



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Allegato alla Delib.G.R. n. 21/19 del 21.4.2020

# PIANO ENERGETICO AMBIENTALE DELLA REGIONE SARDEGNA

2015-2030

LINEE GUIDA PER LA REGOLAMENTAZIONE E L'INCENTIVAZIONE  
DELLO SFRUTTAMENTO DELLE RISORSE FINALIZZATE ALLA  
REALIZZAZIONE DI IMPIANTI A BIOENERGIE IN SARDEGNA

Allegato I

Impieghi attuali, bilancio delle emissioni e disponibilità delle bioenergie in  
Sardegna

## Gruppo di lavoro

### Regione Autonoma della Sardegna - Assessorato dell'Industria

Ing. Giuliano Patteri – Direttore Generale

Servizio Energia ed Economia Verde

Direttore ad interim – Ing. Gabriella Mariani

Dott. Stefano Piras – Direttore del Servizio

Ing. Alberto Triverio – Responsabile del Settore Pianificazione e Programmazione Energetica

Ing. Maria Francesca Muru – Responsabile del Settore Infrastrutture Energetiche

Dott. Davide Atzori - consulente

Ing. Matteo Floris – consulente

### Servizio di supporto Servizio di supporto tecnico all'attività del gruppo di lavoro monitoraggio del piano energetico ambientale regionale della Sardegna



TerrAria s.r.l.

*TerrAria s.r.l.*

Via Melchiorre Gioia, 132 20125 Milano

Via Nuoro, 43, 09125 Cagliari

Tel: +39 02/87085650 - Fax: +39 02/87369062

E-mail: [info@terraria.com](mailto:info@terraria.com)

Capo Progetto: Giuseppe Maffeis

Responsabile della segreteria Tecnica: Rosella Manconi

Esperto tecnico in materia di energia ambiente: Luisa Geronimi

Esperto Legale: Giovanna Landi

Supporto operativo per il Report di monitoraggio: Alice Bernardoni

Supporto operativo per la definizione del Burden Sharing, del Bilancio

energetico regionale e delle Linee Guida per le bioenergia: Giorgio Fedeli



*Poliedra - Centro di servizio e consulenza del Politecnico di Milano su  
pianificazione ambientale e territoriale*

Via G. Colombo 40, 20133 Milano (Italia)

Tel: +39 02/23992900 - Fax: +39 02/23992911

E-mail: [poliedra@polimi.it](mailto:poliedra@polimi.it)

Esperto tecnico in materia di energia ambiente: Elena Girola

Esperto in comunicazione: Carmina Conte

Supporto operativo per il Report di monitoraggio: Valeria Crespi, Simona Muratori, Silvia Pezzoli

## Sommario

0	Introduzione .....	4
1	Consumi e produzione di energia degli impianti a bioenergie esistenti .....	5
1.1	Dati analizzati nella costruzione del BER 2017 .....	5
1.2	Banche dati disponibili a livello nazionale e regionale .....	7
1.2.1	Dati forniti dal GSE .....	7
1.2.2	Dati forniti da Terna .....	10
1.2.3	Dati ricavabili dalle banche dati di Istat .....	13
2	Bilancio delle emissioni da bioenergie .....	16
2.1	Dati emissivi disponibili .....	16
2.1.1	Disaggregazione dell'inventario nazionale delle emissioni (ISPRA) .....	17
2.1.2	Inventario regionale delle emissioni 2010 (A.D.A.) .....	19
2.2	Metodologia .....	21
2.2.1	Emissioni degli impianti di produzione di energia elettrica .....	22
2.2.2	Emissioni degli impianti termici civili .....	23
2.2.3	Emissioni degli impianti termici industriali .....	24
2.3	Risultati delle elaborazioni .....	24
2.4	Possibili evoluzioni dello scenario emissivo .....	27
3	Disponibilità locale di bioenergie .....	32
3.1	Aggiornamento delle stime sulla disponibilità locale di bioenergie .....	32
3.1.1	Dati statistici sul settore agricolo e sugli allevamenti .....	35
3.1.2	Dati estratti dal rapporto sulla gestione dei rifiuti urbani .....	37
3.1.3	Dati disponibili sui fanghi di depurazione .....	38
3.1.4	Dati sulle biomasse di origine forestale .....	39
3.1.5	Conclusioni .....	40
3.2	Confronto tra i consumi attuali di bioenergie e la disponibilità locale .....	42

## 0 Introduzione

Il presente documento si configura come allegato tecnico alle *“Linee guida per la regolamentazione e l’incentivazione dello sfruttamento delle risorse finalizzate alla realizzazione di impianti a bioenergie in Sardegna”* e contiene l’analisi puntuale dei dati raccolti per la ricostruzione del bilancio regionale delle emissioni derivante dall’uso energetico delle bioenergie e per aggiornare il quadro conoscitivo sulla disponibilità di bioenergie.

Nel capitolo 1 vengono presentati tutti i dati disponibili sui consumi di bioenergie e sulla produzione di energia termica e elettrica da bioenergie, ricavati dalle banche dati disponibili a livello nazionale e regionale e integrati con le informazioni raccolte attraverso il coinvolgimento diretto dei gestori di alcuni impianti. Il capitolo 2 contiene invece l’analisi dei dati disponibili sulle emissioni di inquinanti in Sardegna, a partire dalla quale è stata definita la metodologia adottata per la stima delle emissioni derivanti dall’uso di bioenergie; i risultati ottenuti sono stati integrati con alcune considerazioni sulla base dei possibili scenari di evoluzione del sistema energetico regionale. Infine, nel capitolo 3 si restituisce un aggiornamento del quadro conoscitivo relativo alla disponibilità effettiva di bioenergie in Sardegna, con una valutazione della quota di bioenergie locali attualmente inutilizzate.

## 1 Consumi e produzione di energia degli impianti a bioenergie esistenti

In questo capitolo si restituiscono i dati disponibili sui consumi di bioenergie in Sardegna nonché sulla produzione di energia elettrica e termica degli impianti termoelettrici operativi. In particolare, a seguito di un riepilogo dei dati analizzati per la costruzione del Bilancio Energetico Regionale (BER 2017), si riportano le informazioni ricavabili dalle banche dati disponibili a livello nazionale/regionale nonché una sintesi dei dati raccolti direttamente da Regione Sardegna attraverso il coinvolgimento diretto dei gestori degli impianti.

### 1.1 Dati analizzati nella costruzione del BER 2017

Durante la stesura del Bilancio Energetico Regionale relativo all'anno 2017, attività effettuata nell'ambito del monitoraggio del Piano Energetico Ambientale della Regione Sardegna (PEARS), è stato possibile approfondire il quadro conoscitivo relativo alle **centrali termoelettriche** presenti sul territorio regionale, in modo tale da ricostruirne i consumi di energia primaria.

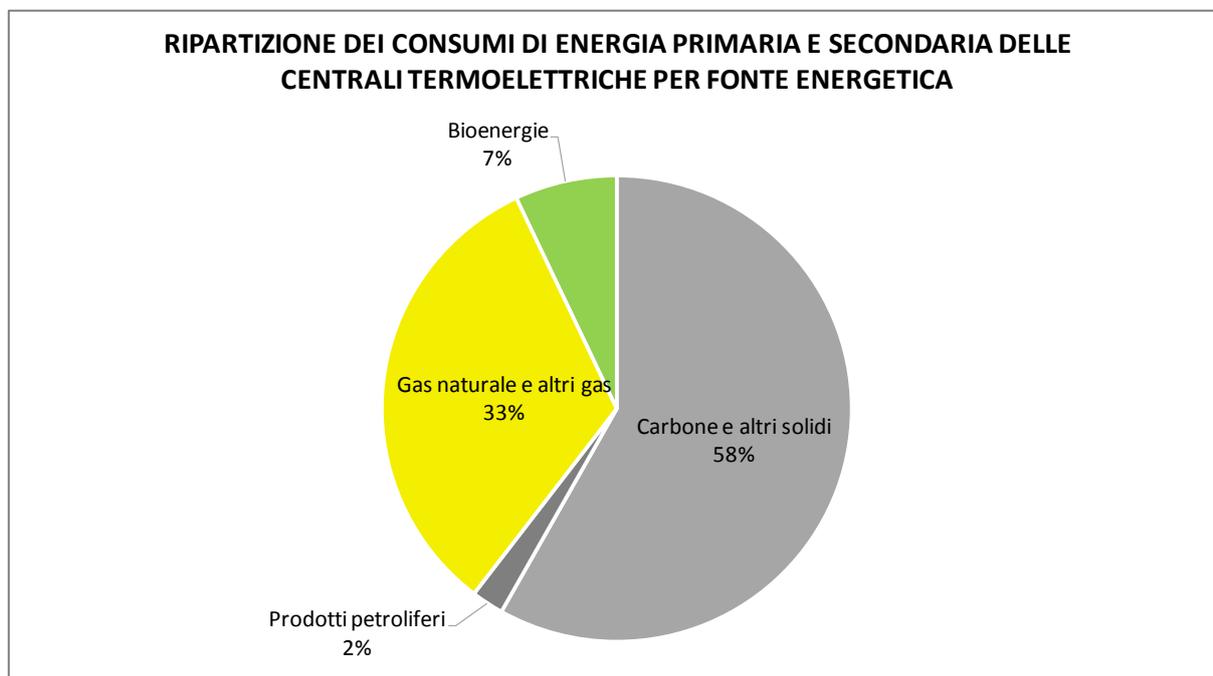


Figura 1-1 \_ Ripartizione dei consumi di energia primaria e secondaria degli impianti termoelettrici per fonte energetica nel 2017, complessivamente pari a 2'230 ktep (Fonte: Primo Rapporto di Monitoraggio del PEARS, 2019)

In particolare, solo il 7% dei consumi delle centrali termoelettriche e cogenerative presenti sul territorio regionale risulta riconducibile a fonti energetiche rinnovabili (pari a poco meno di 140 ktep). In Figura 1-2 si riporta un ulteriore focus relativo a tali consumi che mostra come circa il 72% sia destinato alla produzione

combinata di energia elettrica e calore; nel complesso, il 45% delle bioenergie consumate è costituito da biomassa solida, il 38% da bioliquidi (presenti solo in cogenerazione) e il 15% da biogas.

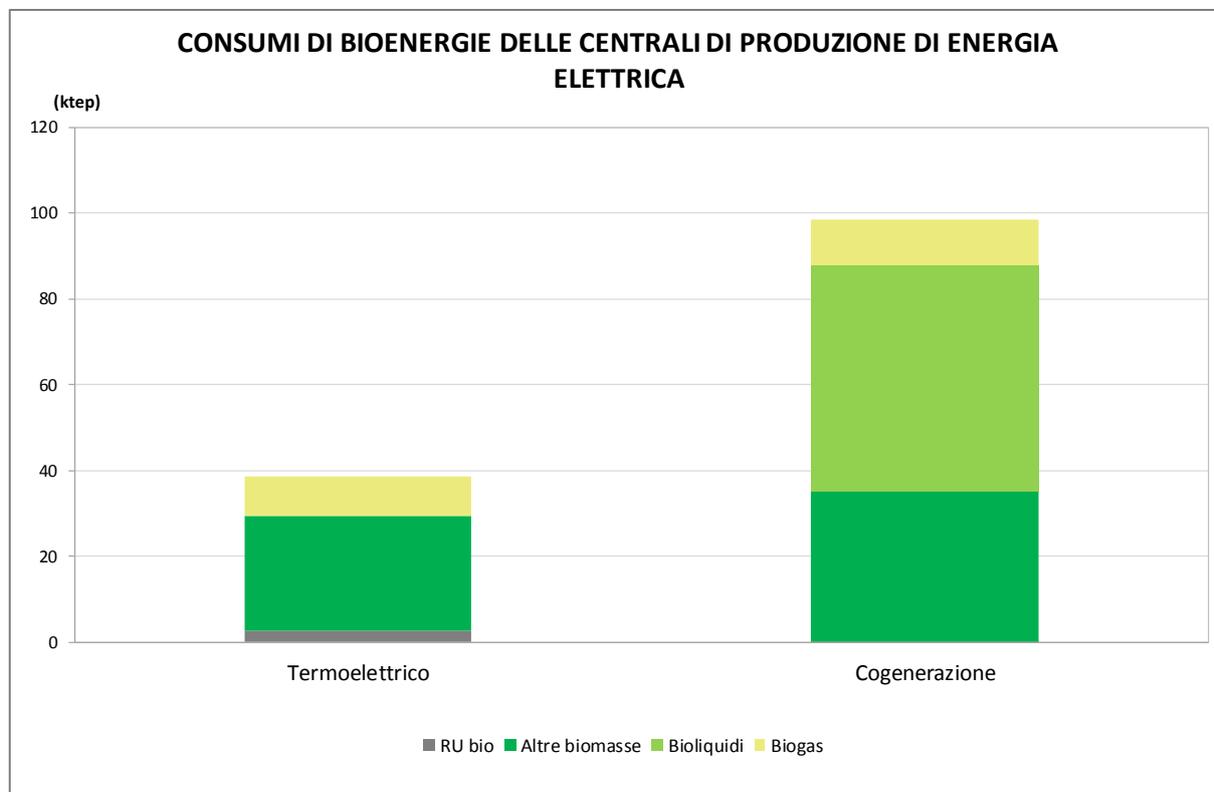


Figura 1-2 \_ Ripartizione dei consumi di bioenergie delle centrali di produzione di energia elettrica per tipologia di centrale e tipologia di fonte energetica (Fonte: elaborazione degli autori, 2019)

Per quanto riguarda invece gli **impianti termici**, i consumi di bioenergie riportati nel BER 2017 sono riportati nella tabella successiva: appare evidente come i consumi di biomassa del settore residenziale rappresentino la quasi totalità dei consumi di bioenergie associati agli impianti termici (98.6%).

Tabella 1-1 \_ Consumi di bioenergie per usi diversi dal trasporto (usi termici) ricavati dal BER 2017 (Fonte: Primo Rapporto di Monitoraggio del PEARS – elaborazione degli autori, 2019)

BER 2017 – CONSUMI USI DIVERSI DAL TRASPORTO (ktep)							
Vettore	Domestico	PP.AA.	Terziario privato	Industria	Agricoltura	Altro/Non attribuibile	TOTALE
Rifiuti (parte rinnovabile)	-	-	-	-	-	0.002	<b>0.002</b>
Biomasse solide	297.2	-	0.03	3.4	-	-	<b>300.6</b>
Bioliquidi	-	-	-	-	-	-	-
Biogas	-	-	-	-	-	0.7	<b>0.7</b>

In sintesi, il quadro restituito dal BER 2017 dal punto di vista dei consumi di bioenergie, denota una prevalenza degli usi termici delle biomasse solide nel settore civile/industriale (67% dei consumi

complessivi di bioenergie); la quasi totalità degli altri tipi di bioenergie (parte rinnovabile dei rifiuti, bioliquidi e biogas) viene invece consumata nel settore termoelettrico, che complessivamente risulta responsabile del 31% dei consumi di bioenergie (biomasse solide incluse). In Tabella 1-2 si riportano i consumi di bioenergie espressi in ktep ricavati dal BER 2017, suddivisi per vettore e macrosettore e affiancati da una stima delle rispettive quantità in massa o in volume effettuata a partire dai coefficienti di conversione ricavati dalle banche dati di Terna (cfr. paragrafo 1.2.2).

Tabella 1-2 \_ Consumi di bioenergie stimati a partire dai dati del BER 2017 (Fonte: elaborazione degli autori, 2019)

<b>CONSUMI DI BIOENERGIE DA BER 2017</b>					
<b>Vettore</b>	<b>Centrali termoelettriche</b>		<b>Impianti termici</b>		<b>TOTALE (ktep)</b>
	<b>Quantità</b>	<b>Energia (ktep)</b>	<b>Quantità</b>	<b>Energia (ktep)</b>	
Rifiuti (parte rinnovabile)	0.2 kt	0.1	0.7 kt	0.002	<b>0.102</b>
Biomassa solida	198.4 kt	61.8	965.0 kt	300.6	<b>362.4</b>
Bioliquidi	57.3 kt	52.7	-	-	<b>52.7</b>
Biogas	50.1 Mm <sup>3</sup>	22.8	1.5 Mm <sup>3</sup>	0.7	<b>23.5</b>
<b>TOTALE</b>	-	<b>137.4</b>	-	<b>0.7</b>	<b>438.7</b>

## **1.2 Banche dati disponibili a livello nazionale e regionale**

### **1.2.1 Dati forniti dal GSE**

Il GSE (Gestore Servizi Energetici) è il soggetto nazionale responsabile del monitoraggio ufficiale del raggiungimento degli obiettivi nazionali e regionali sulle rinnovabili (Burden Sharing). Attraverso il *“Rapporto statistico sulle rinnovabili”* pubblicato annualmente, è stato ricostruito l’andamento dei consumi e della produzione da fonti rinnovabili nell’ultimo triennio.

I dati riportati nella tabella seguente denotano come, per quanto riguarda gli impianti di produzione elettrica, i nuovi impianti entrati in funzione nell’ultimo triennio sono caratterizzati da potenze inferiori alla media e, più in generale, inferiori ad 1 MW, comportando un aumento della potenza installata inferiore all’1% a fronte di un aumento del numero di impianti dell’8%. La produzione elettrica da bioenergie è invece caratterizzata da un andamento altalenante e, complessivamente, in controtendenza (-21%, 585 GWh nel 2017 contro i 742 GWh nel 2015) rispetto ai dati sulla numerosità degli impianti, con contrazioni più accentuate per quanto riguarda gli impianti alimentati con biomasse solide (inclusi i rifiuti urbani).

Tabella 1-3 \_ Dati regionali relativi al triennio 2015-2017 ricavati dai Rapporti statistici sulle fonti energetiche rinnovabili pubblicati dal GSE sul proprio sito (Fonte: GSE S.p.A., elaborazione degli autori, 2019)

RAPPORTO STATISTICO FER – GSE / triennio 2015-2017							
Settore	Vettore	Dato	UdM	2015	2016	2017	2015-17
ELETTRICO	Bioenergie	N° impianti	#	37	38	40	8.1%
		Potenza impianti	MW	90.7	90.8	91.3	0.7%
	RU bio	Produzione	GWh	32.4	24.3	11.2	-65.4%
			ktep	2.8	2.1	1.0	
	Altre biomasse	Produzione	GWh	357.1	171.2	203.1	-43.1%
			ktep	30.7	14.7	17.5	
	Bioliquidi	Produzione	GWh	253.4	268.5	272.1	7.4%
			ktep	21.8	23.1	23.4	
	Biogas	Produzione	GWh	99.6	102.4	98.5	-1.1%
			ktep	8.6	8.8	8.5	
TERMICO	RU bio	Consumo	TJ	0	0	0	-
			ktep	0	0	0	
	Biomassa solida	Consumo (residenziale)	TJ	12'048	10'167	12'442	3.3%
			ktep	287.8	242.8	297.2	
		Consumo (non residenziale)	TJ	97	83	143	47.4%
			ktep	2.3	2.0	3.4	
	Bioliquidi	Consumo	TJ	n.d.	n.d.	n.d.	-
			ktep	-	-	-	
	Biogas	Consumo	TJ	31	31	29	-6.5%
			ktep	0.7	0.7	0.7	

Gli usi termici delle biomasse solide risultano in leggera crescita nel settore residenziale e in netto aumento nei settori non residenziali nel triennio osservato. Tuttavia, si precisa che, per quanto riguarda il settore residenziale, i consumi di biomassa registrati nel 2017 risultano fondamentalmente pari a quelli rilevati nel 2013 (circa 297 ktep), a testimonianza di una sostanziale stabilità di tale dato.

Si ritiene utile integrare tale analisi con un ulteriore approfondimento relativo agli impianti a bioenergie destinati alla produzione di energia elettrica, effettuando un confronto tra i dati attuali e la situazione descritta nel *“Rapporto statistico 2010 – Impianti a fonti rinnovabili”* sempre del GSE: tale confronto si rende necessario in quanto l’inventario regionale delle emissioni risulta riferito al 2010 (cfr. paragrafo 2.1.2). Dai dati riportati in Tabella 1-4 appare evidente come negli ultimi 8 anni il numero degli impianti di piccole dimensioni alimentati a bioenergie sia decisamente aumentato; in particolare, si può osservare come la produzione elettrica da biogas abbia subito un netto incremento, essendo aumentata di quasi 9

volte tra il 2010 e il 2017, mentre si osserva un drastico calo della produzione di energia elettrica da biomasse solide (-39%).

Tabella 1-4 \_ Confronto tra i dati relativi agli impianti di produzione elettrica a bioenergie presenti sul territorio regionale nel 2010 e nel 2017, ricavati dai Rapporti statistici sulle fonti energetiche rinnovabili pubblicati dal GSE sul proprio sito (Fonte: GSE S.p.A., elaborazione degli autori, 2019)

<b>RAPPORTO STATISTICO FER – GSE / confronto 2010-2017</b>						
<b>Settore</b>	<b>Vettore</b>	<b>Dato</b>	<b>UdM</b>	<b>2010</b>	<b>2017</b>	<b>2010-17</b>
<b>ELETRICO</b>	Bioenergie	N° impianti	#	12	40	233.3%
		Potenza impianti	MW	74.3	91.3	22.9%
	RU bio	Produzione	GWh	26.6	11.2	-57.9%
			ktep	2.3	1.0	
	Altre biomasse	Produzione	GWh	332.2	203.1	-38.9%
			ktep	28.6	17.5	
	Bioliquidi	Produzione	GWh	200.1	272.1	36.0%
			ktep	17.2	23.4	
	Biogas	Produzione	GWh	10.3	98.5	859.1%
			ktep	0.9	8.5	

Infine, in Tabella 1-5 e in Tabella 1-6 si riportano i dati ricavati dalla banca dati Atlaimpianti del GSE, che raccoglie i dati degli impianti incentivati dal GSE stesso; i dati disponibili sono aggiornati a novembre 2018. Si evidenzia che, per quanto riguarda gli impianti di produzione di energia elettrica da bioenergie, nella banca dati risultano anche le centrali termoelettriche di Portoscuso e Fiumesanto, che tuttavia sono alimentate solo in minima parte facendo ricorso alla biomassa: tali centrali sono state riportate sotto la voce “Co-combustione di biomasse solide” non includendole nei dati complessivi, in linea con l’approccio adottato dal GSE stesso nella stesura del proprio Rapporto di monitoraggio sulla diffusione delle fonti rinnovabili in Italia.

Relativamente agli impianti termici, si sottolinea invece che gli impianti incentivati dal GSE rappresentano un campione poco significativo rispetto al parco impianti totale regionale e risultano essere principalmente impianti privati di piccola taglia.

Tabella 1-5 \_ Numero e potenza degli impianti di produzione di energia elettrica alimentati a bioenergie presenti in Sardegna e incentivati dal GSE (Fonte: Atlalimpianti – elaborazione degli autori, 2019)

IMPIANTI DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA A BIOENERGIE – Dati Atlalimpianti						
Vettore	Numero impianti per fascia di potenza			Numero di impianti complessivo	Potenza complessiva (MW)	Potenza media (MW)
	Inferiore a 200 kW	Compresa tra 200 kW e 1 MW	Pari o superiore a 1 MW			
RU bio	0	0	1	1	16.0	16.0
Biomasse solide	2	2	2	6	16.2	2.7
Biomasse liquide	0	1	1	2	37.0	18.5
Biogas	4	19	2	25	21.4	0.9
<b>TOTALE</b>	<b>6</b>	<b>22</b>	<b>6</b>	<b>34</b>	<b>90.6</b>	<b>38.1</b>
Co-combustione di biomasse solide	0	0	2	2	912	456

Tabella 1-6 \_ Numero e potenza degli impianti termici alimentati a biomassa presenti in Sardegna e incentivati dal GSE (Fonte: Atlalimpianti – elaborazione degli autori, 2019)

IMPIANTI TERMICI A BIOMASSA – Dati Atlalimpianti						
Vettore	Numero impianti per fascia di potenza			Numero di impianti complessivo	Potenza complessiva (kW)	Potenza media (kW)
	Inferiore a 35 kW	Tra 35 kW e 116 kW	Pari o superiore a 116 kW			
Biomasse solide	2'659	8	1	2'668	41'215.7	15.3

### 1.2.2 Dati forniti da Terna

Terna, proprietaria principale della rete di trasmissione nazionale italiana, ha reso disponibili i dati in proprio possesso relativi alla produzione di energia elettrica e di calore e ai consumi degli impianti termoelettrici, disaggregati a livello comunale e relativi all'anno 2017. A partire da tali informazioni è stato possibile individuare i principali impianti alimentati interamente o parzialmente con bioenergie ed effettuare un controllo incrociato rispetto ai dati forniti dai gestori degli impianti e ai dati emissivi puntuali ricavati dall'inventario regionale (cfr. paragrafo 2.1), effettuando quindi un collegamento tra il dato emissivo e la tipologia di bioenergia utilizzata.

In Tabella 1-7 si riportano i dati relativi ai consumi di bioenergie delle centrali termoelettriche presenti in Sardegna, disaggregati per tipologia di vettore e tipologia di produzione (sola produzione di energia elettrica oppure produzione combinata di energia elettrica e calore) ed espressi sia in termini quantitativi,

con unità di misura differenti a seconda della tipologia di vettore, sia in termini di contenuto energetico delle risorse consumate (valori in ktep). È possibile osservare come non risultino consumi di rifiuti, bioliquidi o gas proveniente da processi di pirolisi o gassificazione di biomasse relativi ad impianti destinati alla sola produzione elettrica; per quanto riguarda la produzione combinata, in generale si può notare come la maggior parte dei consumi sia effettivamente dedicata alla produzione elettrica mentre non risultano consumi di biogas da rifiuti.

Tabella 1-7 \_ Consumi complessivi regionali delle centrali termoelettriche alimentate a bioenergie nel 2017, suddivisi per tipologia di produzione e vettore (Fonte: Terna S.p.A., elaborazione degli autori, 2019)

<b>CONSUMI DEGLI IMPIANTI TERMOELETTRICI A BIOENERGIE – anno 2017</b>						
<b>ETTORE</b>	<b>UNITÀ DI MISURA</b>	<b>TIPOLOGIA DI PRODUZIONE</b>			<b>QUANTITÀ TOTALI</b>	<b>CONSUMI TOTALI (ktep)</b>
		<b>Sola produz. elettrica</b>	<b>Produzione combinata di energia elettrica e calore</b>			
		<b>Totali</b>	<b>Totali</b>	<b>Per produzione elettrica</b>		
Rifiuti (parte rinnovabile)	kt	-	0.2	0.1	0.2	0.1
Biomasse solide	kt	65.3	133.2	125.5	198.4	61.8
Bioliquidi (oli vegetali grezzi)	kt	-	57.3	57.0	57.3	52.7
Biogas, di cui:	10 <sup>6</sup> mc	26.6	23.4	17.1	50.0	22.8
Da attività agricole e forestali	10 <sup>6</sup> mc	15.2	17.1	12.7	32.3	15.2
Da deiezioni animali	10 <sup>6</sup> mc	4.6	6.4	4.3	11.0	5.0
Da RSU smaltiti in discarica	10 <sup>6</sup> mc	6.7	-	-	6.7	2.6
Gas da pirolisi o gassificazione di biomasse	10 <sup>6</sup> mc	-	0.05	0.05	0.05	0.02
<b>TOTALE</b>						<b>137.3</b>

Analizzando la situazione vettore per vettore, è possibile rilevare che circa il 67% dei consumi di biomassa solida è destinato alla produzione combinata di energia elettrica e calore e che, dal punto di vista energetico, tale vettore risulta essere la bioenergia maggiormente utilizzata nelle centrali termoelettriche (45% dei consumi complessivi di bioenergie). È poi interessante osservare come il 65% circa del biogas consumato risulti avere origine vegetale, essendo ricavato dagli scarti delle attività agricole e forestali. Infine, si evidenzia come i consumi diretti di rifiuti (considerando la sola parte rinnovabile) e di gas proveniente da processi di pirolisi o gassificazione di biomasse risultino avere scarso peso a livello regionale.

Attraverso i dati complessivi espressi in ktep riportati nella tabella successiva, è possibile effettuare alcune considerazioni sul rapporto tra produzione e consumo, determinando il rendimento elettrico medio e il

rendimento complessivo medio per ogni tipologia di produzione e bioenergia. In particolare, considerando i valori ottenuti rapportando la produzione elettrica netta con i consumi associati alla sola produzione elettrica, è interessante osservare come gli impianti alimentati a biomasse solide risultino essere i meno performanti, con un rendimento elettrico medio pari al 30% nel caso di sola produzione elettrica e pari al 22% nel caso di produzione combinata di energia elettrica e calore (rendimento complessivo pari al 26%). Per quanto riguarda gli impianti a biogas, è interessante osservare come le performance migliori risultino essere quelle degli impianti alimentati con biogas da attività agricole e forestali, con rendimenti elettrici pari al 37% nel caso di sola produzione elettrica e pari al 45% nel caso di produzione combinata (rendimento complessivo pari al 57%).

Tabella 1-8 \_ Dati complessivi regionali relativi ai consumi e alla produzione delle centrali termoelettriche alimentate a bioenergie nel 2017 (Fonte: Terna S.p.A., elaborazione degli autori, 2019)

<b>CONSUMI, PRODUZIONE E RENDIMENTI MEDI DEGLI IMPIANTI TERMOELETTRICI A BIOENERGIE – anno 2017 (ktep)</b>								
<b>VEETTORE</b>	<b>CONSUMI</b>		<b>PRODUZIONE</b>			<b>RENDIMENTI</b>		
	<b>Totali</b>	<b>Per prod. elettrica</b>	<b>Energia elettrica</b>		<b>Calore utile</b>	<b>Produzione elettrica</b>		<b>Totale</b>
			<b>Lorda</b>	<b>Netta</b>	<b>Totale</b>	<b>Rispetto a consumo totale</b>	<b>Rispetto a consumo per prod. elettrica</b>	
<b>SOLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA</b>								
Biomasse solide	26.82	26.82	9.35	8.12	-	30%	30%	30%
Biogas, di cui:	11.95	11.95	4.56	4.27	-	36%	36%	36%
Da attività agricole e forestali	7.31	7.31	2.93	2.73	-	37%	37%	37%
Da deiezioni animali	2.09	2.09	0.79	0.75	-	36%	36%	36%
Da RSU smaltiti in discarica	2.55	2.55	0.83	0.80	-	31%	31%	31%
<b>Totale sola prod. elettrica</b>	<b>38.76</b>	<b>38.76</b>	<b>13.91</b>	<b>12.39</b>	<b>-</b>	<b>32%</b>	<b>32%</b>	<b>32%</b>
<b>PRODUZIONE COMBINATA DI ENERGIA ELETTRICA E DI CALORE</b>								
Rifiuti (parte rinnovabile)	0.10	0.04	0.02	0.02	0.05	17%	46%	69%
Biomasse solide	34.96	32.99	8.12	7.19	1.79	21%	22%	26%
Bioliquidi (oli vegetali grezzi)	52.67	52.46	23.40	22.96	0.19	44%	44%	44%
Biogas, di cui:	10.82	7.88	3.89	3.52	2.64	33%	45%	57%
Da attività agricole e forestali	7.94	5.92	2.98	2.67	1.81	34%	45%	57%
Da deiezioni animali	2.88	1.96	0.91	0.84	0.83	29%	43%	58%
Gas da pirólisi o gassificazione di biomasse	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	82%	82%	82%
<b>Totale prod. combinata</b>	<b>98.57</b>	<b>93.39</b>	<b>35.44</b>	<b>33.70</b>	<b>4.67</b>	<b>34%</b>	<b>36%</b>	<b>34%</b>
<b>TOTALE</b>	<b>137.33</b>	<b>132.15</b>	<b>49.35</b>	<b>46.09</b>	<b>4.67</b>	<b>34%</b>	<b>35%</b>	<b>37%</b>

Analizzando i dati disaggregati a livello comunale, è possibile localizzare con maggiore precisione i consumi e la produzione degli impianti alimentati a bioenergie, avendo quindi modo di individuare i dati relativi a singoli impianti in tutti i comuni ove risulta presente un solo impianto: si rimanda al secondo rapporto di monitoraggio del PEARS la creazione di elaborati cartografici contenenti tali informazioni, incrociate con i dati relativi alla disponibilità di bioenergie (cfr. capitolo 3).

In alcuni comuni si rilevano poi consumi di diverse tipologie di bioenergie, talvolta abbinati anche a consumi di vettori tradizionali: in alcuni casi tale situazione è dovuta alla presenza di più impianti sul territorio comunale mentre in altri casi si tratta di impianti “ibridi”, dove le bioenergie vengono integrate con vettori tradizionale o sono a integrazione di impianti tradizionali. I casi più eclatanti risultano essere quelli dei comuni di Sassari e Portoscuso, dove si trovano le due grandi centrali termoelettriche di proprietà rispettivamente di E.ON Produzione e Enel Produzione: in questi comuni il consumo di carbone prevale nettamente rispetto ai consumi di bioenergie. A tal proposito si sottolinea che i consumi di bioenergie di tali impianti “ibridi” sono conteggiati in tutte le tabelle precedenti e, per quanto riguarda la produzione, si è fatto riferimento alle stime fornite da Terna, che effettua una disaggregazione del dato di produzione complessivo sui diversi vettori utilizzati: tali dati sono disponibili solo a livello regionale.

### **1.2.3 Dati ricavabili dalle banche dati di Istat**

A fine 2014, Istat ha pubblicato i risultati di un’indagine statistica condotta sui consumi energetici delle famiglie, mettendo a disposizione informazioni dettagliate sulle tipologie di dotazioni energetiche delle famiglie, sulle modalità di impiego delle diverse apparecchiature e sui consumi energetici annuali, oltre che sulle relative spese.

Per quanto riguarda i consumi di biomassa in Regione Sardegna, si riportano nelle tabelle successive i dati ritenuti interessanti per la presente trattazione.

Tabella 1-9 \_ Famiglie utilizzatrici di legna e pellets (per 100 famiglie) e quantità medie e totali (tonnellate) utilizzate per ambito territoriale al 2013 (Fonte: Istat)

<b>CONSUMI ENERGETICI DELLE FAMIGLIE – anno 2013</b>						
<b>Ambito</b>	<b>LEGNA</b>			<b>PELLET</b>		
	<b>Famiglie utilizzatrici (per 100 famiglie)</b>	<b>Consumi (t)</b>	<b>Consumi medi (t) per famiglia</b>	<b>Famiglie utilizzatrici (per 100 famiglie)</b>	<b>Consumi (t)</b>	<b>Consumi medi (t) per famiglia</b>
Sardegna	39.2	735'543	2.6	11.5	82'354	1.0
Mezzogiorno	22.5	6'430'050	3.5	3.5	400'829	1.4
<b>ITALIA</b>	<b>21.4</b>	<b>17'724'350</b>	<b>3.2</b>	<b>4.1</b>	<b>1'468'345</b>	<b>1.4</b>

I dati sopra riportati evidenziano come in Regione Sardegna l'utilizzo di biomasse solide nel settore residenziale sia nettamente più diffuso rispetto ai valori medi nel Mezzogiorno ed italiani: complessivamente, infatti, circa la metà delle famiglie utilizza biomassa per il riscaldamento, prevalentemente sotto forma di legna (39% delle famiglie). A partire dalle quantità espresse in tonnellate indicate in Tabella 1-9, è possibile determinare l'equivalente in ktep dei consumi rilevati utilizzando il potere calorifico della biomassa (considerato pari a 3'730 kcal/kg): complessivamente, i consumi di biomassa nel settore residenziale risultano pari a 305 ktep, in linea con i dati rilevati dal GSE (cfr. paragrafo 1.2).

I dati riportati in Tabella 1-10 evidenziano invece come nel 37% dei casi la legna consumata in ambito residenziale risulti interamente autoprodotta mentre nel 20.5% delle famiglie parte del consumo viene coperto con legna autoprodotta o recuperata ed in parte attraverso i canali ufficiali di vendita.

Tabella 1-10 \_ Famiglie per canale di approvvigionamento della legna e per ripartizione e regione, composizione percentuale al 2013 (Fonte: Istat)

<b>CANALE DI APPROVVIGIONAMENTO DELLA LEGNA – anno 2013</b>						
<b>Ambito</b>	<b>Tutta acquistata</b>	<b>Quota legna autoprodotta/recuperata</b>			<b>Tutta autoprodotta</b>	<b>Totale</b>
		<b>&lt; 25%</b>	<b>25% - 50%</b>	<b>50% - 100%</b>		
Sardegna	42.8	9.5	6.9	4.1	36.8	100.0
Mezzogiorno	45.5	6.7	9.2	3.9	34.7	100.0
<b>ITALIA</b>	<b>45.1</b>	<b>6.4</b>	<b>7.7</b>	<b>3.0</b>	<b>37.9</b>	<b>100.0</b>

Infine, è interessante osservare come nel 91%-92% dei casi, gli impianti alimentati a biomassa solida risultino classificabili come stufe o camini a servizio di singole stanze.

Tabella 1-11 \_ Famiglie (a) per tipologia di dotazione per l'utilizzo di legna e pellet e per ripartizione e regione, per 100 famiglie che consumano rispettivamente legna e pellet (si noti che una famiglia può essere dotata di più di una tecnologia)

<b>DOTAZIONE TECNOLOGICA PER TIPOLOGIA DI BIOMASSA</b>					
<b>Ambito</b>	<b>LEGNA</b>			<b>PELLET</b>	
	<b>Camini o stufe tradizionali<sup>A</sup></b>	<b>Camini o stufe innovativi<sup>B</sup></b>	<b>Altri apparecchi<sup>C</sup></b>	<b>Camini o stufe tradizionali<sup>A</sup></b>	<b>Altri apparecchi<sup>D</sup></b>
Sardegna	91.2	10.7	4.7	92.2	8.5
Mezzogiorno	77.0	21.9	8.2	73.3	29.9
<b>ITALIA</b>	<b>85.2</b>	<b>13.4</b>	<b>8.1</b>	<b>84.2</b>	<b>18.5</b>

<sup>A</sup> Stufe e camini che riscaldano singole stanze (inclusi camini e stufe ventilati)  
<sup>B</sup> Stufe e camini collegati ai termosifoni che distribuiscono il riscaldamento in più ambienti della casa  
<sup>C</sup> Comprende scaldabagni/scaldacqua, caldaie collegate ai termosifoni e apparecchi per cucinare

<sup>D</sup> Comprende stufe e camini innovativi, scaldabagni/scaldacqua, caldaie collegate ai termosifoni e apparecchi per cucinare

## 2 Bilancio delle emissioni da bioenergie

Nel presente capitolo si restituiscono le elaborazioni effettuate per la ricostruzione del bilancio delle emissioni derivanti dall'uso energetico delle biomasse, specificando la metodologia adottata, i risultati ottenuti e le valutazioni condotte rispetto a potenziali scenari emissivi futuri.

### 2.1 Dati emissivi disponibili

Per determinare i fattori di emissione da assegnare ai consumi di bioenergie, è stata condotta un'analisi sui dati relativi alle emissioni di inquinanti associate alle attività svolte in Regione Sardegna. In particolare, sono stati analizzati i dati ricavabili dalle seguenti fonti:

1. Disaggregazione dell'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera fornita da ISPRA (<http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/inventaria/disaggregazione-dellinventario-nazionale-2015/view>), anni 2010 e 2015.
2. Inventario delle emissioni regionali fornito da ARPA Sardegna (<https://portal.sardegناسira.it/aria-report-e-indicatori-ambientali>), anno 2010.

Tali dati risultano aggregati in base alla nomenclatura SNAP97, che prevede 11 macrosettori così distinti:

- 01: Combustione - Energia e industria di trasformazione;
- 02: Combustione - Non industriale;
- 03: Combustione - Industria;
- 04: Processi Produttivi;
- 05: Estrazione, distribuzione combustibili fossili / geotermico;
- 06: Uso di solventi;
- 07: Trasporti Stradali;
- 08: Altre Sorgenti Obili;
- 09: Trattamento e Smaltimento Rifiuti;
- 010: Agricoltura;
- 011: Altre sorgenti di Emissione ed Assorbimenti.

Ai fini del presente documento, si considerano solamente le emissioni associate ai macrosettori 01, 02 e 03 relative ai seguenti inquinanti:

- NO<sub>x</sub>, ossidi di azoto;
- CO<sub>2</sub>, diossido di carbonio;
- PM10, particolato formato da particelle con diametro < 10 µm;

- PM2.5, particolato formato da particelle con diametro < 2.5 µm;
- IPA, idrocarburi policiclici aromatici (disponibile solo negli inventari ISPRA);
- BAP, benzo(a)pirene (disponibile solo nell’inventario A.D.A.).

Segue la restituzione puntuale dei dati disponibili.

### 2.1.1 Disaggregazione dell’inventario nazionale delle emissioni (ISPRA)

L’ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) pubblica sul proprio sito con cadenza quinquennale la disaggregazione a livello provinciale dell’inventario nazionale delle emissioni. In Tabella 2-1 e in Tabella 2-2 si riportano i dati complessivi regionali relativi rispettivamente agli anni 2010 e 2015.

Si precisa che per il macrosettore 01 si è scelto di riportare le emissioni suddivise tra le voci “Centrali termoelettriche” e “Raffinerie”, in modo tale da escludere a priori le emissioni non riconducibili ad impianti alimentati a bioenergie, mentre, per il macrosettore 02 è stato possibile individuare le emissioni specificatamente associabili ad impianti a biomassa, selezionando la corrispondente attività (“Caldaie con potenza termica < 50MW (biomassa)”). Questo secondo dettaglio, permette di identificare l’approccio adottato da ISPRA nella definizione delle emissioni di CO<sub>2</sub> associate alla combustione di biomassa: appare infatti evidente che il fattore di emissione associato alle bioenergie risulti essere nullo, ipotizzando quindi che l’utilizzo di tali fonti energetiche avvenga seguendo i criteri della cosiddetta *carbon neutrality*, ossia senza ulteriori rilasci di emissioni in atmosfera (cfr. paragrafo 2.1).

Tabella 2-1 \_ Emissioni di ossidi di azoto, CO<sub>2</sub>, PM10, PM2.5 e IPA per macrosettore in Regione Sardegna al 2010 (Fonte: ISPRA - elaborazione degli autori, 2019)

INVENTARIO ISPRA 2010 – Dati regionali						
Macrosettore	Dettaglio	NOx (t)	CO <sub>2</sub> (t)	PM10 (t)	PM2.5 (t)	IPA (kg)
01	Centrali termoelettriche	4'933	5'925'358	164	99	31
	Raffinerie	2'759	5'918'035	279	210	22
02	<i>Impianti a biomassa</i>	538	0	3'579	3'539	1'968
	Altro	853	755'283	40	40	10
03		3'206	1'873'017	178	136	11
04-06		1'093	1'060'546	809	445	60
07-08		21'610	3'774'516	1'461	1'351	77
09		79	97'589	36	31	93
10		578	7'488	408	163	0
11		2'755	-3'340'632	2'838	2'322	2'213
<b>TOTALE</b>		<b>38'404</b>	<b>16'071'201</b>	<b>9'792</b>	<b>8'336</b>	<b>4'486</b>

Tabella 2-2 \_ Emissioni di ossidi di azoto, CO<sub>2</sub>, PM10, PM2.5 e IPA per macrosettore in Regione Sardegna al 2015 (Fonte: ISPRA - elaborazione degli autori, 2019)

INVENTARIO ISPRA 2015 – Dati regionali						
Macrosettore	Dettaglio	NOx (t)	CO <sub>2</sub> (t)	PM 10 (t)	PM 2.5 (t)	IPA (kg)
01	Centrali termoelettriche	1'999	3'935'753	61	46	31
	Raffinerie	3'204	6'209'243	272	203	22
02	<i>Impianti a biomassa</i>	689.4	0	4'698	4'646	2'530
	Altro	1'227	811'626	42	42	5
03		1'018	485'988	87	71	2
04-06		197	845'160	314	156	3
07-08		16'260	3'272'232	904	805	75
09		97	104'249	50	43	129
10		660	9'666	355	158	0
11		6	-3'557'995	500	409	390
<b>TOTALE</b>		<b>25'357</b>	<b>12'115'922</b>	<b>7'283</b>	<b>6'576</b>	<b>3'186</b>

I dati mostrano come una parte significativa e crescente delle emissioni di polveri risulti associata agli **impianti termici civili alimentati a biomassa** (+31% in 5 anni, passando dal rappresentare il 37% al 65% delle emissioni di PM10 complessive e dal 42% al 71% per quanto riguarda le emissioni di PM2.5). Una crescita simile si osserva anche sulle emissioni di idrocarburi policiclici aromatici, per i quali la quota di cui risultano responsabili gli impianti a biomassa passa dal 44% al 79%, e per gli ossidi di azoto (dall'1.4% al 3%).

Un peso nettamente minore viene assunto sia dalle **centrali termoelettriche**, sia dagli **impianti di combustione industriali**, le cui emissioni di polveri e IPA rappresentano l'1% circa del totale regionale; per quanto riguarda gli ossidi di azoto, invece, le quote emissive associate a tali settori si attestano rispettivamente all'8% e al 4% nel 2015, in deciso calo rispetto al 2010. Si sottolinea che, per tali macrosettori, l'inventario ISPRA permette di analizzare dati puntuali e non diffusi, a differenza del macrosettore 02; per tale motivo è stato effettuato un'ulteriore analisi sui dati relativi al macrosettore 01 allo scopo di individuare esattamente quali impianti sono stati considerati da ISPRA nella quantificazione delle emissioni.

Dai dati disponibili sulle emissioni puntuali, riportati in Tabella 2-3 ed estratti dall'inventario ISPRA 2015, si evince che le emissioni del macrosettore 01 sono state determinate sulla base di 5 grandi impianti, di cui 4 centrali termoelettriche e 1 raffineria. Non disponendo di ulteriori informazioni, risulta complesso determinare la quota di emissioni associabile ai consumi di bioenergie, sebbene si sia a conoscenza della

presenza di almeno una centrale alimentata a bioliquidi localizzata nelle immediate vicinanze di uno dei punti identificati con le coordinate riportate in tabella.

Tabella 2-3 \_ Emissioni puntuali del macrosettore 01 in Regione Sardegna al 2015 (Fonte: ISPRA, 2019)

INVENTARIO ISPRA 2015 – Dati regionali: emissioni puntuali MS 01							
Latitudine (°)	Longitudine (°)	Tipologia	NOx (t)	CO <sub>2</sub> (t)	PM 10 (t)	PM 2.5 (t)	IPA (kg)
40.852	8.299	CTE	1'086	2'283'356	30	23	2
40.250	9.033	CTE	205	289'224	9	6	16
39.227	8.997	CTE	3	4'695	0	0	0
39.077	9.018	Raffineria	3'204	6'209'243	272	203	22
39.195	8.400	CTE	705	1'358'478	22	17	13

### 2.1.2 Inventario regionale delle emissioni 2010 (A.D.A.)

In Tabella 2-4 si riportano i dati estratti dall'inventario delle emissioni in atmosfera, relativo all'anno 2010, pubblicato dall'Assessorato regionale della difesa dell'ambiente (A.D.A.) sul sito istituzionale Sardegnaambiente.it. Mentre per il macrosettore 01 si rimanda alla successiva analisi basata sui dati puntuali disponibili, per quanto riguarda il macrosettore 02 sono disponibili le emissioni legate alle stufe tradizionali e ai caminetti in ambito domestico, che sono state quindi equiparate alle emissioni degli impianti termici alimentati a biomasse. Tale dettaglio consente di individuare il diverso approccio adottato da A.D.A. rispetto agli inventari ISPRA nella stima delle emissioni di CO<sub>2</sub> associate alle biomasse: tali emissioni risultano infatti non nulle (cfr. paragrafo 2.1).

Anche nei dati del bilancio regionale è possibile rilevare il peso significativo delle emissioni di polveri associate agli **impianti termici civili a biomassa** rispetto al totale regionale (39% per il PM10 e 50% per il PM2.5); si evidenzia inoltre che tali impianti sono responsabili anche del 40% delle emissioni di benzo(a)pirene mentre, per quanto riguarda gli ossidi di azoto e l'anidride carbonica, la quota associata a tali impianti è rispettivamente pari all'1% e al 2% delle relative emissioni regionali. Si evidenzia che, mediamente, circa due terzi delle emissioni degli impianti termici civili a biomassa (con quote leggermente differenti a seconda dell'inquinante) sono dovute ai caminetti.

Non assumono invece un peso significativo le emissioni di polveri e di benzo(a)pirene degli altri due macrosettori di interesse: per quanto riguarda il macrosettore 01 (considerato nella sua interezza, ossia includendo le raffinerie) le emissioni di polveri rappresentano il 5.5% del totale regionale, mentre le emissioni di polveri del macrosettore 03 si attestano all'1% circa, in linea con quanto osservato per gli inventari ISPRA.

Tabella 2-4 \_ Emissioni di ossidi di azoto, CO<sub>2</sub>, PM10, PM2.5 e BAP per macrosettore in Regione Sardegna al 2010 (Fonte: A.D.A. - elaborazione degli autori, 2019)

INVENTARIO A.D.A. 2010						
Macrosettore	Dettaglio	NOx (t)	CO <sub>2</sub> (t)	PM10 (t)	PM2.5 (t)	BAP (kg)
01		7'872	12'274'272	443	338	5
02	<i>Domestico Caminetti</i>	127	284'702	2'135	2'084	308
	<i>Domestico Stufe tradizionali</i>	64	142'351	966	941	154
	Altro	553	728'532	552	537	134
03		2'590	1'432'917	91	73	0
04-06		84	548'665	1'473	422	142
07-08		9'255	2'366'993	848	693	7
09		4'475	543'988	194	176	1
10		0	0	646	162	27
11		155	81'319	674	674	373
<b>TOTALE</b>		<b>25'176</b>	<b>18'403'740</b>	<b>8'021</b>	<b>6'100</b>	<b>1'151</b>

A partire dai dati puntuali forniti da A.D.A., è possibile individuare le emissioni del macrosettore 01 associabili agli impianti di produzione elettrica alimentati a bioenergie, disaggregandole ulteriormente per vettore consumato sulla base dei dati puntuali forniti da Terna (cfr. paragrafo 1.2.2): nella tabella seguente si mostrano i risultati di tali elaborazioni, che permettono di determinare lo scarso peso che le emissioni degli impianti a bioenergie risultano avere rispetto al quadro emissivo regionale. Tuttavia, confrontando tali dati con quelli relativi agli impianti domestici alimentati a biomassa discussi sopra, è possibile osservare come gli impianti termoelettrici siano caratterizzati da emissioni di NOx (Tabella 2-5) sostanzialmente doppie rispetto agli impianti termici (righe grigie della Tabella 2-4) ed emissioni di CO<sub>2</sub> equiparabili ed emissioni di polveri e benzo(a)pirene molto più ridotte: tale differenza può essere spiegata da un lato con il fatto che nel settore domestico l'unica tipologia di bioenergia utilizzata è la biomassa solida, il cui processo di combustione porta alla generazione di quantità significative di polveri e benzo(a)pirene, dall'altro è presumibile che gli impianti termoelettrici di più grande taglia siano dotati di sistemi di controllo e abbattimento delle polveri più efficaci.

Tabella 2-5 \_ Emissioni degli impianti termoelettrici alimentati a bioenergie per inquinante e vettore in Regione Sardegna al 2010 (Fonte: A.D.A., elaborazione degli autori, 2019)

EMISSIONI MACROSETTORE 01 – Impianti a bioenergie							
Emissioni	RSU bio	Biomassa solida	Bioliquidi	Biogas	TOTALE	Quota sul totale del MS 01	Quota sul totale regionale
NOx (t)	136.9	115.8	95.3	24.7	<b>372.7</b>	4.7%	1.5%
CO2 (t)	155'802.8	215'040.0	5'974.6	17'701.5	<b>394'518.9</b>	3.2%	2.1%
PM 10 (t)	0.2	2.8	3.0	1.0	<b>7.0</b>	1.6%	0.1%
PM 2.5 (t)	0.2	2.8	2.9	0.8	<b>6.7</b>	2.0%	0.1%
BAP (kg)	0.0	2.2	0.2	0.0	<b>2.3</b>	46.9%	0.2%

## 2.2 Metodologia

Nei paragrafi successivi si descrivono i vari approcci adottati per definire i fattori emissivi che caratterizzano le diverse tipologie di impianti a bioenergie sulla base delle informazioni disponibili.

Per quanto riguarda le emissioni di CO<sub>2</sub>, è necessario fare una premessa. La legna da ardere e i combustibili da biomassa vengono normalmente ritenuti “neutrali” in quanto emettono l’anidride carbonica fissata con la fotosintesi nel ciclo vegetativo: si tratterebbe dunque di una sorta di ciclo chiuso, in cui la crescita delle piante semplicemente ricattura le emissioni di carbonio prodotte durante l’uso energetico della biomassa. Il principio viene in qualche modo accolto già nella Direttiva CE/87/2003 sull’Emission Trading Scheme, nell’ambito della quale si attribuisce alla biomassa utilizzata per fini energetici un fattore di emissione di CO<sub>2</sub> pari a zero. Tuttavia tale principio è stato successivamente oggetto di ampie discussioni, in quanto il problema della neutralità carbonica si pone qualora la biomassa legnosa utilizzata sia ottenuta dal taglio di alberi a ciclo di crescita lungo invece che dall’utilizzo di materiali di scarto o rami secchi che emetterebbero comunque anidride carbonica nei naturali processi di decadimento. Lo stesso avviene nel caso in cui la CO<sub>2</sub> emessa sia molto di più di quella fissata nello stesso periodo, cioè nel caso in cui il tasso di prelievo di risorsa biomassa sia superiore al suo tasso di rinnovo.

Inoltre, come per tutti gli altri combustibili, occorrerebbe effettuare un’analisi del ciclo di vita del prodotto, che consideri quindi non solo le emissioni dirette ma anche quelle effettuate per produrlo. Nel caso della legna da ardere la quota delle emissioni indirette è probabilmente molto bassa mentre per il pellet è più elevata dato che include le emissioni da processi energetici necessari per l’essiccamento della biomassa, per il trasporto, per il trattamento meccanico, ecc.

La questione delle emissioni legate al trasporto della materia prima risulta poi essere non di poco conto nel caso di una regione come la Sardegna ed è un problema che riguarda tanto le biomasse quanto i bioliquidi.

In base ai dati forniti dai gestori degli impianti, infatti, una quota significativa della materia prima utilizzata risulta avere provenienza extra-regionale (cfr. capitolo successivo per maggiori approfondimenti). In tali casi, diverse sono le variabili che bisognerebbe prendere in considerazione per poter effettuare una stima sufficientemente attendibile:

- Tipologia di mezzi adoperati per il trasporto e relativo consumo chilometrico;
- Distanze percorse dai mezzi, via mare, via terra o via aria (sia all'interno che all'esterno del territorio regionale);
- Quantità di materia prima trasportata per viaggio e numero di approvvigionamenti annuali.

Ad esempio, in base alle elaborazioni condotte per la redazione del BER 2017, si stima che un viaggio di sola andata da Livorno ad Olbia di una nave cargo porti a consumare circa 12 tonnellate di olio combustibile, corrispondente ad un quantitativo di emissioni di CO<sub>2</sub> pari a circa 37 tonnellate. Ipotizzando la quantità di materia prima trasportata per viaggio e considerando i consumi annuali di uno degli impianti che risulta importare bioenergie dall'estero, si stima che le emissioni legate al trasporto via mare possano essere pari al 14% delle emissioni di CO<sub>2</sub> dichiarate dai gestori dell'impianto, quota che supera il 30% qualora si tenessero in considerazione anche le emissioni legate al trasporto via terra della materia prima importata. Tali dati confermano quindi che l'utilizzo di bioenergie provenienti da territorio extra-regionale sia un fenomeno da studiare e tenere sotto osservazione per evitare che l'utilizzo di una fonte rinnovabile diventi insostenibile dal punto di vista ambientale.

Ai fini della presente analisi, si è ipotizzato che tutte le bioenergie consumate in Sardegna siano utilizzate seguendo i principi della *carbon neutrality*: tale approccio semplificativo risulta l'unico applicabile, non avendo una conoscenza sufficientemente approfondita e completa circa i meccanismi attuali di approvvigionamento dei gestori dei diversi impianti, ma comporta il rischio di minimizzare l'impatto emissivo dato dal consumo di bioenergie.

### **2.2.1 Emissioni degli impianti di produzione di energia elettrica**

Per effettuare la stima delle emissioni legate agli impianti termoelettrici alimentati a bioenergie si è inizialmente proceduto determinando i fattori di emissione medi ricavabili rapportando le emissioni al 2010 degli impianti alimentati a bioenergie (così come definite al paragrafo 2.1.2) e i consumi di bioenergie dei medesimi impianti, stimati in base ai dati di produzione elettrica da bioenergie al 2010 forniti dal GSE (cfr. paragrafo 1.2) e al rapporto tra consumi e produzione al 2017. I dati ottenuti attraverso tale elaborazione, vista la scarsità di impianti di cui siano note puntualmente le emissioni e l'incertezza conseguente, risultano essere scarsamente attendibili, ad eccezione dei risultati ottenuti per il biogas riportati in Tabella 2-6. Per quanto riguarda il fattore di emissione di CO<sub>2</sub>, si sottolinea che la stima riportata vuole essere puramente

indicativa, in quanto, ai fini del presente documento, si è ritenuto corretto adottare un fattore di emissione associato alle bioenergie nullo, ipotizzando quindi che l'utilizzo di tali fonti energetiche avvenga senza ulteriori rilasci di emissioni in atmosfera.

Tabella 2-6 \_ Fattori di emissione di ossidi di azoto, CO<sub>2</sub>, PM10, PM2.5 e BAP associati ai consumi degli impianti di generazione elettrica alimentati a biogas (Fonte: elaborazione degli autori, 2019)

<b>FATTORI DI EMISSIONE ASSOCIATI AGLI IMPIANTI A BIOGAS</b>	
<b>Inquinante</b>	<b>Biogas</b>
NOx (t/ktep)	10.4
CO <sub>2</sub> (t/ktep)	7'450.9
PM 10 (t/ktep)	0.42
PM 2.5 (t/ktep)	0.34
BAP (kg/ktep)	0.0003

Per quanto riguarda invece le emissioni legate ai consumi di biomassa solida, bioliquidi e parte biodegradabile dei rifiuti, vista anche l'assenza di un vero e proprio trend nella produzione degli impianti alimentati attraverso tali fonti (cfr. paragrafo 1.2), si ritiene più corretto confermare per il 2017 le emissioni riportate nell'inventario regionale riferito al 2010, senza apporvi alcuna correzione.

### **2.2.2 Emissioni degli impianti termici civili**

Le emissioni associate ai consumi del BER 2017 (cfr. paragrafo 1.1) sono state calcolate con i fattori di emissione medi definiti rapportando le emissioni ricavate dall'inventario ISPRA 2015 per gli impianti a biomassa (cfr. paragrafo 2.1.1) e i consumi di biomassa del settore residenziale rilevati dal GSE per il medesimo anno (cfr. paragrafo 1.2). Da tale punto di partenza sono stati costruiti alcuni possibili scenari di politiche in ambito delle biomasse.

Per la creazione di scenari alternativi, è anche stato determinato il fattore di emissione medio associabile ai consumi di fonti fossili nell'ambito degli impianti termici civili, rapportando le relative emissioni ricavate dall'inventario ISPRA alla quota dei consumi rilevati dal GSE non riconducibile al settore industriale, determinata sulla base della ripartizione per settore osservata nel BER 2017.

Nella tabella successiva vengono riportati i risultati ottenuti per entrambe le "partizioni" di combustibili.

Tabella 2-7 \_ Fattori di emissione di ossidi di azoto, CO<sub>2</sub>, PM10, PM2.5 e IPA associati ai consumi delle diverse tipologie di vettore in ambito civile (Fonte: elaborazione degli autori, 2019)

FATTORI DI EMISSIONE ASSOCIATI ALLE DIVERSE TIPOLOGIE DI COMBUSTIBILE			
Inquinante	Biomassa solida	Fonti fossili	Valore medio complessivo
NOx (t/ktep)	2.4	6.2	<b>3.9</b>
CO <sub>2</sub> (t/ktep)	0.0	4'087.3	<b>1'688.9</b>
PM10 (t/ktep)	16.3	0.2	<b>9.8</b>
PM2.5 (t/ktep)	16.1	0.2	<b>9.6</b>
IPA (kg/ktep)	8.8	0.02	<b>5.2</b>

### 2.2.3 Emissioni degli impianti termici industriali

Per quanto riguarda le emissioni degli impianti termici industriali, si evidenzia come non sia disponibile alcun tipo di informazione che permetta di determinare i fattori di emissione medi associabili ai consumi di bioenergie di tale settore. Per questo motivo, la stima delle emissioni è stata condotta utilizzando i dati di consumo comunicati dai gestori e/o dai proprietari degli impianti in esercizio applicandovi cautelativamente i fattori di emissione legati alla biomassa solida del settore civile (Tabella 2-7).

### 2.3 Risultati delle elaborazioni

Nella tabella successiva si riporta il bilancio emissivo ricostruito seguendo la metodologia descritta nel paragrafo 2.2, contenente le emissioni di ossidi di azoto, polveri e idrocarburi policiclici aromatici suddivise per vettore (parte biodegradabile dei rifiuti urbani, biomassa solida, bioliquidi e biogas) e per settore (centrali termoelettriche, domestico, terziario privato e industria). Si sottolinea che le emissioni di CO<sub>2</sub> non sono state riportate in quanto si ritengono nulle, ipotizzando quindi che l'utilizzo di bioenergie avvenga senza ulteriori rilasci di emissioni in atmosfera.

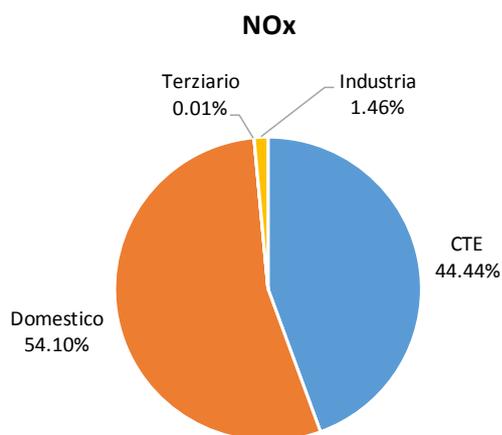
Tabella 2-8 \_ Emissioni di ossidi di azoto, PM10, PM2.5 e IPA derivanti dall'uso energetico di bioenergie in Sardegna al 2017 per settore e vettore (Fonte: elaborazione degli autori, 2019)

BILANCIO DELLE EMISSIONI DERIVANTI DALL'USO DI BIOENERGIE – anno 2017					
Settore	Rifiuti (parte rinnovabile)	Biomassa solida	Bioliquidi	Biogas	TOTALE
<i>Ossidi di azoto - NOx (t)</i>					
Centrali termoelettriche	136.9	115.8	95.3	236.9	<b>584.9</b>
Domestico		711.9			<b>711.9</b>
Terziario		0.1			<b>0.1</b>
Industria		19.2			<b>19.25</b>
<b>TOTALE</b>	<b>136.9</b>	<b>847.0</b>	<b>95.3</b>	<b>236.9</b>	<b>1'316.1</b>
<i>Polveri – PM10 (t)</i>					
Centrali termoelettriche	0.2	2.8	3.0	9.6	<b>15.6</b>

BILANCIO DELLE EMISSIONI DERIVANTI DALL'USO DI BIOENERGIE – anno 2017					
Settore	Rifiuti (parte rinnovabile)	Biomassa solida	Bioliquidi	Biogas	TOTALE
Domestico		4'851.3			4'851.3
Terziario		0.5			0.5
Industria		130.5			130.5
<b>TOTALE</b>	<b>0.2</b>	<b>4'985.2</b>	<b>3.0</b>	<b>9.6</b>	<b>4'998.0</b>
<i>Polveri – PM2.5 (t)</i>					
Centrali termoelettriche	0.2	2.8	2.9	7.7	13.6
Domestico		4'797.3			4'797.3
Terziario		0.5			0.5
Industria		129.0			129.0
<b>TOTALE</b>	<b>0.2</b>	<b>4'929.7</b>	<b>2.9</b>	<b>7.7</b>	<b>4'940.4</b>
<i>Idrocarburi policiclici aromatici – IPA (kg)*</i>					
Centrali termoelettriche	0.005	2.2	0.2	0.01	2.4
Domestico		2'612.7			2'612.7
Terziario		0.3			0.3
Industria		70.3			70.3
<b>TOTALE</b>	<b>0.005</b>	<b>2'685.4</b>	<b>0.2</b>	<b>0.01</b>	<b>2'685.6</b>

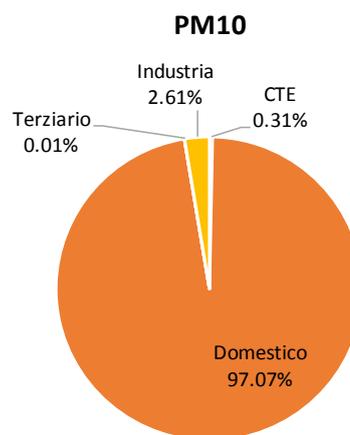
\* Le emissioni riportate per le centrali termoelettriche riguardano il solo benzo(a)pirene.

### RIPARTIZIONE DELLE EMISSIONI DA BIOENERGIE PER SETTORE



**Totale = 1'316.1 t**

(5.2% delle emissioni ISPRA 2015)



**Totale = 4'998.0 t**

(68.6% delle emissioni ISPRA 2015)

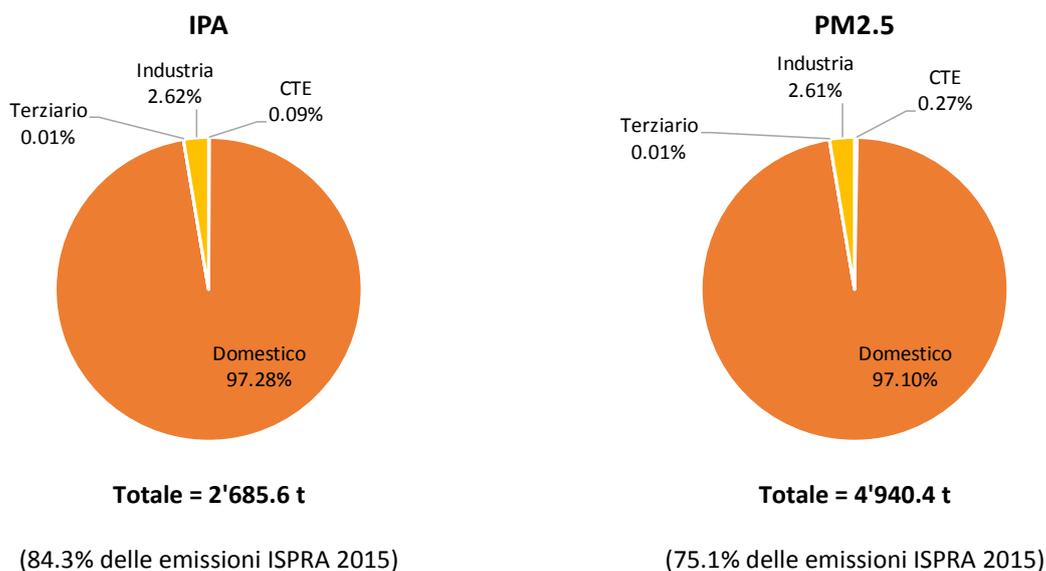


Figura 2-1 \_ Ripartizione percentuale per settore delle emissioni di ossidi di azoto, PM10, PM2.5 e IPA derivanti dall'uso energetico di bioenergie in Sardegna al 2017 (Fonte: elaborazione degli autori, 2019)

Dai grafici riportati in Figura 2-1, appare evidente come le emissioni di polveri e idrocarburi policiclici aromatici siano quasi completamente causate dagli impianti a biomassa utilizzati in ambito domestico. Per quanto riguarda le emissioni di ossidi di azoto, il peso del settore domestico risulta invece inferiore, in quanto circa il 44% delle emissioni è riconducibile alle centrali termoelettriche.

L'analisi della ripartizione delle emissioni complessive per vettore riportata nella figura successiva permette invece di identificare la biomassa solida come la tipologia di bioenergia responsabile della maggior parte delle emissioni per tutti gli inquinanti considerati. Il peso di tale vettore è tuttavia minore se si considerano le emissioni di ossidi di azoto, che per il 35% circa risultano causate dagli impianti termoelettrici alimentati con bioliquidi, biogas o parte biodegradabile dei rifiuti urbani.

RIPARTIZIONE DELLE EMISSIONI DA BIOENERGIE PER VETTORE

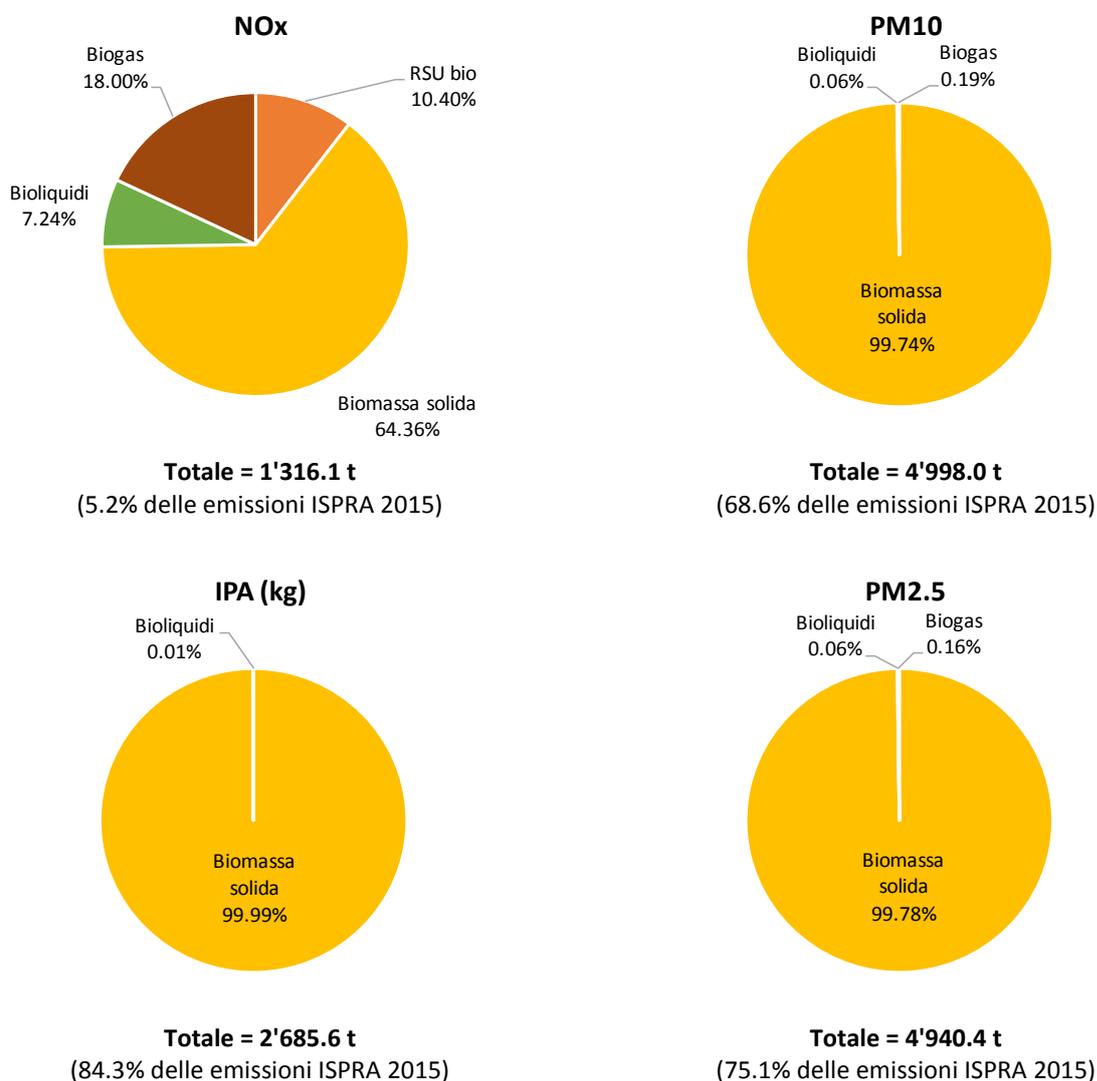


Figura 2-2 \_ Ripartizione percentuale per vettore delle emissioni di ossidi di azoto, PM10, PM2.5 e IPA derivanti dall'uso energetico di bioenergie in Sardegna al 2017 (Fonte: elaborazione degli autori, 2019)

**2.4 Possibili evoluzioni dello scenario emissivo**

Come ben evidenziato nei paragrafi precedenti, il comparto civile rappresenta certamente un settore chiave per la riduzione delle emissioni associate all'uso di bioenergie. Ai fini di successive valutazioni, sono stati quindi stimati tre potenziali scenari di evoluzione delle emissioni degli impianti termici civili, così definiti:

1. **Rinnovo completo del parco esistente degli impianti termici alimentati a biomassa:** simulazione degli effetti derivanti dalla sostituzione completa degli attuali impianti termici alimentati a biomassa solida, mantenendo le tipologie di biomassa attualmente utilizzate (legna o pellet);

2. In aggiunta al precedente scenario, **sostituzione degli impianti alimentati con vettori diversi dalla biomassa e dal GPL con impianti alimentati a biomassa**: si prevede l'installazione di impianti ad alta efficienza, alimentati a pellet di classe A1 (cfr. UNI EN ISO 17225-2:2014);
3. Rinnovo completo del parco esistente degli impianti termici alimentati a biomassa e sostituzione della quota di impianti alimentati a fonti fossili diverse dal GPL i cui consumi potranno essere coperti attraverso i risparmi di biomassa conseguiti con lo scenario 1 (consumo di biomassa finale pari al consumo del BER 2017).

In particolare, nella definizione di tali scenari si è tenuto conto della migliore efficienza degli impianti installati rispetto all'efficienza media degli impianti sostituiti, ipotizzando in prima approssimazione un rendimento medio di impianto pari all'85% per le nuove installazioni, così come previsto dall'Allegato 2 al D.lgs.28/2011, e pari al 75% per gli impianti esistenti. Si sottolinea che, per quanto riguarda il rendimento degli impianti esistenti, risulta difficile determinare un rendimento medio a causa della grande varietà delle tecnologie presenti e dell'assenza di un censimento puntuale di tali impianti: tra gli impianti a biomassa rientrano infatti sia i caminetti aperti, caratterizzati da rendimenti anche inferiori al 30%, sia le caldaie a servizio di interi edifici, i cui modelli più recenti sono in grado di raggiungere rendimenti anche del 90%. Vista la prevalenza di sistemi destinati al riscaldamento di singole stanze (cfr. paragrafo 1.2.3) si ritiene che l'efficienza media effettiva degli impianti esistenti sia molto probabilmente inferiore rispetto al dato considerato, motivo per cui gli scenari di seguito presentati sono da considerarsi cautelativi.

Si è poi fatto riferimento ai fattori di emissione contenuti nello *"Studio comparativo sulle emissioni di apparecchi a gas, GPL, gasolio e pellet"* pubblicato dalla Stazione Sperimentale per i Combustibili (SSC), Istituto Sperimentale Milanese che fa parte di Innovhub Stazione Sperimentali per l'Industria s.r.l., azienda della Camera di commercio di Milano, Monza Brianza e Lodi che svolge attività di ricerca applicata, consulenza tecnico-scientifica e testing industriale. I fattori di emissione relativi a polveri e IPA contenuti in tale documento, riportati in Tabella 2-9 e relativi a impianti di ultima generazione, sono stati utilizzati per determinare le emissioni associate ai consumi stimati di legna e pellet.

Si sottolinea che, i fattori di emissione indicati in tale rapporto per la legna risultano essere nettamente inferiori rispetto ai valori medi considerati per la stesura dell'inventario e che per determinare i fattori di emissione medi da associare ai consumi di biomasse solide (legna+pellet) sono state considerate le proporzioni calcolate a partire dai dati di consumo rilevati dai dati Istat (cfr. paragrafo 1.2.3). Relativamente alle emissioni di ossidi di azoto si è ritenuto più corretto mantenere il fattore di emissione medio utilizzato per la creazione del bilancio emissivo, in quanto inferiore al valore riportato nello studio di Innovhub.

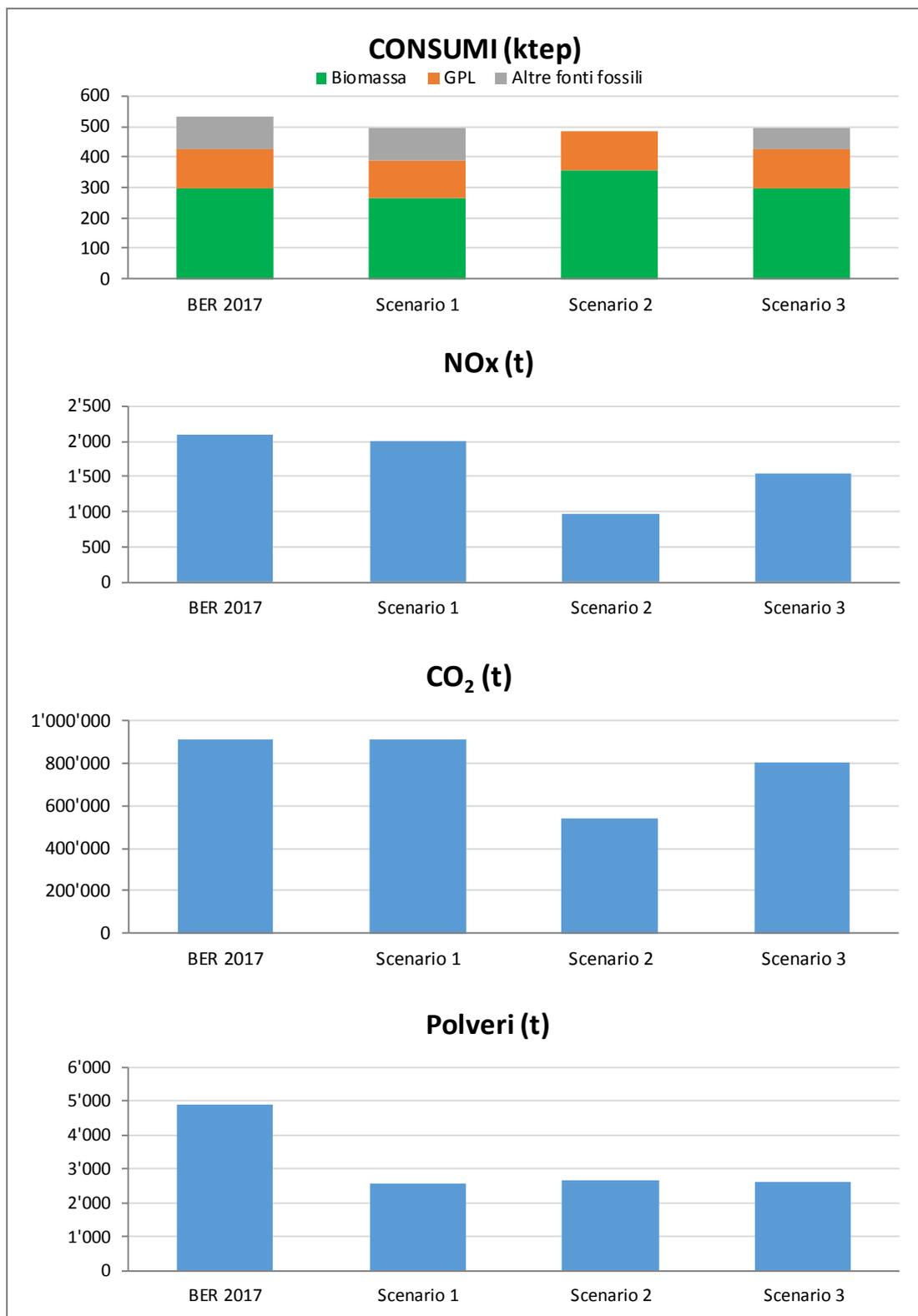
Tabella 2-9 \_ Fattori di emissione di riferimento determinati a partire dai valori riportati nello studio Innovhub-SSI del 2016 (Fonte: SSC-Elaborazione degli autori, 2019)

<b>FATTORI DI EMISSIONE DI RIFERIMENTO</b>		
<b>Vettore</b>	<b>Polveri (t/ktep)</b>	<b>IPA (kg/ktep)</b>
Legna	10.6	2.88
Pellet	1.0	0.01
Legna (90%) + Pellet (10%)	9.7	2.59

I risultati degli scenari simulati sono restituiti in modo sintetico in Tabella 2-10 e in Figura 2-3. Si sottolinea che, con la completa realizzazione dello Scenario 1, si otterrebbe una riduzione dei consumi di biomassa del 12% circa rispetto al BER 2017 mentre, attuando anche l'ipotesi prevista dallo Scenario 2, i consumi di biomassa aumenterebbero del 20% circa, ma complessivamente si ridurrebbero i consumi energetici. Analizzando i risultati dal punto di vista emissivo, si evidenzia come i tre scenari portano a risultati simili in termini di riduzione potenziale delle emissioni di polveri e IPA; risultati significativamente diversi si ottengono invece per quanto riguarda le emissioni di ossidi di azoto e anidride carbonica.

Tabella 2-10 \_ Variazioni percentuali osservate rispetto al BER 2017 nei consumi e nelle emissioni del comparto civile nei tre scenari considerati (Fonte: elaborazione degli autori, 2019)

<b>VARIAZIONI PERCENTUALI RISPETTO AL BER 2017</b>			
<b>Parametri</b>	<b>Scenario 1</b>	<b>Scenario 2</b>	<b>Scenario 3</b>
Consumi complessivi	-6.6%	-8.9%	-7.4%
Consumi di biomassa solida	-11.8%	+20.1%	-
Ossidi di azoto	-4.0%	-53.5%	-26.5%
CO <sub>2</sub>	0.0%	-41.3%	-12.3%
Polveri	-47.3%	-46.0%	-46.9%
IPA	-73.9%	-74.0%	-74.0%



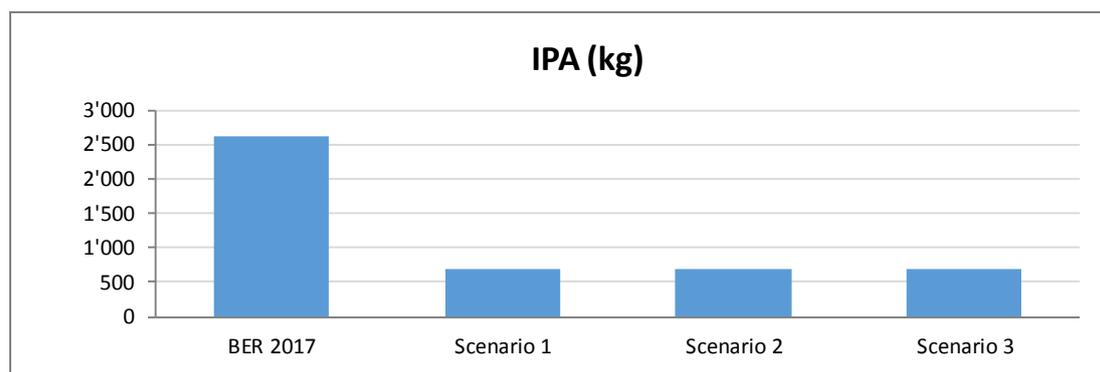


Figura 2-3 \_ Confronto tra il bilancio energetico-emissivo definito rispetto al BER 2017 e i bilanci emissivi teorici definiti in base agli scenari considerati (Fonte: elaborazione degli autori, 2019)

Un'eventuale alternativa alla sostituzione degli impianti termici alimentati a fonti fossili prevista dallo Scenario 3 potrebbe essere la realizzazione di piccoli impianti di cogenerazione alimentati attraverso la biomassa "risparmiata" sostituendo gli impianti a biomassa esistenti come previsto dallo Scenario 1 (pari a 35 ktep). Considerando un rendimento pari a quello degli impianti termoelettrici a biomassa solida attualmente esistenti, si stima sia possibile produrre circa 10 ktep di energia elettrica, ottenendo sostanzialmente i medesimi risultati in termini di riduzioni emissive di polveri e IPA a fronte di consumi complessivi e emissioni di ossidi di azoto e anidride carbonica invariate. Visti i rendimenti contenuti di tali impianti evidenziati nel capitolo 1 (si faccia riferimento in particolare al 26% di rendimento degli impianti a biomassa di Tabella 1-8), tale scenario alternativo è meno vantaggioso da un punto di vista energetico-ambientale rispetto allo Scenario 3 "originale".

### 3 Disponibilità locale di bioenergie

Nel presente capitolo si riportano alcune stime condotte per valutare l'effettiva disponibilità di bioenergie in Regione Sardegna. Tale analisi ha lo scopo di determinare la quantità di risorse locali attualmente utilizzata dagli impianti esistenti, effettuando un confronto con i dati riportati nel capitolo 1, e valutare così la quota residua di bioenergie disponibili, determinando il potenziale energetico installabile.

#### 3.1 Aggiornamento delle stime sulla disponibilità locale di bioenergie

Nell'ambito dello "Studio sulle potenzialità energetiche delle biomasse" pubblicato da Regione Sardegna nel 2013, è stata condotta un'analisi approfondita sui quantitativi di biomasse e, più in generale, di bioenergie disponibili in Sardegna: nel presente paragrafo si intende richiamare i dati contenuti in tale documento, fornendone un aggiornamento, ove possibile.

In particolare, lo studio ha permesso di quantificare la disponibilità di:

- Biomasse da colture energetiche;
- Biomasse agricole residuali;
- Sottoprodotti di origine animale e prodotti derivati, scarti di macellazione e del settore caseario;
- Reflui zootecnici;
- Biomassa da manutenzione forestale e arboricoltura;
- Scarti dell'industria del legno;
- FORSU e altri rifiuti.

Ogni tipologia di bioenergia è stata indirizzata verso uno dei processi di conversione in energia di seguito dettagliati:

- **Processi biochimici:** permettono di ricavare energia per reazione chimica dovuta al contributo di enzimi, funghi e micro-organismi che si formano nella biomassa sotto particolari condizioni e vengono impiegati per quelle biomasse in cui il rapporto C/N (carbonio organico/azoto) sia inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%. Le biomasse più indicate per questo tipo di processi sono i reflui zootecnici e alcune tipologie di reflui urbani e industriali, scarti di lavorazione di prodotti di origine vegetale/animale, FORSU. Le principali tecnologie di conversione termochimica possono essere così classificate:
  - Digestione anaerobica;
  - Digestione aerobica;
  - Fermentazione alcolica;
  - Estrazione di oli e produzione di biodiesel;

- Steam Explosion (separazione della biomassa in emicellulosa, cellulosa e lignina attraverso l'uso di vapore saturo ad alta pressione).
- **Processi termochimici:** sono basati sull'azione del calore che permette le reazioni chimiche necessarie a trasformare la materia in energia e sono utilizzabili per i prodotti ed i residui in cui il rapporto C/N (carbonio organico/azoto) abbia valori superiori a 30 e il contenuto di umidità non superi il 30%. Le biomasse più adatte a subire processi di conversione termochimica sono la legna e gli scarti dell'industria del legno nonché i più comuni sottoprodotti colturali di tipo ligno-cellulosico (paglia di cereali, residui di potatura della vite e dei fruttiferi, ecc.) e alcuni scarti di lavorazione (gusci, noccioli, ecc.). Le tecnologie di conversione termochimica possono essere così suddivise:
  - Combustione diretta;
  - Carbonizzazione;
  - Gassificazione;
  - Pirolisi.

Nella tabella successiva si riportano i dati di sintesi elaborati nel documento citato, secondo i quali sarebbe possibile ricavare circa 94 ktep di energia dal biogas ottenuto mediante processi biochimici e circa 228 ktep di energia da processi termochimici diretti. Si precisa che non sono stati volutamente considerati i quantitativi relativi alle colture energetiche potenzialmente sviluppabili in Sardegna, in quanto frutto di previsioni di sviluppo che al momento non è stato possibile verificare, e alle acque di vegetazione, il cui contributo energetico non risulta stimato nello studio stesso.

Tabella 3-1 \_ Quantità di bioenergie disponibili e potenziale energetico lordo per tipologia (Fonte: Studio sulle potenzialità energetiche delle biomasse, 2013)

BIOENERGIE DISPONIBILI E POTENZIALE ENERGETICO AL 2013						
TIPOLOGIE DI BIOENERGIE	QUANTITÀ ANNUE		PROCESSI BIOCHIMICI		PROCESSI TERMOCHIMICI	
	Unità di misura	Valore	Biogas (m <sup>3</sup> )	Energia (ktep)	Calore (GJ)	Energia (ktep)
<i>AGROINDUSTRIA</i>						
Scarti nocciolino	t	2'696			43'395	1.04
Scarti sansa	t	18'046			237'756	5.68
Residuo vitivinicolo	t	12'930			83'168	1.99
<i>Totale agroindustria</i>					<i>364'319</i>	<i>8.71</i>

BIOENERGIE DISPONIBILI E POTENZIALE ENERGETICO AL 2013						
TIPOLOGIE DI BIOENERGIE	QUANTITÀ ANNUE		PROCESSI BIOCHIMICI		PROCESSI TERMOCHIMICI	
	Unità di misura	Valore	Biogas (m <sup>3</sup> )	Energia (ktep)	Calore (GJ)	Energia (ktep)
<i>SOTTOPRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE</i>						
Reflui zootecnici	m <sup>3</sup>	4'174'321	148'136'218	76.42		
Scarto macellazione (33% del totale)	t	7'492	487'002	0.25		
Scarti siero di latte (50% del totale)	t	123'269	1'889'122	0.97		
Lana ovi-caprina (33% del totale)	t	1'308			27'204	0.65
<i>Totale</i>			<i>150'512'342</i>	<i>77.64</i>	<i>27'204</i>	<i>0.65</i>
<i>RESIDUI COLTURALI</i>						
Paglie	t	144'307			2'247'729	53.73
Agrumi e frutteti	t	44'017			448'977	10.73
Potatura vite	t	113'780			1'228'824	29.37
Potatura olivo	t	46'044			486'225	11.62
Scarti carciofo	t	62'855	18'699'397	9.65		
Scarti pomodoro	t	56'910	5'890'185	3.04		
<i>Totale</i>			<i>24'589'582</i>	<i>12.69</i>	<i>4'411'755</i>	<i>105.45</i>
<i>RIFIUTI</i>						
Fanghi di depurazione	t	67'027			474'875	0.13
FORSU (50% del totale)	t	79'289	6'660'242	3.44		
Manutenzione verde	t	34'461			120'614	2.88
Manutenzione forestale + arboricoltura	t	332'826			3'331'452	79.63
Olio di frittura	t	2'513			86'205	2.06
Scarti industriali legno	t	62'855			1'194'245	28.55
<i>Totale</i>			<i>6'660'242</i>	<i>3.44</i>	<i>5'207'391</i>	<i>113.25</i>
<b>TOTALE</b>			<b>181'762'166</b>	<b>93.77</b>	<b>10'010'669</b>	<b>228.06</b>

Per effettuare una verifica ed un eventuale aggiornamento di tali stime, si è ritenuto interessante analizzare:

- Dati statistici sulla produzione del settore agricolo, sulla destinazione delle superfici agricole e sulla consistenza dei capi di allevamento (fonte: Sardegna Statistiche);
- 19° Rapporto sulla gestione dei rifiuti urbani in Sardegna – Anno 2017 (fonte: Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della 86/158 Sardegna – ARPAS);

- Informazioni sui quantitativi di fanghi trattati (fonte: Abbanoa S.p.A., anni 2017 e 2018)
- Relazioni annuali sull'utilizzo dei fanghi in Regione Sardegna in ambito agricolo (fonte: Regione Autonoma Sardegna, anni 2015 e 2016);
- Piano Forestale Ambientale Regionale (fonte: Regione Autonoma Sardegna, 2006);
- Inventario Forestale Nazionale (fonte: CREA, Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria).

Il dettaglio dei dati analizzati è riportato nei paragrafi successivi.

### 3.1.1 Dati statistici sul settore agricolo e sugli allevamenti

In particolare, i dati sulle esportazioni verso l'estero di prodotti dell'agricoltura, della silvicoltura e della pesca disponibili sul portale *Sardegna Statistiche* sono riportati in Figura 3-1: è interessante osservare come, confrontando i dati del 2017 con quelli del 2013, la quantità di prodotti esportati dalla Sardegna verso l'estero sia quasi raddoppiata a fronte di un aumento delle esportazioni a livello nazionale pari al 15% circa e pari al 26% nel Mezzogiorno.

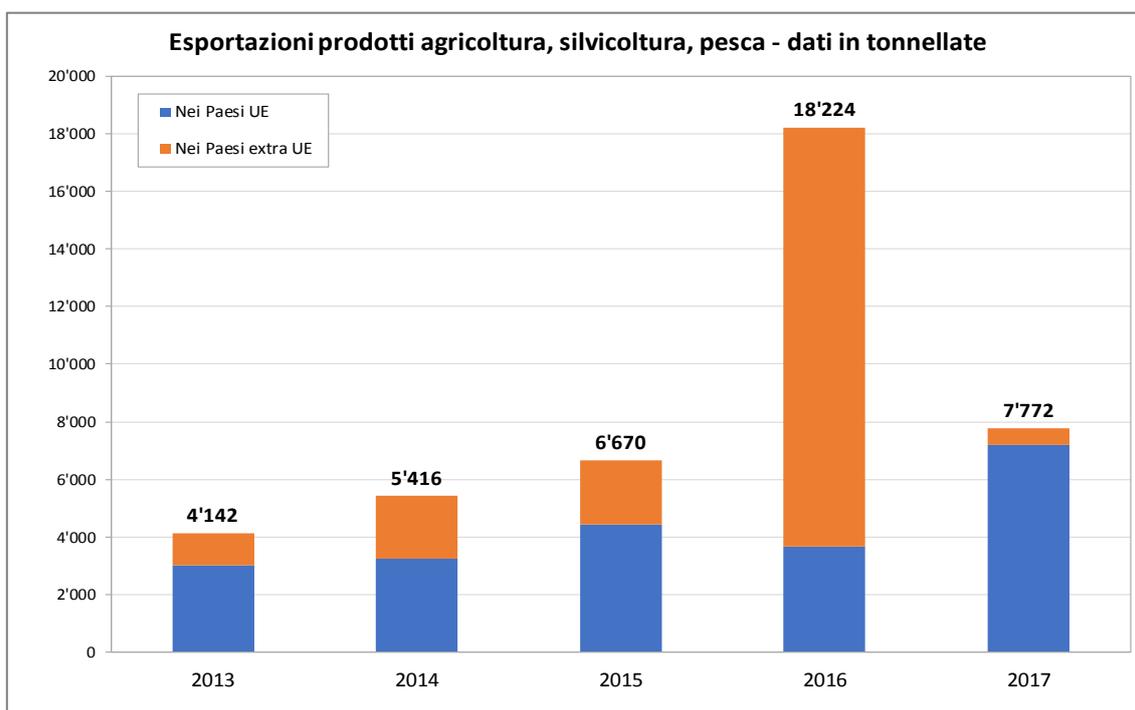


Figura 3-1 \_ Andamento della quantità di prodotti dell'agricoltura, silvicoltura e pesca esportate dalla Sardegna verso i Paesi UE e verso il resto del mondo dal 2013 al 2017 (Fonte: Sardegna Statistiche)

Nelle figure successive si riporta invece un confronto tra i dati elaborati da Istat nel 6° Censimento dell'Agricoltura, relativi all'anno 2010, con gli ultimi dati diffusi da Sardegna Statistiche relativi all'anno 2016, riguardanti l'andamento della superficie agricola (Figura 3-2) e del numero di capi di allevamento (Figura 3-3).

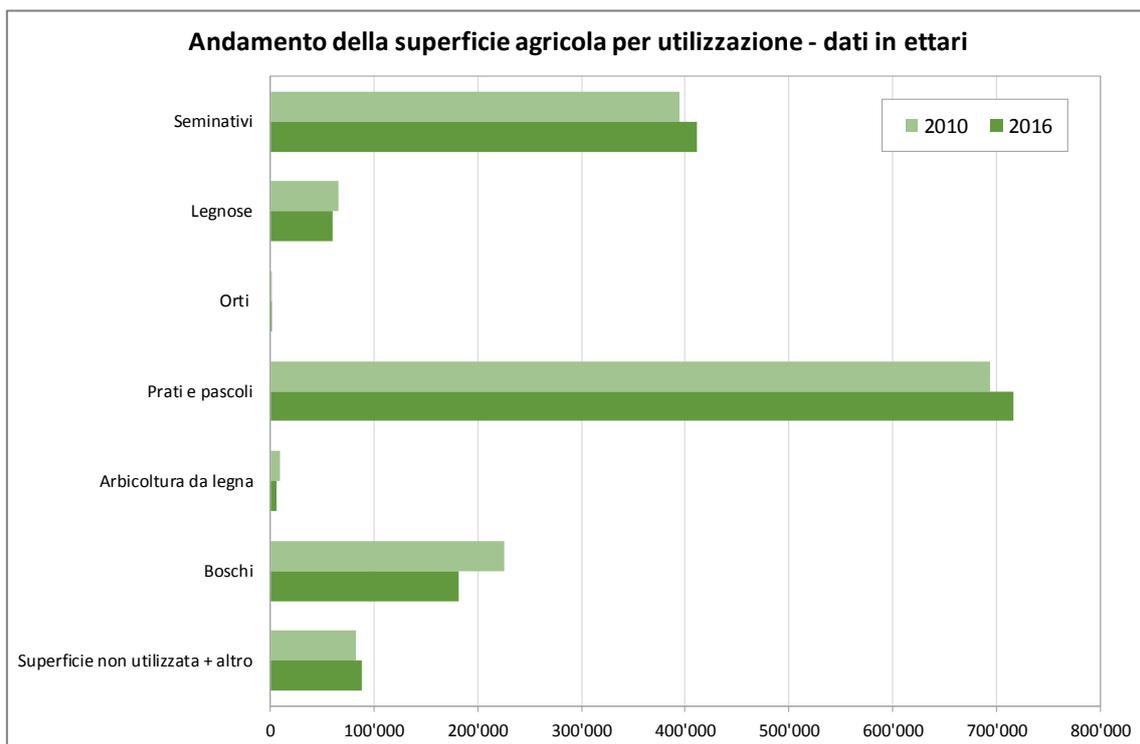


Figura 3-2 \_ Evoluzione della superficie agricola aziendale per tipo di utilizzazione tra il 2010 e il 2016 (Fonte: Istat, "Censimento dell'Agricoltura 2010" - Sardegna Statistiche – Elaborazione degli autori, 2019)

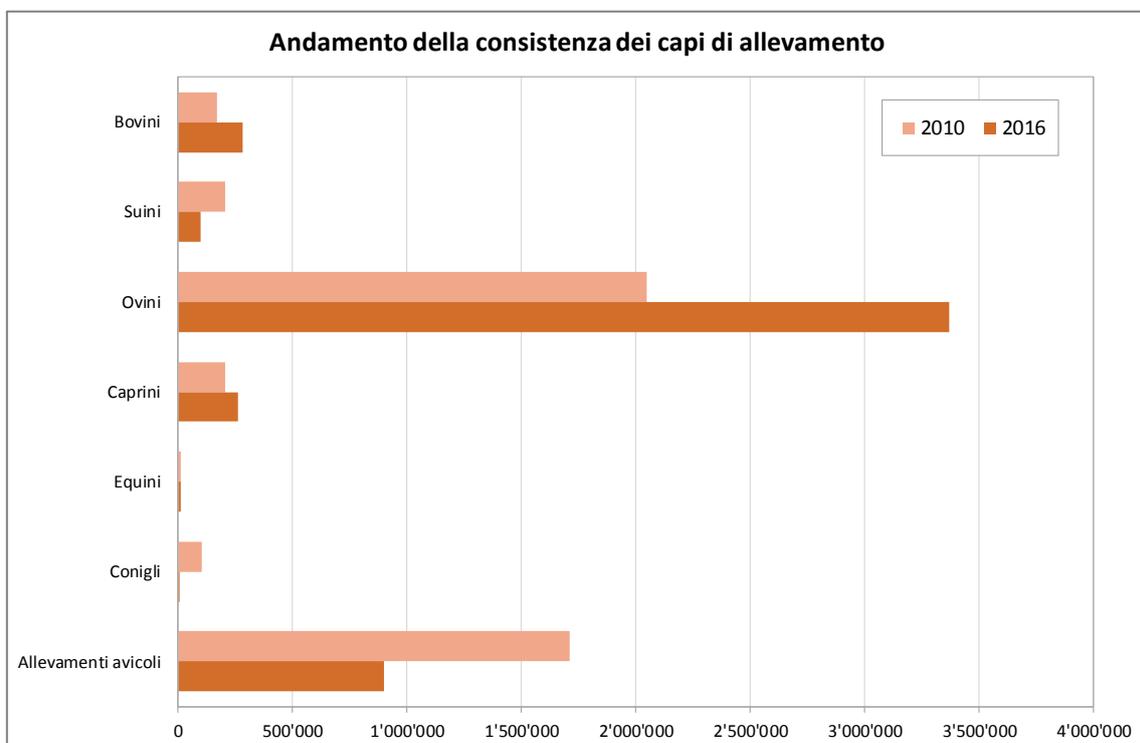


Figura 3-3 \_ Andamento del numero di capi per tipologia di allevamento tra il 2010 e il 2016 (Fonte: Istat, "Censimento dell'Agricoltura 2010" - Sardegna Statistiche – Elaborazione degli autori, 2019)

Per quanto riguarda la superficie agricola si registrano dei minimi aumenti per le tipologie di utilizzazioni principali (seminativi e prati/pascoli, rispettivamente con aumenti del 4% e del 3% della superficie agricola a loro dedicata) mentre si riscontrano contrazioni più accentuate nelle superfici dedicate alle coltivazioni legnose agrarie, inclusa la vite, (-9%) e all'arboricoltura da legno (-29%) e nei boschi annessi ad aziende agricole (-20%). Complessivamente la superficie agricola utilizzata (SAU) è aumentata del 3% in 6 anni. Variazioni decisamente più significative si registrano invece nel numero di capi di allevamento, con aumenti pari al 67% e al 65% circa rispettivamente per bovini e ovini, cui seguono i caprini con una crescita del 28%; il numero di equini risulta sostanzialmente stabile (+3%) mentre per tutte le altre tipologie si rilevano invece cali consistenti, con un dimezzamento del numero di capi negli allevamenti avicoli e del numero di suini e una significativa riduzione del numero di conigli.

### **3.1.2 Dati estratti dal rapporto sulla gestione dei rifiuti urbani**

Il 19° *Rapporto sulla gestione dei rifiuti urbani in Sardegna*, che restituisce un quadro dei rifiuti gestiti nell'anno 2017, permette di aggiornare le informazioni relative alla frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) e agli impianti dotati di conversione dei rifiuti in energia.

Nel 2017 i rifiuti organici raccolti attraverso la raccolta differenziata sono stati circa 213'663 tonnellate, pari al 46% del rifiuto differenziato e al 30% dei rifiuti urbani totali. La frazione organica è principalmente avviata a recupero negli impianti situati nel territorio regionale mentre una piccola parte è stata inviata a biostabilizzazione e poi smaltimento, principalmente presso l'impianto del CIPNES di Olbia (impianto TMB dotato di linea dedicata al compostaggio), a seguito del superamento della capacità di trattamento dell'impianto nel periodo estivo e, in quantità decisamente minori, presso l'impianto di Tempio (di tipologia simile all'impianto di Olbia), a seguito di un guasto tecnico.

La potenzialità degli impianti di compostaggio presenti sul territorio regionale (complessivamente pari a circa 276'800 tonnellate) è decisamente sufficiente a trattare i quantitativi prodotti; inoltre, nel 2017 sono stati avviati due nuovi impianti (uno di proprietà del Consorzio Industriale di Nuoro e l'altro di proprietà del comune di Carbonia). Tuttavia, nei mesi estivi nel Nord Sardegna si assiste ad un importante aumento dei conferimenti che anche nel 2017 si è riusciti a gestire solo con l'avvio a smaltimento dei quantitativi che superavano la potenzialità autorizzata degli impianti.

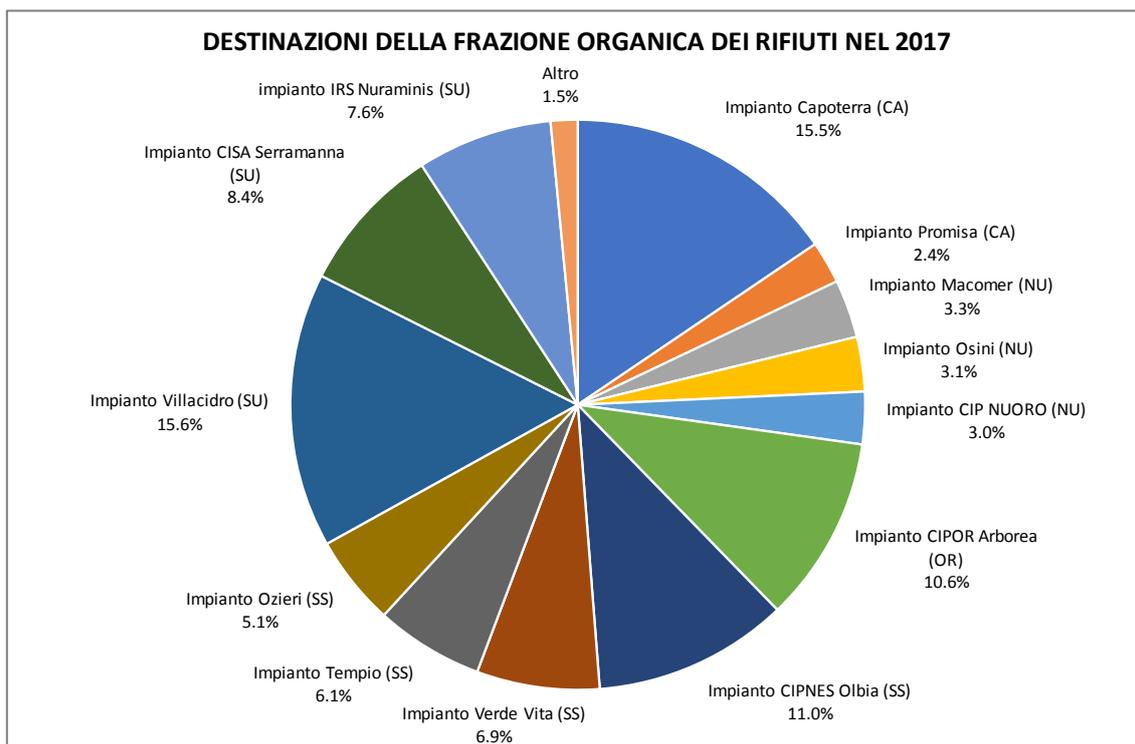


Figura 3-4 \_ Flusso totali di rifiuti organici da raccolta differenziata comunale negli impianti nel 2017 (Fonte: 19° Rapporto sulla gestione dei rifiuti urbani in Sardegna – Elaborazione degli autori, 2019)

Nella Figura 3-4 si riporta il dettaglio relativo alla distribuzione dei quantitativi da raccolta differenziata della frazione organica negli impianti regionali nel 2017: appare evidente come gli impianti principali siano quelli di Villacidro (unico impianto di digestione anaerobica presente sul territorio regionale), quello di Capoterra (impianto di compostaggio), quello del CIPNES di Olbia (impianto di compostaggio) e quello del CIPOR di Arborea (impianto di compostaggio).

Confrontando il dato complessivo di rifiuti organici (FORSU) relativo all'anno 2017 con i quantitativi totali considerati nello studio sopra citato, pari a 200'221 t al 2012 e valutati in 159'917 t al 2025, si può osservare che il dato attuale risulta superiore del 7% rispetto al 2012 e del 34% rispetto alla proiezione al 2025.

### 3.1.3 Dati disponibili sui fanghi di depurazione

Abbanoa S.p.A., il gestore unico del Servizio Idrico Integrato in Regione Sardegna, ha fornito per gli anni 2017 e 2018 i dati relativi ai consumi elettrici e alla produzione di fanghi di depurazione: nella tabella successiva si riportano i quantitativi complessivi regionali e la relativa sostanza secca. Si precisa che più dell'80% dei fanghi prodotti nel 2017 è concentrato nei 50 impianti caratterizzati da una potenzialità maggiore di 10'000 abitanti equivalenti.

Tabella 3-2 \_ Fanghi prodotti in Regione Sardegna negli anni 2017 e 2018 e relativo contenuto di sostanza secca (Fonte: Abbanoa S.p.A., elaborazione degli autori, 2019)

<b>QUANTITÀ DI FANGHI PRODOTTI IN REGIONE SARDEGNA</b>			
<b>Dato</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>Trend</b>
Fanghi prodotti (t)	54'922	50'176	-8.6%
Sostanza secca contenuta nei fanghi (t)	12'982	11'323	-12.8%

Per i 6 impianti più grandi, sono disponibili alcune valutazioni che permettono di quantificare i volumi di biogas producibili a partire dalla frazione putrescibile della sostanza secca e la relativa produzione potenziale di energia elettrica. In particolare, il quantitativo di sostanza secca gestita da tali impianti (pari a circa 3'840 tonnellate) corrisponde a circa il 34% della sostanza secca totale regionale e, a partire da questo quantitativo si stima sia possibile produrre circa 731'000 metri cubi di biogas all'anno, con una produzione potenziale di energia elettrica pari a 1.3 GWh (pari a circa l'1.5% dell'attuale produzione regionale da biogas).

A titolo informativo, si riportano i dati relativi all'utilizzo in agricoltura dei fanghi provenienti dagli impianti di depurazione, il cui ultimo aggiornamento risale al 2016: il quantitativo di fanghi prodotti e passibili di riutilizzo agricolo espresso in sostanza secca risulta pari a 15'210 tonnellate, di cui il 77% circa viene effettivamente riutilizzato a seguito di appositi trattamenti.

### **3.1.4 Dati sulle biomasse di origine forestale**

L'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio è uno dei più importanti strumenti conoscitivi per le decisioni di politica forestale e ambientale sia a livello nazionale che internazionale. Esso contiene informazioni relativi all'estensione e alla distribuzione della superficie forestale, alle specie arboree presenti, al volume e alla massa legnosa, alla struttura delle formazioni forestali, allo stato di salute dei boschi, etc.

In particolare, per ciascuno dei 21 distretti territoriali in cui è stato suddiviso il territorio nazionale (19 Regioni + 2 Province Autonome) sono disponibili le stime dei quantitativi in massa di componente viva del soprassuolo e necromassa, ossia la componente morta dei boschi, a sua volta suddivisa in alberi morti in piedi, necromassa a terra (con diametro minimo di 9.5 cm) e ceppaie residue.

L'ultimo inventario disponibile è l'INFC 2005, ricostruito attraverso rilievi condotti a partire dal 2003: nella tabella successiva si riportano alcuni dati di sintesi che tuttavia risultano essere eccessivamente datati per poter trarre considerazioni utili per valutare la situazione attuale. Si sottolinea tuttavia che, secondo tali

dati, all'epoca delle rilevazioni risultavano disponibili circa 436'784 tonnellate di necromassa (sostanza secca).

Tabella 3-3 \_ Quantitativi di fitomassa disponibili per categoria inventariale al 2005 (Fonte: INFC 2005, nostra elaborazione, 2019)

<b>QUANTITÀ DI FITOMASSA DISPONIBILE IN SARDEGNA – INFC 2005</b>							
Tipologia	Dettaglio	Boschi alti	Impianti di arboricoltura da legno	Aree temp. prive di soprassuolo	Totale Bosco		Rif. Tabella
		Fitomassa			Fitomassa	Densità	
		(t)			(t)	(t ha <sup>-1</sup> )	
Componente viva	Fusto e rami grossi	21'192'825	833'408	31'953	22'058'186	37.8	Tabella 1.5.1
	Ramaglia	6'611'045	215'955	17'112	6'844'111	11.7	Tabella 1.6.1
	Ceppaie	488'604	25'980	977	515'561	0.9	Tabella 1.7.1
	Utilizzata negli ultimi 12 mesi	25'851	20'921	0	46'772	0.1	Tabella 1.12.1
Necromassa	Alberi morti in piedi	221'417	9'812	5'786	237'015	0.4	Tabella 2.7.1
	A terra	108'964	3'149	1'792	113'905	0.2	Tabella 2.8.1
	Ceppaie	81'457	4'407	0	85'864	0.2	Tabella 2.9.1
<b>TOTALE</b>		<b>28'730'163</b>	<b>1'113'632</b>	<b>57'619</b>	<b>29'901'414</b>		

Infine, per completare il quadro informativo sulla disponibilità di bioenergie, è interessante richiamare le stime contenute nell'Allegato 3 al *Piano Forestale Ambientale Regionale* del 2006, intitolato "Analisi di massima sull'utilizzo delle biomasse forestali a scopo energetico". Tenendo in considerazione le specie presenti, i relativi valori di accrescimento e le scelte di gestione forestale di tipo conservativo previste dal piano stesso, si quantifica la biomassa legnosa disponibile complessivamente in Regione Sardegna in 318'569 tonnellate di legname fresco e 290'890 tonnellate di legname stagionato, potenzialmente in grado di fornire circa 1'600 GWh di energia termica lorda (pari a 140 ktep), per una potenza complessiva termica installabile massima pari a circa 225 MW e una potenza elettrica media presumibile pari a 22.5 MWe. Si sottolinea che tale stima prevede di destinare tutta la biomassa disponibile agli impianti di produzione di energia, non tenendo conto di eventuali sviluppi dell'industria del legno.

### **3.1.5 Conclusioni**

Escludendo dall'analisi le informazioni ricavate dal Piano Forestale e dall'INFC 2005, difficilmente aggiornabili all'attualità e poco rilevanti in termini quantitativi rispetto ai dati relativi agli scarti provenienti

dalle attività agricole, zootecniche e di trattamento dei rifiuti, si è proceduto ad individuare per ciascuna delle bioenergie elencate in Tabella 3-1 un indicatore valido per determinare la quantità di bioenergie disponibile attualmente. In particolare, gli indicatori utilizzati e le relative variazioni tra il 2010 e il 2016 sono stati:

- Superficie aziendale destinata a specie legnose, diminuita del 9%;
- Superficie aziendale destinata a prati e pascoli, aumentata del 3%;
- Superficie aziendale destinata ad orti, diminuita del 42%;
- Superficie aziendale destinata a boschi, diminuita del 20%;
- Numero complessivo di capi di allevamento, aumentato dell'11%;
- Numero di bovini, ovini e caprini, aumentato del 62%;
- Numero di ovini e caprini, aumentato del 61%;
- Frazione organica trattata dagli impianti di smaltimento rifiuti, aumentata del 34% rispetto alle previsioni dello studio del 2013.

Le variazioni sopra elencate sono state quindi applicate ai quantitativi di bioenergie riportati in Tabella 3-1, ottenendo i risultati riportati nella tabella successiva. Per quanto riguarda i fanghi di depurazione, sono stati adottati direttamente i dati forniti dal gestore del servizio e, contrariamente allo studio del 2013, ne è stata prevista la destinazione verso processi biochimici, allo scopo di ricavarne biogas e produrre successivamente energia elettrica, estendendo la stima disponibile relativa agli impianti principali a tutto il quantitativo di fanghi di depurazione: la producibilità ottenuta è pari a circa 2.5 milioni di metri cubi di biogas dai quali è possibile ricavare circa 4 GWh di energia elettrica (0.4 ktep).

Tabella 3-4 \_ Quantità di bioenergie disponibili e potenziale energetico lordo per tipologia (Fonte: elaborazione degli autori, 2019)

<b>BIOENERGIE DISPONIBILI E POTENZIALE ENERGETICO ALLO STATO ATTUALE</b>						
<b>TIPOLOGIE DI BIOENERGIE</b>	<b>QUANTITÀ ANNUE</b>		<b>PROCESSI BIOCHIMICI</b>		<b>PROCESSI TERMOCHIMICI</b>	
	<b>Unità di misura</b>	<b>Valore</b>	<b>Biogas (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Energia (ktep)</b>	<b>Calore (GJ)</b>	<b>Energia (ktep)</b>
<i>AGROINDUSTRIA</i>						
Scarti nocciolino	t	2'445			39'351	0.94
Scarti sansa	t	13'634			215'599	5.15
Residuo vitivinicolo	t	11'725			75'418	1.80
<i>Totale agroindustria</i>					<i>330'368</i>	<i>7.90</i>
<i>SOTTOPRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE</i>						
Reflui zootecnici	m <sup>3</sup>	4'615'311	163'785'867	84.49		
Scarto macellazione	t	8'283	538'451	0.28		

BIOENERGIE DISPONIBILI E POTENZIALE ENERGETICO ALLO STATO ATTUALE						
TIPOLOGIE DI BIOENERGIE	QUANTITÀ ANNUE		PROCESSI BIOCHIMICI		PROCESSI TERMOCHIMICI	
	Unità di misura	Valore	Biogas (m <sup>3</sup> )	Energia (ktep)	Calore (GJ)	Energia (ktep)
Scarti siero di latte	t	199'276	3'053'942	1.57		
Lana ovi-caprina	t	2'109			43'864	1.05
<i>Totale</i>			167'378'260	86.34	43'864	1.05
<i>RESIDUI COLTURALI</i>						
Paglie	t	148'956			2'320'135	55.46
Agrumi e frutteti	t	39'915			407'137	9.73
Potatura vite	t	103'177			1'114'310	26.63
Potatura olivo	t	41'753			440'914	10.54
Scarti carciofo	t	36'396	10'827'752	5.59		
Scarti pomodoro	t	32'953	3'410'669	1.76		
<i>Totale</i>			14'238'421	7.35	4'282'496	102.36
<i>RIFIUTI</i>						
Fanghi di depurazione	t	54'922	2'453'506	0.38		
FORSU (50% del totale)	t	106'832	8'973'817	4.64		
Manutenzione verde	t	34'461			120'614	2.88
Manutenzione forestale + arboricoltura	t	332'826			2'673'621	63.91
Olio di frittura	t	2'513			86'205	2.06
Scarti industriali legno	t	62'855			1'194'245	28.55
<i>Totale</i>			11'427'323	5.02	4'074'685	97.40
<b>TOTALE</b>			<b>193'044'004</b>	<b>98.71</b>	<b>8'731'413</b>	<b>208.71</b>

### 3.2 Confronto tra i consumi attuali di bioenergie e la disponibilità locale

In Tabella 3-5 si riportano i risultati ottenuti dall'aggiornamento dei dati sulla disponibilità di bioenergie confrontati con i consumi riportati nel paragrafo 1.1.

Relativamente ai consumi regionali è stata restituita una stima circa la provenienza della materia prima, condotta sulla base dei dati disponibili: tale informazione è fondamentale per determinare la quota delle risorse locali effettivamente impiegate negli impianti esistenti e la quota ancora disponibile. A tal proposito si precisa che:

- per quanto riguarda i consumi di biomassa solida e bioliquidi delle centrali termoelettriche, si è fatto riferimento alle informazioni sulla provenienza delle fonti in ingresso fornite direttamente dai gestori degli impianti;
- la provenienza della biomassa solida consumata in ambito domestico è stata stimata a partire dai dati Istat discussi al paragrafo 1.2.3, ipotizzando che tutta la biomassa non autoprodotta (e quindi acquistata sul mercato) provenga da fuori regione e assegnando delle quote regionali nelle diverse fasce intermedie con provenienza mista: ne risulta che circa 416 migliaia di tonnellate di biomassa legnosa possano essere di provenienza regionale mentre la restante parte (56%) risulta acquistata sul mercato;
- infine, è sufficientemente ragionevole ipotizzare che tutti i consumi di rifiuti (parte biodegradabile) e biogas derivino da materiale di provenienza locale.

Tabella 3-5 \_ Confronto tra i consumi e la disponibilità di bioenergie stimati all'attualità (Fonte: elaborazione degli autori, 2019)

<b>CONSUMI E DISPONIBILITÀ DI BIOENERGIE</b>						
<b>VEETTORE</b>	<b>CONSUMI</b>				<b>DISPONIBILITÀ LOCALE</b>	
	<b>Quantità</b>	<b>Contenuto energetico</b>	<b>Provenienza materia prima</b>		<b>Quantità</b>	<b>Contenuto energetico</b>
	(varie udm)	(ktep)	Regionale	Extra-regionale	(varie udm)	(ktep)
Rifiuti (parte rinnovabile)	0.2 kt	0.1	100%	-	34.5 kt	2.9
Biomassa solida	1'163.4 kt	362.4	53.0%	47.0%	696.4 kt	203.8
Bioliquidi	57.3 kt	52.7	0.6%	99.4%	2.5 kt	2.1
Biogas/Biomassa per usi biochimici	51.6 Mm <sup>3</sup>	23.5	100%	-	245.5 Mm <sup>3</sup>	98.7
<b>TOTALE</b>	-	<b>438.7</b>			-	<b>307.5</b>

Tenendo in considerazione che il metodo di stima adottato per valutare la disponibilità di bioenergie è caratterizzato da un ampio margine di approssimazione, è possibile osservare come solo un quarto del potenziale energetico attualmente disponibile sotto forma di biogas risulta essere effettivamente utilizzato. Ciò lascia quindi un ampio margine per la realizzazione di nuovi impianti in grado di aumentare il grado di sfruttamento degli scarti derivanti dalle attività agricole e dall'allevamento.

Riguardo alla parte organica dei rifiuti urbani, si sottolinea che tale bioenergia è stata principalmente indirizzata verso la produzione di biogas e, pertanto, inclusa sotto tale voce. Il dato riportato in tabella come "Rifiuti (parte rinnovabile)" è invece da intendersi come materia direttamente utilizzabile nell'ambito

di processi termochimici e, di fatto, rappresenta una quantità poco rilevante rispetto alle altre tipologie di bioenergia.

Risulta più complesso effettuare considerazioni in merito alla biomassa solida o ai bioliquidi. Nel primo caso, occorre sottolineare che, nonostante i consumi di biomassa solida reperita localmente corrispondano a circa il 94% della biomassa disponibile, si stima che il 68% del consumo di materia prima con provenienza regionale avvenga in ambito residenziale (130 ktep circa) e la restante parte è riconducibile principalmente alle centrali termoelettriche (62 ktep) mentre circa la metà della biomassa disponibile risulterebbe provenire da scarti agricoli (103 ktep). Considerando che gli impianti domestici sono principalmente alimentati con biomassa legnosa, da un lato è probabile che parte della biomassa legnosa disponibile non sia stata correttamente tracciata, dall'altro, risulta evidente che buona parte della biomassa disponibile stimata (e in particolare della parte costituita dagli scarti agricoli) non venga effettivamente sfruttata a scopi energetici (circa 40 ktep) e sia dunque ancora disponibile per lo sfruttamento a scopi energetici.

Relativamente invece ai bioliquidi, attualmente la quantità consumata risulta essere principalmente di provenienza estera e, al contempo, risulta difficile effettuare stime attendibili sull'effettiva disponibilità "locale" di questo di tipo di bioenergia.