

N. PIERRO, A. GIOCOLI, I. DE BARI

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Bioenergia, Bioraffineria, Chimica Verde
Laboratorio Tecnologie e Processi per le Bioraffinerie
e la Chimica Verde
Centro Ricerche Trisaia

A. AGOSTINI

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Produzione, Storage e Utilizzo dell'Energia
Laboratorio Accumulo di Energia, Batterie e
tecnologie per la produzione e l'uso dell'Idrogeno
Centro Ricerche Casaccia

V. MOTOLA

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Bioenergia, Bioraffineria, Chimica Verde
Laboratorio Tecnologie e Processi per le Bioraffinerie
e la Chimica Verde
Centro Ricerche Ispra

S. DIPINTO

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Bioenergia, Bioraffineria, Chimica Verde
Laboratorio Tecnologie e Processi per le Bioraffinerie
e la Chimica Verde
Centro Ricerche Brindisi

POTENZIALE TEORICO DI BIOMETANO AVANZATO IN ITALIA

RT/2021/12/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

N. PIERRO, A. GIOCOLI, I. DE BARI

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Bioenergia, Bioraffineria, Chimica Verde
Laboratorio Tecnologie e Processi per le Bioraffinerie
e la Chimica Verde
Centro Ricerche Trisaia

A. AGOSTINI

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Produzione, Storage e Utilizzo dell'Energia
Laboratorio Accumulo di Energia, Batterie e
tecnologie per la produzione e l'uso dell'Idrogeno
Centro Ricerche Casaccia

V. MOTOLA

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Bioenergia, Bioraffineria, Chimica Verde
Laboratorio Tecnologie e Processi per le Bioraffinerie
e la Chimica Verde
Centro Ricerche Ispra

S. DIPINTO

Dipartimento Tecnologie Energetiche e Fonti Rinnovabili
Divisione Bioenergia, Bioraffineria, Chimica Verde
Laboratorio Tecnologie e Processi per le Bioraffinerie
e la Chimica Verde
Centro Ricerche Brindisi

POTENZIALE TEORICO DI BIOMETANO AVANZATO IN ITALIA

RT/2021/12/ENEA



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina www.enea.it

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

POTENZIALE TEORICO DI BIOMETANO AVANZATO IN ITALIA

N. Pierro, V. Motola, A. Giocoli, S. Dipinto, A. Agostini, I. De Bari

Riassunto

Il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima del 2019, assegna un ruolo prioritario al gas rinnovabile al fine del raggiungimento dei target di immissione al consumo di biocarburanti previsto dalla direttiva sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili -RED II- in Unione Europea. In particolare si prevede nell'arco temporale 2021-2030 di applicazione del piano, nel settore trasporti, un utilizzo di biometano avanzato in forte crescita per arrivare nel 2030 a un consumo pari a 800 ktep annui (circa 1,1 miliardi di m³) rispetto ai 82 ktep di biometano avanzato immesso al consumo nel 2020 (Gestore Servizi Energetici s.p.a).

Le stime di questo studio riguardano il potenziale teorico di biometano avanzato producibile in Italia da digestione anaerobica. Il potenziale determinato è teorico in quanto non tiene conto di un possibile uso alternativo dei substrati, quale ad esempio uso diretto (lasciato in campo, combustione o compostaggio), o di filiere di produzione di prodotti biobased (e.g. biopolimeri, biolubrificanti, biodiesel, altri intermediari di processi chimici, etc.) e/o di altri biocarburanti. La stima su base territoriale delle varie biomasse residuali fermentabili realizzata in questo studio, in termini quantitativi e di producibilità di biometano avanzato da upgrading del biogas, ha il grande vantaggio di contenere quel valore di allocazione geografica che permetterà una più corretta valutazione degli elementi di logistica ed integrazione delle reti energetiche con l'obiettivo di fornire agli stakeholders della filiera biogas-biometano avanzato una base dati su cui formulare studi di fattibilità di un sistema integrato di produzione.

Il potenziale totale teorico calcolato con dati aggiornati al 2016 è valutato pari a circa 6,2 miliardi di m³ all'anno di biometano avanzato, ovvero un valore che ha lo stesso ordine di grandezza del gas naturale di origine fossile prodotta in Italia nel 2016 (6,0 miliardi di m³) e che è pari a circa l'8,7% dei consumi totali dello stesso anno (70,9 miliardi di m³).

Parole chiave: Biogas, biometano avanzato, potenziale teorico, distribuzione geografica.

Abstract

The Integrated National Plan for Energy and Climate (PNIEC) of 2019, assigns a priority role to renewable gas in order to achieve the targets for injection to the consumption of biofuels envisaged by the directive on the promotion of the use of energy from renewable sources (REDII) in the European Union, foreseeing in the 2021-2030 period of application of the plan, in the transport sector, the use of advanced biomethane in strong growth to reach a consumption of 800 ktoe per year in 2030 (about 1,1 billion m³) compared to 82 ktoe of advanced biomethane in 2020 (Gestore Servizi Energetici s.p.a).

The estimates of this study concern the theoretical potential of advanced biomethane that can be produced in Italy by anaerobic digestion. The determined potential is theoretical as it doesn't take into account a possible alternative use of the substrates, for example direct use (left in the field, combustion or composting), or of production chains of biomaterials and/or other biofuels (e.g. biopolymers, biolubricants, biodiesel, other intermediaries of chemical processes, etc.). The estimate on a territorial basis of the various residual fermentable biomasses carried out in this study, in terms of quantities and producibility of advanced biomethane from biogas upgrading, has the great advantage of containing that value of geographical allocation that will allow a more correct evaluation of the elements of logistics and integration of energy networks with the aim of providing stakeholders in the advanced biogas-biomethane chain with a database on which to formulate feasibility studies of an integrated production system. The total theoretical potential calculated with data updated to 2016 is estimated to be approximately 6,2 billion m³ per year of advanced biomethane, i.e. a value that has the same order of magnitude as natural gas of fossil origin produced in Italy in 2016 (6,0 billion of m³) and which is equal to approximately 8,7% of total consumption in the same year (70,9 billion m³).

Keywords: Biogas, advance biomethane, theoretical potential, geographical distribution.

Indice

1. Introduzione	7
2. Massima disponibilità potenziale di materie prime incentivate per la produzione di biometano avanzato in Italia	9
2.1. Residui agro-industriali	10
2.1.1 Paglie	12
2.1.2 Residui della filiera uva-vino	15
2.1.3 Residui industria pomodoro	17
2.1.4 Residui dell'industria di succhi di agrumi	19
2.1.5 Residui dell'industria olearia	22
2.2. Frazione organica dei rifiuti solidi urbani	25
2.3. Reflui zootecnici	28
2.4. Fanghi da depurazione acque reflue urbane e industriali	31
2.5. Siero da latte	33
3. Potenziale teorico di biometano avanzato	35
3.1. Paglie	36
3.2. Residui della filiera uva-vino	38
3.3. Residui industria pomodoro	40
3.4. Residui dell'industria di succhi di agrumi	42
3.5. Residui dell'industria olearia	44
3.6. Frazione organica dei rifiuti solidi urbani	46
3.7. Reflui zootecnici	48
3.8. Fanghi da depurazione delle acque reflue urbane e industriali	51
3.9. Siero da latte	54
4. Risultati e conclusioni	56
5. Bibliografia	61

1. Introduzione

L'Unione Europea ha recentemente approvato nuove misure per promuovere il consumo di energie rinnovabili nel settore dei trasporti entro il 2030. In particolare, la nuova direttiva energie rinnovabili RED II dell'Unione Europea [1] prevede il raggiungimento del 14% di energia rinnovabile nel settore trasporti entro il 2030 con un contributo dei biocarburanti avanzati pari al 3,5% dell'energia complessiva utilizzata nel settore. La RED II distingue inoltre i "biocarburanti" dai "biocarburanti avanzati" definendo questi ultimi biocarburanti prodotti a partire da specifiche materie prime (elencate nell'allegato IX, parte A della RED II) che consistono prevalentemente in materiali di scarto, residui, rifiuti organici e reflui, etc.

La valorizzazione di residui organici in termini energetici è un aspetto fondamentale delle politiche dell'Unione Europea sui rifiuti, energia ed economia circolare [1] [2]. Per quanto riguarda i rifiuti, è prevista una riduzione della loro quantità da smaltire in discarica al di sotto del 25%, entro il 2025, con precisi target di gestione su rifiuti riciclabili e biodegradabili (tal quali) ed un tendenziale azzeramento dello smaltimento in discarica entro il 2030. Tali obiettivi rappresentano sia una sfida per gli Stati membri dell'Unione Europea che una grande opportunità per la green economy, vista la spinta al riuso e riciclo di biomasse residuali (e.g. frazione organica dei rifiuti urbani, agricoli e agroindustriali, forestali, etc.) che sono la risorsa e base di partenza dei processi dell'economia circolare.

Secondo gli studi prodotti dalla Commissione Europea, le misure previste dalla revisione della normativa porteranno a più di 180000 posti di lavoro diretti nell'Unione Europea entro il 2030, i quali si aggiungeranno ai 400000 che, secondo le stime, risulteranno dall'attuazione della legislazione sui rifiuti in vigore. Sia la raccolta differenziata sia la preparazione al riciclo e valorizzazione delle biomasse residuali sono settori ad alta intensità di lavoro, superiore all'incenerimento e smaltimento in discarica.

L'Italia con il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) del 2019 [3] prevede di superare l'obiettivo specifico previsto dalla RED II attraverso un meccanismo di incentivazione per i biocarburanti avanzati (D.M. 2 marzo 2018 e successivi decreti [4]) fino al raggiungimento di un obiettivo al 2030 pari a circa l'8% (~ 2200 ktep) dei consumi complessivi previsti per il settore trasporto (27500 ktep).

L'obiettivo dei biocarburanti avanzati dovrà inoltre prevedere una quota del 75% di biometano avanzato (circa 800 ktep, 1.1 mld di m³ in doppio conteggio) ed una restante quota del 25% (260 ktep in doppio conteggio) di altri biocarburanti avanzati, fatte salve eventuali modifiche di ripartizione conseguenti alla effettiva disponibilità ed economicità dei diversi tipi di biocarburante avanzato [3].

A livello nazionale, la parte A dell'allegato 3 del decreto del Ministro dello Sviluppo Economico del 10 ottobre 2014 e successive modifiche [5] stabilisce le materie prime incentivate per la produzione di biometano avanzato.

In questo contesto, ENEA ha sviluppato una banca dati delle materie prime incentivate da processare in impianti di digestione anaerobica, di cui al [5], ed ha inoltre stimato il potenziale teorico di biometano avanzato producibile mediante upgrading del biogas. I prodotti di tali attività rappresentano per gli stakeholder uno strumento di supporto per lo sviluppo sostenibile di filiere per la produzione di biometano avanzato.

La banca dati delle materie prime incentivate per la produzione di biometano avanzato è anche potenzialmente di supporto ai sistemi di tracciabilità del settore bioenergia-biocarburanti ed ai sistemi di modellazione utili a stabilire il migliore mix bioenergia-biomateriali nel rispetto dei criteri di sostenibilità.

2. Massima disponibilità potenziale di materie prime incentivate per la produzione di biometano avanzato in Italia

L'allegato 3 parte A del decreto del Ministro dello Sviluppo Economico del 10 ottobre 2014 e successive modifiche [5] stabilisce le materie prime incentivate (biomasse residuali) alcune delle quali sono adatte anche per la produzione di biometano avanzato: frazione organica dei rifiuti solidi organici; fanghi di depurazione urbani; fanghi di depurazione industriali; paglia; bucce di pomodoro; pastazzo; sansa; vinacce; siero da latte e liquami zootecnici.

La stima dei quantitativi annuali delle materie prime incentivate (biomasse residuali) [5] per un determinato territorio è spesso soggetta a grande incertezza che in molti casi dipende da numerosi fattori, come ad esempio: il clima, la produttività (ad esempio delle colture agricole), la disponibilità teorica e/o utilizzabile e/o destinata ad altri scopi, etc.. In ambito nazionale, vi è inoltre la complessità che i dati sui rifiuti derivano da diverse fonti e pertanto sono disaggregati, non armonizzati ed in molti casi non sono deducibili direttamente. In tale contesto, ENEA ha realizzato una banca dati delle materie prime incentivate [5] ed una stima del potenziale teorico di biometano avanzato producibile adottando metodologie sviluppate/consolidate/validate nell'ambito di un accordo di programma ENEA - Ministero dello Sviluppo Economico [6]. Il potenziale teorico di biometano avanzato (espresso in metri cubi all'anno, m³/a) esprime la massima quantità di biometano avanzato potenzialmente producibile in un determinato territorio deducibile da analisi che non comprendono alcuna valutazione di carattere ambientale, economica e di possibili usi alternativi-concorrenti-competitivi delle materie prime.

Per il calcolo della massima disponibilità potenziale di materie prime (MDM, espresso in tonnellate all'anno t/a) per la produzione di biometano avanzato sono state considerate diverse fonti dati (e.g. Istituto Nazionale di Statistica - ISTAT, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA, Istituto di Servizi per il Mercato Agricolo Alimentare - ISMEA ed il Sistema Informativo Agricolo Nazionale - SIAN). Tutti i dati, aggiornati all'anno 2016, sono stati verificati, aggregati e processati mediante l'impiego di specifiche metodologie di calcolo (descritte nei successivi paragrafi).

2.1. Residui agro-industriali

In questo studio la massima disponibilità potenziale di residui agro-industriali è espressa con dettaglio regionale in tonnellate di sostanza secca all'anno (t_{s.s./a}) ed è calcolata solo per quei residui agro-industriali che meglio si prestano alla produzione di biometano avanzato: paglie, residui filiera del vino, residui industria pomodoro, residui industria succhi di agrumi e sansa.

La stima della massima disponibilità potenziale di residui agro-industriali (materie prime, MDM) è stata eseguita mediante l'impiego dell'equazione 1 considerando la produzione annuale dei prodotti principali (e.g. cereali, pomodori, agrumi, etc.):

$$MDM = (Produzione\ Raccolta) \times (Residuo / Produzione\ Raccolta) \times [1 - (Umidità / 100)]$$

Equazione 1

Il dato "produzione raccolta" è deducibile da dati inventariali (e.g. ISTAT, etc.) ed esprime la massa di prodotto raccolto in un anno dalla superficie in produzione, mentre i coefficienti "rifiuto/produzione raccolta" e "umidità/100" dipendono da diversi fattori (e.g. tecnica colturale, condizioni pedoclimatiche, tecniche di raccolta, etc.) e sono rilevabili direttamente in campo e/o deducibili da studi noti in letteratura [6]. In questo studio la stima della massima disponibilità potenziale di residui agro-industriali è stata eseguita considerando dati aggiornati al 2016 tratti da diverse fonti (ISTAT, SIAN, etc.).

La Figura 2.1 mostra una sintesi dei risultati ottenuti.

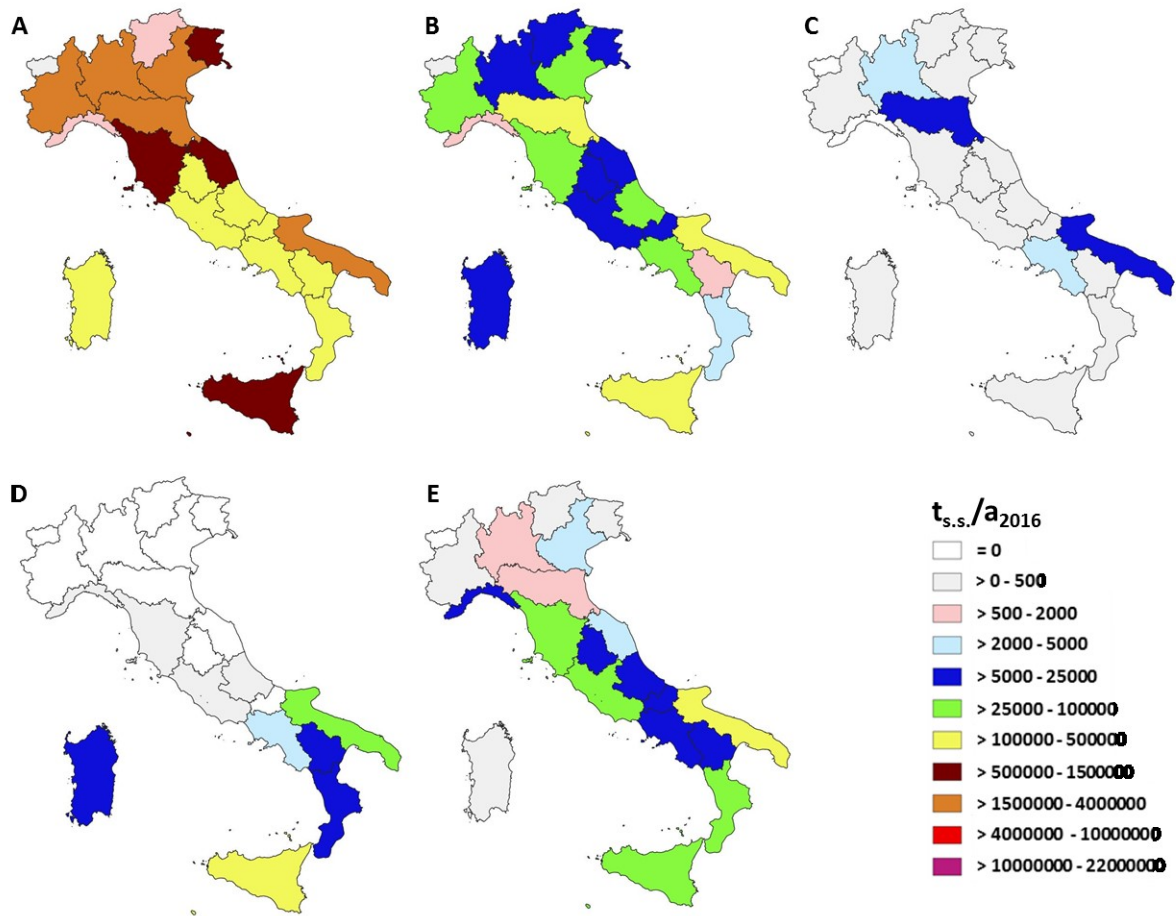


Figura 2.1: Massima disponibilità potenziale dei residui agro-industriali incentivati per la produzione di biometano avanzato (periodo di riferimento: anno 2016). A) Paglie. B) Vinaccia. C) Buccia di pomodoro. D) Pastazzo. E) Sansa.

2.1.1 Paglie

La massima disponibilità potenziale di paglie è stata calcolata mediante l'impiego dell'equazione 1 considerando i dati ISTAT del 2016 di produzione delle colture cerealicole (Figura 2.1.1 e Tabella 2.1.1).

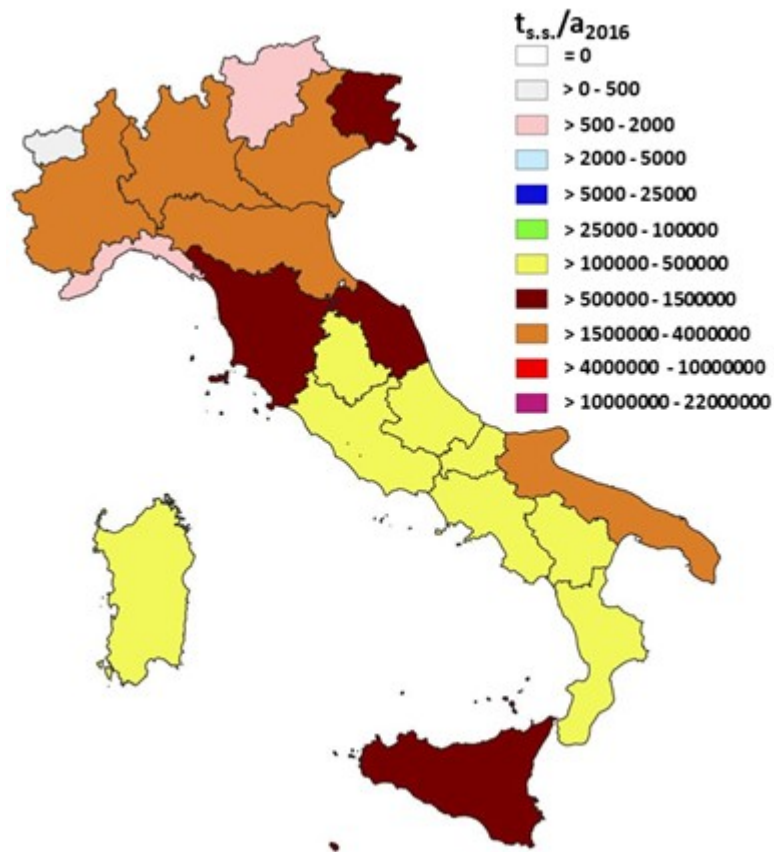


Figura 2.1.1: Massima disponibilità potenziale di paglia ($t_{s.s.}/a_{2016}$).

REGIONI	PAGLIA (t _{s.s.} /anno ₂₀₁₆)
ABRUZZO	239000
BASILICATA	433000
CALABRIA	172000
CAMPANIA	340000
EMILIA ROMAGNA	1701000
FRIULI VENEZIA GIULIA	731000
LAZIO	386000
LIGURIA	1000
LOMBARDIA	2838000
MARCHE	551000
MOLISE	144000
PIEMONTE	2502000
PUGLIA	1520000
SARDEGNA	220000
SICILIA	704000
TOSCANA	718000
TRENTINO ALTO ADIGE	2000
UMBRIA	313000
VALLE D'AOSTA	170
VENETO	2112000
TOTALE ITALIA	15627170

Tabella 2.1.1: Massima disponibilità potenziale di paglia, 2016.

Il possibile impiego delle paglie per la produzione di biometano avanzato è condizionato dagli usi alternativi, dai criteri di sostenibilità, etc.. Le paglie costituiscono un importante apporto di sostanza organica al suolo e la loro asportazione può quindi risultare un elemento di criticità agronomica e climatica per il mancato effetto carbon

sink che si ha stoccando carbonio organico nel suolo. Il loro corretto impiego per il maggior beneficio ambientale va, quindi, ben valutato di volta in volta. Sulla base di analisi bibliografiche risulta ragionevole considerare che la disponibilità effettiva di paglie, destinabile a scopi bioenergetici e quindi anche alla produzione di biometano avanzato, sia del 40% [7].

2.1.2 Residui della filiera uva-vino

L'analisi sulla disponibilità di residui della filiera uva-vino (i.e. vinacce e vinaccioli) è stata eseguita considerando i dati congiunturali ISTAT del 2016 di produzione regionale di uva da vino. I risultati ottenuti mediante l'impiego dell'equazione 1 sono mostrati in Figura 2.1.2 e Tabella 2.1.2.

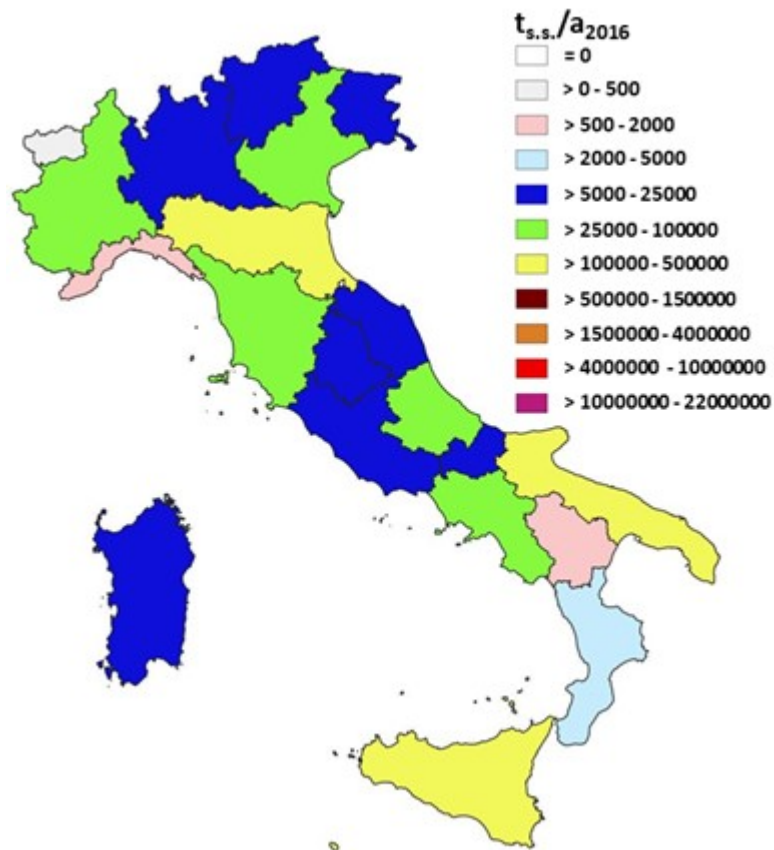


Figura 2.1.2: Massima disponibilità potenziale di vinaccia ($t_{s.s./a_{2016}}$).

REGIONI	VINACCIA (t.s.s./anno ₂₀₁₆)
ABRUZZO	31393
BASILICATA	1534
CALABRIA	4755
CAMPANIA	59057
EMILIA ROMAGNA	176436
FRIULI VENEZIA GIULIA	18957
LAZIO	15869
LIGURIA	1088
LOMBARDIA	22251
MARCHE	10175
MOLISE	16786
PIEMONTE	39246
PUGLIA	137927
SARDEGNA	6948
SICILIA	103267
TOSCANA	27751
TRENTINO ALTO ADIGE	16595
UMBRIA	6874
VALLE D'AOSTA	253
VENETO	91936
TOTALE ITALIA	789098

Tabella 2.1.2: Massima disponibilità potenziale di vinaccia, anno 2016.

L'impiego delle vinacce e dei semi per la produzione di biometano avanzato è limitato in quanto hanno già un utilizzo nelle distillerie per la produzione di grappe e per l'estrazione di olio di vinaccioli.

2.1.3 Residui industria pomodoro

La massima disponibilità potenziale di bucce di pomodoro è stata calcolata mediante l'impiego dell'equazione 1 considerando i dati congiunturali ISTAT del 2016 di produzione di pomodoro industriale. La Figura 2.1.3 e la Tabella 2.1.3 mostrano i risultati ottenuti dall'analisi con dettaglio regionale.

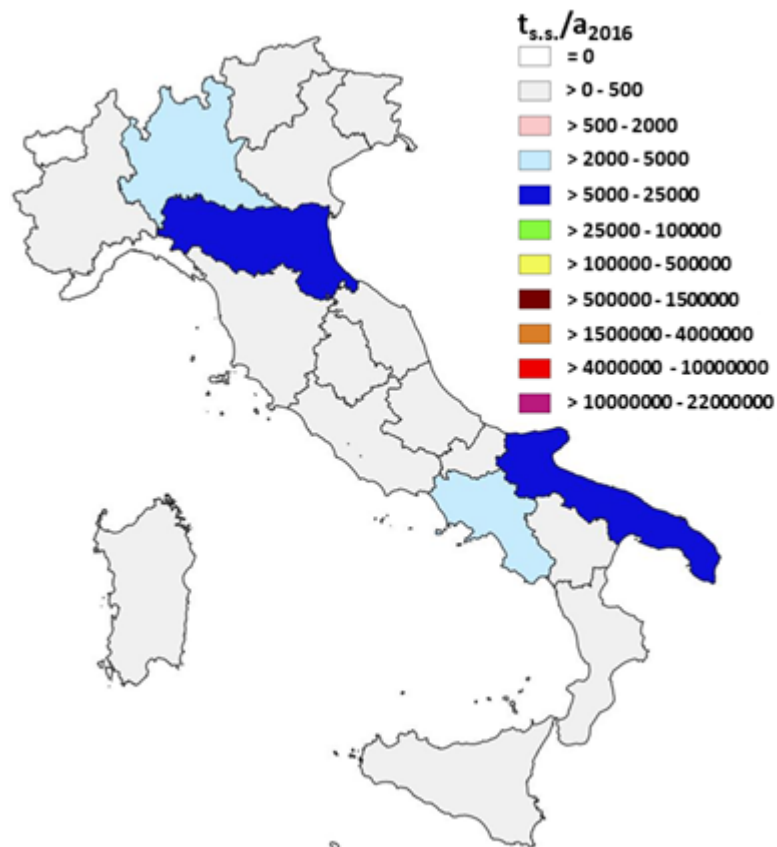


Figura 2.1.3: Massima disponibilità potenziale di bucce di pomodoro ($t_{s.s./a_{2016}}$).

REGIONI	BUCCIA DI POMODORO (t_{s.s./a2016})
ABRUZZO	478
BASILICATA	1146
CALABRIA	1124
CAMPANIA	2389
EMILIA ROMAGNA	18141
FRIULI VENEZIA GIULIA	1
LAZIO	847
LIGURIA	0
LOMBARDIA	4849
MARCHE	9
MOLISE	324
PIEMONTE	575
PUGLIA	17168
SARDEGNA	257
SICILIA	610
TOSCANA	1239
TRENTINO ALTO ADIGE	1
UMBRIA	131
VALLE D'AOSTA	0
VENETO	1119
TOTALE ITALIA	50408

Tabella 2.1.3: Massima disponibilità potenziale di bucce di pomodoro, anno 2016.

Le bucce di pomodoro “fermentabili” sono oggetto di interesse per i recenti studi che riguardano lo sviluppo di nuovi processi industriali per produrre intermedi chimici da sintetizzare per esempio a bioplastiche.

2.1.4 Residui dell'industria di succhi di agrumi

La massima disponibilità potenziale di residui dell'industria di succhi di agrumi (i.e. pastazzo di agrumi) è stata calcolata mediante l'equazione 1 considerando i dati ISTAT del 2016 di produzione di agrumi. La Figura 2.1.4 e la Tabella 2.1.4 mostrano i risultati ottenuti con dettaglio regionale.

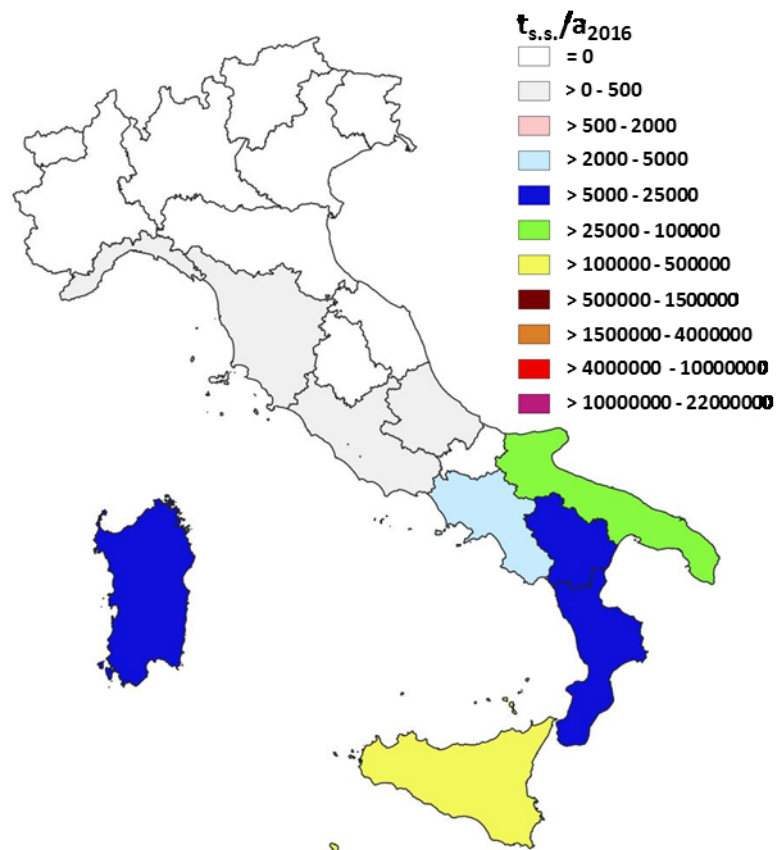


Figura 2.1.4: Massima disponibilità potenziale di pastazzo ($t_{s.s./a_{2016}}$).

REGIONI	PASTAZZO (t.s.s./anno ₂₀₁₆)
ABRUZZO	10
BASILICATA	13583
CALABRIA	111840
CAMPANIA	3766
EMILIA ROMAGNA	0
FRIULI VENEZIA GIULIA	0
LAZIO	300
LIGURIA	43
LOMBARDIA	0
MARCHE	0
MOLISE	0
PIEMONTE	0
PUGLIA	29634
SARDEGNA	10899
SICILIA	137095
TOSCANA	34
TRENTINO ALTO ADIGE	0
UMBRIA	0
VALLE D'AOSTA	0
VENETO	0
TOTALE ITALIA	307204

Tabella 2.1.4: Massima disponibilità potenziale di pastazzo, 2016.

Il pastazzo di agrumi è anche oggetto di interesse per lo sviluppo di innovativi processi industriali volti alla produzione di intermedi chimici per bioplastiche, biocarburanti

attraverso la fermentazione degli zuccheri e più di recente anche tessuti (i. e. Orangefiber) .

2.1.5 Residui dell'industria olearia

La massima disponibilità potenziale della sansa è stata calcolata mediante l'equazione 1 considerando i dati ISTAT del 2016 di produzione di olive da olio. La Figura 2.1.5 e la Tabella 2.1.5 mostrano l'esito dell'analisi con dettaglio regionale.

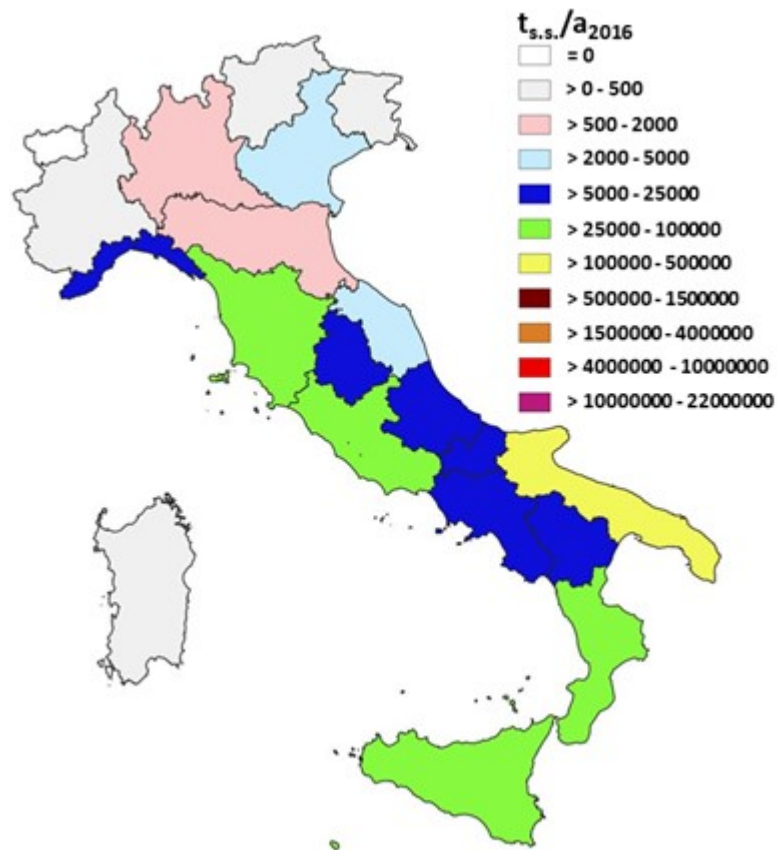


Figura 2.1.5: Massima disponibilità potenziale di sansa ($t_{s.s.}/a_{2016}$).

REGIONI	SANSA (t_{s.s.}/anno₂₀₁₆)
ABRUZZO	21067
BASILICATA	7141
CALABRIA	74042
CAMPANIA	14801
EMILIA ROMAGNA	910
FRIULI VENEZIA GIULIA	270
LAZIO	40656
LIGURIA	6530
LOMBARDIA	1282
MARCHE	4006
MOLISE	22314
PIEMONTE	36
PUGLIA	159599
SARDEGNA	445
SICILIA	55269
TOSCANA	29824
TRENTINO ALTO ADIGE	475
UMBRIA	7684
VALLE D'AOSTA	0
VENETO	3745
TOTALE ITALIA	450096

Tabella 2.5: Massima disponibilità potenziale di sansa, 2016.

La disponibilità di sansa per la produzione di biometano avanzato è limitata, in quanto la sansa ha già quasi un completo utilizzo spesso nell'ambito degli stessi frantoi oleari dove viene prodotta. Infatti molti opifici usano la sansa come combustibile tal quale. In altri casi, il nocciolino viene separato e destinato a combustione diretta o reso in

forma di pellet, mentre le bucce sono impiegate per la produzione di biogas. Inoltre, la sansa tal quale o il digestato sono impiegati come ammendante di buona qualità su terreni agricoli. Le acque di vegetazione prodotte durante la molitura delle olive è altamente tossica, a causa di un'elevata concentrazione di sostanze fenoliche. E' possibile sottoporre queste acque a digestione anaerobica dopo opportuni trattamenti di de-fonolizzazione che in alcuni casi consentono di ottenere molecole del tipo antiossidanti con un potenziale applicativo importante nell'industria nutraceutica.

2.2. Frazione organica dei rifiuti solidi urbani

La massima disponibilità potenziale di frazione organica dei rifiuti solidi urbani (FORSU) è stata definita considerando i dati-studi dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA (Figura 2.2 e Tabella 2.2) [8].

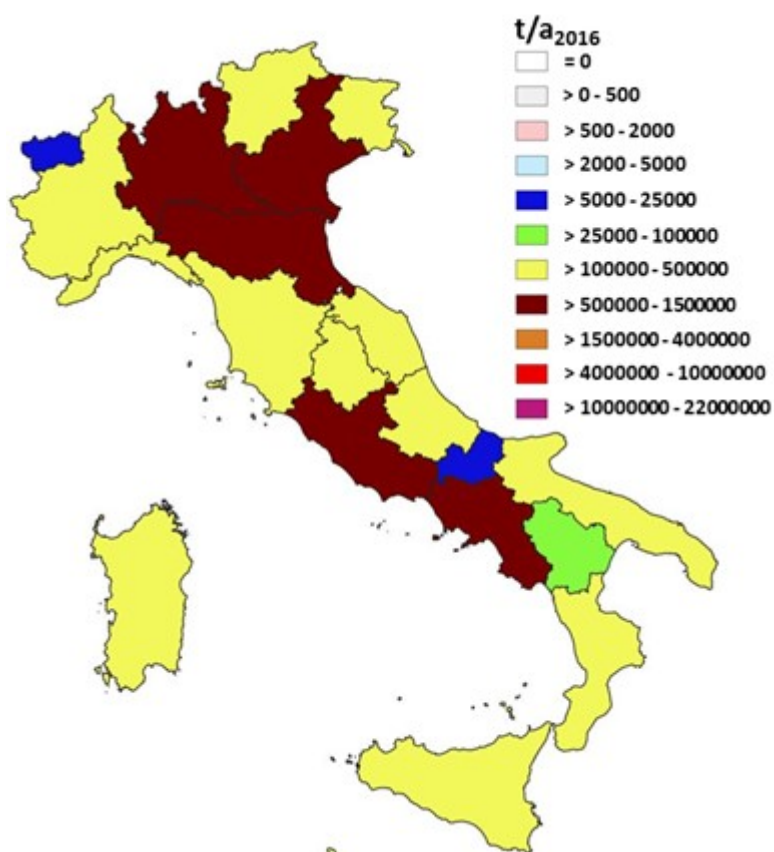


Figura 2.2: Massima disponibilità potenziale di FORSU (t/a₂₀₁₆).

REGIONI	FORSU (t/anno₂₀₁₆)
ABRUZZO	148300
BASILICATA	27000
CALABRIA	107600
CAMPANIA	708100
EMILIA ROMAGNA	712900
FRIULI VENEZIA GIULIA	167700
LAZIO	505900
LIGURIA	114900
LOMBARDIA	1223300
MARCHE	228900
MOLISE	13500
PIEMONTE	407800
PUGLIA	246100
SARDEGNA	214200
SICILIA	141400
TOSCANA	489200
TRENTINO ALTO ADIGE	133600
UMBRIA	118200
VALLE D'AOSTA	12000
VENETO	796200
TOTALE ITALIA	6516800

Tabella 2.2: Massima disponibilità potenziale di FORSU, 2016.

Nel 2019 [9] in Italia erano in funzione 345 impianti per il trattamento dei FORSU con una capacità autorizzata pari a 10,8 milioni di tonnellate all'anno. In particolare, 281 impianti erano dedicati al compostaggio ($3,1 \times 10^6$ tonnellate di FORSU trattati), 41 impianti al trattamento integrato aerobico/anaerobico ($2,9 \times 10^6$ tonnellate di FORSU

trattati) e 23 impianti alla digestione anaerobica (328 x 10³ tonnellate di FORSU trattati).

2.3. Reflui zootecnici

La massima disponibilità potenziale di reflui zootecnici (espressa in tonnellate all'anno, t/a) è rappresentata dal "potenziale fisico" ovvero la quantità totale di deiezioni derivanti dal numero complessivo di capi delle specie più significative (bovini, ovini, caprini, suini e avicoli). In particolare, noto il numero di capi per ciascuna specie con dettaglio regionale (NC) è stata definita la quantità totale annua producibile di deiezioni (QTPD, espresso in tonnellate all'anno t/a) mediante l'impiego dell'equazione 2:

$$QTPD=NC \times ID$$

Equazione 2

dove ID è un indice specifico per ciascuna specie (espresso in tonnellate/capo per anno) disponibile in letteratura, Scarlat et al., 2018 [10].

La Figura 2.3 e la Tabella 2.3 mostrano i risultati ottenuti dall'impiego dell'equazione 2 considerando le principali fonti di dati disponibili per il settore zootecnico che sono l'ISTAT e la Banca Dati Nazionale dell'Anagrafe Zootecnica.

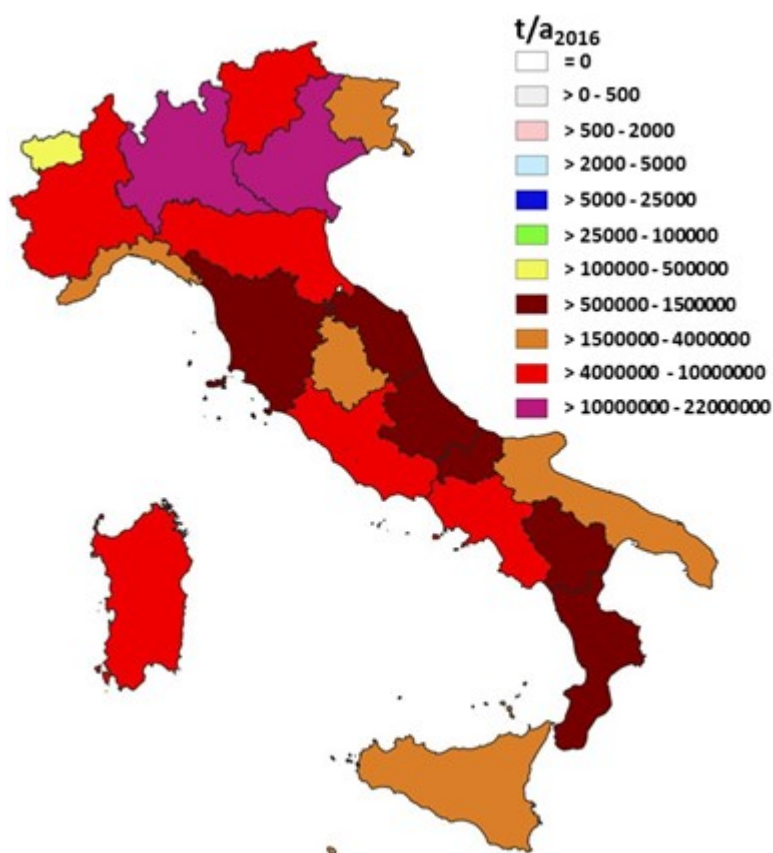


Figura 2.3: Potenziale fisico di reflui zootecnici prodotti da bovini, ovini, caprini, suini e avicoli (t/a₂₀₁₆).

REGIONI	REFLUI ZOOTECNICI (t/anno₂₀₁₆)
ABRUZZO	1199618
BASILICATA	1493201
CALABRIA	1383445
CAMPANIA	4099236
EMILIA ROMAGNA	9847298
FRIULI VENEZIA GIULIA	1537681
LAZIO	5168731
LIGURIA	2033460
LOMBARDIA	21366647
MARCHE	1294508
MOLISE	844584
PIEMONTE	8793992
PUGLIA	2610826
SARDEGNA	4749890
SICILIA	3837688
TOSCANA	1473547
TRENTINO ALTO ADIGE	5825514
UMBRIA	3470319
VALLE D'AOSTA	478927
VENETO	10282588
TOTALE ITALIA	91791700

Tabella 2.3: Massima disponibilità potenziale di reflui zootecnici prodotti da bovini, ovini, caprini, suini e avicoli, 2016.

La stima del “potenziale fisico” non prende in considerazione i numerosi fattori aziendali che contribuiscono a determinare la produzione di deiezioni e quindi la producibilità di biogas/ecc., come ad esempio: il peso vivo, l’indirizzo produttivo (latte/carne/misto), la tecnica di stabulazione, i sistemi di rimozione e stoccaggio delle

deiezioni, la struttura aziendale, etc. Inoltre, per ciascuna specie si dovrebbe prendere in considerazione anche una soglia aziendale minima, ovvero il minimo numero di capi capace di alimentare con continuità un impianto aziendale per la produzione di biogas, o di partecipare alla costituzione di un consorzio. Tutti questi dati, reperibili solo attraverso specifiche indagini aziendali, consentirebbero un'accurata stima del "potenziale condizionato", ovvero calcolato imponendo regole e condizioni di inclusione/esclusione di aziende/specie in virtù delle loro caratteristiche.

2.4. Fanghi da depurazione acque reflue urbane e industriali

La massima disponibilità potenziale di fanghi derivanti da acque reflue urbane ed industriali è stata definita considerando i dati-studi dell'ISPRA [11], (Figura 2.4 e Tabella 2.4).

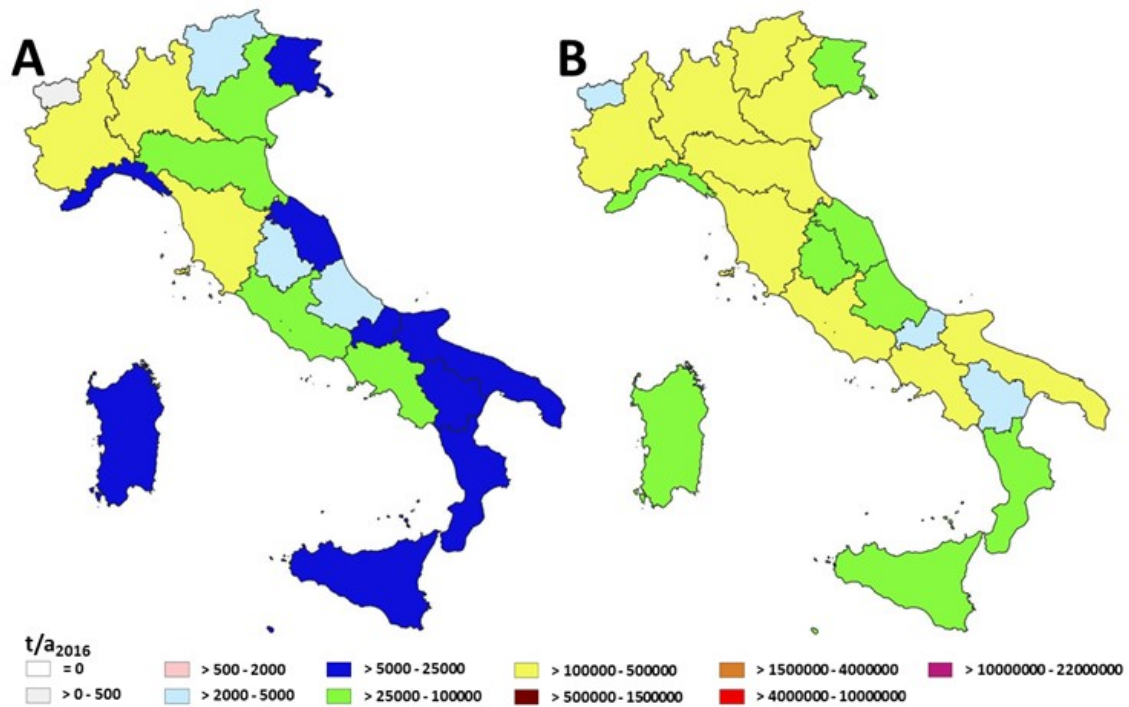


Figura 2.4: Massima disponibilità potenziale di fanghi da depurazione acque reflue industriali (A) ed urbane (B).

REGIONE	Fanghi reflui urbani (t/a₂₀₁₆)	Fanghi reflui industriali non pericolosi (t/a₂₀₁₆)
PIEMONTE	271945	206957
VALLE D'AOSTA	4624	4
LOMBARDIA	452204	111990
TRENTINO ALTO ADIGE	128240	2113
VENETO	359020	86102
FRIULI VENEZIA GIULIA	81634	9477
LIGURIA	43071	14827
EMILIA ROMAGNA	431356	72252
TOSCANA	276453	136464
UMBRIA	52324	3887
MARCHE	77035	13024
LAZIO	304962	43127
ABRUZZO	70357	2029
MOLISE	4712	9655
CAMPANIA	211037	40027
PUGLIA	256754	10073
BASILICATA	4688	6908
CALABRIA	25628	18212
SICILIA	42702	9295
SARDEGNA	85173	9910
TOTALE ITALIA	3183919	806333

Tabella. 2.4: Massima disponibilità potenziale di fanghi prodotti (t/a₂₀₁₆) dal trattamento delle acque reflue urbane ed industriali per regione.

2.5. Siero da latte

Il siero da latte è definito come residuo ottenuto nel corso della produzione del formaggio o della caseina. Nel siero di latte permangono frazioni dei costituenti naturali del latte (in media 4.8% di lattosio, 0.8% di proteina e 0.2% di materie grasse in peso del prodotto) in seguito alla produzione di formaggi. La stima della massima disponibilità potenziale di siero da latte è stata eseguita considerando gli studi condotti dalla CLAL srl, società specializzata nello studio del mercato lattiero caseario italiano [12]. Le percentuali di siero ricavabili dipendono dalla tipologia di latte usato e tipo di formaggio prodotto. Il calcolo della massima disponibilità potenziale di siero da latte (MDSPL espresso in t/a) è stato eseguito mediante l'equazione 3:

$$MDSPL=FP\times C$$

Equazione 3

dove FP è la quantità complessiva di formaggio prodotta in un anno (t/a) mentre C esprime dei coefficienti specifici per il calcolo del siero da latte [13]. La Figura 2.5 e la Tabella 2.5 mostrano i risultati ottenuti con dettaglio regionale.

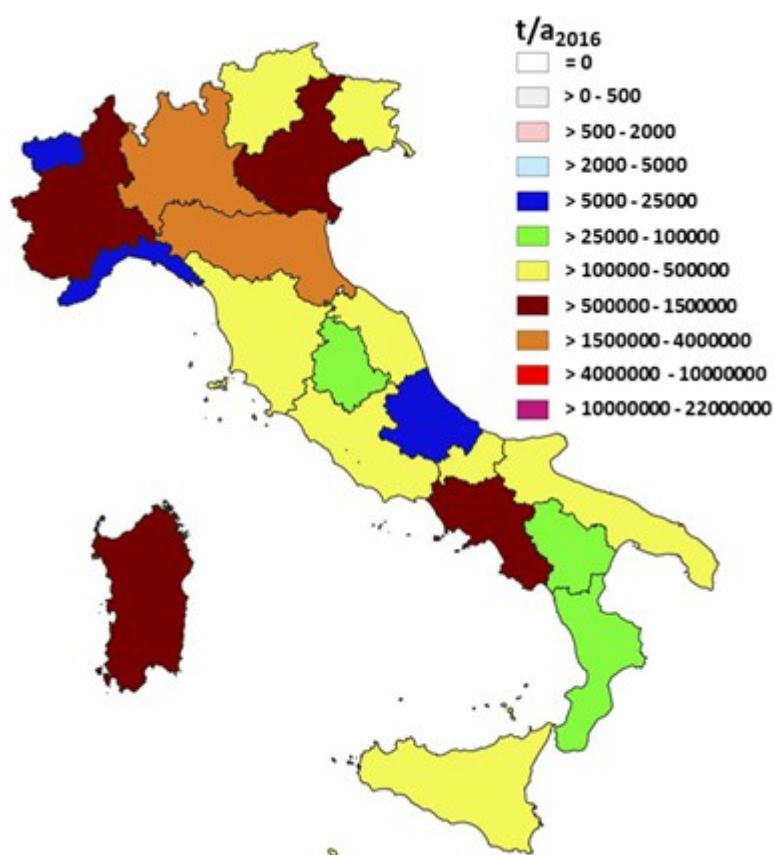


Figura 2.5: Massima disponibilità potenziale di siero da latte (t/a₂₀₁₆).

REGIONI	Formaggio (t/a₂₀₁₆)	Latte (t/a₂₀₁₆)	Siero da latte (t/a₂₀₁₆)
PIEMONTE	96978	866742	736731
VALLE D'AOSTA	2544	23559	20025
LOMBARDIA	808	7745	6583
LIGURIA	444277	4020113	3417096
TRENTINO ALTO ADIGE	42756	359076	305215
VENETO	117179	1126653	957655
FRIULI VENEZIA GIULIA	21210	162995	138546
EMILIA ROMAGNA	176864	1993246	1694259
TOSCANA	28919	265489	225665
UMBRIA	7125	52166	44341
MARCHE	20470	143670	122120
LAZIO	24160	180214	153182
ABRUZZO	3264	26854	22826
MOLISE	21793	148166	125941
CAMPANIA	87107	599853	509875
PUGLIA	51975	363158	308684
BASILICATA	4276	30732	26122
CALABRIA	13584	102073	86762
SICILIA	14004	123932	105342
SARDEGNA	52637	642266	545926
TOTALE ITALIA	1231928	11238701	9552896

Tabella 2.5: Massima disponibilità potenziale di siero da latte (t/a₂₀₁₆) ricavabile da formaggi.

3. Potenziale teorico di biometano avanzato

Il potenziale teorico di biometano avanzato (PTBA, espresso in metri cubi all'anno m^3/a) è stato calcolato mediante l'impiego dell'equazione 4 considerando la massima disponibilità di materie prime incentivate (MDM, si veda capitolo 2):

$$PTBA=MDM \times COEF$$

Equazione 4

dove COEF è un coefficiente di produttività di biometano avanzato (espresso in m^3/t) specifico per ciascuna tipologia di materia prima e deducibile da dati bibliografici.

3.1. Paglie

La valutazione del potenziale teorico di biometano avanzato producibile dalle paglie è stata eseguita mediante l'impiego dell'equazione 4 considerando il lavoro di Dinuccio et al. 2010 [14] per la definizione del coefficiente di produttività per le paglie (COEF = 216 m³ per tonnellata). Data la produzione di paglie del 2016 (15627170 t_{s.s.}/a₂₀₁₆, paragrafo 2.1.1) il potenziale teorico nazionale di produzione di biometano avanzato da paglia è 3374526 x 10³ m³ all'anno. In Figura 3.1 e Tabella 3.1 sono riportati i quantitativi con dettaglio regionale.

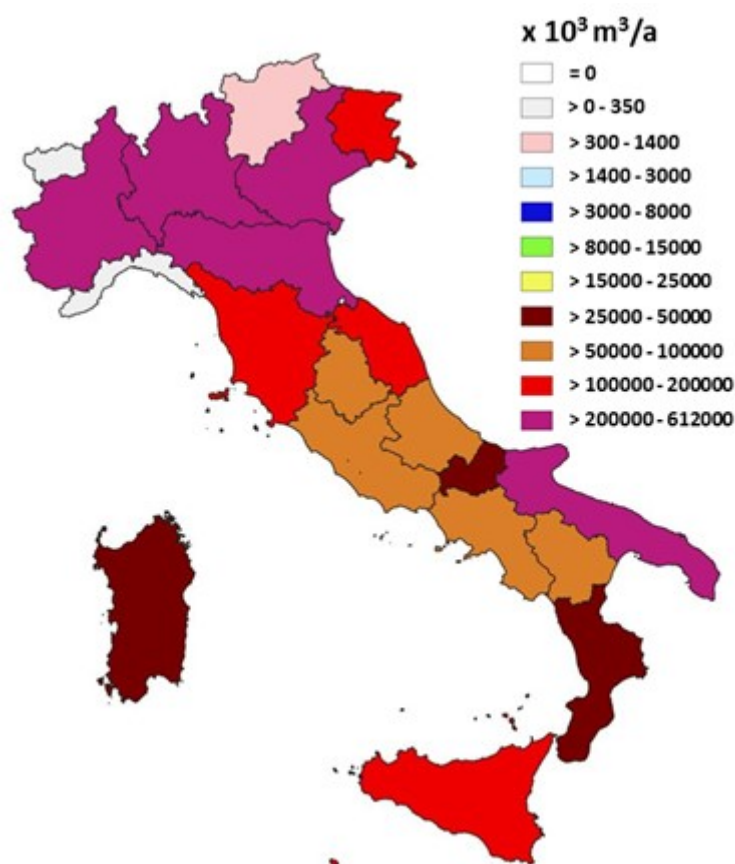


Figura 3.1: Potenziale teorico biometano avanzato producibile da paglia (x 10³ m³ all'anno). Stima basata sulla massima disponibilità 2016.

REGIONI	PAGLIA (t _{s.s.} /anno ₂₀₁₆)	VS (t/anno)	Potenziale teorico biometano avanzato (x 10 ³ m ³ all'anno)
ABRUZZO	239000	225377	51554
BASILICATA	433000	408319	93520
CALABRIA	172000	162196	37270
CAMPANIA	340000	320620	73468
EMILIA ROMAGNA	1701000	1604043	367199
FRIULI VENEZIA GIULIA	731000	689333	157780
LAZIO	386000	363998	83420
LIGURIA	1000	943	272
LOMBARDIA	2838000	2676234	612706
MARCHE	551000	519593	119106
MOLISE	144000	135792	31044
PIEMONTE	2502000	2359386	540353
PUGLIA	1520000	1433360	328206
SARDEGNA	220000	207460	47407
SICILIA	704000	663872	151994
TOSCANA	718000	677074	155043
TRENTINO ALTO ADIGE	2000	1886	454
UMBRIA	313000	295159	67593
VALLE D'AOSTA	170	160	35
VENETO	2112000	1991616	456106
TOTALE ITALIA	15628000	14736421	3374526

Tabella 3.1: Massima disponibilità potenziale di paglie (t_{s.s.}/anno₂₀₁₆), solidi volatili (VS) e potenziale teorico di biometano avanzato producibile da paglie (x10³ m³/a).

3.2. Residui della filiera uva-vino

Le valutazioni del contenuto di sostanze fermentescibili e del potenziale teorico di biometano avanzato producibile delle vinacce (i.e. residuo della spremitura dell'uva per la produzione vinicola) sono state eseguite considerando il lavoro di Dinuccio et al. 2010 [14]. La quantità di solidi volatili è pari al 90,7 % della sostanza secca contenuta nelle vinacce. La produttività di biometano avanzato (COEF) è pari a 0,116 m³ di biometano per kg di solidi volatili. Sulla base della massima disponibilità potenziale di vinacce definita per l'anno 2016 (789098 t_{s.s.}/a₂₀₁₆, paragrafo 2.1.2), è stato calcolato mediante l'equazione 4 il potenziale teorico nazionale di produzione di biometano avanzato da vinaccia che risulta essere pari a 83023 x 10³ m³ all'anno. In Figura 3.2 e Tabella 3.2 sono riportati i quantitativi con dettaglio regionale.

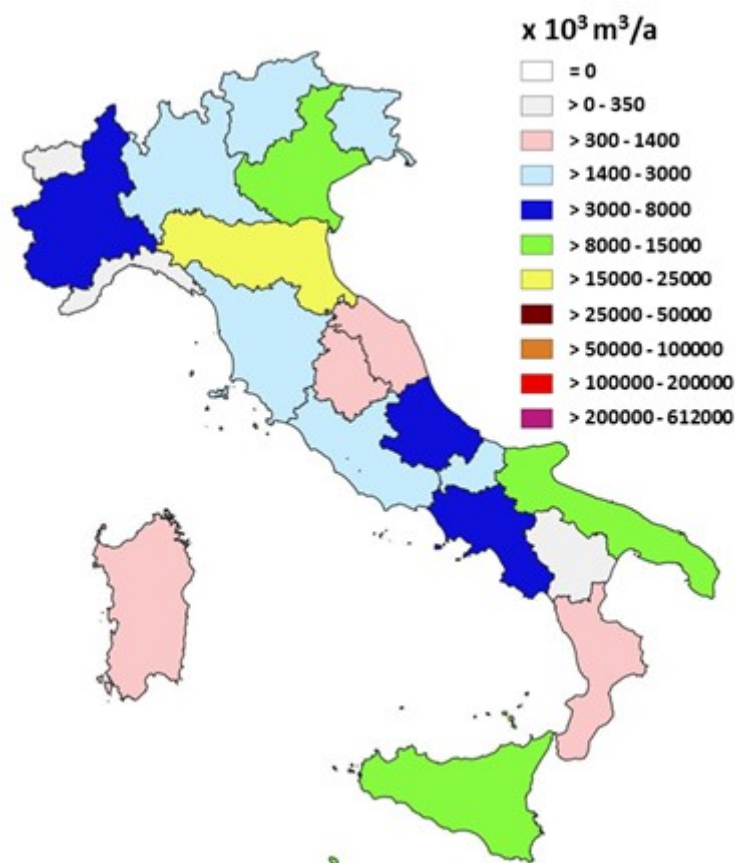


Figura 3.2: Potenziale teorico di biometano avanzato producibile da vinaccia (x 10³ m³ all'anno). Stima basata sulla massima disponibilità 2016.

REGIONI	VINACCIA (t _{s.s.} /anno ₂₀₁₆)	VS (t/anno)	Potenziale biometano (x 10 ³ m ³ all'anno)
ABRUZZO	31393	28474	3303
BASILICATA	1534	1391	161
CALABRIA	4755	4313	500
CAMPANIA	59057	53565	6214
EMILIA ROMAGNA	176436	160028	18563
FRIULI VENEZIA GIULIA	18957	17194	1995
LAZIO	15869	14393	1670
LIGURIA	1088	987	115
LOMBARDIA	22251	20182	2341
MARCHE	10175	9229	1071
MOLISE	16786	15225	1766
PIEMONTE	39246	35596	4129
PUGLIA	137927	125100	14512
SARDEGNA	6948	6302	731
SICILIA	103267	93663	10865
TOSCANA	27751	25170	2920
TRENTINO ALTO ADIGE	16595	15052	1746
UMBRIA	6874	6235	723
VALLE D'AOSTA	253	230	27
VENETO	91936	83386	9673
TOTALE ITALIA	789098	715712	83023

Tabella 3.2: Massima disponibilità potenziale di vinaccia (t_{s.s.}/anno₂₀₁₆), solidi votali (VS) e potenziale teorico di biometano avanzato producibile da vinaccia (x 10³ m³ all'anno).

3.3. Residui industria pomodoro

Le valutazioni del contenuto di sostanza secca dei residui dell'industria di trattamento del pomodoro (i.e. buccia di pomodoro) e del relativo potenziale teorico di biometano avanzato sono state eseguite considerando il lavoro di Dinuccio et al. 2010 [14]. In particolare, la quantità di solidi volatili è pari al 97,8 % della sostanza secca contenuta nel residuo, mentre la produttività potenziale è di 0,218 m³ di biometano avanzato per kg di solidi volatili. Sulla base del dato 2016 di massima disponibilità potenziale di buccia di pomodoro (50408 t_{s.s./a}₂₀₁₆, paragrafo 2.1.3) il potenziale teorico nazionale di biometano producibile dai residui dell'industria del pomodoro è 10747 x 10³ m³ all'anno. In Figura 3.3 e Tabella 3.3 sono riportati i quantitativi con dettaglio regionale.

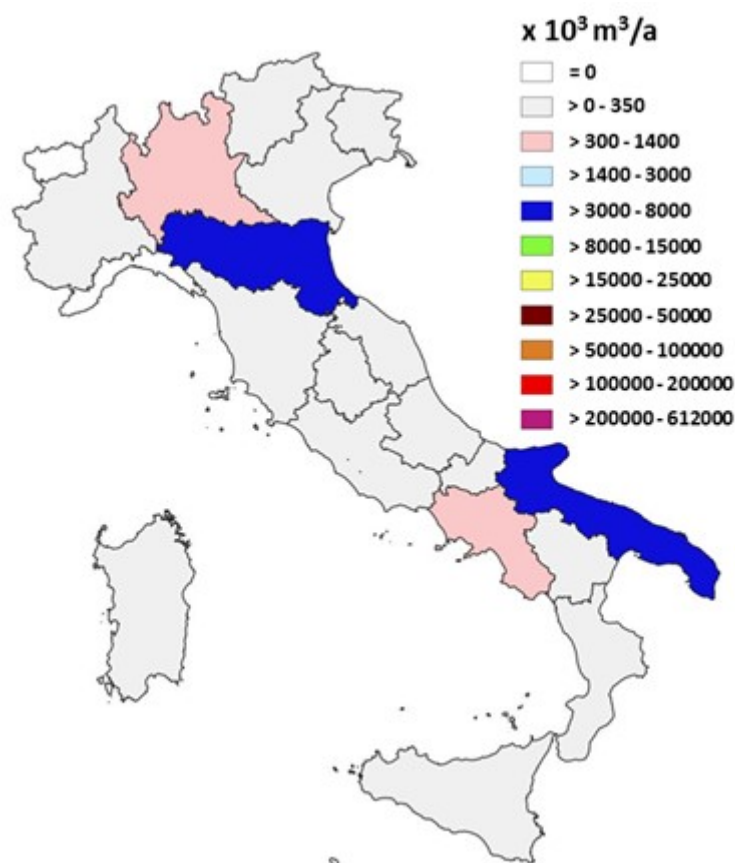


Figura 3.3: Potenziale teorico di biometano avanzato producibile dalla buccia di pomodoro (x 10³ m³ all'anno). Stima basata sulla massima disponibilità 2016.

REGIONI	BUCCIA DI POMODORO (t_{s.s.}/anno₂₀₁₆)	VS (t/anno)	Potenziale biometano (x 10³ m³ all'anno)
ABRUZZO	478	468	102
BASILICATA	1146	1121	244
CALABRIA	1124	1099	240
CAMPANIA	2389	2336	509
EMILIA ROMAGNA	18141	17742	3868
FRIULI VENEZIA GIULIA	1	1	0
LAZIO	847	828	181
LIGURIA	0	0	0
LOMBARDIA	4849	4742	1034
MARCHE	9	9	2
MOLISE	324	317	69
PIEMONTE	575	562	123
PUGLIA	17168	16790	3660
SARDEGNA	257	251	55
SICILIA	610	597	130
TOSCANA	1239	1212	264
TRENTINO ALTO ADIGE	1	1	0
UMBRIA	131	128	28
VALLE D'AOSTA	0	0	0
VENETO	1119	1094	239
TOTALE ITALIA	50408	49299	10747

Tabella 3.3: Massima disponibilità potenziale di buccia di pomodoro (t_{s.s.}/anno₂₀₁₆), solidi volati (VS) e relativo potenziale teorico di biometano avanzato (x 10³ m³ all'anno).

REGIONI	PASTAZZO (t _{s,s} /anno ₂₀₁₆)	Potenziale biometano (x 10 ³ m ³ all'anno)
ABRUZZO	10	4
BASILICATA	13583	5757
CALABRIA	111840	47399
CAMPANIA	3766	1596
EMILIA ROMAGNA	0	0
FRIULI VENEZIA GIULIA	0	0
LAZIO	300	127
LIGURIA	43	18
LOMBARDIA	0	0
MARCHE	0	0
MOLISE	0	0
PIEMONTE	0	0
PUGLIA	29634	12559
SARDEGNA	10899	4619
SICILIA	137095	58102
TOSCANA	34	14
TRENTINO-ALTO ADIGE	0	0
UMBRIA	0	0
VALLE D'AOSTA	0	0
VENETO	0	0
TOTALE ITALIA	307204	130195

Tabella 3.4: Massima disponibilità potenziale di pastazzo (t_{s,s}/anno₂₀₁₆) e potenziale teorico di biometano avanzato producibile (x 10³ m³ all'anno).

3.5. Residui dell'industria olearia

La stima del potenziale teorico di biometano avanzato producibile da residui dell'industria olearia è stata eseguita considerando lo studio di Valenti et al. 2017b [16]. In particolare, la produttività è pari a 0,0893 m³ di biometano avanzato per kg di sansa, pertanto sulla base della stima di massima disponibilità di sansa per l'anno 2016 (450096 t_{s.s.}/a₂₀₁₆, paragrafo 2.1.5) è stato possibile definire il potenziale teorico nazionale di biometano avanzato producibile da sansa ovvero 40194 x 10³ m³ all'anno. La Figura 3.5 e la Tabella 3.5 mostrano i risultati ottenuti con dettaglio regionale.

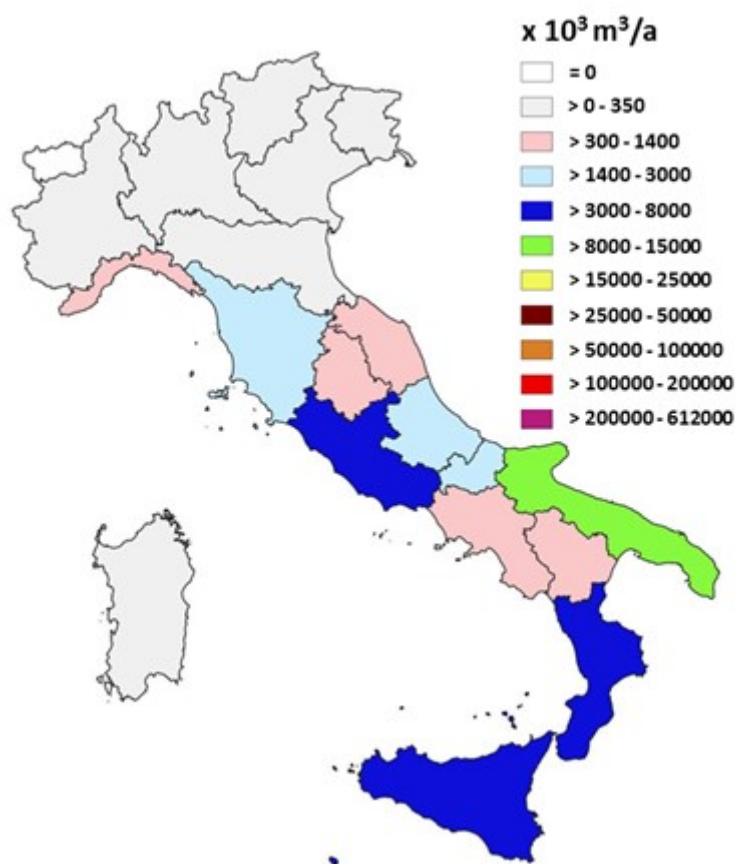


Figura 3.5: Potenziale teorico di biometano avanzato producibile da sansa (x 10³ m³ all'anno). Stima basata sulla massima disponibilità 2016.

REGIONI	SANSA (t _{s,s} /anno ₂₀₁₆)	Potenziale biometano (x 10 ³ m ³)
ABRUZZO	21067	1881
BASILICATA	7141	638
CALABRIA	74042	6612
CAMPANIA	14801	1322
EMILIA ROMAGNA	910	81
FRIULI VENEZIA GIULIA	270	24
LAZIO	40656	3631
LIGURIA	6530	583
LOMBARDIA	1282	115
MARCHE	4006	358
MOLISE	22314	1993
PIEMONTE	36	3
PUGLIA	159599	14252
SARDEGNA	445	40
SICILIA	55269	4936
TOSCANA	29824	2663
TRENTINO ALTO ADIGE	475	42
UMBRIA	7684	686
VALLE D'AOSTA	0	0
VENETO	3745	334
TOTALE ITALIA	450096	40194

Tabella 3.5: Massima disponibilità potenziale di sansa (t_{s,s}/anno₂₀₁₆) e potenziale teorico di biometano avanzato producibile per regione (x 10³ m³ all'anno).

3.6. Frazione organica dei rifiuti solidi urbani

La quantità di sostanza secca contenuta nei rifiuti organici è pari al 23,7 %, di cui il 91.56 % è composta da solidi volatili. La produttività è 0,438 m³ di biometano avanzato per kg di solidi volatili (Commissione Europea allegati alla REDII [17]), pertanto il potenziale teorico nazionale calcolato in riferimento al dato di massima disponibilità potenziale di FORSU per l'anno 2016 (6516800 t/a₂₀₁₆, paragrafo 2.2) è pari a 619402500 m³ di biometano avanzato all'anno. La Figura 3.6 e Tabella 3.6 mostrano l'esito dell'analisi con dettaglio regionale.

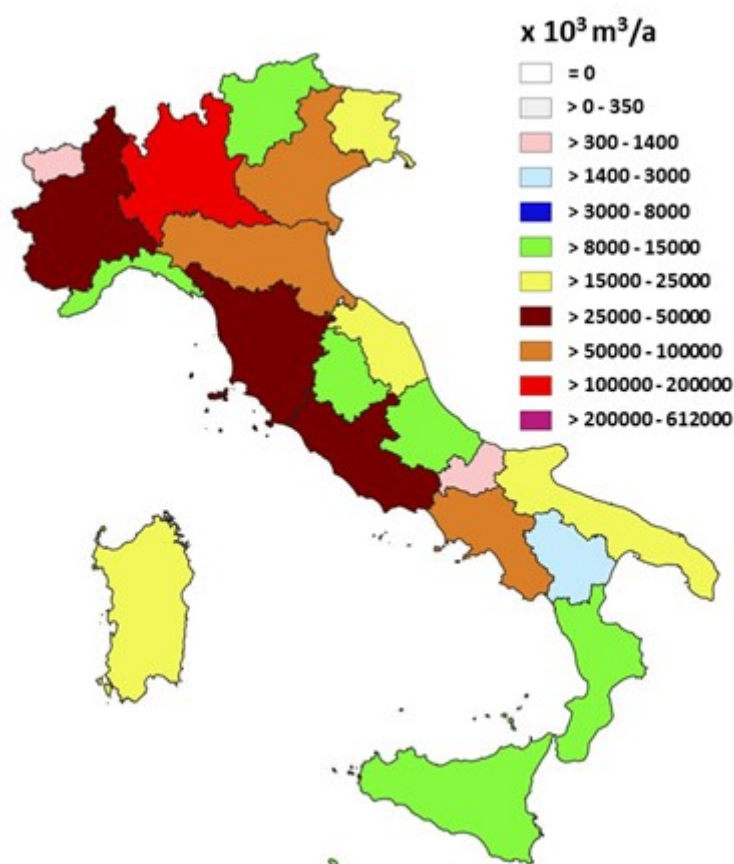


Figura 3.6: Potenziale teorico di biometano avanzato producibile da FORSU (x 10³ m³ all'anno). Stima basata sulla massima disponibilità 2016.

REGIONI	RIFIUTI ORGANICI (t/anno₂₀₁₆)	SS (t/anno)	VS (t/anno)	Potenziale biometano (x 10³ m³)
ABRUZZO	148330	35154	32188	14098
BASILICATA	27040	6408	5868	2570
CALABRIA	107620	25506	23354	10229
CAMPANIA	708100	167820	153658	67302
EMILIA ROMAGNA	712930	168964	154706	67761
FRIULI VENEZIA GIULIA	167720	39750	36395	15941
LAZIO	505860	119889	109772	48080
LIGURIA	114930	27238	24940	10924
LOMBARDIA	1223250	289910	265445	116265
MARCHE	228870	54242	49665	21753
MOLISE	13510	3202	2932	1284
PIEMONTE	407790	96646	88490	38759
PUGLIA	246140	58335	53412	23395
SARDEGNA	214210	50768	46484	20360
SICILIA	141360	33502	30675	13436
TOSCANA	489190	115938	106154	46496
TRENTINO ALTO ADIGE	133550	31651	28980	12693
UMBRIA	118230	28021	25656	11237
VALLE D'AOSTA	12020	2849	2608	1143
VENETO	796220	188704	172780	75678
TOTALE ITALIA	6516870	1544498	1414161	619403

Tabella 3.6: Massima disponibilità potenziale di FORSU (t/anno₂₀₁₆) e potenziale teorico di biometano avanzato producibile per regione (x 10³ m³ all'anno).

3.7. Reflui zootecnici

Il potenziale teorico di biometano avanzato da reflui zootecnici è stato calcolato considerando la massima disponibilità potenziale di reflui zootecnici (i.e. il “potenziale fisico” definito al paragrafo 2.3, ovvero la quantità totale di deiezioni derivanti dal numero complessivo di capi delle specie più significative come: bovini, ovini, caprini, suini e avicoli) e specifici coefficienti di produttività [10] che esprimono la quantità di biometano avanzato ottenibile dalle diverse tipologie di deiezioni animali (Tabella 3.7).

	SS %	SV/SS %	Potenziale Biometano m ³ CH ₄ /tVS	Potenziale biometano liquame tal quale m ³ CH ₄ /t fresh
Bovini	8,5	80	200	13,6
Bovini da latte	8,5	80	230	15,6
Suini	6,0	80	300	14,4
Ovini/Caprini	30,0	80	200	48,0
Pollame	20,0	80	320	51,2

Tabella 3.7: Coefficienti di produttività utilizzati per ricavare il potenziale teorico di biometano avanzato a partire dalla massima disponibilità potenziale di reflui zootecnici [10].

La Figura 3.7 e la Tabella 3.8 mostrano potenziale teorico regionale di biometano avanzato producibile dai reflui zootecnici. Il totale per l'Italia risulta essere pari a $1603647 \times 10^3 \text{ m}^3$ all'anno.

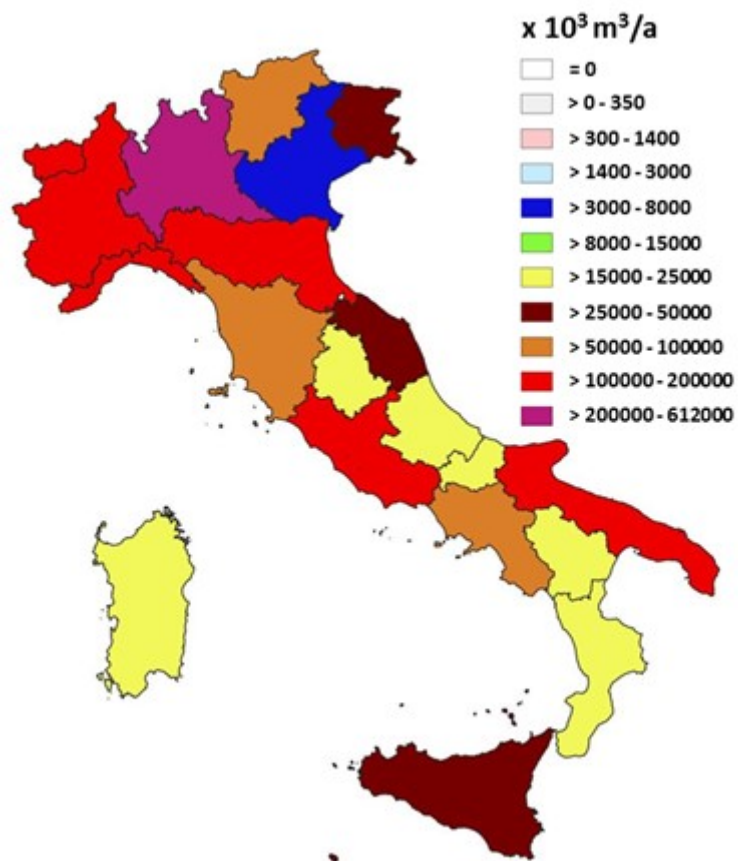


Figura 3.7: Potenziale teorico di biometano avanzato producibile da reflui zootecnici (x 10³ m³ all'anno). Stima basata sulla massima disponibilità 2016.

Potenziale teorico di biometano avanzato (x 10 ⁶ m ³)						
REGIONI	Bovini	Suini	Ovini	Caprini	Pollame	Totale
ABRUZZO	9,2	4,0	2,8	0,2	4,5	20,7
BASILICATA	12,3	3,0	3,4	0,9	5,4	24,8
CALABRIA	11,5	4,2	2,5	1,4	0,7	20,3
CAMPANIA	42,3	4,5	2,3	0,5	11,7	61,2
EMILIA ROMAGNA	83,6	53,8	0,8	0,1	18,3	156,6
FRIULI VENEZIA GIULIA	13,0	7,4	0,1	0,0	5,7	26,2
LAZIO	32,9	2,8	7,3	0,4	100,9	144,3
LIGURIA	1,6	0,1	0,2	0,1	101,3	103,3
LOMBARDIA	179,7	135,9	0,9	0,7	0,4	317,7
MARCHE	8,1	5,9	1,5	0,1	14,1	29,6
MOLISE	6,6	1,6	1,2	0,1	8,1	17,6
PIEMONTE	86,1	33,2	0,9	0,5	0	120,8
PUGLIA	32,8	0,7	0,6	0,2	162,4	196,8
SARDEGNA	26,4	1,2	2,4	0,4	10,6	41,0
SICILIA	26,8	9,1	33,2	2,2	7,1	78,4
TOSCANA	36,7	1,4	7,6	1,3	11,7	58,8
TRENTINO ALTO ADIGE	10,0	6,2	5,2	0,1	3,2	24,7
UMBRIA	5,7	7,7	1,7	0,1	137,4	152,5
VALLE D'AOSTA	5,6	0,0	0,0	0,0	0,2	6,0
VENETO	89,1	22,5	0,4	0,1	97,0	209,0
TOTALE ITALIA	721,5	306,0	75,6	9,6	490,8	1603,6

Tabella 3.8: Potenziale teorico di biometano avanzato (x 10⁶ m³ all'anno) producibile dalle deiezioni derivanti delle specie più significative, quali: bovini, ovini, caprini, suini e avicoli.

3.8. Fanghi da depurazione delle acque reflue urbane e industriali

La stima del potenziale teorico di biometano avanzato da fanghi di depurazione è stata eseguita considerando IEA Bioenergy [18]. I fanghi di depurazione industriali non pericolosi sono equiparati a quelli urbani. Il contenuto di solidi e solidi volatili dei fanghi di depurazione è molto incerto e variabile. Si è assunto che i fanghi ispessiti abbiano un contenuto di solidi pari a circa il 5%, dei quali il 70% sono solidi volatili. La produzione di biogas è di 0,475 m³ per kg di solidi volatili con una concentrazione di biometano avanzato del 65%. Sulla base della massima disponibilità potenziale di fanghi da depurazione delle acque reflue urbane e industriali (3990252 t/a₂₀₁₆, paragrafo 2.4), è stato stimato il potenziale teorico che a scala nazionale risulta essere pari a 43162 x 10³ m³ di biometano avanzato all'anno (34406 e 8756 x 10³ m³ all'anno da fanghi urbani ed industriali, rispettivamente). La Figura 3.8 e la Tabella 3.9 mostrano gli esiti dell'analisi con dettaglio regionale.

REGIONE	Biometano Avanzato da Fanghi Depurazione Urbani (x 10³ m³ all'anno)	Biometano Avanzato da Fanghi Depurazione Industriali (x 10³ m³ all'anno)
ABRUZZO	760	22
BASILICATA	51	75
CALABRIA	277	197
CAMPANIA	2281	433
EMILIA ROMAGNA	4661	781
FRIULI VENEZIA GIULIA	882	102
LAZIO	3296	466
LIGURIA	465	160
LOMBARDIA	4887	1210
MARCHE	833	141
MOLISE	51	104
PIEMONTE	2939	2236
PUGLIA	2775	109
SARDEGNA	920	107
SICILIA	461	100
TOSCANA	2987	1475
TRENTINO ALTO ADIGE	1386	23
UMBRIA	565	42
VALLE D'AOSTA	50	43
VENETO	3880	930
TOTALE ITALIA	34406	8756

Tabella 3.9: Potenziale teorico di biometano avanzato (x 10 m³ all'anno) producibile dai fanghi di depurazione urbana e industriali. Stima basata sulla massima disponibilità 2016.

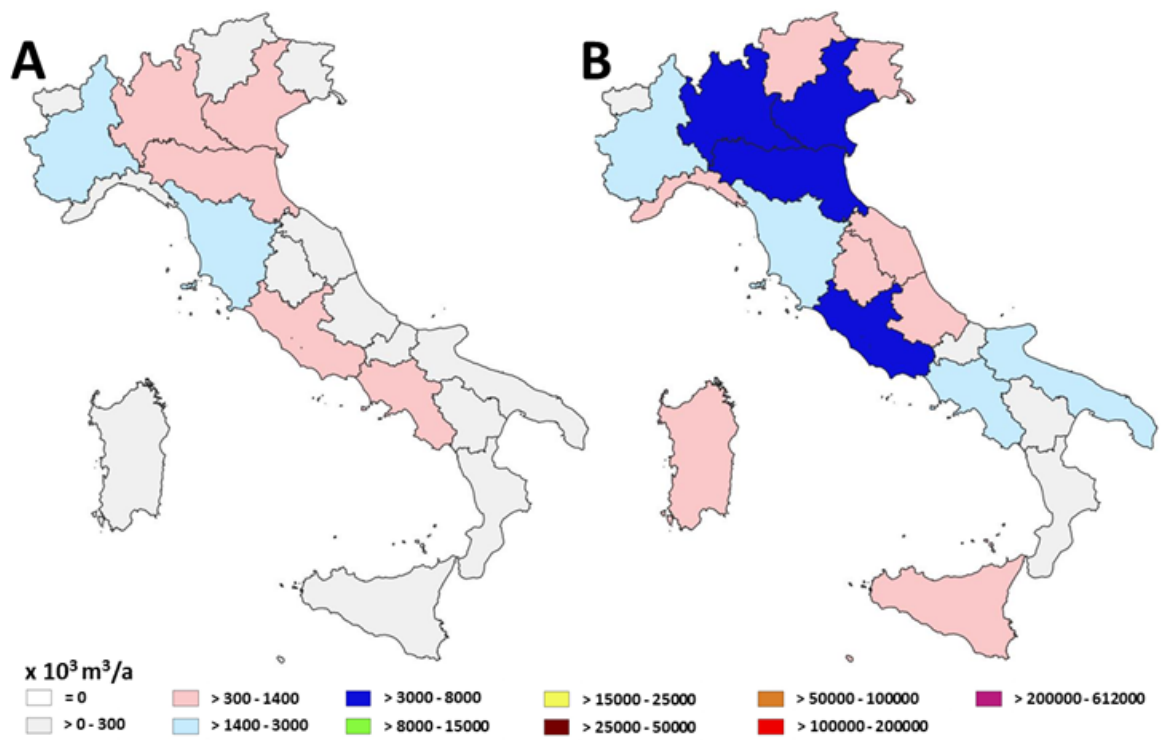


Figura 3.8: Potenziale teorico di biometano avanzato ($\times 10^3 \text{ m}^3$ all'anno) producibile dai fanghi di depurazione industriali (A) ed urbani (B).

3.9. Siero da latte

La stima del potenziale teorico di biometano avanzato da siero da latte è stata eseguita considerando il lavoro di Dinuccio et al., 2010 [14]. In particolare, è stata considerata una produzione pari a 31 m³ di biometano avanzato per tonnellata di siero da latte tale quale, pertanto in riferimento al dato di massima disponibilità di siero da latte definito per l'anno 2016 (9552896 t/a₂₀₁₆, paragrafo 2.5) è stato possibile stimare un potenziale teorico nazionale di circa 296140 x 10³ m³ all'anno di biometano avanzato da siero da latte.

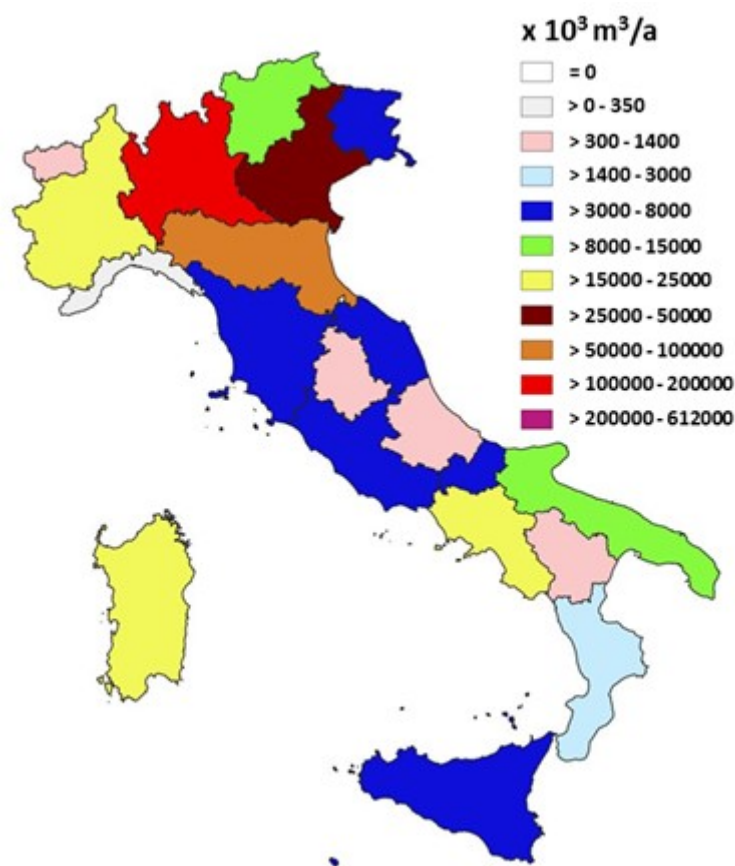


Figura 3.9: Potenziale teorico di biometano avanzato da siero da latte (x 10³ m³ all'anno). Stima basata sulla massima disponibilità 2016.

REGIONI	Siero da latte (t/anno₂₀₁₆)	Potenziale teorico biometano avanzato (x 10³ m³ all'anno)
ABRUZZO	22826	708
BASILICATA	26122	810
CALABRIA	86762	2690
CAMPANIA	509875	15806
EMILIA ROMAGNA	1694259	52522
FRIULI VENEZIA GIULIA	138546	4295
LAZIO	153182	4749
LIGURIA	6583	204
LOMBARDIA	3417096	105930
MARCHE	122120	3786
MOLISE	125941	3904
PIEMONTE	736731	22839
PUGLIA	308684	9569
SARDEGNA	545926	16924
SICILIA	105342	3266
TOSCANA	225665	6996
TRENTINO ALTO ADIGE	305215	9462
UMBRIA	44341	1375
VALLE D'AOSTA	20025	621
VENETO	957655	29687
TOTALE ITALIA	9552896	296140

Tabella 3.10: Massima disponibilità potenziale di siero da latte (t/anno₂₀₁₆) e potenziale teorico di biometano avanzato producibile per regione (x 10³ m³ all'anno).

4. Risultati e conclusioni

Le stime con dettaglio regionale del potenziale teorico di biometano avanzato e delle massime disponibilità potenziali di materie prime incentivate (i.e. tutte le biomasse residuali fermentabili che meglio si prestano alla produzione di biometano avanzato mediante processo di digestione anaerobica) sono riportate in Tabella 4.1. Va ribadito che il potenziale teorico (espresso in metri cubi all'anno, m^3/a) esprime la massima quantità di biometano avanzato potenzialmente producibile in un determinato territorio deducibile da analisi che non comprendono alcuna valutazione di carattere ambientale, economica, sociale, possibili usi alternativi-concorrenti-competitivi delle materie prime, limitazioni tecnologiche, etc.. La stima del potenziale teorico comprende pertanto anche la quota di materie prime già impiegata in altre filiere, come ad esempio quella del biogas (e.g. reflui zootecnici, fanghi da depurazione delle acque reflue urbane ed industriali e FORSU) che attualmente è destinata prevalentemente alla produzione di energia elettrica. In particolare, in Italia nel 2019 risultano operativi circa 2177 impianti a biogas con una potenza installata pari a 1455 MW ed una produzione annua di energia elettrica di 2876 GWh. Le recenti normative unite alle nuove forme di incentivi ed alla necessità di accelerare la decarbonizzazione del settore trasporti potrebbero trovare un contributo positivo dalla conversione degli attuali impianti a biogas (settore elettrico) in impianti per la produzione di biometano (settore trasporti). In particolare, il biogas attualmente destinato alla produzione di energia elettrica è pari a $1310 \times 10^6 m^3$ all'anno. Tale biogas potrebbe essere convertito (mediante processo di upgrading) in $788 \times 10^6 m^3$ all'anno di biometano e $525 \times 10^6 m^3$ all'anno di biossido di carbonio il quale a sua volta unito a idrogeno (preferibilmente verde), mediante processo di metanazione, potrebbe fornire aggiuntivi quantitativi di biometano ($525 \times 10^6 m^3$ all'anno).

Le altre materie prime come le paglie di cereali hanno invece un uso attuale in agricoltura, zootecnia, etc. e solo il 40% circa può essere impiegato per usi energetici [7]. L'utilizzo di materie prime a composizione lignocellulosica per la produzione di biogas/biometano richiede l'impiego di tecnologie di pretrattamento finalizzate ad agevolare i processi di digestione. Insieme al tipo di pretrattamento, anche la codigestione è un fattore che influenza la resa di biogas. Alcune tecnologie di pretrattamento che utilizzano biomasse lignocellulosiche come materia prima per la produzione di biometano sono già a disposizione. In Italia, la società BTS ha

sviluppati sistemi di pretrattamento (BIOaccelerator) basati su estrusione, compressione, pressatura, impatto o temperatura, in grado di aumentare la resa del biogas fino al 35%. Simulazioni più complesse potranno essere sviluppate considerando alimentazioni a bocca di impianto di diversa natura disponibili in filiere territoriali. Un uso limitato per la produzione di biometano avanzato è previsto anche per la sansa, in quanto ha già quasi un completo utilizzo spesso nell'ambito degli stessi frantoi oleari dove viene prodotta. Infatti, molti opifici usano la sansa come combustibile tal quale. In altri casi, il nocciolino viene separato e destinato a combustione diretta o reso in forma di pellet, mentre le bucce sono impiegate per la produzione di biogas. Inoltre, la sansa tal quale o il digestato sono impiegati come ammendante di buona qualità su terreni agricoli. Limiti di impiego per la produzione di biometano avanzato vi sono anche per le vinacce, in quanto hanno già un utilizzo nelle distillerie per la produzione di grappe e per l'estrazione di olio di vinaccioli. Anche le bucce di pomodoro "fermentabili" ed il pastazzo di agrumi presentano dei potenziali usi competitivi, in quanto sono oggetto di interesse per lo sviluppo di innovativi processi industriali volti alla produzione di intermedi chimici da sintetizzare per esempio a bioplastiche. In sintesi, considerando i dati di massima disponibilità potenziale di materie prime nel 2016 (capitolo 2) (vedi Figura 4.1, e Tabella 4.1) è stato stimato il potenziale teorico nazionale di biometano avanzato pari a $6,2 \times 10^9 \text{ m}^3$ all'anno, ovvero un valore dello stesso ordine di grandezza della produzione in Italia di gas naturale di origine fossile (i.e. $6,0 \times 10^9 \text{ m}^3$ nell'anno 2016, MISE [19]) che è pari a circa l'8,3 % dei consumi totali del 2016 (i.e. $70,9 \times 10^9 \text{ m}^3$, [19]). Rispetto ai quantitativi di biometano avanzato immessi al consumo nel 2020 (circa $0,1 \times 10^9 \text{ m}^3$, ovvero pari a 82 ktep [20]), le nostre analisi pur essendo limitate alla sola stima del potenziale teorico (che per definizione rappresenta un valore massimo teorico in quanto non comprende alcuna valutazione di carattere ambientale, economica, sociale, possibili usi alternativi-concorrenti-competitivi delle materie prime, limitazioni tecnologiche, etc.) mettono in evidenza ampi margini di crescita del biometano avanzato nel contesto nazionale, soprattutto nel settore dei trasporti.

POTENZIALE BIOMETANO PRODUCIBILE (x 10 ³ m ³ all'anno)											
REGIONE	FORSU	Fanghi Depurazione Urbani	Fanghi Depurazione Industriali	Paglia	Bucce di Pomodoro	Pastazzo	Sansa	Vinaccia	Siero di Latte	Liquami Zootecnici	Totale
ABRUZZO	14098	760	22	51554	102	4	1881	3303	708	20673	93105
BASILICATA	2570	51	75	93520	244	5757	638	161	810	24843	128668
CALABRIA	10229	277	197	37270	240	47399	6612	500	2690	20343	125756
CAMPANIA	67302	2281	433	73468	509	1596	1322	6214	15806	61204	230134
EMILIA ROMAGNA	67761	4661	781	367199	3868	0	81	18563	52522	156605	672041
FRIULI VENEZIA GIULIA	15941	882	102	157780	0	0	24	1995	4295	26200	207219
LAZIO	48080	3296	466	83420	181	127	3631	1670	4749	144322	289941
LIGURIA	10924	465	160	272	0	18	583	115	204	103333	116075
LOMBARDIA	116265	4887	1210	612706	1034	0	115	2341	105930	317687	1162174
MARCHE	21753	833	141	119106	2	0	358	1071	3786	29649	176697
MOLISE	1284	51	104	31044	69	0	1993	1766	3904	17588	57803
PIEMONTE	38759	2939	2236	540353	123	0	3	4129	22839	120770	732151
PUGLIA	23395	2775	109	328206	3660	12559	14252	14512	9569	173733	582769
SARDEGNA	20360	920	107	47407	55	4619	40	731	16924	23095	114257
SICILIA	13436	461	100	151994	130	58102	4936	10865	3266	41049	284339
TOSCANA	46496	2987	1475	155043	264	14	2663	2920	6996	78359	297217

POTENZIALE BIOMETANO PRODUCIBILE (x 10 ³ m ³ all'anno)											
REGIONE	FORSU	Fanghi Depurazione Urbani	Fanghi Depurazione Industriali	Paglia	Bucce di Pomodoro	Pastazzo	Sansa	Vinaccia	Siero di Latte	Liquami Zootecnici	Totale
TRENTINO ALTO ADIGE	12693	1386	23	454	0	0	42	1746	9462	58776	84582
UMBRIA	11237	565	42	67593	28	0	686	723	1375	24652	106901
VALLE D'AOSTA	1143	50	43	35	0	0	0	27	621	152527	154444
VENETO	75678	3880	930	456106	239	0	334	9673	29687	5978	582504
TOTALE ITALIA	619403	34406	8756	3374526	10747	130195	40194	83023	296140	1601384	6198774

Tabella 4.1: Potenziale teorico di biometano avanzato (x 10³ m³ all'anno) distinto per le diverse materie prime con dettaglio regionale.

POTENZIALE TEORICO NAZIONALE 6,2 X 10⁹ m³ all'anno BIOMETANO AVANZATO

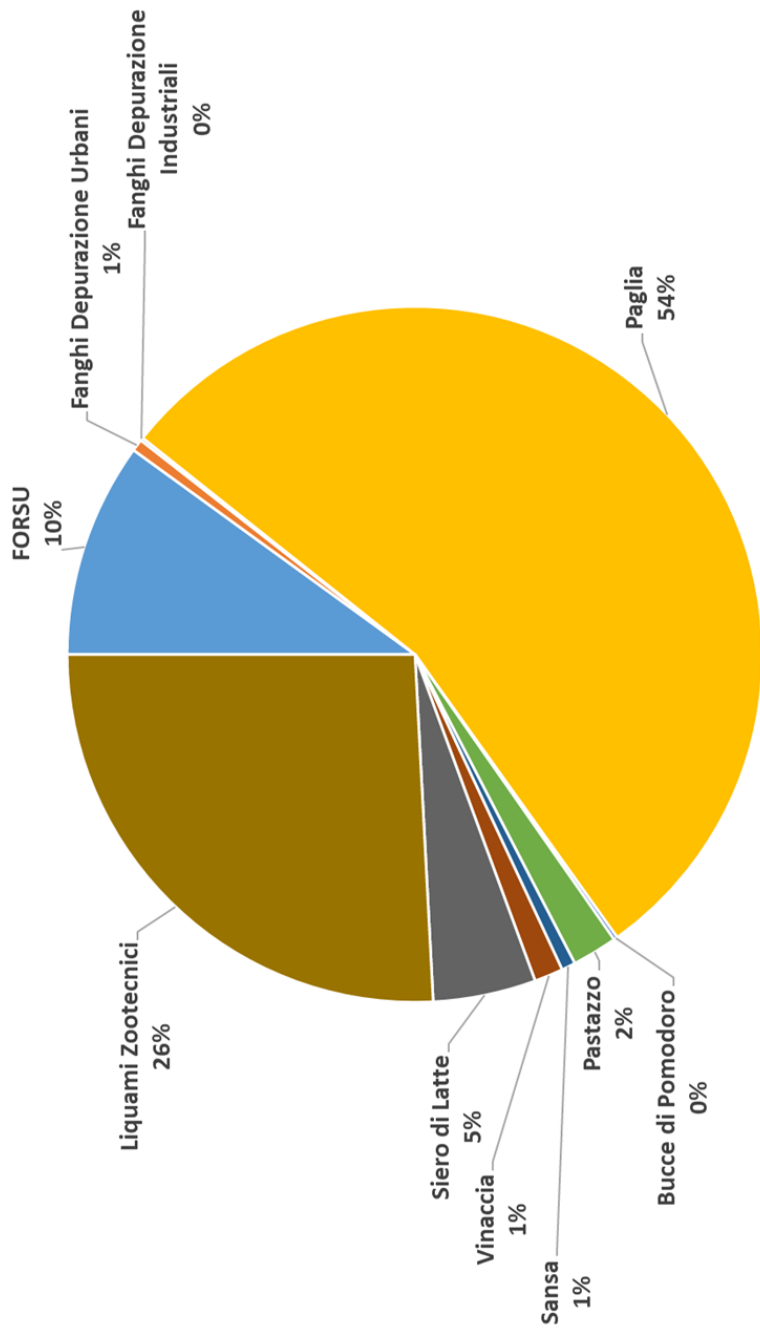


Figura 4.1: Distribuzione percentuale delle diverse materie prime considerate per il calcolo del potenziale teorico di biometano avanzato in Italia.

5. Bibliografia

- [1] Direttiva sulle Energie Rinnovabili, 2001/2018 del Parlamento e del Consiglio Europeo, 2018.
- [2] Direttiva (UE) 2018/851 del Parlamento e del Consiglio Europeo, 30 maggio 2018.
- [3] Piano Nazionale Integrato Energia e Clima, «MISE,» 2020. [Online]. Disponibile: https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf. [Consultato il giorno 07 Settembre 2021].
- [4] Decreto Interministeriale del 2 Marzo 2018, promozione dell'uso del biometano e degli altri biocarburanti avanzati nel settore dei trasporti, 2018.
- [5] Allegato A Decreto ministeriale 30 dicembre 2020 - Biocarburanti (modifica al DM 10 ottobre 2014), 2020.
- [6] Motola V. et al., «Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante biomasse su web-gis,» 2009. [Online]. Disponibile: https://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/documenti/ricerca-di-sistema-elettrico/censimento-biomasse/rse167.pdf. [Consultato il giorno 07 Settembre 2021].
- [7] ENAMA, «Progetto Biomasse,» 2011. [Online]. Disponibile: <https://www.progettobiomasse.it/>. [Consultato il giorno 07 Settembre 2021].
- [8] ISPRA, «Catasto Rifiuti,» [Online]. Disponibile: <https://www.catasto-rifiuti.isprambiente.it/index.php?pg=&width=1536&height=864>. [Consultato il giorno 11 Dicembre 2020].
- [9] ISPRA, «Rapporto Rifiuti Urbani,» 2020. [Online]. Disponibile: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-urbani-edizione-2020>. [Consultato il giorno 07 Settembre 2021].

- [10] N. Scarlat, F. Fahl, J.-F. Dallemand, F. Monforti e V. Motola, «A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe,» *Renewable Sustainable Energy Reviews*, vol. 94, pp. 915-930, 2018.
- [11] ISPRA, «Rapporto Rifiuti Speciali,» 2017. [Online]. Disponibile: <http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-speciali-edizione-2017/>. [Consultato il giorno 09 Settembre 2021].
- [12] CLAL - ITALIA: POLVERE DI SIERO, «CLAL - ITALIA: POLVERE DI SIERO ricavabile dai Formaggi (prospetto regionale),» 2016. [Online]. Disponibile: https://www.clal.it/?section=siero_regioni. [Consultato il giorno 09 Settembre 2021].
- [13] CLAL - Siero ricavabile dai formaggi, «CLAL,» 2021. [Online]. Disponibile: https://www.clal.it/?section=utilizzo_siero. [Consultato il giorno 09 Settembre 2021].
- [14] E. Dinuccio, P. Balsari, F. Gioelli e S. Menardo, «Evaluation of the biogas productivity potential of some Italian agro-industrial biomasses,» *Bioresource Technology*, vol. 101, n. 10, pp. 3780-3783, 2010.
- [15] F. Valenti, S. Porto, G. Chinnici, G. Cascone e C. Arcidiacono, «Assessment of Citrus Pulp Availability for Biogas Production by Using a GIS-based Model: the Case Study of an Area in Southern Italy,» *Chemical Engineering Transactions*, vol. 58, 2017.
- [16] F. Valenti, S. Porto, G. Cascone e C. Arcidiacono, «Potential biogas production from agricultural by-products in Sicily. A case study of citrus pulp and olive pomace,» *Journal of Agricultural Engineering*, vol. 8, n. 4, 2017.
- [17] J. Giuntoli, A. Agostini, R. Edwards e L. Marelli, «Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions: Calculated according to methodology set in COM(2016) 767: Version 2,» Publications Office of the European Union, 2017.

- [18] N. Bachmann, J. Jansen, G. Bochmann e N. Montpart, «Sustainable Biogas Production in Municipal Wastewater Treatment Plants.,» IEA Bioenergy, 2015.
- [19] MISE, «Bilancio Energetico Nazionale 2016,» 2016. [Online]. Disponibile: https://dgsaie.mise.gov.it/pub/ben/BEN_2016.pdf. [Consultato il giorno 09 Settembre 2021].
- [20] G.S.E. - Gestore dei Servizi Energetici, «Energia nel Settore Trasporti 2005 - 2020» 2021.

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati
dicembre 2021