un punto di vista energetico ed ambientale ovvero un altro repowering della seconda centrale ad olio (Sol1), ed una di più semplice realizzabilità tecnico - economica ossia il mantenimento in esercizio di uno dei due gruppi a carbone da 320 MW (Sol2).

Tabella 7.15: Elenco delle centrali termoelettriche attive e proposte al 2020. Ipotesi 3

Polo	Ciclo	Combustibile	MW	Anno	Sol1	Sol2
1.Porto Torres	Rankine	olio	160	1983	X	X
2.Porto Torres	Rankine	olio	160	1984	X	X
1N.Porto Torres	NGCC	gas	400	repower1	✓	✓
2N.Porto Torres	NGCC	gas	400	repower2	✓	X
3.Porto Torres	Rankine	carb	320	1992	X	✓
4.Porto Torres	Rankine	carb	320	1993	X	X
5.Porto Torres	Joule	gas	40	2005	✓	✓
6.Porto Torres	Joule	gas	40	2006	✓	✓
7.Portovesme	Rankine	carb+olio	350	2005	✓	✓
8.Portovesme	Rankine	carb	240	1986	X	X
Portovesme	USC+CCS	carb	450	nuovo	✓	✓
9.Ottana	Rankine	olio	70	n.r.(*)	X	X
10.Ottana	Rankine	olio	70	n.r.(*)	X	X
11.Sarroch	IGCC	TAR	560	1997	✓	✓
12.Assemini	Joule	gasolio	88	1992	✓	✓
13.Assemini	Joule	gasolio	88	1992	✓	✓

(\*) dato non reperito

### 7.3.2 Fabbisogni di energia termica

#### Settore residenziale e dei servizi

L'analisi condotta in Paragrafo 6.2 riguardo allo stato attuale di sviluppo del settore civile a livello locale ha evidenziato i problemi strutturali esistenti soprattutto in relazione al soddisfacimento dei fabbisogni di energia termica per il riscaldamento che vanno a creare dei vincoli importanti con cui devono essere confrontati gli obiettivi proposti in precedenza. Le proposte fatte in questa sezione risultano essere di carattere generale e qualitativo a causa dell'assenza di dati specifici relativi alle metodologie odierne di soddisfacimento del fabbisogno ed alla penetrazioni nel settore dello sfruttamento delle fonti rinnovabili.

- *Utilizzo del gas naturale:* la distribuzione del metano sull'isola può essere un fattore determinante in relazione al fabbisogno di riscaldamento domestico; la sostituzione delle attuali caldaie a gasolio o degli apparecchi tipo stufa con sistemi centralizzati a metano porterebbe vantaggi importanti sia in termini di risparmio delle quantità di combustibile utilizzato (dato il maggior potere calorifico) sia in termini di emissioni inquinanti e di gas serra (combustibile più pulito e con meno carbonio).
- *Utilizzo di sistemi con pompe di calore:* la penetrazione di questa tecnologia, già ampiamente diffusa negli altri Stati europei ed in via di sviluppo in Italia consentirebbe di spostare il peso del fabbisogno per il riscaldamento dai combustibili solidi all'energia elettrica. Va considerato inoltre il fatto che con impianti a pompa di calore è possibile, sfruttando un unico apparecchio, sopperire ai fabbisogni di riscaldamento invernale e di raffrescamento estivo che in una realtà come la Sardegna hanno un peso specifico molto importante.
- *Impianti di teleriscaldamento:* è una proposta di grande interesse tecnico la cui realizzabilità deve però essere verificata soprattutto dal punto di vista economico per l'alimentazione dei centri abitati posti in prossimità delle centrali termoelettriche. Lo studio di fattibilità tecnica di questa operazione per i singoli impianti di generazione non è stata affrontata in questo studio a causa della mancanza di dati specifici relativi ai componenti delle centrali necessari per una prima verifica del calore ottenibile. Valutazione che è necessario fare ancor prima di affrontare la questione del trasporto e della distribuzione, con relativi costi, del calore nei centri abitati.

### Settore industriale

Anche per il settore industriale non vengono formulate in questo studio proposte di tipo quantitativo finalizzate al raggiungimento degli obiettivi citati nella parte introduttiva; risulta difficoltoso reperire dati specifici relativi agli utilizzi fatti nei singoli poli industriali dei prodotti petroliferi e combustibili solidi. Si è ipotizzato che in generale essi vengano bruciati per produrre calore ad elevata temperatura utilizzato nei vari processi che, potendo essere generato solo da una combustione, non può che essere ottenuto sfruttando dei combustibili. L'unica proposta di miglioramento dell'efficienza nel soddisfacimento di questo fabbisogno formulabile partendo dai dati in possesso può essere rappresentato dalla futura introduzione sull'isola del gas naturale che potrà garantire un risparmio netto sia in termini di quantità di combustibile che di emissioni inquinanti generate dalla sua combustione.

## 7.4 Conclusioni

In questa sezione si riporta il riassunto degli interventi specifici proposti nell'ambito dell'energia elettrica; fino a questo punto l'analisi è stata condotta per settori attuando delle suddivisioni di comodo riguardo alla loro alimentazione elettrica. In Figura 7.6 viene rappresentata la potenza totale installata nelle varie provincie suddivisa per fonti tenendo conto delle proposte formulate in questo capitolo; si riportano sia le fonti rinnovabili (eolico, fotovoltaico e solare termodinamico riassunte anche in Tabella 7.16) sia le fonti fossili rappresentate dalla potenza termoelettrica.

Tabella 7.16: Riassunto degli interventi proposti. Potenza da installare in MW

MW	interventi al 2015			interventi al 2020		
	EO	FV	STD	EO	FV	STD
CA	8	8	40	20	15	0
CI	0	7	0	30	10	0
VS	0	9	10	12	10	0
NU	9	10	20	20	9	0
OG	0	9	0	0	10	0
OT	0	9	0	0	10	0
OR	0	10	0	0	13	20
SS	0	7	0	20	8	0

Proprio a riguardo dei valori di potenza termoelettrica installata va precisato che in Figura 7.6 ed in Tabella 7.17ci si è riferiti alla prima ipotesi di sviluppo industriale (che contempla consumi costanti al livello odierno) ed alla prima soluzione proposta ovvero quella che presenta una razionalizzazione del parco di centrali con l'obiettivo di un miglioramento dell'efficienza ed un calo delle emissioni.



Tabella 7.17: Elenco delle centrali termoelettriche attive e proposte al 2020.  
Ipotesi 1

<b>Polo</b>	<b>Ciclo</b>	<b>Combustibile</b>	<b>MW</b>	<b>Anno</b>	<b>Sol1</b>	<b>Sol2</b>
1.Porto Torres	Rankine	olio	160	1983	X	X
2.Porto Torres	Rankine	olio	160	1984	X	X
1N.Porto Torres	NGCC	gas	400	repower1	✓	X
3.Porto Torres	Rankine	carb	320	1992	X	✓
4.Porto Torres	Rankine	carb	320	1993	X	✓
5.Porto Torres	Joule	gas	40	2005	✓	✓
6.Porto Torres	Joule	gas	40	2006	✓	✓
7.Portovesme	Rankine	carb+olio	350	2005	✓	✓
8.Portovesme	Rankine	carb	240	1986	X	X
Portovesme	USC+CCS	carb	450	nuovo	✓	✓
9.Ottana	Rankine	olio	70	n.r.(*)	X	X
10.Ottana	Rankine	olio	70	n.r.(*)	X	X
11.Sarroch	IGCC	TAR	560	1997	✓	✓
12.Assemini	Joule	gasolio	88	1992	✓	✓
13.Assemini	Joule	gasolio	88	1992	✓	✓

(\*) dato non reperito

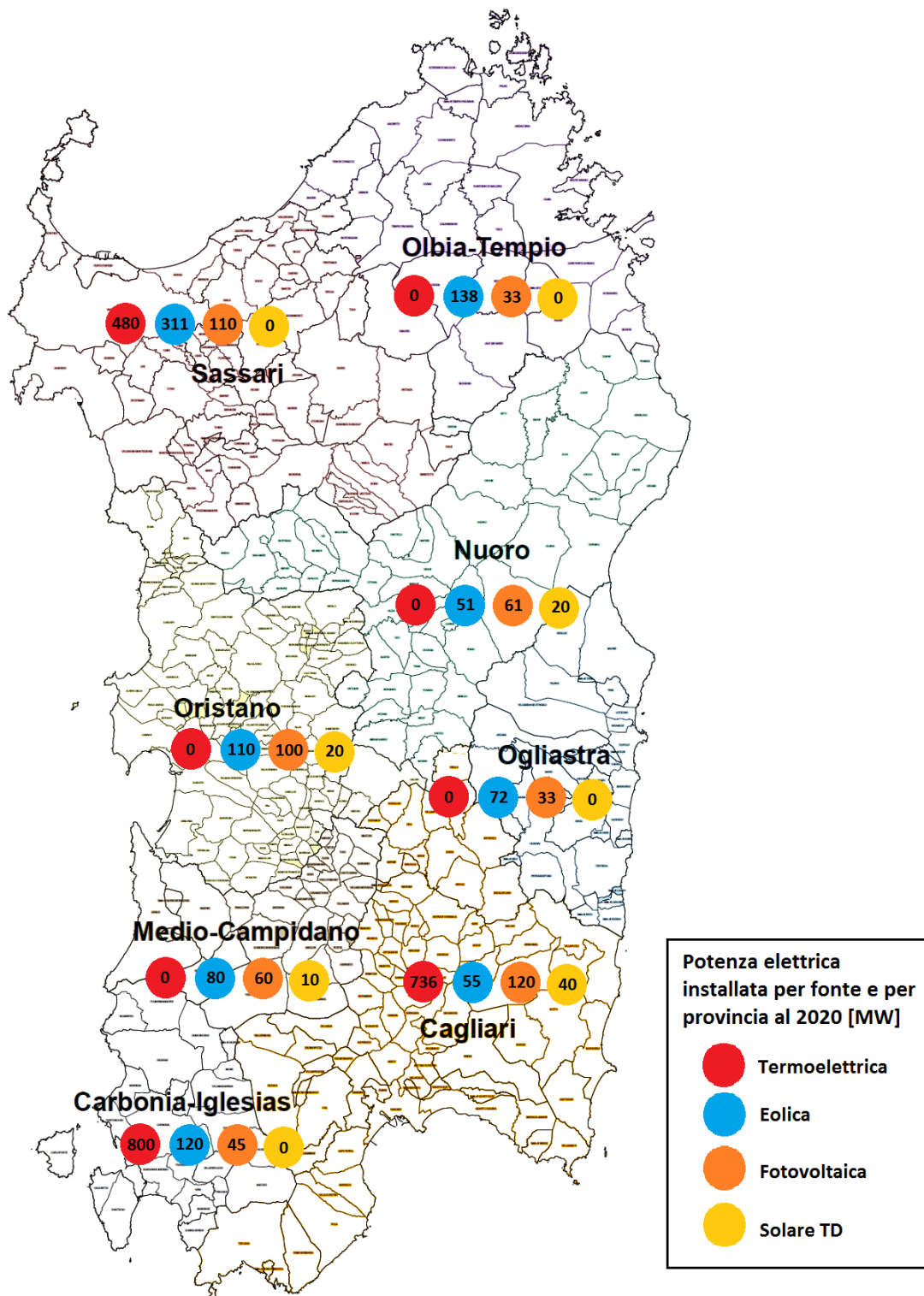


Figura 7.6: Mappa della potenza elettrica installata in Sardegna all'anno 2020.

# Capitolo 8

## Conclusioni

Lo sviluppo di questo studio parte dall'obiettivo generale di definire modalità e metodi di applicazione del concetto di sviluppo sostenibile in campo energetico ad una realtà locale come la Sardegna, alla luce della sua particolare situazione geografica e delle risorse naturali di cui dispone.

Il primo obiettivo fissato è stato quello di attuare un *assessment* a livello energetico, e non solo, della realtà che si intendeva studiare. L'analisi economica, sociale ed energetica della Sardegna ed il suo confronto con le altre regioni italiane, effettuata attraverso l'utilizzo di indicatori specifici, ha evidenziato che sussistono ancora ad oggi importanti differenze tra le realtà regionali, sia a livello di sviluppo economico sia, di conseguenza, nelle modalità di soddisfacimento e nel tipo di evoluzione dei consumi energetici.

Per quanto riguarda il secondo obiettivo ci si è riferiti all'elaborazione di uno strumento di previsione dei consumi energetici futuri in relazione alla particolare realtà regionale tenendo conto che, date le grandi differenze presenti, è necessario riferirsi alle caratteristiche specifiche della regione in esame e non al livello nazionale. Il modello elaborato, basato su serie storiche che includono anche i dati relativi alla crisi economica globale e su alcune ipotesi semplificative, ha una applicabilità generale perchè articolato in modo da includere tra i parametri di influenza quei fattori che risultano avere un peso specifico maggiore nella struttura della particolare realtà analizzata. La struttura del modello prevede una disaggregazione in settori (agricoltura, industria, trasporti e civile) e per ognuno di essi l'elaborazione di una relazione funzionale che, attraverso lo strumento della regressione multipla, permetta di legare le variabili di influenza scelte ai consumi dello specifico settore. La validazione è stata effettuata attraverso l'applicazione del modello alla realtà italiana ed il confronto con le previsioni effettuate dal Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA).

Infine, il terzo obiettivo che questo studio si propone di raggiungere è la definizione di modalità attraverso cui soddisfare i consumi energetici futuri calcolati, modalità che si riferiscano al concetto di sviluppo sostenibile. La formulazione di proposte di miglioramento della struttura energetica è stata possibile solo a valle di un'analisi condotta a livello provinciale e riferita sia ai singoli settori economici (industria, agricoltura, trasporti, civile) sia alle

single fonti energetiche di tipo rinnovabile (solare, eolica, idroelettrica) al fine di comprenderne lo stato di sviluppo ed il potenziale sfruttabile in futuro. Le conclusioni che sono emerse chiaramente da questa analisi sono relative da un lato all'evidente sviluppo in corso di alcune fonti energetiche rinnovabili come il fotovoltaico e soprattutto l'eolico, dall'altro alla mancanza di diversificazione come testimonia l'assenza di impianti solari termodinamici e la scarsa penetrazione del solare termico. Inoltre si è osservata la mancanza di razionalizzazione attuale relativa alla produzione di energia termoelettrica; la potenza installata sull'isola è sovrabbondante rispetto al fabbisogno e gli impianti, presenti in gran numero e da molti anni, lavorano per un numero ridotto di ore equivalenti mantenendo efficienze di conversione basse. Si osserva inoltre la scarsa penetrazione di sistemi ad alta efficienza per il riscaldamento invernale (pannelli radianti, caldaie a condensazione, ecc.) e per il raffrescamento estivo (pompe di calore, sistemi di trigenerazione, ecc.).

Partendo dalla situazione economica, sociale ed energetica attuale per ciascuna provincia sono state definite delle linee guida di sviluppo delle fonti rinnovabili quantificando, in maniera cautelativa, la potenza da installare per coprire una certa porzione dei consumi futuri del settore civile. Le proposte effettuate contemplano non solo un ulteriore sviluppo delle fonti già presenti ma anche una diversificazione verso nuove tecnologie come il solare termodinamico e l'eolico *offshore*. Per quanto riguarda il parco termoelettrico è stato definito un piano di utilizzo razionale dell'insieme di centrali esistenti in funzione di diverse ipotesi di sviluppo del settore industriale; vengono inoltre proposte soluzioni di ammodernamento di impianti obsoleti e di costruzione di nuove centrali al fine di migliorare l'efficienza produttiva e ridurre le emissioni inquinanti. Bisogna ricordare che il quadro di sviluppo proposto contempla l'arrivo sull'isola dell'approvvigionamento del gas naturale, fattore determinante per il miglioramento della struttura energetica ed economica dell'isola. I risultati ottenuti nell'ambito elettrico evidenziano una importante crescita della percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili, un miglioramento dell'efficienza media del parco di centrali termoelettriche e la riduzione degli impianti a fonti fossili presenti con un conseguente calo delle emissioni inquinanti. L'analisi di alcuni settori ed ambiti specifici presenta un carattere generale determinato dalla difficoltà nel reperimento di dati settoriali sufficientemente disaggregati; ci si riferisce a comparti di cui può essere interessante attuare analisi specifiche di sviluppo come i fabbisogni termici del settore civile e di quello industriale ed in relazione ai quali in questo studio vengono fornite indicazioni di carattere generale da cui possono partire sviluppi futuri.

# Appendice



Figura 8.1: Rete stradale. Fonte Regione Autonoma della Sardegna



Figura 8.2: Rete ferroviaria. Fonte RFI

## Variabili indipendenti ipotizzate

Viene riportato l'elenco delle definizioni e delle fonti delle varie variabili indipendenti inizialmente ipotizzate per far parte del modello di previsione:

- *Prodotto interno lordo ai prezzi di mercato*, fonte ISTAT: risultato finale dell'attività di produzione delle unità produttrici residenti. Corrisponde alla produzione totale di beni e servizi dell'economia, diminuita dei consumi intermedi ed aumentata dell'IVA gravante e delle imposte indirette sulle importazioni. E' altresì, pari alla somma dei valori aggiunti ai prezzi di mercato delle varie branche di attività economica, aumentata dell'IVA e delle imposte indirette sulle importazioni, al netto dei servizi di intermediazione finanziaria indirettamente misurati (SIFIM). (Sistema europeo dei conti, SEC 95) [36].
- *Valore aggiunto ai prezzi base*, fonte ISTAT: saldo tra la produzione e i consumi intermedi, in cui la produzione è valutata ai prezzi di base, cioè al netto delle imposte sui prodotti e al lordo dei contributi ai prodotti. La produzione valutata ai prezzi di base si differenzia da quella valutata al costo dei fattori: quest'ultima, è infatti al netto di tutte le imposte (sia quelle sui prodotti, sia le altre imposte sulla produzione), ed al lordo di tutti i contributi (sia i contributi commisurati al valore dei beni prodotti, sia gli altri contributi alla produzione). Sempre ISTAT fornisce la seguente definizione di prezzi base: nel Sistema europeo dei conti (SEC 95) i prezzi base sono dati dal prezzo di mercato (quello che il produttore può ricevere dall'acquirente) dedotte le imposte sui prodotti (esclusa l'IVA) e compreso ogni contributo ai prodotti [36].
- *Investimenti fissi lordi per branca proprietaria*, fonte ISTAT: acquisizioni (al netto delle cessioni) di capitale fisso effettuate dai produttori residenti a cui si aggiungono gli incrementi di valore dei beni materiali non prodotti. Il capitale fisso consiste di beni materiali e immateriali prodotti destinati ad essere utilizzati nei processi produttivi per un periodo superiore ad un anno. (Sistema europeo dei conti, SEC 95) [36].
- *Popolazione residente a inizio anno*, fonte ISTAT: Si tratta di popolazione ricostruita. La metodologia di calcolo è disponibile in diverse pubblicazioni in base al periodo di riferimento ([58]; [67]; [68]).
- *Unità di lavoro totali*, fonte ISTAT: unità di misura omogenea del volume di lavoro svolto dagli occupati. L'unità di lavoro rappresenta la quantità di lavoro prestata nell'anno da un occupato a tempo pieno, e fornisce l'unità di misura della quantità di lavoro prestata da occupati a tempo parziale, da occupati ad orario ridotto (ad esempio perché in cassa integrazione guadagni o perché svolgono un doppio lavoro), e da occupati con durate del lavoro inferiori all'anno [36].

- 
- *Produzione agricola totale*, fonte ISTAT: stima delle superfici e produzioni delle coltivazioni agrarie, floricole e delle piante intere da vaso. I dati sono rilevati seguendo una metodologia di tipo estimativo. Le stime vengono effettuate in base a valutazioni da parte di esperti locali del settore che sono dislocati sul territorio. Le stime degli esperti possono includere i risultati di verifiche dirette sul territorio, nonché le indicazioni provenienti da fonti esterne (ad esempio organismi professionali ed associazioni di produttori, fonti amministrative, fonti di dati ausiliari correlate con la coltivazione oggetto di stima). Le coltivazioni oggetto di indagine sono diverse per ogni mese e tengono conto dello stadio fenologico della coltivazione. Per questo motivo più di una stima può essere determinata per ciascuna coltivazione durante l'annata agraria [36].
  - *Indice della produzione industriale*, fonte ISTAT: descrive attraverso la rilevazione dei volumi di produzione l'andamento dell'attività produttiva in Italia. L'indagine mensile sulla produzione industriale viene effettuata direttamente presso un panel longitudinale di imprese di norma con più di 20 addetti che comunicano i volumi di produzione mensile relativi ad un paniere di prodotti elementari. Ad integrazione di tali dati, per la stima degli andamenti produttivi di specifici settori industriali, afferenti soprattutto al settore dell'estrazione di minerali e al settore energetico, vengono utilizzate altre fonti statistiche. In particolare, gli uffici minerari idrocarburi e geotermia del Ministero delle attività produttive (MAP) forniscono i dati inerenti all'industria estrattiva di minerali energetici mentre le Regioni forniscono i dati inerenti all'attività estrattiva di minerali non energetici, TERNA (Rete Elettrica Nazionale) rileva i dati relativi alla produzione di energia elettrica, il MAP provvede, inoltre, al reperimento dei dati sulla distribuzione del gas metano [69].
  - *Veicoli a motore che hanno pagato la tassa automobilistica*, fonte Automobile Club d'Italia: considerati veicoli nel complesso, categoria che racchiude al suo interno la somma di autovetture, autobus, autocarri, trattori e motrici per semirimorchi, rimorchi [70].
  - *Veicoli agricoli e trattori*, fonte World Bank.
  - *Efficienza*, calcolata in questo studio per i singoli settori secondo definizioni riportate in seguito.



## Il metodo dei minimi quadrati

Il metodo dei minimi quadrati è una tecnica di ottimizzazione che permette di trovare una funzione, detta curva di regressione, che si avvicini il più possibile ad un insieme di dati. In particolare la funzione trovata deve essere quella che minimizza la somma dei quadrati delle distanze tra i dati osservati e quelli della curva che rappresenta la funzione stessa.

Il metodo dei minimi quadrati si basa sulle seguenti assunzioni:

- l'errore statistico ha media condizionata nulla, la media condizionata di una variabile casuale è il suo valore atteso rispetto ad una distribuzione di probabilità condizionata;
- i valori delle variabili indipendenti e della variabile indipendente sono estratti indipendentemente e identicamente distribuiti dalla loro distribuzione congiunta;
- i valori delle variabili indipendenti e dell'errore statistico hanno momenti quarti finiti non nulli;
- non vi è collinearità perfetta, due vettori generici si dicono collineari se e solo se esiste uno scalare tale che moltiplicato per uno dei vettori risulti equivalente all'altro vettore considerato.

Raggruppando le variabili indipendenti in una matrice  $X$  di dimensioni  $n \cdot k$ , che si ipotizza avere rango pieno e pari a  $k$  è possibile scrivere la Equazione(3.22), in notazione matriciale:

$$y = X\beta + \epsilon, \quad (8.1)$$

$$\beta = (a, b, c, d...k), \quad (8.2)$$

Anche in forma matriciale vale quanto detto in precedenza, il vettore  $y$  e la matrice  $X$  conterranno i logaritmi decimali dei valori delle serie storiche considerate, al fine di evitare problemi di eteroschedasticità. Nella formulazione più elementare, si assume che  $\epsilon$  sia distribuito normalmente con media nulla e varianza  $\sigma$ , ossia si abbia la condizione di omoschedasticità. Una distribuzione casuale di valori si dice omoschedastica quando la media dei suoi residui (differenza tra il valore teorico ricavato dal modello costruito ed il valore reale incognito della variabile) è pari a zero e la varianza è costante, ovvero si ha assenza di correlazione nei disturbi. Si ipotizza inoltre che non vi sia correlazione tra i regressori e i disturbi casuali, quest'ultima proprietà è tutt'altro che banale, in quanto soltanto laddove essa è valida è possibile garantire che il vettore di stime dei parametri del modello ( $\hat{\beta}$ ) abbia per valore atteso il vero valore dei parametri. Sotto tali ipotesi, è possibile ottenere le stime del vettore dei parametri tramite il metodo dei minimi quadrati risolvendo il problema di minimo:

$$\min(y - X\hat{\beta})'(y - X\hat{\beta}), \quad (8.3)$$

---

da cui

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'y. \quad (8.4)$$

Per le proprietà della forma quadratica minimizzanda, si è certi che la soluzione trovata corrisponde a un minimo, non solo locale ma globale.

## Piano energetico regionale 2006 [59]

La sezione che segue si occupa di analizzare nel dettaglio il piano energetico del 2006, stilato dal dipartimento di Ingegneria del territorio dell'Università di Cagliari per conto della Regione. La sezione è organizzata come segue:

- nella prima parte viene analizzato il quadro di riferimento normativo del 2005,
- nella seconda parte si analizzano le linee generali di sviluppo per ogni settore,
- nell'ultima parte si verificano gli obiettivi di medio termine proposti nel piano.

### Quadro normativo di riferimento

Il quadro normativo nel contesto internazionale e nazionale è in continua evoluzione, in particolare negli ultimi anni le Regioni stanno assumendo un ruolo via via più importante in tutte le attività di pianificazione, così nel settore dell'energia si è passati nell'ultimo decennio dalla stesura dei vari Piani Energetici Nazionali a quella dei Piani Energetici Ambientali Regionali. Dopo il disastro della centrale nucleare di Chernobyl il 26 aprile 1986, l'Italia ha varato il Piano Energetico Nazionale del 1988 (PEN-1988). E' in questo periodo che le norme di legge che delineano il campo della pianificazione energetica nazionale e regionale hanno assunto contenuti e caratteristiche sempre più integrate con la tutela dell'ambiente e del territorio.

Si riportiamo le principali leggi varate in seguito al PEN:

- La Legge 9 gennaio 1991, n. 9 e 10 di attuazione del PEN 1988 per la liberalizzazione della produzione elettrica da impianti di cogenerazione o da fonti di Energia rinnovabili, il risparmio di energia, l'Uso Razionale dell'Energia (di seguito URE), l'uso delle fonti di energia rinnovabili (di seguito FER) e introduce il piano energetico regionale e comunale;
- il DPR 28 gennaio 1994 concernente l'attuazione del piano di disinquinamento del territorio del Sulcis-Iglesiente (e utilizzazione del carbone sulcis);
- il D.lgs. 31 marzo 1998, n. 112 in materia di Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59, che elenca le competenze riservate allo Stato e quelle riservate alla regione in materia di energia istituisce l'obbligo esclusivo per le regioni di dotarsi di un Piano Energetico Regionale, e, diversamente dalla previsione della L. n. 10/1991, lo Stato non supplisce alla carenza legislativa delle regioni. Il Piano Energetico Regionale deve rispettare il Piano Energetico Nazionale;

- 
- il nuovo testo dell'art. 117 della Costituzione (introdotto nel 2001) che prevede, tra l'altro, che "Sono materie di legislazione concorrente quelle relative alla ... "omissis" ... ricerca scientifica e tecnologica e sostegno all'innovazione per i settori produttivi; tutela della salute; alimentazione; ordinamento sportivo; protezione civile; governo del territorio; porti e aeroporti civili; grandi reti di trasporto e di navigazione; ordinamento della comunicazione; produzione, trasporto e distribuzione nazionale dell'energia; "omissis"... Nelle materie di legislazione concorrente spetta alle Regioni la potestà legislativa, salvo che per la determinazione dei principi fondamentali, riservata alla legislazione dello Stato".

## **Linee guida del PEAR 2006**

### **Settore agricolo**

La breve analisi settoriale effettuata all'interno del Piano Energetico Regionale parte dalla valutazione del fatto che il comparto dell'agricoltura, silvicoltura e pesca ha, per quanto riguarda la realtà sarda, un peso relativamente ridotto in termini di consumi di energia rispetto agli altri settori (intorno al 3% del totale). Viene in seguito evidenziato come sia l'intensità energetica settoriale rispetto al valore aggiunto sia il consumo energetico per unità di lavoro presentino livelli significativamente inferiori alla media italiana dimostrando lo scarso livello di industrializzazione dell'industria sarda ovvero il basso utilizzo dell'apporto tecnologico da parte degli addetti al settore.

Le linee guida di intervento proposte non sono articolate, in questo caso particolare, in una serie di obiettivi specifici da realizzare entro certi periodi bensì si parla in maniera generica di possibili azioni atte al miglioramento della struttura energetica e produttiva del settore. Si parla di una possibile integrazione del comparto agricolo con quello energetico con lo sviluppo della filiera dei biocombustibili utile in un'ottica di diversificazione del mix energetico e di riduzione delle emissioni di gas serra. Si parla inoltre di interventi a sostegno del settore agricolo sotto forma di incentivazioni agli investimenti nelle aziende agricole e nelle opere infrastrutturali come quelle riguardanti l'elettrificazione rurale. Il quadro di incentivazioni fornite dalla regione si colloca nel più ampio programma europeo per lo sviluppo rurale per il periodo 2007-2013.

### **Settore residenziale e dei servizi**

L'analisi sviluppata all'interno del PEAR si riferisce dapprima specificatamente al settore residenziale del quale viene dettagliatamente presentata la procedura con cui, secondo la normativa vigente, deve essere stimato il fabbisogno energetico per il riscaldamento. Presentato l'algoritmo di calcolo vengono fatte alcune valutazioni in riferimento alla struttura energetica del

settore residenziale sardo; viene dato ampio risalto al fatto che una importante frazione delle abitazioni dell'isola sia del tutto sprovvista di impianti di riscaldamento o si serva di apparecchi fissi o mobili che riscaldano solo alcuni ambienti dell'abitazione. Questo stato di obbiettiva arretratezza determinato sia dalla povertà di parte della popolazione sia dall'assenza di reti di distribuzione di gas determina il basso livello di consumi energetici del settore; alla luce di questa situazione nel piano energetico si propone di tenere in considerazione il fatto che lo scenario debba necessariamente evolversi. Si assume infatti che non solo tutti i nuovi edifici saranno dotati di impianti di riscaldamento ma anche che ogni anno in una parte degli edifici esistenti debba essere ammodernata e dotata di impianti centralizzati. In definitiva viene previsto uno scenario in cui, a fronte di un calo degli utilizzi elettrici non obbligati, si assisterà ad un aumento del consumo energetico derivante da combustibili utilizzati specificatamente per il riscaldamento; si parla inizialmente di GPL che sarà in seguito sostituito dall'arrivo sull'isola del gas naturale. Il risultato ottenibile dalla realizzazione di questo scenario sarebbe un generale miglioramento delle condizioni di confort nelle abitazioni a cui, pur corrispondendo una crescita dei consumi, è associato un miglioramento generale dell'efficienza di utilizzo soprattutto grazie all'utilizzo diretto di combustibili per il riscaldamento eliminando utilizzo di energia elettrica pregiata. Il secondo ambito su cui si concentra l'analisi del settore residenziale riguarda l'energia utilizzata per ottenere Acqua Calda Sanitaria (ACS), le valutazioni si basano su dati risalenti addirittura al 1991 ma vengono considerate ancora attuali al momento della stesura del piano a causa dell'immutata struttura energetica del settore residenziale (mancata penetrazione del GPL, riscaldamento autonomo dell'acqua anche quando esiste un impianto centralizzato condominiale). Il fattore caratterizzante i consumi per l'ottenimento di ACS è che nella quasi totalità dei casi vengono utilizzati scaldabagni elettrici a scarsa efficienza che risultano essere responsabili addirittura della metà dei consumi di energia elettrica del settore residenziale. La soluzione proposta nel PEAR a questo utilizzo inefficiente di energia è quella di una penetrazione importante della distribuzione e dell'utilizzo domestico del gas combustibile; si prevede che, in attesa dell'arrivo sull'isola del gasdotto dall'Algeria, le reti di distribuzione del gas debbano essere alimentate ad aria propanata o GPL e debbano essere completate fino a coprire tutta l'estensione dell'isola entro gli anni 2010-2012.

Passando all'analisi del settore dei servizi viene dapprima presentata la suddivisione dei consumi energetici caratterizzati da una forte prevalenza della fonte elettrica nei confronti dei combustibili utilizzati per il riscaldamento; viene inoltre fatta notare la tendenza ad un ulteriore aumento della percentuale di consumi elettrici sul totale (superiori al 90%) a causa dell'utilizzo sempre maggiore e diffuso di impianti di climatizzazione per il raffrescamento. Il PEAR conduce una analisi a livello disaggregato definendo delle linee guida ad un livello più o meno dettagliato per i singoli sottosettori, divisi in servizi vendibili e non vendibili. Per quanto riguarda le scuole si propone

---

di sostituire le caldaie a gasolio utilizzate attualmente con dispositivi capaci di utilizzare combustibili gassosi, determinando in questa maniera risparmio di combustibile e riduzione delle emissioni. Per il comparto dell'amministrazione pubblica e degli uffici in generale i consumi sono per la maggior parte determinati dal fabbisogno di riscaldamento invernale e raffrescamento estivo, la soluzione proposta è quella di utilizzare impianti centralizzati con pompa di calore a cogenerazione alimentati a gas per soddisfare entrambe le richieste. Si passa in seguito a considerare il comparto dell'illuminazione pubblica e degli edifici, ambito in cui secondo il PEAR possono essere raggiunti importanti traguardi dal punto di vista del risparmio energetico; viene citato il programma comunitario avviato nel 2000 denominato Green Light [71] che prevede, attraverso l'utilizzo di metodi di gestione ottimizzati e la diffusione capillare delle migliori tecnologie, di poter raggiungere un risparmio pari al 30-50% dell'energia elettrica utilizzata per questi scopi. Il PEAR si occupa successivamente dei servizi classificati come non vendibili tra cui un peso importante nella realtà sarda è occupato dal comparto turistico alberghiero; i consumi energetici in questo sottosectore sono in costante aumento e sono perlopiù attribuibili all'elettricità utilizzata per la climatizzazione, servizio diffuso sempre più in maniera capillare nelle strutture ricettive per garantire il maggior confort termico possibile alla clientela. La proposta presentata nel piano è quella di sostituire gli impianti di raffrescamento a compressione di vapore presenti attualmente con l'installazione di macchine frigorifere a cogenerazione alimentate a gas oppure con macchine frigorifere a recupero di calore e doppio condensatore capaci inoltre di soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria. L'ultimo sottosectore terziario di cui il PEAR fornisce una analisi e delle linee guida di ottimizzazione è quello commerciale, che include i grandi magazzini ed i centri commerciali il cui grande sviluppo nel recente passato ha portato ad una importante influenza sui consumi energetici atti principalmente a soddisfare il fabbisogno di riscaldamento invernale e raffrescamento estivo. In relazione a questo comparto e non solo, includendo cioè gli edifici in generale, viene citata la direttiva comunitaria 2002/91/CE riguardante la definizione del rendimento energetico in edilizia con particolare attenzione agli impianti di condizionamento dell'aria ed alla certificazione energetica degli edifici; il recepimento da parte del legislatore italiano di questa direttiva europea è rintracciabile nel decreto legislativo n. 192 del 19 Agosto 2005.

### **Settore dei trasporti**

L'incidenza del settore dei trasporti sui consumi finali di energia è di poco più di un terzo sia in Italia che in Sardegna, si parla quindi di un settore che occupa una grande fetta dei consumi. In generale il settore dei trasporti presenta queste particolarità:

- il numero di veicoli a persona è in crescita nonostante la regione abbia crescita della popolazione pressochè nulla,

- la situazione dei motori navali e aerei non sembra destinata a cambiare,
- è improbabile che nuove tecnologie, quali le auto a idrogeno ed elettriche, nei prossimi anni penetrino profondamente nel settore.

Nel 2004 in Italia si contano 581 autovetture ogni 1000 abitanti mentre in Sardegna 540 autovetture ogni 1000 residenti. L'aumento del numero di automobili pro capite di per se comporta un inaccettabile aumento delle emissioni nocive. Non è realistico proporre un inversione di tendenza sul numero di automezzi in circolazione in quanto si andrebbe, tra l'altro, ad intaccare la mobilità individuale, ma si può porre rimedio all'aumento delle emissioni aumentando il più possibile la penetrazione degli automezzi alimentati con combustibili a basso tenore di carbonio, quali GPL e Metano sul breve termine, e ad idrogeno nel medio e lungo termine. Il PEAR si prefigge l'obiettivo di arrivare a un 25% di autoveicoli a GPL e un 5% ad idrogeno entro il 2010. Viene inoltre prevista la produzione di 11 *ktep/anno* di biocarburanti, corrispondenti a 500 *ha* coltivati.

### Settore industriale

Le linee guida proposte per il settore industriale sono ovviamente legate alla particolare situazione dell'industria sarda caratterizzata da grandi poli industriali molto energivori. La sopravvivenza di queste industrie è legata alla loro possibilità di accesso all'energia (elettrica e non) a un prezzo che le renda competitive sul mercato. Per abbassare il prezzo dell'energia il PEAR si propone di:

- costruire una centrale termoelettrica che sia in grado di sfruttare il carbone estratto nella regione del Sulcis;
- potenziare il cavo elettrico di collegamento con il continente;
- costruire un metanodotto e, in attesa di questo, realizzare dei rigassificatori nelle zone portuali dell'isola.

L'arrivo del metano può avere il duplice obiettivo di favorire l'autoproduzione di energia elettrica e abbassare i fabbisogni termici del settore industriale sino ad ora soddisfatti attraverso l'utilizzo di derivati del petrolio. Si può aggiungere che l'eventuale arrivo del metano porterebbe alla possibilità di futuri interventi di re-powering di alcune centrali a olio combustibile con dei cicli combinati alimentati a gas naturale. In concomitanza con quanto proposto finora il PEAR, al fine di diversificare e salvaguardare il settore industriale, propone di incentivare le industrie a bassa intensità energetica quali: l'agroindustria, l'industria tessile, del sughero, dei materiali lapidei, del sale, la produzione di biocombustibili.

---

## Fonte idroelettrica

Le potenzialità idroelettriche della Sardegna sono molto modeste per via del suo particolare regime idrologico, caratterizzato da scarse precipitazioni; pertanto la produzione idroelettrica risulta subordinata alle necessità imposte dagli altri usi prioritari dell'acqua. Il sistema idrico sardo risulta essere molto complesso a causa del clima e dell'orografia della Sardegna, spesso gli invasi per essere interconnessi e consentire una buona utilizzazione della risorsa richiedono travasi e trasporti mediante elettropompe. L'acqua per molti anni è stata razionata e spesso si è arrivati a vedere i serbatoi quasi asciutti. Soltanto una piccola parte degli invasi si presta a realizzare un impianto idroelettrico economicamente sostenibile. Il sistema idrico della Sardegna è quindi un carico per la rete elettrica, dai dati di Terna relativi alla domanda elettrica [37] si rileva che il sistema degli acquedotti ha un assorbimento dell'ordine di 250 *GWh/anno* (2003-2004), valore che risulta dello stesso ordine di grandezza della produzione media annua del comparto idroelettrico di generazione. Mediante l'energia del sole e del vento si può ridurre questo improprio assorbimento di energia elettrica da parte del sistema idrico regionale. Il solo impianto di grossa taglia (240 *MW*) oggi funzionante è quello del Taloro, il quale, per la presenza di gruppi reversibili di notevole potenza, svolge la doppia funzione di garantire energia di punta rinnovabile e di costituire una riserva di potenza essendo l'unico sistema in grado di consentire la ripresa dell'intera capacità produttiva degli impianti dell'isola in caso di blackout. Sia Enel Green Power, principale produttore idroelettrico privato interessato a sviluppare il settore idroelettrico, che il Piano delle Acque del 1987 mettono in luce come nelle condizioni fisiche degli invasi artificiali della Sardegna non sia economicamente conveniente realizzare nuovi impianti con nuovi sbarramenti, sia per l'elevato costo della diga sia per le implicazioni ambientali ed i lunghi tempi di costruzione e sottolineano che il costo delle opere di miglioramento supererebbe largamente il beneficio conseguibile da una produzione idroelettrica maggiore e di miglior qualità.

Il PEAR afferma che:

- esiste la possibilità di realizzare qualche impianto appartenente alla categoria degli impianti di mini e micro idraulica; i quali potrebbero avere un significato culturale ed economico per piccoli interventi e particolari condizioni ambientali, ma che questi tuttavia non darebbero un significativo contributo al bilancio di energia elettrica della Sardegna;
- sarebbe possibile realizzare ancora impianti di potenza e produttività significative utilizzando sbarramenti ed invasi già realizzati nel quadro del "Piano delle acque" solamente per motivazioni prioritarie quali la fornitura d'acqua per gli usi potabili, irrigui, industriali.

Nel piano energetico vengono formulate alcune proposte di sviluppo del sistema idroelettrico:



1. **Applicazioni di “mini e micro idraulica”**, esistono alcuni esempi di mancato sfruttamento dell’energia potenziale posseduta dall’acqua lungo gli impianti di distribuzione e stoccaggio che sono di seguito descritti:

- *Battente di esubero sulla diga*: Le condotte di presa dai bacini artificiali sono dimensionate come diametro e pressione per lavorare con l’acqua dell’invaso al minimo livello; quando l’acqua nell’invaso si trova ad un livello superiore a quello di progetto l’energia potenziale disponibile è dissipata per laminazione o strozzamento, abbattendo la pressione per permettere il buon funzionamento delle linee di distribuzione a valle dell’invaso.
- *Pressione di esubero nella distribuzione della risorsa idrica*: La distribuzione dell’acqua per uso idropotabile ovvero per usi irrigui avviene tramite reti a pettine nelle quali, per far fronte alle perdite di carico per alimentare l’utenza più svantaggiata, si hanno spesso delle pressioni all’ingresso delle diramazioni delle utenze più vicine eccedenti rispetto alle necessità. Ove questo avviene, per esempio all’ingresso dei serbatoi di stoccaggio cittadini o all’ingresso degli impianti di potabilizzazione, la pressione viene ridotta mediante apparecchiature statiche di strozzamento.

2. **Proposta di nuovi impianti di pompaggio reversibili**, la realizzazione di nuovi impianti di pompaggio di media taglia permetterebbe di aumentare il grado di sicurezza della rete elettrica della Sardegna, facilitandone contestualmente la gestione e rendendola più sostenibile a livello economico, poichè:

- in primo luogo vi sarebbe la possibilità di aumentare la riserva di potenza elettrica disponibile, un impianto idroelettrico dedicato possiede caratteristiche di immediata disponibilità ed è in grado di sopperire repentinamente a squilibri sulla rete dovuti alla istantanea mancanza di una sezione di generazione, l’unico gruppo che oggi svolge attivamente questo ruolo è quello del Taloro.
- in secondo luogo vi sarebbe la possibilità, che questo tipo di installazioni garantirebbero alla rete elettrica, di allocare i picchi di offerta generati da centrali alimentate da fonti non programmabili (eoliche e fotovoltaiche), mediante il pompaggio.

In questo tipo di impianti la potenza assorbita nel funzionamento in pompaggio è maggiore di quella resa nel funzionamento in generazione, per questo motivo la funzione principale dell’impianto di pompaggio deve essere quella di dare sicurezza e stabilità alla rete; l’uso sistematico come accumulatore di energia elettrica causerebbe un aumento delle perdite del sistema energetico regionale.

- 
3. **Uso razionale dell'Energia nel settore acquedottistico**, è noto, da dati forniti da Terna nel 2004 [37], come la Sardegna abbia un fabbisogno pro capite annuo di energia elettrica per il settore merceologico "acquedotti" tra i più alti in Italia, essendosi attestata nell'anno 2004 a circa  $155 \text{ kWh/anno/ab}$  che corrisponde ad un fabbisogno di  $250 \text{ GWh}$  annui di energia elettrica, circa il 2% del fabbisogno interno lordo di energia elettrica della Regione. Tale risultato dipende in gran parte dalla complessa orografia e dalla bassa densità demografica dell'isola ma certamente è frutto anche del fatto che in passato le implicazioni energetiche non sono state adeguatamente considerate.

### Fonte eolica

*Premessa* In Sardegna la mancanza del piano energetico regionale fino al 2003 ha reso difficile la programmazione di un equilibrato sviluppo degli impianti eolici, nel contesto della situazione di transizione verso la completa liberalizzazione del mercato elettrico. Tuttavia rispetto alla grande mole di domande inoltrate dai produttori (per circa  $4500 \text{ MW}$ ), in prospettiva 2012 è stata fornita la concessione a costruire per circa il 50% della potenza richiesta. Il governo di questo settore produttivo, in grande crescita per via della notevole convenienza economica provocata dal certificato verde, è stato reso difficile anche dalla abrogazione dei Piani Territoriali Paesistici da parte degli organi nazionali di controllo. La legislazione nazionale per tutela del paesaggio impone un maggior rigore nella verifica della compatibilità ambientale dei parchi eolici. La ricerca di un giusto equilibrio tra la prerogativa degli impianti eolici di minimizzare le alterazioni ambientali di natura chimico-fisica e la modifica del paesaggio può essere oggi agevolata dalla metodologia della Valutazione Ambientale Strategica (VAS) a cui il Piano Energetico Ambientale deve essere sottoposto.

*Valutazione del Potenziale energetico eolico in Sardegna* Enel in collaborazione con la Facoltà d'Ingegneria dell'Università di Cagliari tra il 1980 e il 1982 ha installato in Sardegna una rete di anemometri, i risultati forniti sono stati conferiti alla Commissione Energia dell'Unione Europea. I dati rilevati da diversi Stati sono condensati nel "Wind Atlas" [72], la cui visione d'insieme è rappresentata nella Figura 8.6; questa mappa fornisce una prima indicazione di massima e mostra i seguenti elementi caratteristici:

- le regioni dell'Italia centro-nord presentano nelle pianure velocità medie inferiori a  $4 \text{ m/s}$ , cui corrispondono flussi di Energia eolica insufficienti a giustificare un impianto di potenza dell'ordine delle decine di MW, ad eccezione dell'Appennino ligure;
- la Sardegna occidentale è più ventosa di quella orientale, infatti è più esposta al vento di maestrale, mentre la parte orientale è schermata dai massicci montuosi.

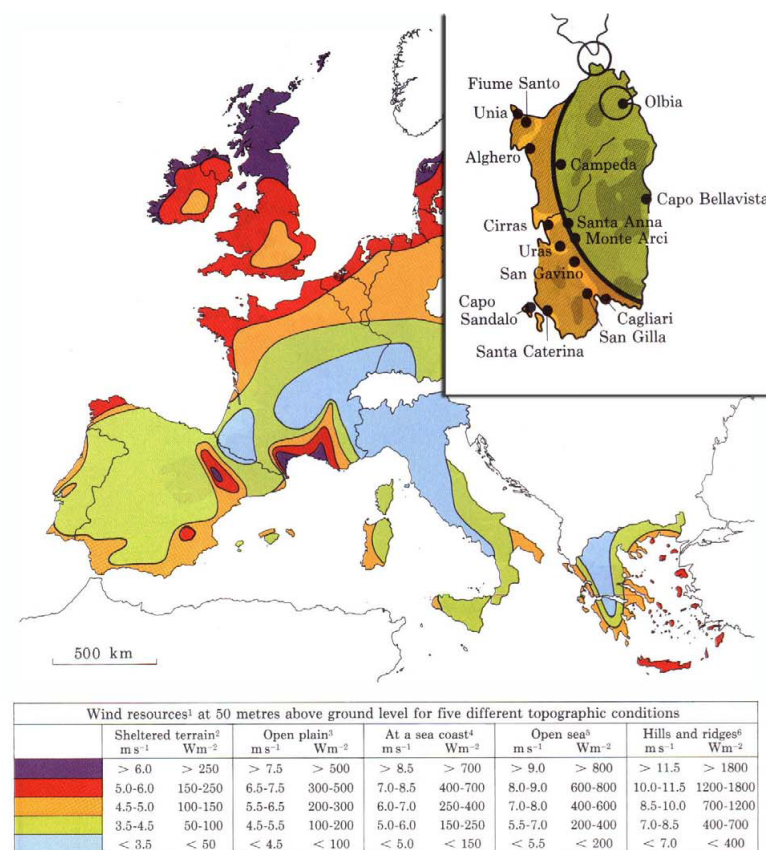


Figura 8.3: Atlante eolico europeo. Fonte commissioni EU

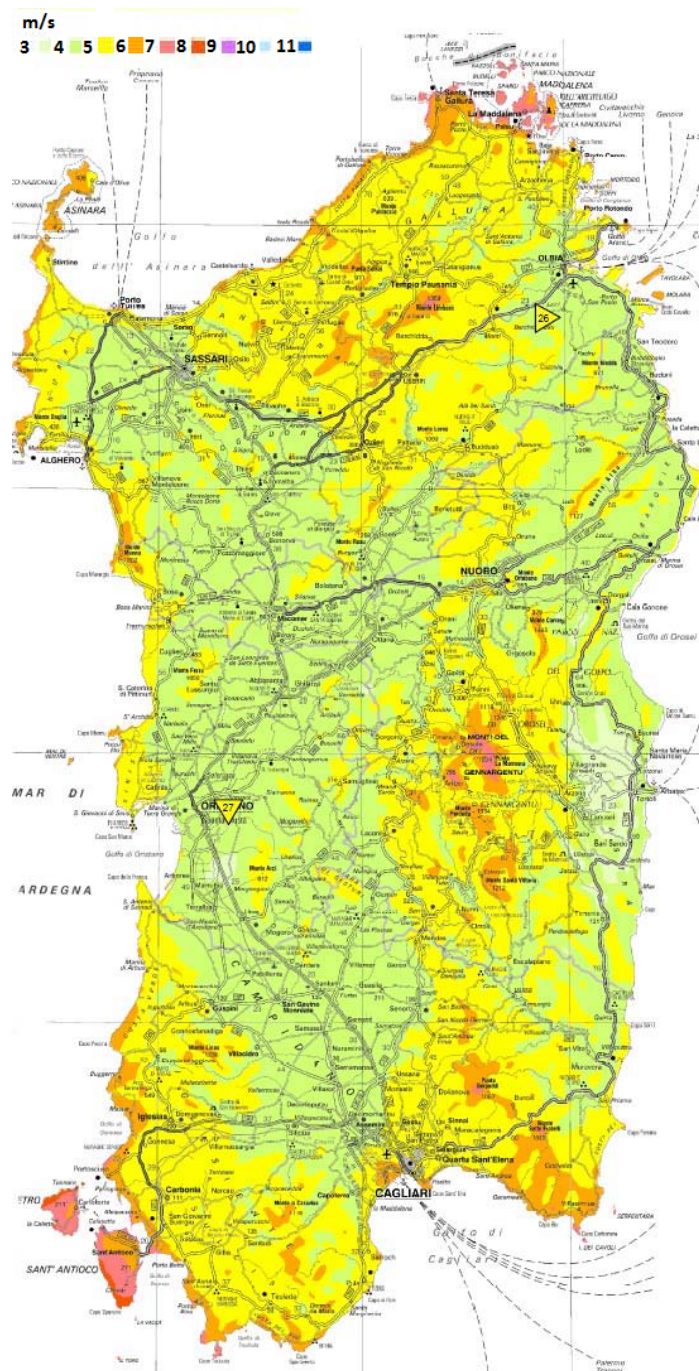


Figura 8.4: Atlante eolico sardo. Fonte ENEA

Per analizzare in dettaglio il flusso di Energia eolica in Sardegna nel PEAR si utilizza uno studio fatto dal CESI (Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano) in collaborazione con l'Università di Genova [59] i cui risultati sono riportati in Figura 8.7. Si mette in chiara evidenza come le aree di pianura hanno una velocità media annua dell'ordine di  $5\text{ m/s}$ , mentre le aree di collina e montagna hanno valori tra  $6\text{ m/s}$  e  $7\text{ m/s}$ . Questa differenza tra le velocità del vento sembra piccola ma ha conseguenze notevoli sulla scelta dei siti idonei.

Nel primo piano energetico regionale, in assenza dei Piani Territoriali Paesistici ed in assenza della Valutazione Ambientale Strategica, si era stimato come accettabile un potenziale energetico eolico dell'ordine di  $4000\text{ GWh/a}$  ( $2000\text{ MW}$  di potenza elettrica, siti di collina e di media montagna); il potenziale fisico totale è molto maggiore, ma nella stima si erano esclusi tutti i siti ricadenti in aree protette. L'utilizzazione di un tale potenziale nel periodo di un decennio porterebbe alla installazione di un numero di aerogeneratori compreso tra 1200 e 1500 privilegiando le macchine di potenza compresa tra 1 e  $2\text{ MW}$ , dove la valutazione estetico-paesaggistica consideri accettabile una macchina di grandi dimensioni. Se invece la VAS adotta come prioritario il criterio conservativo dello stato attuale dell'ambiente naturale, si può ritenere che gli impianti eolici debbano essere installabili solo in aree ambientalmente degradate e o limitrofe alle principali aree industriali della Regione. In tale caso il potenziale energetico risulta basso, poichè le zone considerate non possiedono ventosità meno favorevole e produttività di medio valore, con una potenza installabile da 500 a  $600\text{ MW}$ .

Definito il compromesso che la regione vuole rispettare in materia di impianti eolici in seguito al grande sviluppo di impianti nel primo lustro degli anni 2000 il PEAR propone le seguenti linee guida di sviluppo:

1. **Impianti eolici sulle principali aree industriali** Le proposte di sviluppo degli impianti eolici che vengono prese in esame si estendono su siti già compromessi o degradati nei pressi delle aree industriali principali. Le localizzazioni devono essere assoggettate ad uno studio anemometrico apposito di durata almeno annuale.
2. **Ripotenziamento di impianti obsoleti** Si propone anche il ripotenziamento di alcuni parchi eolici già esistenti attraverso la sostituzione di areogeneratori ormai obsoleti con altri di nuova generazione che presentano potenze unitarie più elevate (da  $0,8$  a  $2\text{ MW}$ ).
3. **Mini e micro eolico** Realizzazione di impianti eolici di piccola potenza al servizio di aziende agro-industriali o manifatturiere nei piani di insediamento produttivo di alcuni comuni della Sardegna, con la finalità di ridurre il costo aziendale dell'energia elettrica.
4. **Limiti tecnici alla potenza di impianti eolici installabili in Sardegna** La potenza per gli impianti eolici collegabile alla RTN (Rete

di Trasmissione Nazionale) è stata determinata come la massima potenza tale da mantenere gli attuali standard di sicurezza e qualità del servizio elettrico. Si è individuato il limite tecnico della potenza eolica installabile in sicurezza in Sardegna, con riferimento al 2004, al 2006 e al 2009. Sulla base dello studio è risultato che la potenza installabile è pari a 384 MW al 2004, 498 MW al 2006 e 1066 MW al 2009. Si pone comunque la necessità di studiare ulteriormente: a) il valore del minimo tecnico dei singoli impianti onde evitare che risulti violata la priorità nel dispacciamento delle FER; b) i metodi per rendere regolabili gli impianti eolici; c) le tecnologie di accumulo dell'Energia prodotta nelle "ore vuote".

### Fonte solare

All'interno del PEAR viene svolto un lavoro di indagine per l'individuazione di siti adatti per la costruzioni di impianti solari temodinamici, gli unici di cui si preoccupa di tracciare linee guida per il futuro. Per fare ciò si serve delle mappe solari elaborate dalla regione, di cui si riportano in figura degli esempi relativi però all'anno 2011. Se si confrontassero queste mappe con quelle della penisola italiana si potrebbe notare come la Sardegna abbia enormi potenzialità di sfruttamento della radiazione solare, presente abbondantemente su tutta la sua superficie. Se si osservano inoltre le mappe delle temperature si può notare come sia oltremodo favorita la tecnologia del solare temrico a bassa temperatura dato il clima mite presente sull'isola.

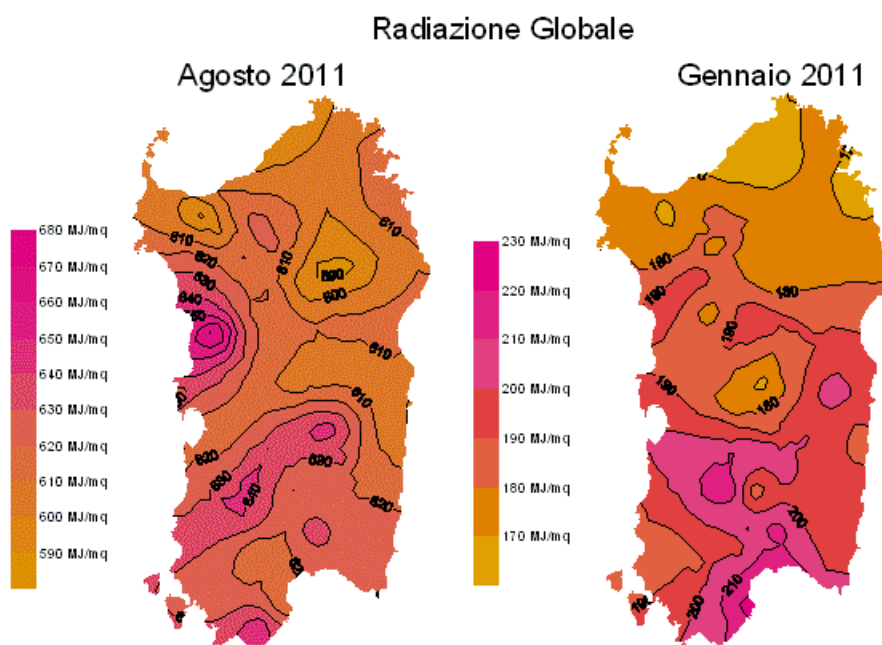


Figura 8.5: Radiazione globale ad agosto e gennaio 2011, fonte Arpa Sardegna

Per ciò che riguarda l'utilizzo dell'energia solare per la produzione di acqua sanitaria, in Sardegna si ha una scarsa diffusione con meno del 1% delle

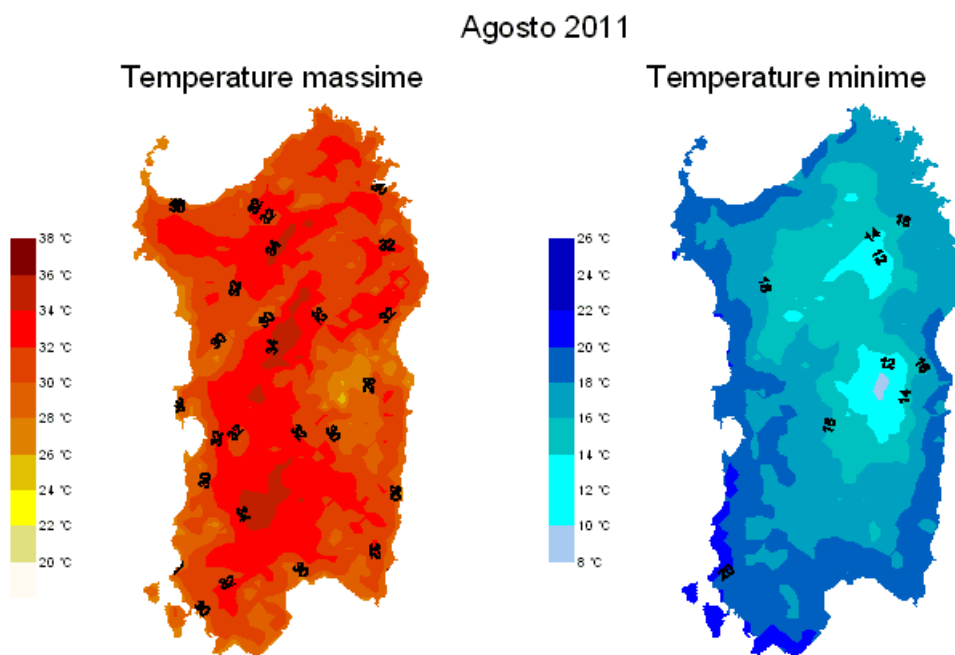


Figura 8.6: Temperature agosto 2011, fonte Arpa Sardegna

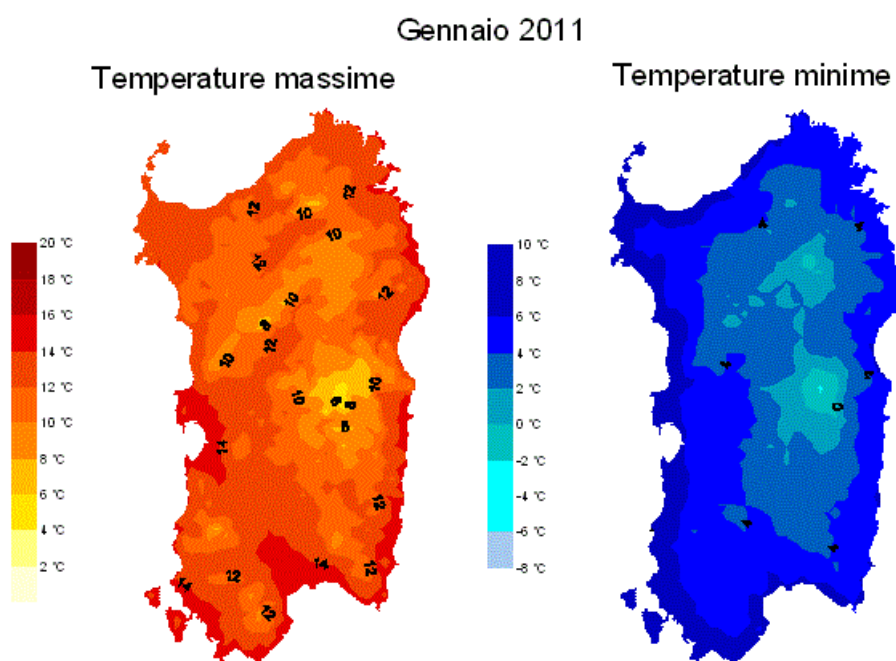


Figura 8.7: Temperature gennaio 2011, fonte Arpa Sardegna

---

abitazioni dotate di pannelli solari di qualsiasi genere e non sembra che il settore, dopo il boom dei primi anni settanta, sia destinato ad un sensibile sviluppo. I finanziamenti in conto capitale elargiti dalla Regione attraverso i Bandi Solari [73] degli anni passati hanno consentito di stimolare il mercato isolano, infatti grazie al Bando 2002 sono stati installati  $2461m^2$  di collettori solari, il Bando 2004 [59], sta portando all'installazione di circa  $6600 m^2$ , così come il bando 2005 che prevede un finanziamento totale al settore di  $1.600.000\text{€}$  potrà dar luogo all'installazione di ulteriori  $6600 m^2$  di superficie di collettori solari. Lo sviluppo del settore fotovoltaico è strettamente legato ai programmi di finanziamento nazionali e regionali, trattandosi di una tecnologia ancora relativamente costosa. La potenza totale prevista nel 2005 è pari a  $398,74 kW$ , mentre la produzione di energia elettrica stimata è pari a circa  $0,9 GWh$ .

Nel PEAR si afferma che data la particolare situazione climatica, geografica ed energetica della Sardegna, l'installazione di uno o più impianti solari risulta non solo possibile ma indispensabile se si vuole pianificare uno sviluppo sostenibile ed ecocompatibile dell'isola, a tal fine si è svolta un'indagine sulle potenzialità della fonte solare. Il Piano Paesaggistico Regionale [74] prevede vincoli sul territorio diversi da quelli previsti dai Piani Territoriali Paesistici decaduti, è responsabilità del produttore proporre una valutazione ambientale completa che documenti il pieno rispetto del Piano Paesaggistico Regionale.

Il processo per l'individuazione dei siti adatti allo scopo prefissato procede nella maniera seguente:

- viene consultata la carta di irrigabilità dei suoli, si escludono zone già adibite ad uso agricolo intensivo;
- viene consultata la carta dei suoli, si escludono zone con presenza di vegetazione folta o di particolare interesse ambientale;
- si verificano le pendenze del terreno affinché non siano eccessive rispetto ai valori richiesti per una corretta installazione del campo di specchi;
- si escludono zone troppo vicine al mare, zone di interesse turistico, zone troppo vicine a centri abitati;
- infine si dovrà valutarle con il metodo della matrice di decisione attribuendo ad ogni caratteristica un suo peso per poi scegliere il sito che maggiormente soddisfa le richieste.

Il PEAR individua sei zone:

1. **Genna Sartania** Ha una superficie di  $514000m^2$ , nel complesso non presenta una estensione rilevante. La presenza di montagne a sud-ovest, riduce in maniera non eccessiva la quantità di radiazione diretta durante la giornata, data la notevole distanza dal sito. Non è stata rilevata la presenza di corsi d'acqua permanenti nelle vicinanze (almeno



5 Km), e anche la distanza dal mare è notevole (15 Km). Il sito è collegato con una strada a una corsia per senso di marcia con notevole presenza di curve per 17 Km. La vegetazione non è particolarmente folta ma il sito è destinato soprattutto a coltivazioni estensive e pascolo. Il sito si trova a pochi chilometri dalle miniere abbandonate ed altri luoghi di interesse dai quali non è comunque visibile. Il terreno presenta una parte senza dislivelli eccessivi mentre altre con variazioni di alcune decine di metri. La distanza dalla più vicina stazione elettrica di Guspini a 150 KV è di 9.5 Km mentre la linea 220 KV passa a 3 Km ma senza stazioni vicine. Nel complesso il sito non presenta particolare interesse, soprattutto per la presenza delle montagne e per la presenza di coltivazioni.

2. **Villacidro** Ha una superficie di  $223000m^2$  non particolarmente frazionata. La presenza di montagne a sud-ovest, ad una distanza di circa 5 Km potrebbe influenzare la produzione, sono però presenti alcuni corsi d'acqua di modesta portata e l'invaso di Monte Arbus distante circa 10Km. Il sito si trova sulla strada S.Gavino-Villacidro, anche se adibito a zona industriale (non presenta particolari restrizioni ambientali) è comunque in parte coltivato ma privo di alberi. Viene già servito dalla linea 150 KV con stazione a pochi metri. La distanza dalla linea 380 o 220KV è di 15 Km circa (Villasor). Il sito richiede uno studio più approfondito per verificare l'incidenza delle montagne sulla potenzialità, ma non sembra avere le caratteristiche ideali.
3. **Ottana** Ha una superficie ( $99400m^2$ ) complessiva notevole divisa in due zone separate da una strada due corsie. Non ha ostacoli che possano influenzare significativamente la radiazione solare diretta. Il sito si trova a 10 km dal lago Omodeo e a ridosso del fiume Tirso, ha pertanto un sufficiente approvvigionamento di acqua anche se in fase progettuale è necessaria una verifica reale delle fonti. Siccome è posto nei pressi di poli industriali è dotato di: una ramificata rete di strade che garantiscono un buon collegamento; assenza totale di vegetazione e zone di interesse naturalistico; dislivelli di poche decine di metri su zone ristrette. La distanza dalla stazione di trasformazione di Ottana è di 1km e pochi metri dalla linea di alimentazione dell'Enichem. Per questo sito è stata raccolta una documentazione dettagliata sia fotografica che cartografica data la notevole rispondenza del sito alle caratteristiche richieste
4. **Birori** L'estensione complessiva risulta sui 1,250 km<sup>2</sup>. Non è completamente utilizzabile per la presenza di alcune aziende agricole; sono presenti montagne a pochi chilometri ma in direzione Nord, non creano per questo particolari problemi. I corsi d'acqua che dal lago Omodeo raggiungono la zona non garantirebbero sicuramente la copertura del fabbisogno d'acqua. Il sito si trova sulla strada Macomer-Nuoro e a pochi chilometri dalla SS131. Nonostante la mancanza di irrigazione

---

alcuni terreni sono coltivati, anche se la maggior parte è adibita al pascolo, si trova ad alcuni chilometri dalla zona industriale di Ottana ma è in una zona abbastanza incontaminata. Il sito si trova a 3 Km dalla stazione a 150 KV di Macomer e a 12 Km da Ottana. Si può concludere che si ha come problema principale la presenza di aziende agricole e l'impiego del territorio per il pascolo del bestiame

5. **Sindia** Si ha un unico sito con estensione di 1,03 km<sup>2</sup>, la presenza di montagne ad est riduce leggermente l'apporto di radiazione diretta. Si trova a 15 Km dal lago Omodeo sulla SS129bis a 2 Km da Macomer. Alcune zone sono completamente incolte altre destinate al pascolo, nelle vicinanze zone alberate e alcune rovine di nuraghi. La distanza dalla stazione elettrica di Macomer a 150 KV è di 5 Km mentre la linea 220 KV attraversa il sito ma senza stazioni vicine. Il sito è in una zona abbastanza incontaminata e le modifiche al paesaggio potrebbero risultare troppo evidenti.
6. **Macchiareddu** L'estensione complessiva risulta sui 38,0 km<sup>2</sup>. Non è particolarmente frazionata separata solo da file di alberi. La presenza di montagne ad ovest non ostacola la radiazione diretta utile, data notevole distanza e la modesta altezza. La vicinanza con il mare (poche centinaia di metri) garantisce la disponibilità di grandi quantità di acqua così da poter optare per sistemi con rendimenti più elevati. Bisogna verificare inoltre la presenza a pochi chilometri di corsi d'acqua dolce. Il sito si trova all'interno della zona industriale di Macchiareddu, è per questo servita da una fitta rete di strade adatte al transito di mezzi di grandi dimensioni. Alcune zone risultano tuttora coltivate, nonostante il carattere prettamente industriale della zona. Il sito si trova ad 1 Km dalla stazione di trasformazione di Rumianca. Altre caratteristiche. Anche per questo sito come per quello di Ottana è stata eseguita una analisi più dettagliata delle caratteristiche. Si trova infatti in una zona altamente modificata dal punto di vista ambientale che la rende adatta alla produzione di energia, è inoltre vicina ad un importante cabina di trasformazione e presenta grandi distese pianeggianti.

## Verifica degli obiettivi del PEAR 2006

### Settore agricolo

Le proposte presentate nel PEAR relative allo sviluppo energetico di questo settore sono molto meno articolate e specifiche, sicuramente a causa dello scarso peso strategico dell'agricoltura ed a causa della progressiva diminuzione del numero di occupati nel settore. Ad ogni modo si parla di incentivazioni per gli investimenti in questo comparto in relazione principalmente a due filoni di sviluppo: l'integrazione del sistema agricolo con quello energetico con la filiera dei biocombustibili e della biomassa per la produzione

di energia elettrica, lo sviluppo di una agricoltura maggiormente industrializzata. Allo stato attuale, facendo una verifica della situazione del settore agricolo, si nota che la struttura non è mutata in maniera sostanziale rispetto alla situazione del 2005 e che dunque le proposte presentate nel piano si sono rivelate essere degli auspici per uno sviluppo settoriale a lungo termine.

### Settore industriale

Per quel che concerne lo sviluppo di questo settore il piano energetico regionale oltre a fornire delle linee guida per migliorare lo sviluppo presenta una serie di proposte concrete e pone degli obiettivi specifici da realizzare nel medio periodo. La descrizione delle proposte di ottimizzazione e sviluppo del sistema energetico industriale sardo non può che partire con l'analisi di quanto di ciò che era stato proposto sia stato effettivamente ad oggi realizzato. Gli obiettivi di medio termine proposti dal PEAR del 2006, obiettivi concreti consistenti nella realizzazione di infrastrutture atte al miglioramento dello sviluppo industriale, sono fondamentalmente tre e secondo le previsioni del piano sarebbero dovuti essere raggiunti già nel 2010.

1. **Elettrodotta SAPEI**[75]: è un cavo sottomarino di connessione tra la Sardegna e la penisola italiana, la realizzazione di questa opera ha una importanza cruciale per il sistema elettrico isolano e di conseguenza per il suo sviluppo industriale. La messa in esercizio del collegamento è stata effettuata nel 2010 attestando dunque il raggiungimento del primo obiettivo fissato dal piano energetico regionale. Si tratta di un cavo di connessione ad altissima tensione (500 kV) capace di trasportare una potenza elettrica di mille megawatt (pari a quasi la metà del fabbisogno sardo). Il percorso del cavo, come rappresentato in Figura 8.8, va dalla stazione di Fiumesanto nei pressi di Porto Torres (dove è situata una importante centrale termoelettrica) sulla sponda isolana alla stazione di Nettuno in Lazio sulla sponda continentale, per un percorso totale lungo 435 km. L'opera realizzata dalle aziende Asea Brown Boveri Ltd e Prysmian S.p.A. per conto di Terna S.p.A. rappresenta la più importante infrastruttura elettrica mai realizzata in Italia e detiene il record di investimento mai effettuato (pari a 750 milioni di euro). La struttura è costituita da due cavi sottomarini (con diametro di 12 cm ciascuno), due cavi terrestri e due stazioni di conversione. La realizzazione è avvenuta, secondo la tabella di marcia prestabilita, in quattro anni a partire dal 2006; attualmente il cavo è in funzione e permette la connessione della Sardegna al continente aggiungendosi all'infrastruttura già esistente denominata SACOI e costituita da cavi aerei e sottomarini passanti per la Corsica e capaci di trasmettere una potenza di 300 MW ad una tensione di 200 kV. Gli effetti benefici sono molto importanti ed influenzano sia direttamente che indirettamente lo sviluppo economico dell'isola e non solo. Influenza diretta è registrabile in relazione al problema elettrico sardo, in passato l'insufficiente



Figura 8.8: Mappa del percorso dell'elettrodotto SAPEI. Fonte Terna S.p.A.

connessione con la penisola aveva creato sempre grosse difficoltà per il sistema elettrico isolano in termini di sicurezza del servizio ed anche di affidabilità in relazione alle scorte di energia necessarie. Infatti non essendoci un adeguato collegamento con il sistema nazionale ed europeo, la rete elettrica sarda non poteva usufruire delle scorte di elettricità che sul continente sono ripartite tra tutti i generatori europei. Questo problema ha portato per lungo tempo il sistema di produzione di potenza in Sardegna a funzionare al di sotto delle proprie possibilità per poter garantire in ogni momento un margine di riserva adeguato così da avere la sicurezza e l'affidabilità della rete; questa situazione di mancata ottimizzazione ha portato ad avere prezzi dell'energia elettrica in Sardegna di gran lunga più elevati rispetto al resto d'Italia. Indirettamente, a causa dell'elevato prezzo dell'elettricità, è stato influenzato tutto il comparto industriale sardo; sull'isola sono presenti principalmente poli produttivi di grandi dimensioni che sfruttano processi a forte intensità di energia elettrica. La diretta conseguenza di questa situazione è che i grandi consumatori sardi si sono per lungo tempo trovati a lavorare in condizioni economicamente svantaggiose e poco sostenibili se paragonate a quelle degli altri competitors europei. Il risultato è stato che in diverse situazioni, grandi industrie di importanza strategica per l'economia e per l'occupazione sarda si sono trovate vicine alla decisione forzata della chiusura o dello smembramento ed alla fine sono riuscite a sopravvivere solo grazie all'intervento di incentivazioni stabilite in ambito politico. Con la realizzazione di una interconnessione elettrica stabile e praticamente illimitata viste le esigenze della regione, diventa possibile garantire gli scambi istantanei di qualsiasi entità così da sopperire a tutte le variazioni di carico e poter operare gli impianti di produzione nella maniera ottimale, in questa maniera la realtà sarda non è più una zona elettrica a se stante (con il proprio prezzo) ma va ad affiancarsi in tutto e per tutto al sistema elettrico italiano.

2. **Centrale termoelettrica integrata Sulcis:** il progetto presentato inizialmente nel 1994 ed il cui finanziamento era previsto nel DPR 28.1.1994, sarebbe dovuto essere, secondo la tabella di marcia inizialmente prospettata, terminato e funzionante al giorno d'oggi. Quello che è accaduto invece è stato un accantonamento pressoché totale del progetto originario, sostituito da nuove ipotesi nel corso degli anni che però non hanno mai ottenuto i permessi necessari, facendo di fatto arenare, almeno momentaneamente, l'idea inizialmente presentata. In sostanza il progetto prevedeva la costruzione di una centrale termoelettrica a carbone (del tipo IGCC con confinamento dell'anidride carbonica generata) integrata con il bacino carbonifero del Sulcis che avrebbe dunque fornito la maggior parte del combustibile necessario alla produzione di elettricità. Allo stato attuale il progetto iniziale è stato abbandonato e sostituito con quello che potrebbe considerarsi come un suo aggiornamento, approvato e finanziato come previsto dalla legge 99 del luglio 2009. Il progetto attuale prevede la realizzazione di una centrale a carbone del tipo USC (ultrasupercritico con rendimento elettrico netto del 41,5%) con alimentazione fornita per almeno il cinquanta per cento in termini di potere calorifico dal carbone prodotto nel Sulcis (per un consumo annuo di circa 660000 ton) e per la restante metà da carbone di importazione [62]. Si prevede la presenza di una sezione di cattura e stoccaggio di circa il 63% del biossido di carbonio prodotto, che viene confinato geologicamente in un sito facente parte dello stesso bacino carbonifero del Sulcis (un filone esaurito naturalmente) ed avente capacità di centocinquanta milioni di tonnellate, ovvero con la possibilità di accogliere la CO<sub>2</sub> prodotta in sessanta anni di funzionamento. Il costo totale previsto per l'investimento in questione è pari a 1500 milioni di euro, i risultati totali della gestione del progetto diventano decisamente positivi solo se vi è applicabile il meccanismo di incentivazione CIP6/92 [76]. In sostanza il secondo obiettivo fissato nel PEAR del 2006 non è stato ad oggi completato e non si trova neanche in via di realizzazione. Si può tuttavia affermare che la proposta fatta continua ad essere molto interessante e può avere senso insistere nella sua proposizione anche nell'ambito delle nuove linee guida per lo sviluppo energetico della Sardegna, che in questo studio ci si propone di fornire. La realizzazione del progetto precedentemente descritto porterebbe notevoli vantaggi a livello economico ed occupazionale con la messa a regime della miniera e la creazione di occupazione temporanea durante la fase costruttiva, di occupazione stabile per centinaia di unità durante la fase di gestione ed esercizio ed infine la creazione di un polo di notevole interesse scientifico nel bacino del Sulcis.
  
3. **Gasdotto GALSI[77]:** si tratta di un progetto strategico per lo sviluppo economico italiano, finalizzato a consentire l'approvvigionamento del gas naturale algerino così da alleggerire la dipendenza politica energetica dalla zona dell'est europeo. Il gasdotto, dalla capacità di otto

---

miliardi di metri cubi all'anno, sarà lungo quasi 900km di cui 600 in mare, e collegherà la stazione di compressione di Koudiet Draouche in Algeria con quella di Porto Botte ubicata nella zona sud ovest della Sardegna, a questo punto la condotta percorrerà l'isola sarda alimentandola con il gas naturale trasportato per poi intraprendere il secondo tratto marittimo che va da Olbia a Piombino.



Figura 8.9: Mappa del percorso del gasdotto GALSI. Fonte Galsi S.p.A.

Il piano energetico sardo non parla specificamente della realizzazione del progetto GALSI visto che chiaramente la sua realizzazione non è di competenza della Regione Autonoma della Sardegna; si parla invece in maniera diffusa dell'arrivo del gas naturale sull'isola e di tutte le applicazioni per le quali si prevede il suo utilizzo, e non solo in riferimento alla costruzione del gasdotto. Per quanto riguarda il settore industriale l'obiettivo specifico proposto dal PEAR era quello che almeno il trenta per cento dei consumi finali settoriali fossero coperti dal gas naturale all'anno 2010, che poi sarebbero passati al 50% nel 2015. Dall'analisi della situazione energetica attuale della Sardegna risulta chiaro che ad oggi non vi è ancora disponibilità di gas naturale sull'isola, ed in base al calendario dei lavori del gasdotto si può facilmente affermare che neanche l'obiettivo del 2015 verrà centrato e che la data di inizio fornitura non può ancora essere fissata.

Questa situazione non può che determinare una importante incertezza nel panorama futuro dello sviluppo energetico sardo visto che assumendo l'ipotesi dell'arrivo del gas naturale possono essere previsti diversi scenari di miglioramento dello sfruttamento energetico sia in riferimento alle efficienze di conversione, sia in riferimento alle emissioni di gas inquinanti sia in riferimento alla produzione di energia che potrà

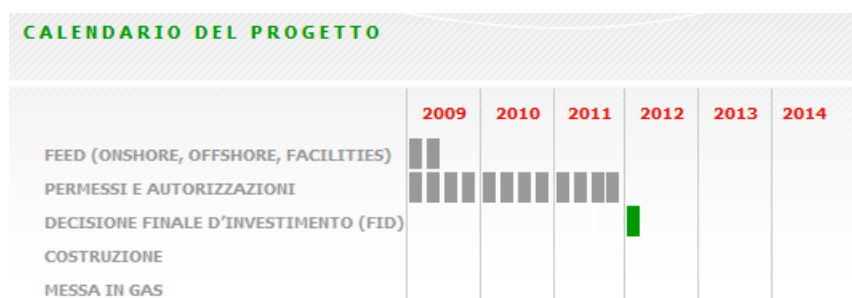


Figura 8.10: Calendario di sviluppo del progetto del gasdotto marino Algeria - Italia via Sardegna. Fonte Galsi S.p.A.

sfruttare la tecnologia dei cicli combinati costruiti ex novo o attraverso il repowering dei vecchi impianti a carbone ed a olio combustibile.

### Settore dei trasporti

Gli obiettivi fissati da PEAR riguardavano solamente il settore dei trasporti su strada data l'immobilità tecnologica degli altri comparti del settore. Si svolge la verifica degli obiettivi attraverso l'analisi dell'evoluzione del parco di autovetture della Sardegna, i dati a disposizione sono pubblici, forniti dall'ACI [70] e sono messi a confronto con le previsioni fatte dal PEAR. I dati elaborati riguardano il numero di autovetture presenti in Sardegna divise secondo l'alimentazione nelle categorie: benzina, gasolio, altro (in cui rientrano le auto a GPL, metano, idrogeno, elettriche). Il PEAR purtroppo non riporta la fonte dei dati antecedenti alla pubblicazione. Cercando la voce autovetture ripartite per alimentazione sul Autoritratto pubblicato dall'ACI [70] si nota che i dati non coincidono con quelli del PEAR. Il totale delle autovetture è pressochè identico ma cambia la ripartizione tra il numero di autovetture a gasolio e quelle a benzina. La quota di gasolio nel documento dell'ACI è circa il doppio di quella riportata sul PEAR, mentre per quanto riguarda la voce altro combustibile i numeri riportati dalle due fonti sono molto vicini. Non potendo raggiungere fonti migliori si è proseguito valutando l'incremento delle singole categorie rispetto all'anno 2005. Le previsioni del PEAR sono costruite di modo da mantenere l'andamento di crescita degli ultimi anni costante anche per quelli futuri. In Figura 8.11 si sono messi a confronto, fatto 100 il numero di autovetture nel 2005, i dati del PEAR con i valori reali. Si nota come:

- la crescita totale di autovetture è stata prevista in maniera corretta;
- non era stato previsto un così importante passaggio al gasolio, infatti il PEAR prevedeva che sia la quota di benzina che quella di gasolio scendessero di qualche punto percentuale a favore degli altri combustibili;

- anche la crescita dei combustibili alternativi è stata ben prevista anche se un po' in anticipo rispetto a quanto accaduto, la quota sul totale rimane molto lontana dagli obiettivi;
- l'obiettivo di passaggio a combustibili a minor tenore di carbonio in generale non è riuscito poichè si è assistito a una grande crescita delle autovetture a ciclo Diesel;
- le previsioni PEAR sono state fatte assumendo che il sistema dei trasporti non sarebbe cambiato, mentre però i suoi obiettivi (25% di auto a GPL nel 2010) auspicavano una modifica dello stesso, nella realtà il sistema è cambiato con un aumento notevole delle autovetture a gasolio.

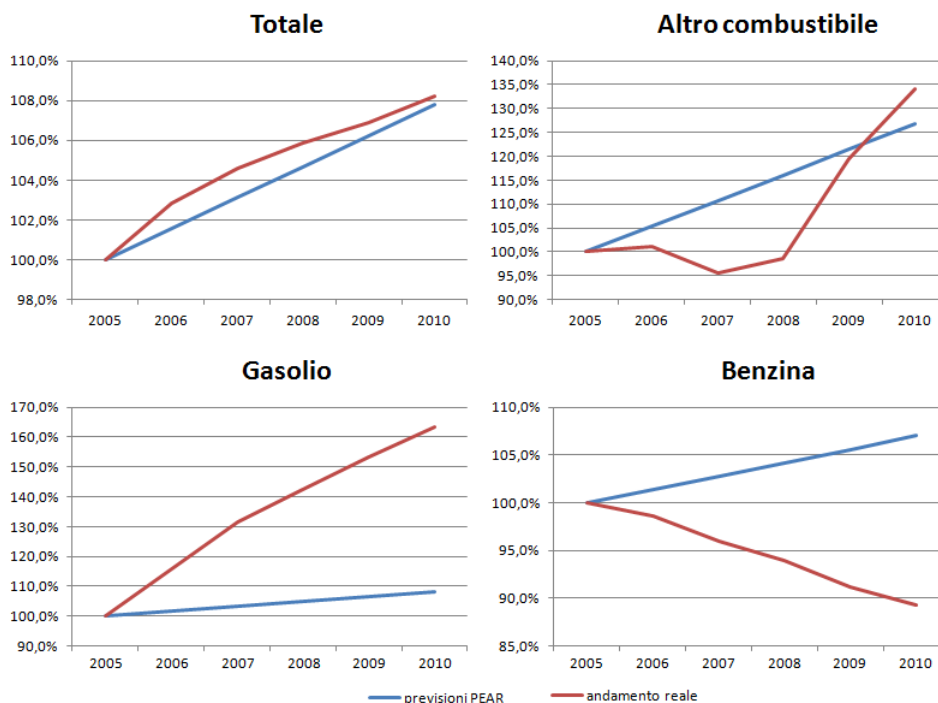


Figura 8.11: Confronto tra le previsioni di crescita e gli andamenti reali del numero di autovetture classificate secondo la tipologia di alimentazione, fonti ACI e PEAR

### Fonte idroelettrica

Gli obiettivi del PEAR in questo settore si possono suddividere in due ambiti: il primo, facilmente verificabile, riguardava la costruzione di centrali idroelettriche; il secondo, meno verificabile, consisteva nel fornire alcune interessanti possibilità di sviluppo del settore. Il primo ambito a sua volta può essere diviso in due parti la prima riguarda la potenza che nel PEAR ci si proponeva di installare, la seconda riguarda la producibilità attesa dall'intero



settore. Per quanto riguarda gli impianti previsti, e quindi la potenza elettrica immessa in rete, possiamo vedere come gli impianti di taglia maggiore siano stati portati a termine nei tempi previsti, non hanno avuto la stessa sorte gli impianti di potenza minore. Anche la produzione idroelettrica sembra essere coincidente con quella prevista, tenendo conto che è sempre molto soggetta all'andamento climatico dell'anno considerato.

Tabella 8.1: Centrali idroelettriche previste dal PEAR

Nome	Comune	Prov	Messa in esercizio		Potenza MW
			stimata	reale	
Tirso1 e 2	Busachi	OR	2005	2005	24
Cedrino 1 e 2	Dorgali	NU	2007	2007	3,8
Posada 1 e 2	Posada	NU	2007	no	1
Uvini ristrutturata	Goni	CA	2007	2007	13
Sarroch	Sarroch	CA	2008	no	2,55

Tabella 8.2: Producibilità idroelettrica prevista dal PEAR e produzione idroelettrica da Terna

Anno	Imp. numero	Potenza MW	Produzione		Consumi acquedotti GWh
			stimata GWh	reale GWh	
2003	13	437,8		258	
2004	14	441,8		311	251,4
2005	16	462,4		272	242,4
2006	16	462,6	281	308,6	256,8
2007	17	466,2	298,1	294,2	269,7
2008	17	466,2	311,6	259,5	286,8
2009	17	466,2	338,6	416,8	258,6
2010	17	466,2	349,4	398,2	255,5

Per quanto riguarda invece le altre possibilità di sviluppo del settore idroelettrico, leggasi mini e micro idroelettrico, non si hanno abbastanza fonti per valutare se si sia riscontrato un aumento degli impianti sull'isola. Non ci sono notizie invece di impianti di pompaggio simili a quello di Taloro anche se con potenze minori, il PEAR aveva individuato tre siti possibili ma in nessuno di questi si è costruito l'impianto. In questo settore è anche importante verificare, anche se esula in parte dal compito di questo studio, quanto sia migliorato il sistema idrico sardo, per fare ciò ci si serve ancora dei dati forniti da Terna e si controlla il rapporto tra i consumi del settore e l'energia elettrica prodotta dall'idroelettrico. Si può notare che i consumi relativi agli acquedotti rimangono pressochè costanti, la regione non ha quindi svolto opere significative nel migliorare la condizione dei suoi acquedotti. Negli

---

ultimi due anni la produzione è leggermente aumentata ma comunque gli acquedotti assorbono quasi totalmente l'energia idroelettrica prodotta.

### **Fonte eolica**

Nel PEAR si afferma l'importanza del piano paesaggistico regionale al fine di controllare il boom di parchi eolici sorti sull'isola dal 2000 al 2005. Per verificare questo ci è serviti dei dati riportati nella Tabella 6.6 e nella Tabella 6.7. Dalla prima tabella si noterebbe un forte arresto della messa in esercizio di parchi eolici tra il 2005 e il 2008, la stessa pausa non si avverte nei dati provenienti da Terna [37]. Ciò che si evince da entrambe le fonti è che la potenza eolica in Sardegna è raddoppiata dal 2005 al 2010 (passando da circa 300MW a circa 600MW), questo a causa della costruzione negli ultimi anni di grandi parchi. Osservando la Figura 6.9 si nota come, a parte un impianto nel Campidano, tutti i parchi di grande potenza siano situati in zone collinari o montuose lontane dalla costa. Anche in questo ambito la regione non è riuscita a portare a termine gli obiettivi proposti nel PEAR infatti la potenza in rete è quasi raddoppiata e a giudicare dalle grandi potenze degli impianti costruiti più recentemente l'impatto sul paesaggio non deve essere stato compatibile con quanto proposto. Questo grande sviluppo ha portato l'energia elettroeolica a superare quella idroelettrica, il contributo totale delle fonti rinnovabili risulta ancora modesto ma in chiave futura potrebbe giocare un ruolo sempre più importante nel sistema energetico della regione. La spiegazione di questo enorme sviluppo può essere trovata nei grandi vantaggi economici dei Certificati Verdi [7] che hanno spinto nuovi investitori verso l'energia eolica, ciò è testimoniato dal fatto che dal 2005 in avanti chi si è affacciato sul mercato eolico sardo non lo aveva mai fatto fino ad allora e che le ultime aziende investitrici sono in possesso di pochi altri impianti in Italia.

### **Fonte solare**

Nei riguardi della fonte solare il PEAR sottolinea come gli sviluppi delle tecnologie fotovoltaiche e termiche siano legate ai meccanismi di incentivazione proposti dalla legislatura italiana. In questo ambito non sono stati definiti né un numero di impianti auspicabili nel futuro né una quota minima di energia o potenza installata entro un limite temporale. Si conclude che in sostanza non ci sono obiettivi a medio termine da verificare e si rimanda all'analisi della situazione energetica attuale della fonte ed alle proposte di sviluppo presentate in questo studio.

# Bibliografia

- [1] Autori Vari. *Storia dei sardi e della Sardegna*. Milano, 1989-1993.
- [2] *Statuto speciale per la Sardegna*. Legge costituzionale pubblicata nella Gazzetta Ufficiale del 9 marzo 1948.
- [3] ENEA. *Statistiche energetiche 1988-2008*. 2009.
- [4] IEA. *Definizione di Total Primary Energy Supply*. [http : //www.iea.org/dbtw – wpd/Textbase/stats/defs/Tpes.htm](http://www.iea.org/dbtw-wpd/Textbase/stats/defs/Tpes.htm).
- [5] United Nation Department of economic IAEA, IEA and European Enviroment Agency social affairs, Eurostat. *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. aprile 2005.
- [6] United Nation Development Programme. *Human Development Report 2010*. 2010.
- [7] n.387 Decreto Legislativo 29 dicembre 2003. *Promozione della ricerca e della diffusione delle fonti rinnovabili*.
- [8] n.28 Decreto Legislativo 3 marzo 2011. *Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE*.
- [9] G. Iorio P.G. Catoni. *L'energia nelle regioni*. ENEA, 2011.
- [10] Arpa Lombardia. *Rapporto sullo stato dell'ambiente in lombardia 2009/2010*.
- [11] S. C. Bhattacharyya. *Energy economics*. Springer, 2011.
- [12] R.S. Hartman. *Frontiers in energy demand modelling*. Annual Revision Energy, 1979.
- [13] Stevens P. The economics of energy. *Energy Literature*, 2000.
- [14] Bohi D. *Analyzing demand behaviour: a study of energy elasticities*. John Hopkins University Press, 1981.

- 
- [15] United Nation. *Sectoral energy demand studies: application of the end-use approach to Asian Countries*. Energy Resources and Development Series, 1991.
- [16] Zhang FQ Ang BW. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, 25, 2000.
- [17] C. Kaysen F.M. Fisher. *A study in econometrics: the demand for electricity in the United States*. North Holland, 1962.
- [18] L.C. Hunt J. Evans. *International handbook on the economics of energy*. Cheltenham, 2009.
- [19] D.L. Rubinfeld R.S. Pindyck. *Econometric models and economic forecasts*. McGraw-Hill, 1998.
- [20] J.K. Parikh D. Raghavendra Rao. Forecast and analysis of demand for petroleum products in india. *Energy policy*, 19, 1996.
- [21] C. Walters G. Urga. Dynamic translog and linear logit models: a factor demand analysis of interfuel substitution in us industrial energy demand. *Energy Economics*, 2003.
- [22] E. Szirucsek F. Wirl. *Energy modelling, a survey of related topics*. OPEC Review, 1990.
- [23] International Energy Agency. *Worldwide trends in energy use and efficiency: key insights from IEA indicators analysis*. <http://www.iea.org/Papers/2008>, 2008.
- [24] Siddayao CM Miklius W, Leung P. *Analysing demand for petroleum-based fuels in the transport sectors of developing countries*. Energy decisions for the future: challenge and opportunities, 1986.
- [25] Gately D Dargay J. Vehicle ownership to 2015: implications for energy use and emissions. *Energy policy*, 25, 1997.
- [26] Soligo R Medlock K. Car ownership and economic development with forecasts to the year 2015. *Economy policy*, 36, 2002.
- [27] The hybrid approach to demand modeling, special issue of energy. *Energy*, 15, 1990.
- [28] Shell. *Scenarios: an explorer's guide*. Shell International, Rijswijk, 2003.
- [29] S.O. Iyare B.M. Francis, L. Moseley. Energy consumption and projected growth in selected caribbean countries. *Energy economics*, 29, 2007.
- [30] C.W. Carr E. Genest-Laplante E. Arsenault, J.T. Bernard. A total energy demand model of québec. *Energy economics*, 17, 1995.

- 
- [31] J.K. Parikh D. Raghavendra Rao. Forecast and analysis of demand for petroleum products in india. *Energy policy*, 19, 1996.
- [32] Keichi Yokobori Yoichi Kaya. *Environment, Energy, and Economy: strategies for sustainability*. Conference on Global Environment, Energy, and Economic Development, 1993.
- [33] AA. VV. State energy forecasting. In *State clean energy-environment technical forum*, 2008.
- [34] L. Zhentao Y. Hang, X. Deyun. Regional energy demand modeling and forecasting. In *Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 2009.
- [35] M. Mazraati T. Bouachera. *Fuel demand and car ownership modelling in India*. 2007. Organization of the Petroleum Exporting Countries.
- [36] *Conti economci regionali*. ISTAT, 2012. dal 2007 al 2009.
- [37] Terna. *Dati statistici sull'energia elettrica in Italia*. consultati nel 2012. disponibili dal 1997 al 2010.
- [38] New Holland Agriculture. *Scheda tecnica New Holland TD5000*.
- [39] Antonio di Donato. *Dottorato in Veicoli Terrestri e Sistemi di Trasporto*. Università di Pisa.
- [40] Valdesa e treni. *Scheda tecnica ALN 668*. <http://treni.valdelsa.net/schede/aln668.asp?l=it>.
- [41] Daniele Neroni. *Scheda tecnica Minuetto*. [http : //www.leferrovie.it/leferrovie/wiki/doku.php?id = schede\\_tecniche : automotrici : termiche : aln501502](http://www.leferrovie.it/leferrovie/wiki/doku.php?id=schede_tecniche_automotrici_termiche_aln501502).
- [42] *Schede tecniche modelli Panda e Punto*. [http : //www.fiat.it/it/modelli](http://www.fiat.it/it/modelli).
- [43] *Schede tecniche modello BMW serie 5*. [http : //www.bmw.it/it/it/index.html](http://www.bmw.it/it/it/index.html).
- [44] Fincantieri. *Schede tecniche navi Tirrenia*.
- [45] Tirrenia S.p.A. *Scheda tecnica turbina a gas delle navi Aries, Taurus, Scorpio, Capricorn*. [http : //www.geaviation.com/engines/marine/pdfs/datasheet\\_m2500.pdf](http://www.geaviation.com/engines/marine/pdfs/datasheet_m2500.pdf).
- [46] Tirrenia S.p.A. *Scheda tecnica motore navi Bithia, Janas, Atharas, Nuraghes, Sharden*. [http : //www.wartsila.com/en/engines/medium-speed - engines/wartsila46](http://www.wartsila.com/en/engines/medium-speed-engines/wartsila46).
-

- 
- [47] ATR Aircraft. *Schede tecniche ATR72*. [http : //www.atraircraft.com/products/atr - 72 - 500.html](http://www.atraircraft.com/products/atr-72-500.html).
- [48] Pratt and Whitney. *Scheda tecnica PW127F per ATR72*. [http : //www.pwc.ca/en/engines/pw127e](http://www.pwc.ca/en/engines/pw127e).
- [49] *Schede tecniche Embraer 170*. [http : //www.embraercommercialjets.com/img//download/138.pdf](http://www.embraercommercialjets.com/img/download/138.pdf).
- [50] ENEA ECIEEA, Odyssee. *Energy Efficiency Policies and Measures in Italy*. settembre 2009.
- [51] S. C. Bhattacharyya. *Energy economics*. Springer, 2011.
- [52] *Previsioni della popolazione*. ISTAT, 2011. dal 2011 al 2065, per ogni regione.
- [53] Enerdata European Commission Intelligent Energy Executive Agency, Association of European Energy Efficiency Agency.
- [54] ENEA. *Rapporto enegia e ambiente, analisi e scenari 2009*. 2010.
- [55] E3Mlab of ICCS/NTUA. *Primes Model, version used for the 2007 scenarios for the european commission*. <http://www.e3mlab.ntua.gr/DEFAULT.HTM>, 2007.
- [56] International Energy Agency. *World Energy Outlook*. <http://www.iea.org/weo/2009.asp>, 2009.
- [57] Ministero dello sviluppo economico. *Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili*. 2009.
- [58] Dipartimento di Scienze Demografiche Università degli Studi di Roma La Sapienza. *Ricostruzione della popolazione residente per sesso, età e regione*. 1983. dal 1952 al 1971, in Fonti e strumenti.
- [59] Dipartimento di Ingegneria del Territorio Università di Cagliari. *Piano Energetico Ambientale Regionale*. Regione autonoma della Sardegna, Assessorato all'industria, 2006.
- [60] GSE. *Solare fotovoltaico - Rapporto Statistico 2010*.
- [61] GSE. *Atlasole*. <http://atlasole.gse.it/atlasole/>.
- [62] ENEA Zeroemission. *Progetto integrato Sulcis: ipotesi tecnica*. <http://www.zeroemission.enea.it/attivita-progetti/efficienza-energetica/il-progetto-integrato-miniera-sulcis-impianto-termoelettrico-a-carbone>.
- [63] E. Luger. *Eucalypt introduction as energy Crope*. BLT Wieselburg.

- [64] M.P. Watters C.P. Mitchell, E.A. Stevens. *Short-rotation forestry operations, productivity and costs based on experience gained in the UK*. Forest Ecology and Management.
- [65] H. Boerrigter. *Economy of Biomass-to-Liquids (BTL) plants, an engineering assessment*. ECN, Energy research Centre of the Netherlands.
- [66] Ottana Energia. *Progetto CSP Ottana, una sfida tecnologica nello sviluppo del polo energetico di Ottana*. [http : //www.crs4.it/ecp/projects/convegno09/OttanaEnergia.pdf](http://www.crs4.it/ecp/projects/convegno09/OttanaEnergia.pdf).
- [67] ISTAT. *Popolazione e bilanci demografici per sesso, età e regione*. 1985. per gli anni 1972-1981, nel Supplemento al bollettino mensile di statistica.
- [68] *Ricostruzione della popolazione residente per età e sesso nelle province italiane*. 1996.
- [69] ISTAT. *Indice della produzione industriale, statistiche I.stat*. <http://dati.istat.it/>.
- [70] Automobile Club Italiano. *Autoritratto*. consultati nel 2012. disponibili dal 1997 al 2010.
- [71] Commissione Europea. *Programma europeo GreenLight, brochure*. <http://www.eu-greenlight.org/>.
- [72] *The World of Wind Atlases – Wind Atlases of the World*. <http://www.windatlas.dk/>.
- [73] Regione Autonoma della Sardegna Servizio Energia. *Bando solare termico*. <http://www.regione.sardegna.it/bandosolaretermico/>.
- [74] Regione Autonoma della Sardegna SardegnaTerritorio. *Piano paesaggistico regionale*. <http://www.sardegнатerritorio.it/pianificazione/pianopaesaggistico/>.
- [75] Terna Rete Elettrica Nazionale. *SAPEI Il cavo dei record*. <http://www.sapei.it>.
- [76] Dipartimento delle attività produttive. *Incentivi CIP6, Energie rinnovabili ed assimilate*. <http://documenti.camera.it/leg16/dossier/Testi/AP0028.htm>.
- [77] Galsi S.p.A. *Gasdotto marino Galsi, il gasdotto Italia*. <http://www.galsi.com>.





# Ringraziamenti

Un sentito grazie va alla Professoressa Colombo che tra rimproveri, minacce, consigli e complimenti ci ha aiutato a concludere questo percorso migliorati come “tecnici” e soprattutto come persone.

Ringraziamo di cuore la competenza, la gentilezza, il supporto, la passione, la pazienza e l’accento di Riccardo.

Un grazie va ad i ragazzi del *CFDlab* che hanno dovuto sopportate prima i nostri continui raid e poi la nostra ingombrante presenza condita di domande scoccianti ed imprecazioni varie.

Grazie ai consigli, alla disponibilità ed alla simpatia dell’ing. Vantini, della Prof.sa Garrone e del Prof. Chiesa.

Grazie per la disponibilità e per la prontezza del supporto di ENEA attraverso la Dott.sa Iorio.