

IL POTENZIALE DEL BIOMETANO NELLE PROVINCE ITALIANE



IL POTENZIALE DEL BIOMETANO NELLE PROVINCE ITALIANE



INDICE



The image is a full-page background photograph. The top half is dominated by a dramatic sky at sunset or sunrise, with a bright sun on the left creating a lens flare and illuminating the clouds in shades of orange, yellow, and pink. Several long, wispy white clouds stretch across the sky. Below the sky, a line of trees with green and some autumn-colored foliage stands in the middle ground. Behind the trees, three large, white, dome-shaped structures, likely agricultural greenhouses or storage domes, are visible. The foreground is a lush green field of low-lying plants. White geometric lines are overlaid on the image: a horizontal line with a downward-pointing chevron on the left, and another horizontal line with an upward-pointing chevron on the right, framing the central scene.

4	CAPITOLO 1 – LE RAGIONI DELL'ANALISI	
6	CAPITOLO 2 – SINTESI	
8	CAPITOLO 3 – LA METODOLOGIA	
11	CAPITOLO 4 – I RISULTATI	
21	CAPITOLO 5 – LE BIOMASSE PER LA DIGESTIONE ANAEROBICA	
21	5.1 Effluenti zootecnici	
22	5.2 Residui agricoli	
24	5.3 Sequential cropping	
26	5.4 Residui agroindustriali	
28	5.5 FORSU	
30	5.6 Fanghi da depurazione delle acque reflue urbane	
31	5.7 Fanghi da depurazione delle acque reflue industriali	
32	5.8 Erba dai bordi stradali	
33	5.9 Prati marginali	
34	5.10 Rifiuti da attività di ristorazione	
35	CAPITOLO 6 – LE BIOMASSE PER LA GASSIFICAZIONE TERMOCHIMICA	
35	6.1 Legno da raccolta differenziata	
36	6.2 Residui forestali primari	
38	6.3 Residui forestali secondari	
40	6.4 Potature	
41	6.5 Gusci della frutta secca	
42	6.6 Rifiuti indifferenziati	
43	ALLEGATO I – DATI NUMERICI	
43	A. Digestione anaerobica	
56	B. Gassificazione termochimica	
58	ALLEGATO II - EVOLUZIONE DEMOGRAFICA	
59	BIBLIOGRAFIA	



CAPITOLO 1 – LE RAGIONI DELL'ANALISI

Come si sosteneva nel Position Paper *“Lo sviluppo del biometano e la strategia di decarbonizzazione in Italia”* elaborato congiuntamente in vista della COP 21 di Parigi del 2015 [1], il Consorzio Italiano Biogas (CIB) e Snam: *“condividono la visione di un ruolo fondamentale per il biometano nella strategia del Paese sul fronte della lotta al mutamento climatico in grado di determinare una transizione energetica verso una economia a basso contenuto di carbonio fondata sulla sostenibilità e sulla circolarità nell'utilizzo delle risorse”*.

Sempre in tale documento si sottolineava come l'Italia fosse *“in grado di produrre in maniera sostenibile circa otto miliardi di metri cubi di gas considerando esclusivamente la tecnologia della digestione anaerobica da matrici agricole e da rifiuti”*.

Gli anni trascorsi da quel documento hanno visto crescere in Italia ed in Europa la consapevolezza dell'urgenza della decarbonizzazione, portando ad ambizioni crescenti nella promozione di gas rinnovabili come il biometano, visti anche come strumento per introdurre flessibilità e programmabilità in un sistema energetico sempre più caratterizzato dalla presenza di fonti rinnovabili intermittenti. Parallelamente è cresciuta l'attenzione al tema della sostenibilità, con requisiti normativi sempre più stringenti relativamente al tipo di biomasse utilizzabili per usi energetici e alle modalità del loro reperimento.

La rapida crescita del numero di impianti di biogas e biometano, realizzati grazie al varo di diversi regimi di sostegno, ha sollevato quesiti riguardanti la potenzialità produttiva della filiera italiana del biometano, fortemente dipendente sia dalla disponibilità di biomassa che dalla sua sostenibilità.

Gli studi pubblicati successivamente, pur corroborando l'aspettativa di un potenziale significativo per il biometano sostenibile in Italia, sono arrivati a valutazioni quantitative diverse:

- lo studio del CIB del 2016 [5] confermava un potenziale di 8 miliardi di metri cubi al 2030 per il biometano sostenibile prodotto da digestione anaerobica;
- lo studio Gas for Climate [2] del 2022 stimava un potenziale di 5,8 e 13,6 miliardi di metri cubi al 2030 e 2050 rispettivamente, considerando sia la tecnologia della digestione anaerobica che quella della gassificazione termochimica di biomasse sostenibili;
- lo studio EBA [3] del 2024 stimava un potenziale di 10,4 miliardi di metri cubi al 2040 considerando entrambe le tecnologie;
- lo studio ENEA del 2021 [7] stimava un potenziale teorico di biometano avanzato da digestione anaerobica di 6,2 miliardi di metri cubi.

Anche altri studi dedicati più in generale alla disponibilità di biomassa per usi energetici [6][30][34] presentavano risultati significativamente distanti. Le ragioni di tali discrepanze tra uno studio e l'altro sono da ricondurre a diversi fattori:

- il numero e il tipo di biomasse preso in considerazione, con alcuni studi focalizzati unicamente su biomasse “residuali” in ragione della loro sostenibilità e ignorando biomasse, come quelle ottenibili dall'applicazione della pratica agronomica del sequential cropping, che, sebbene non residuali, sarebbero potenzialmente in grado di soddisfare i requisiti di sostenibilità stabiliti dalle normative europee e nazionali;
- il tipo di tecnologie di conversione della biomassa considerate;
- una diversa valutazione dei vincoli tecnici connessi al prelievo della biomassa o limitazioni logistiche e/o organizzative connesse al suo convogliamento al mercato;
- un differente approccio al tema della sostenibilità, in particolare in riferimento alla biomassa prelevabile salvaguardando il suo ecosistema e/o considerando la gerarchia dei suoi usi entro un'economia circolare.

Infine, elemento cruciale, diversi studi considerano come unità geografica di analisi l'intero paese, adottando nello svolgimento dell'analisi ipotesi "medie", che inevitabilmente trascurano condizioni molto differenziate tra una zona geografica e l'altra del paese in termini, ad esempio, di caratteristiche agronomiche del terreno, di modalità di allevamento, di maturità della supply chain, di dotazione di risorse idriche, di sviluppo gestionale del ciclo dei rifiuti. Considerate le ambizioni dichiarate a livello europeo e nazionale riguardo lo sviluppo del biometano, Snam ha ritenuto che fosse opportuno svolgere, in pieno accordo e con il supporto del CIB, una analisi sul potenziale produttivo del biometano in Italia, che superasse alcune limitazioni delle passate analisi e che potesse essere utilizzata nell'ambito di elaborazioni scenaristiche e come contributo informativo agli operatori del settore, alle amministrazioni pubbliche locali e al decisore politico.



CAPITOLO 2 – SINTESI

In Italia, la biomassa *disponibile* consentirebbe una produzione potenziale di biometano di 8,1, 12,4 e 15,3 miliardi di metri cubi al 2030, 2040 e 2050 rispettivamente. La tabella seguente mostra i risultati per gli anni considerati, distinti per tecnologia.

TABELLA 1 – POTENZIALE DI BIOMETANO PER TECNOLOGIA (MILIONI DI STANDARD METRI CUBI)

Tecnologia	2030	2040	2050
Digestione anaerobica	7.931	9.823	11.554
Gassificazione termochimica	163	2.558	3.775
Totale	8.095	12.381	15.329

La matrice organica che apporta il contributo principale a tale crescita proviene soprattutto dalla diffusione della pratica agronomica del *sequential cropping*. Si tratta di una pratica che consiste nel mettere a coltivazione terreni agricoli che, entro il modello monoculturale che caratterizza l'Europa, resterebbero inutilizzati nel periodo che intercorre tra il raccolto principale di una specie colturale destinata a usi alimentari o foraggeri e il successivo, costituito sempre dalla stessa specie colturale. Al 2050, oltre il 60% della biomassa utilizzabile in processi di digestione anaerobica proviene da colture derivanti da questa pratica agronomica. Dall'agricoltura provengono anche le *biomasse residuali* più importanti, come gli *effluenti zootecnici* e i *residui agricoli*, che insieme costituiscono circa il 25% della biomassa disponibile per la digestione anaerobica al 2050.

TABELLA 2 – POTENZIALE DI BIOMETANO DA DIGESTIONE ANAEROBICA (MILIONI DI STANDARD METRI CUBI)

Matrice	2030	2040	2050
Effluenti zootecnici	1.493	1.736	2.023
Residui agricoli	596	835	1.044
Sequential cropping	4.886	6.139	7.287
FORSU	612	713	742
Residui agroindustriali	285	324	359
Fanghi urbani	15	29	49
Fanghi industriali	11	11	12
Erba dai bordi stradali	25	25	25
Prati marginali	8	10	11
Rifiuti della ristorazione	1	1	2
Totale	7.931	9.823	11.554



Dopo il 2030, la crescente affidabilità della tecnologia della gassificazione termochimica consente alle biomasse solide di apportare un contributo crescente al potenziale di biometano. Le biomasse maggiormente disponibili sono i *residui forestali primari*, i *residui forestali secondari* (scarti della lavorazione del legno, della produzione dei mobili e della carta), i *residui delle potature* di ulivi, viti e alberi da frutta. Queste tre matrici insieme rappresentano oltre l'85% delle biomasse solide utilizzabili per la gassificazione termochimica nel 2050.

TABELLA 3 – POTENZIALE DI BIOMETANO DA GASSIFICAZIONE TERMOCHIMICA (MILIONI DI STANDARD METRI CUBI)

Matrice	2030	2040	2050
Residui forestali primari	57	880	1.378
Residui forestali secondari	43	626	912
Legno da raccolta differenziata	10	154	234
Rifiuti indifferenziati	8	247	292
Potature	43	634	937
Gusci della frutta secca	1	17	22
Totale	163	2.558	3.775

I risultati non devono essere considerati previsioni di produzione effettiva. Essi esprimono piuttosto la quantità di biometano che sarebbe possibile produrre considerando le diverse limitazioni all'utilizzo della biomassa per questa finalità. Tali limitazioni sono di natura sia tecnica che logistica, sia organizzativa che regolatoria, sia ambientale che agronomica (si vedano i Capitoli 5 e 6).



CAPITOLO 3 – LA METODOLOGIA

Nel presente studio si sono fatte alcune scelte fondamentali riguardo il perimetro e la metodologia dell'analisi:

- il perimetro dell'analisi è rappresentato dal *potenziale di biomassa* utilizzabile per la produzione di biometano. In particolare, sono stati considerati diversi livelli di biomassa potenziale che, moltiplicati per un coefficiente di resa in metano, consentono il calcolo del *potenziale di biometano*. Le biomasse considerate sono in totale 16, di cui 10 idonee alla digestione anaerobica e 6 alla gassificazione termochimica. Altre variabili determinanti *dell'effettiva produzione di biometano* non sono state prese in considerazione, quali i costi di investimento relativi alle configurazioni impiantistiche, i costi di connessione alla rete del gas, i costi operativi, l'entità del sostegno pubblico e altre variabili di natura economica in grado di determinare la scelta di realizzare gli impianti, incluso il costo di reperimento della biomassa;
- il *focus dell'analisi* è sulle *biomasse sostenibili*, caratterizzate da un elevato potenziale di riduzione delle emissioni di gas climalteranti, da un basso o nullo rischio di mutamento di destinazione d'uso del suolo e potenzialmente in grado di produrre biometano avanzato. Non sono quindi state prese in considerazione biomasse derivanti da colture impiegabili per rifornire i mercati alimentari e foraggeri (*food & feed crops*, quale ad esempio il mais), nonostante esse possano essere, e ad oggi siano, opportunamente miscelate con altre matrici per formare diete al digestore compatibili con il rispetto del requisito di riduzione delle emissioni di gas climalteranti previsto dalle normative europee e nazionali. Le ragioni di tale mancata considerazione sono sostanzialmente due. In primo luogo, per queste matrici non si pone un problema rilevante di disponibilità, essendo scambiate su mercati organizzati, esistenti da lungo tempo e caratterizzati da un elevato grado di liquidità. In secondo luogo, si ritiene che questo tipo di matrice avrà un ruolo progressivamente marginale nella filiera del biometano in ragione sia dell'elevato costo di opportunità del loro impiego energetico, visti i prezzi spuntabili sui mercati alimentari, sia di un possibile ulteriore inasprimento dei requisiti di sostenibilità, di riduzione delle emissioni climalteranti e di assenza di mutamento di destinazione d'uso del suolo agricolo. Il rispetto dei requisiti citati incontrerebbe infatti difficoltà maggiori con diete ai digestori anaerobici che prevedessero una significativa presenza di matrici *food & feed*. Tali matrici però, se si esclude l'ipotesi che vengano giudicate ad alto rischio di mutamento di destinazione d'uso del terreno, potranno anche in futuro giocare un ruolo importante nel garantire flessibilità e sicurezza nell'alimentazione degli impianti, a fronte di supply chain delle biomasse altamente sostenibili ancora relativamente immature, e a fronte di eventi contingenti, per utilizzi che quantitativamente si mantengano entro i limiti necessari al rispetto del requisito di riduzione delle emissioni climalteranti secondo un concetto di ciclo di vita;
- oggetto dell'analisi non è solo il potenziale di biometano *attuale*, ma anche, e soprattutto, quello *prospettico*, dato che le variabili tecniche, ambientali e organizzative della filiera delle biomasse sono destinate a conoscere evoluzioni legate ad una pluralità di variabili quali la demografia, le abitudini alimentari, lo sviluppo tecnologico, la diffusione di pratiche agronomiche innovative, l'evoluzione degli assetti organizzativi del settore, la crescita della logistica di movimentazione;
- l'unità geografica di analisi è la *provincia*, ente territoriale per il quale il sistema statistico nazionale (SISTAN) rende disponibili numerose serie storiche riguardanti sia le biomasse utilizzabili per la produzione di biometano, sia le variabili esogene esplicative cui legare lo sviluppo futuro della biomassa. Per le biomasse per le quali non era disponibile un dato ufficiale del SISTAN su base provinciale, come nel caso delle biomasse solide prelevabili dalle foreste primarie o a quelle derivanti da potature, ci si è avvalsi della georeferenziazione provinciale elaborata da specifici studi ad esse dedicati. Complessivamente, sono state considerate 107 province.



Ispirandosi allo studio di Gas for Climate del 2022 [2], l'approccio è consistito, ogniqualvolta le informazioni a disposizione lo permettevano, nel calcolo in sequenza di diversi livelli di produzione potenziale, ognuno dei quali derivanti dal considerare un insieme crescente di vincoli a partire da una condizione teorica di loro completa assenza. Più precisamente si è calcolato un:

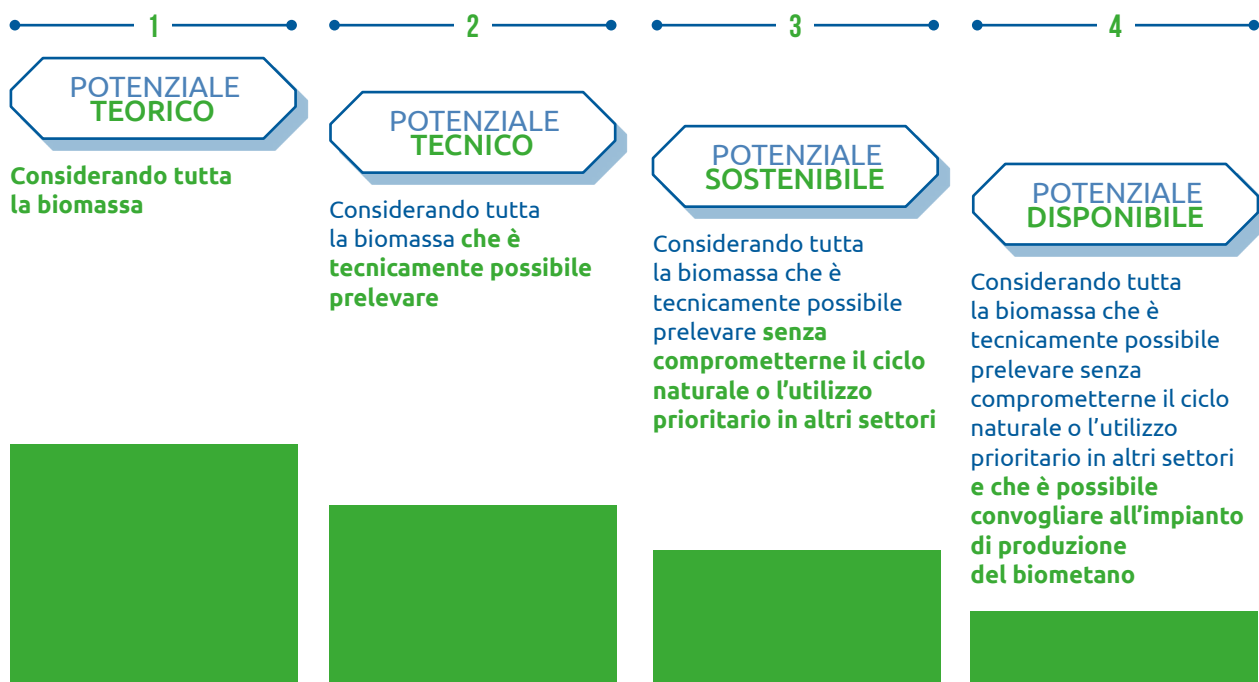
1. *potenziale teorico*: biometano producibile da tutta la biomassa che si rende disponibile dal processo naturale e/o sociale che l'ha generata e nel luogo in cui essa si origina;
2. *potenziale tecnico*: biometano producibile deducendo dal potenziale teorico calcolato in precedenza la biomassa non prelevabile a causa di limiti tecnici e/o organizzativi del processo di raccolta (es. effluenti zootecnici di animali al pascolo, per i quali la raccolta non è praticabile);
3. *potenziale sostenibile*: biometano producibile deducendo dal potenziale tecnico calcolato in precedenza la biomassa che viene deliberatamente lasciata sul luogo in cui si è originata, al fine di non comprometterne il ciclo naturale (es. quota di residui agricoli che deve essere lasciata sul campo per preservare il contenuto di carbonio organico del terreno), o che viene destinata a usi non energetici in ragione di una gerarchia dei suoi utilizzi che privilegia usi non distruttivi in una logica di economia circolare;
4. *potenziale disponibile*: biometano producibile deducendo dal potenziale sostenibile calcolato in precedenza la biomassa che non può essere convogliata verso l'impianto di conversione in ragione di limiti logistici e/o organizzativi della sua supply chain (es. quota di effluenti zootecnici che non può essere destinata al digestore a causa di una supply chain ancora non pienamente sviluppata per questa matrice).

Sono infine state fatte alcune scelte riguardanti gli usi energetici alternativi della biomassa e l'impatto del cambiamento climatico sulle rese colturali:

- il *potenziale disponibile* di biomassa ottenuto nel punto 4 sopra descritto non viene ulteriormente ridotto per tener conto di eventuali utilizzi per la produzione di biocarburanti quali biodiesel e bioetanolo, e viene quindi ipotizzato essere interamente dedicabile alla produzione di biometano. Va infatti tenuto presente che il focus dello studio è la *disponibilità di biomassa*. Il presentare i risultati in termini di biometano potenziale serve a fornire al lettore un indicatore sintetico in luogo di una presentazione di stime del potenziale, espresso in peso, di 16 diverse matrici organiche, ognuna delle quali caratterizzata da una diversa resa in metano, che renderebbe meno chiara la percezione globale del fenomeno e difficoltosa la comparazione del contributo delle singole matrici organiche;
- gli effetti del cambiamento climatico, quali siccità ed alluvioni, sulla resa dei terreni agricoli vengono compensati da misure attuate dagli operatori economici favorite dai programmi delle istituzioni nazionali ed europee volti ad aumentare la resilienza del sistema dell'agricoltura. L'irrigazione di precisione e la fertirrigazione, combinate, permettono di ottimizzare l'uso di acqua e fertilizzanti in agricoltura, migliorando la produttività e la qualità delle colture. L'efficientamento infrastrutturale della rete idrica può portare a significative riduzioni delle perdite di acqua. La realizzazione di vasche di invaso può contenere gli effetti delle alluvioni sulle colture.



FIGURA 1 – LA DETERMINAZIONE DI DIVERSI LIVELLI DI POTENZIALE DEL BIOMETANO



La quantificazione che può essere considerata più oggettiva è il *potenziale teorico attuale*, essendo una stima che si fonda su un dato statistico rilevato di biomassa che si genera da uno specifico processo naturale o sociale, e a cui viene applicato un coefficiente di resa in metano che riflette lo stato della tecnologia.

A mano che si passa a livelli di potenziale sottoposti a vincoli crescenti di natura tecnica, ambientale e organizzativa, e a mano che ci si inoltra in scenari futuri, la stima diviene fortemente dipendente dalle ipotesi assunte riguardanti lo sviluppo tecnologico, la diffusione di competenze imprenditoriali e organizzative, l'intensità del sostegno pubblico alla filiera.

Al 2050, anno finale del calcolo, il *potenziale disponibile* di biometano per il mercato raggiunge il suo valore massimo, dato che i parametri che incorporano i limiti e i vincoli tecnici, organizzativi, tecnologici e logistici raggiungono valori che determinano l'entità minima delle detrazioni dal potenziale teorico.

Alcuni principi generali hanno guidato l'assunzione di tali ipotesi:

- *ubicazione degli impianti di biometano*: dipendente dal luogo in cui si rende disponibile la biomassa. Il criterio della minimizzazione del costo di produzione suggerisce di allocare il potenziale produttivo di biometano alle province secondo la loro disponibilità di biomassa dato che ciò, tendenzialmente, implica una minimizzazione del suo costo di trasporto verso l'impianto produttivo. Per diverse categorie di matrici organiche si verificano scambi tra una provincia e l'altra causati da diversi fattori, quali la necessità di un loro pretrattamento, o un loro utilizzo per usi alternativi ubicati altrove. Questi interscambi fanno sì che la provincia in cui si rende disponibile la biomassa per una sua conversione in biometano non sia necessariamente la provincia dove la biomassa si è generata e, per converso, che la biomassa generata in una provincia non sempre sia completamente disponibile per gli impianti di biometano ivi collocati;
- *giudizio informato*: in assenza di un robusto e condiviso riferimento di letteratura il valore dei parametri è stato basato sul parere di esperti del settore;
- *gradualità nell'evoluzione temporale* dei parametri rappresentativi di elementi organizzativi del settore;
- *conseguimento degli obiettivi di policy*: il valore dei parametri legati a obblighi legali o obiettivi nazionali ed europei incorporano sempre l'assunzione del rispetto di tali obblighi o del conseguimento dell'obiettivo di politica energetica ed ambientale;
- *politiche favorevoli allo sviluppo della filiera*: si è ipotizzato che nell'orizzonte temporale preso in considerazione permangano politiche di sostegno alla produzione di biometano. Si tratta di una assunzione particolarmente rilevante per la biomassa da sequential cropping che, non essendo il sottoprodotto o il rifiuto di un processo primario che avrebbe comunque luogo a prescindere da ogni suo possibile riutilizzo, si rende disponibile solo in ragione di una scelta economica da parte delle aziende agrarie che deve, in quanto tale, incontrare una adeguata convenienza.

CAPITOLO 4 – I RISULTATI

Il potenziale produttivo del biometano al 2030 è stimato in 8,1 miliardi di metri cubi ed è costituito quasi interamente (98%) dalla produzione potenziale da digestione anaerobica.

Nel 2040 e 2050 tale potenziale si porta a 12,4 e 15,3 miliardi di metri cubi rispettivamente.

Confrontata con lo studio *Gas for Climate 2022* [2] la presente analisi mostra al 2030 un potenziale superiore di 2,3 miliardi di metri cubi (8,1 versus 5,8 miliardi di metri cubi) e al 2050 un potenziale superiore di 1,7 miliardi di metri cubi (15,3 versus 13,6 miliardi di metri cubi).

La concentrazione territoriale del potenziale del biometano scende nel tempo: l'indice di Gini¹ passa da 0,53 nel 2030 a 0,46 e a 0,45 nel 2040 e 2050 rispettivamente. La riduzione della concentrazione territoriale del potenziale totale di biometano, come si vedrà più avanti, è dovuta quasi esclusivamente alla crescita del potenziale da gassificazione termochimica, che si mostra significativamente meno concentrato del potenziale da digestione anaerobica.

FIGURA 2 - LA PRODUZIONE POTENZIALE DI BIOMETANO IN ITALIA PER TECNOLOGIA (MILIARDI DI STANDARD METRI CUBI)

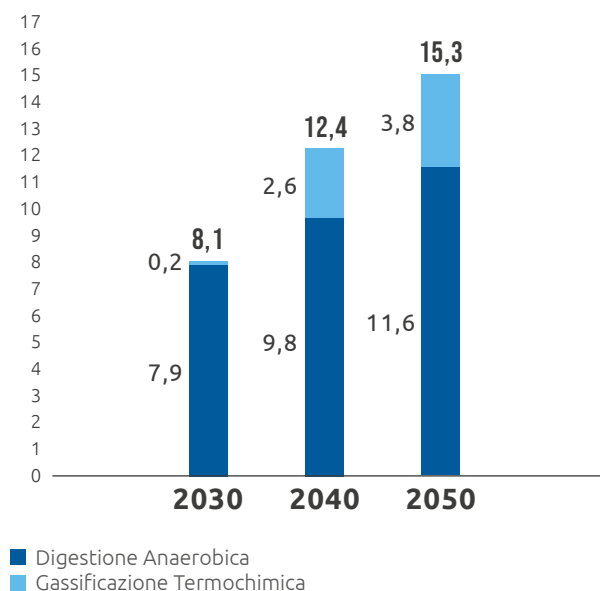
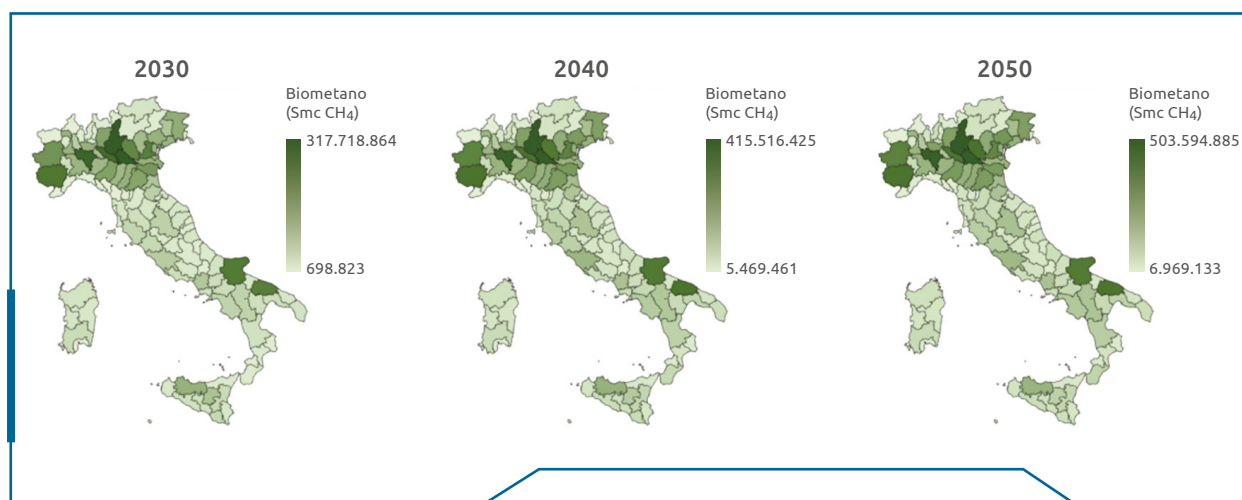


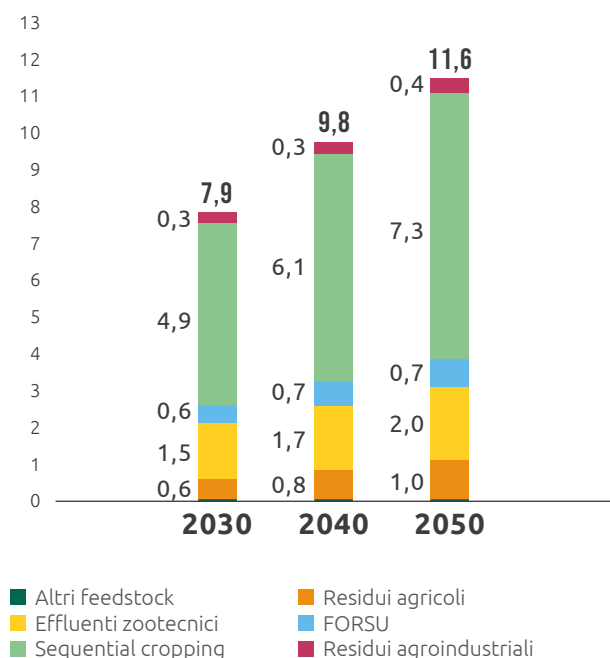
FIGURA 3 - LA DISTRIBUZIONE DEL POTENZIALE DI BIOMETANO PER PROVINCIA NELLO SCENARIO



¹ L'indice di Gini varia da 0 a 1 (o da 0% a 100%). Un valore di 0 indica perfetta uguaglianza, mentre un valore di 1 indica massima disuguaglianza.



FIGURA 4 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA DIGESTIONE ANAEROBICA PER MATRICE NELLO SCENARIO (MILIARDI DI STANDARD METRI CUBI)



La digestione anaerobica è un processo biologico in cui dei microrganismi, in assenza di ossigeno, trasformano materia organica in biogas, una miscela di metano e biossido di carbonio che può essere purificata per ottenere biometano di una qualità che consente l'immissione nella rete del gas.

La produzione potenziale da digestione anaerobica passa da 7,9 miliardi di metri cubi nel 2030 a 9,8 e 11,6 miliardi di metri cubi nel 2040 e 2050 rispettivamente.

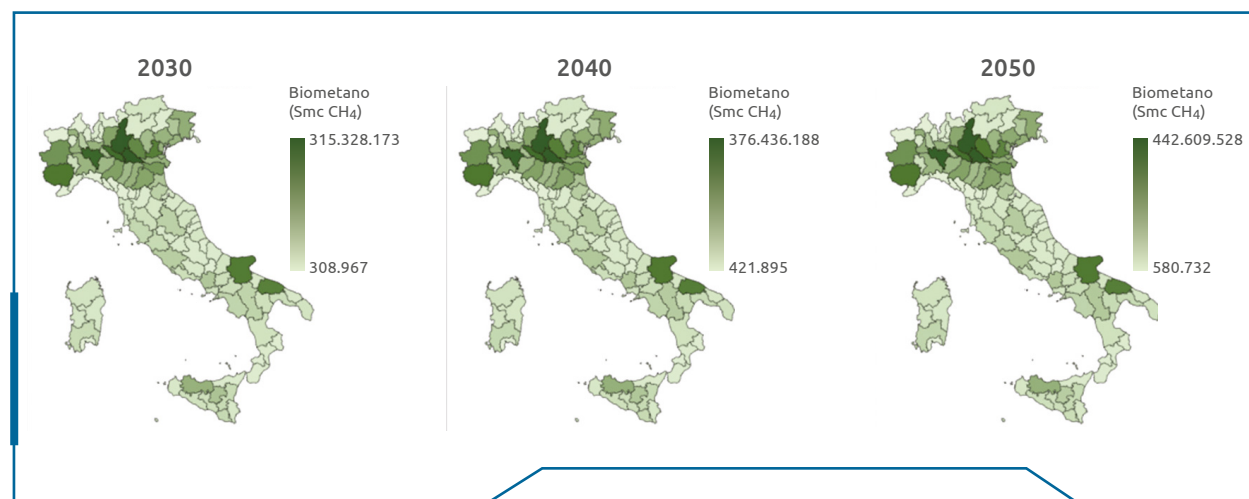
Confrontata con lo studio *Gas for Climate 2022* [2] la presente analisi mostra al 2030 un potenziale da digestione anaerobica superiore di 2,4 miliardi di metri cubi (7,9 versus 5,5 miliardi di metri cubi) e al 2050 superiore di 3,3 miliardi di metri cubi (11,6 versus 8,3 miliardi di metri cubi).

Il tipo di biomassa su cui si fonda tale sviluppo è quello ricavabile dalla diffusione della pratica agronomica del sequential cropping, consistente nel coltivare il terreno agricolo tra due raccolti principali successivi destinati al mercato alimentare o foraggero, anziché lasciarlo a riposo. Tale pratica consente di rispettare i requisiti di sostenibilità e di assenza di mutamento di destinazione d'uso del terreno rispetto ai fabbisogni alimentari umani e animali.

Rispetto al biometano potenziale da digestione anaerobica, il biometano producibile da sequential cropping mantiene un peso di poco superiore al 60% lungo tutto l'orizzonte temporale considerato. Anche il biometano prodotto da scarti del settore dell'agricoltura (effluenti zootecnici e residui agricoli) mantiene un peso costante tra il 2030 ed il 2050, pari all'incirca al 25%.

Le biomasse potenzialmente destinabili alla produzione di biometano da digestione anaerobica si rendono in gran parte disponibili nel Nord del Paese, specificamente nelle province della Pianura Padana, zona dove si concentra l'agricoltura italiana. Anche le province pugliesi assumono un ruolo rilevante grazie alla diffusione della pratica del sequential cropping. La concentrazione territoriale del potenziale di biometano da digestione anaerobica permane sostanzialmente inalterata nell'orizzonte temporale analizzato: l'indice di Gini passa da 0,54 nel 2030 a 0,53 nel 2040 e nel 2050.

FIGURA 5 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA DIGESTIONE ANAEROBICA PER PROVINCIA NELLO SCENARIO



L'altra famiglia tecnologica rilevante per lo sviluppo del biometano è quella della gassificazione termochimica.

La gassificazione termochimica delle biomasse solide è un processo che le trasforma in un gas di sintesi (syngas), attraverso la degradazione termica in presenza di un agente ossidante. Questo processo avviene ad elevate temperature (800-1.000 °C) in un ambiente con carenza di ossigeno. Il syngas, che è una miscela di gas, tra cui CO, H₂, CO₂, CH₄, viene in una fase successiva convertito in metano attraverso un processo di metanazione.

La crescente maturità della tecnologia della gassificazione termochimica permette, dopo il 2030, uno sfruttamento su scala delle biomasse solide entro la filiera del biometano. La produzione potenziale di biometano da gassificazione termochimica passa da 0,2 miliardi di metri cubi del 2030, a 2,6 e 3,8 miliardi di metri cubi nel 2040 e 2050 rispettivamente. Il suo peso nella produzione potenziale di biometano passa dal 2% del 2030, al 21% e 25% nel 2040 e 2050 rispettivamente.

Confrontata con lo studio *Gas for Climate 2022* la presente analisi mostra una produzione potenziale da gassificazione termochimica inferiore di 0,1 miliardi di metri cubi al 2030 (0,2 versus 0,3 miliardi di metri cubi) e inferiore di 1,5 miliardi di metri cubi al 2050 (3,8 versus 5,3 miliardi di metri cubi).

Le biomasse solide che apportano il maggior contributo alla crescita del potenziale di biometano da gassificazione termochimica sono quelle dei residui forestali primari, dei residui forestali secondari (scarti dei settori della lavorazione primaria del legno, dei mobili e della carta), dei residui delle potature di viti, ulivi e alberi da frutta.

L'ubicazione geografica delle biomasse solide è legata alle caratteristiche orografiche della penisola, con le zone alpina e appenninica che forniscono il contributo più rilevante delle biomasse dai residui forestali che si rendono disponibili al momento del taglio (residui forestali primari). I residui forestali secondari sono ubicati in zone dove sono presenti attività industriali di lavorazione del legno. L'ubicazione delle biomasse da potature è legata alla presenza della coltura della vite, dell'ulivo e degli alberi da frutta.

La concentrazione territoriale del potenziale di biometano da gassificazione termochimica è significativamente inferiore a quella del potenziale da digestione anaerobica e tende a mantenersi inalterata nel tempo: l'indice di Gini assume un valore di 0,36 per tutto il periodo considerato.

FIGURA 6 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA GASSIFICAZIONE TERMOCHIMICA PER MATRICE NELLO SCENARIO (MILIARDI DI STANDARD METRI CUBI)

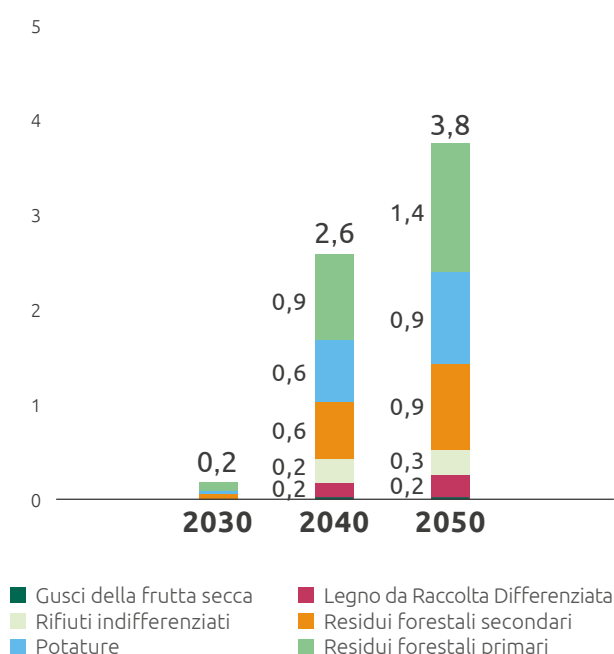
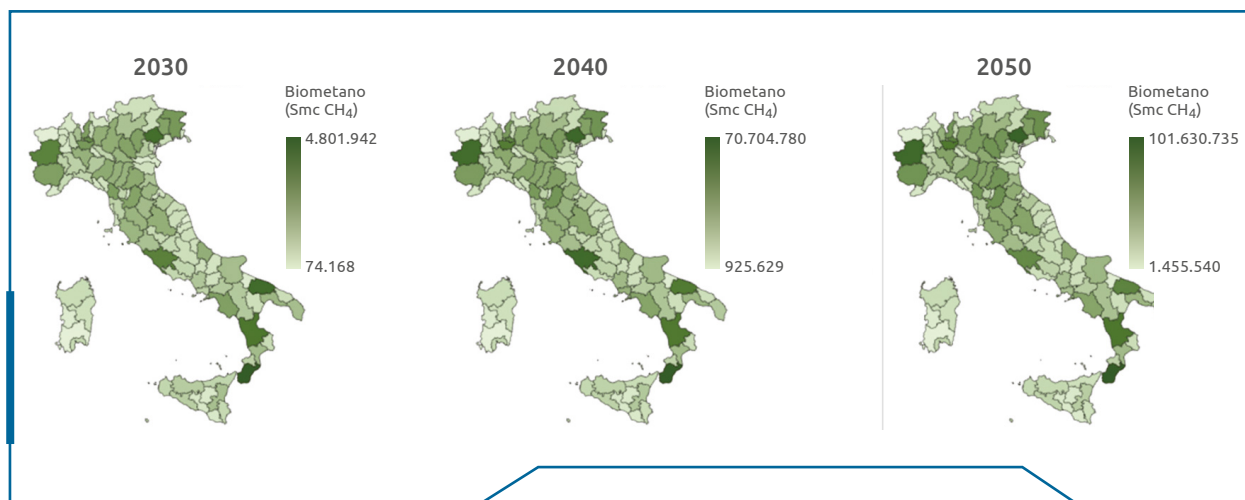
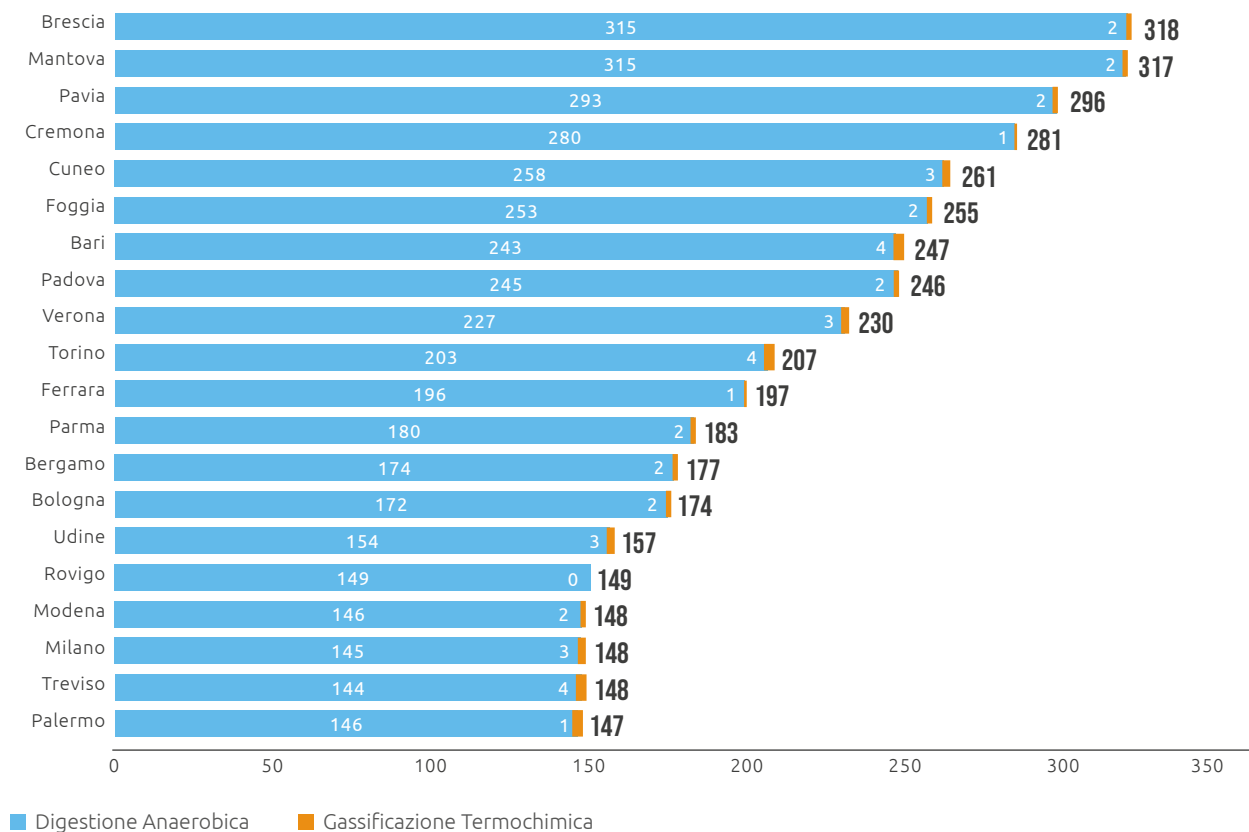


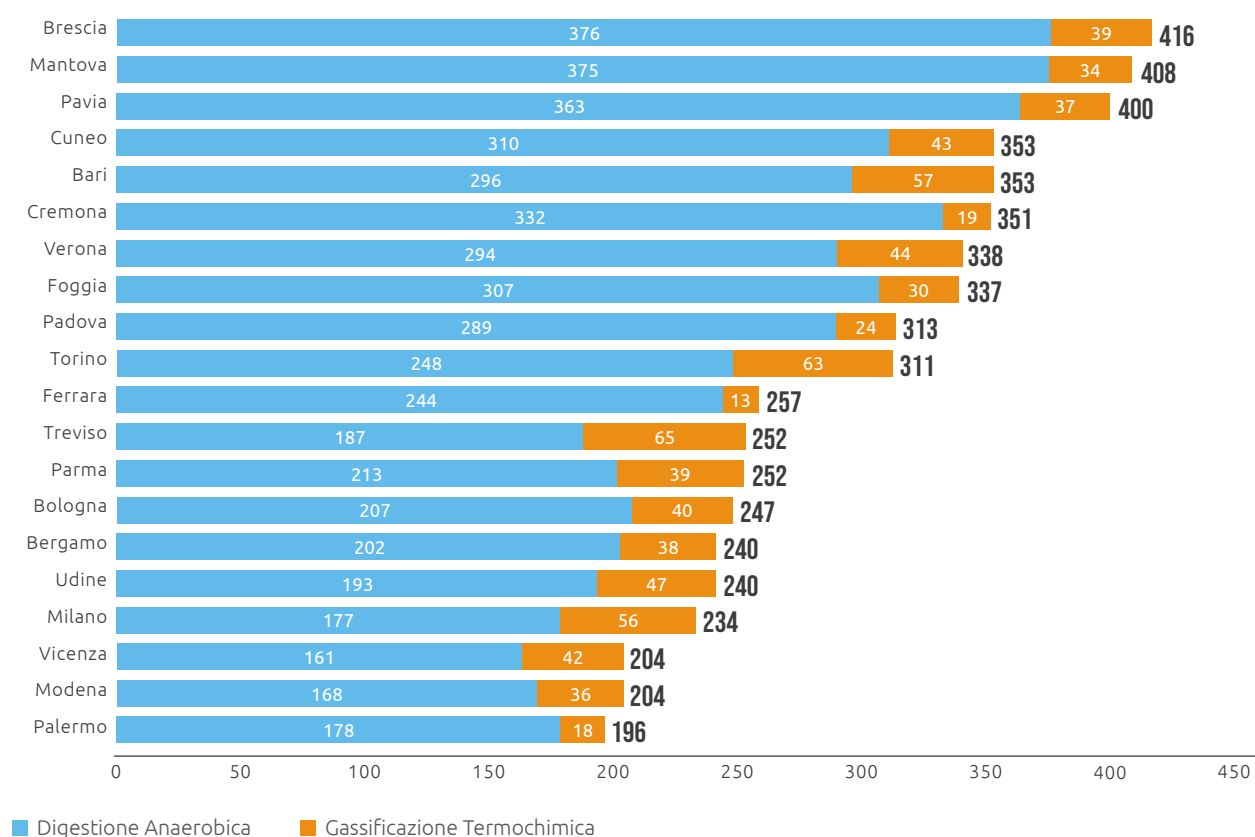
FIGURA 7 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA GASSIFICAZIONE TERMOCHIMICA PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

Al 2030 le prime 20 province in termini di potenziale produttivo disponibile totale (digestione anaerobica e gassificazione termochimica) per il mercato rappresentano il 53% del potenziale nazionale. Tra queste, le province collocate nel Nord Italia ne costituiscono il 45%.

FIGURA 8 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO NELLE MAGGIORI PROVINCE PRODUTTRICI AL 2030 (MILIONI DI STANDARD METRI CUBI)

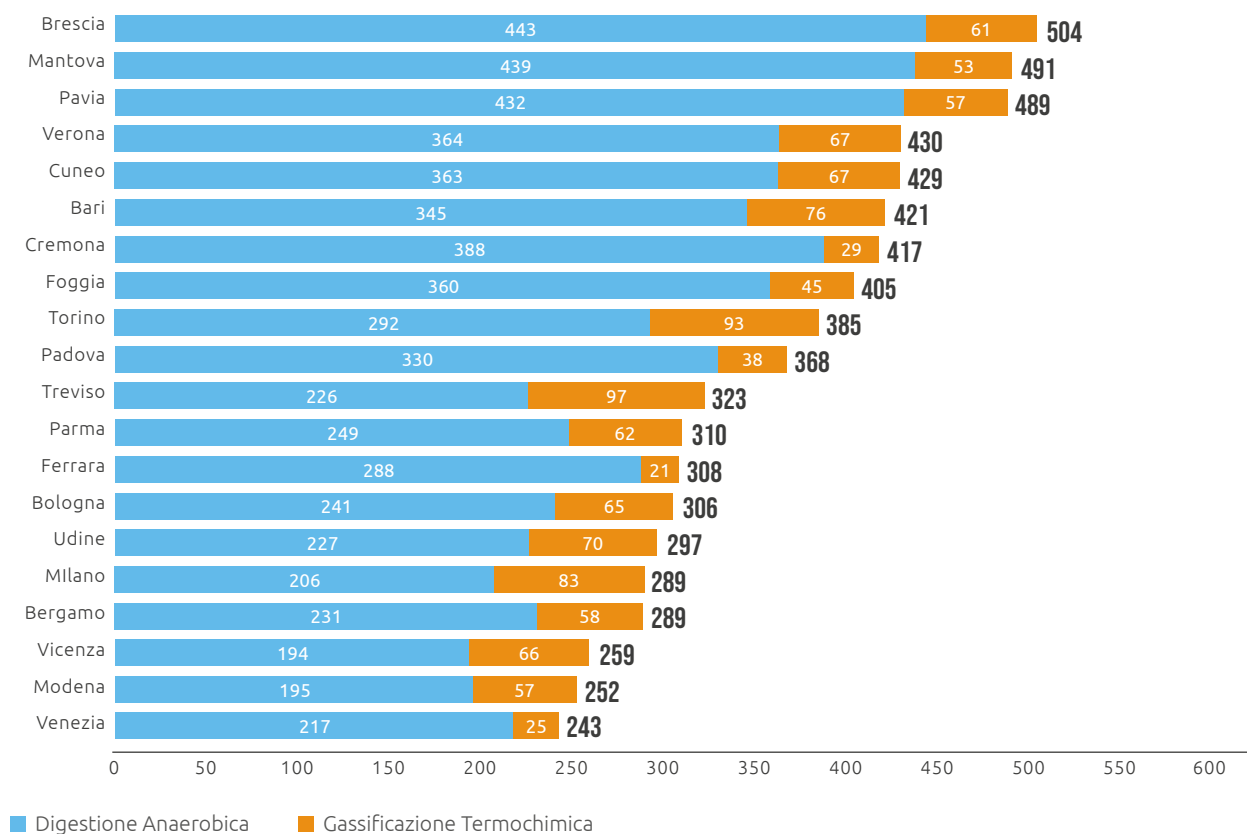
Al 2040, la crescita della produzione potenziale da gassificazione termochimica muta in una certa misura l'ordinamento del potenziale produttivo totale delle province, con una risalita nella graduatoria delle province caratterizzate da un'alta disponibilità di biomasse solide.

FIGURA 9 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO NELLE MAGGIORI PROVINCE PRODUTTRICI AL 2040
(MILIONI DI STANDARD METRI CUBI)



Al 2050, anno in cui viene raggiunto il valore massimo del potenziale produttivo di biometano disponibile per il mercato, le prime 20 province in termini di potenziale rappresentano il 47% del potenziale produttivo nazionale totale. Tra queste, le province collocate nel Nord del Paese costituiscono il 42% del potenziale produttivo nazionale totale.

FIGURA 10 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO NELLE MAGGIORI PROVINCE PRODUTTRICI AL 2050
(MILIONI DI STANDARD METRI CUBI)



La crescita della produzione potenziale nazionale totale e della produzione da gassificazione termochimica non mutano sostanzialmente la concentrazione geografica: al 2050, 18 delle 20 province che nel 2030 figuravano tra le principali produttrici potenziali di biometano occupano ancora le prime posizioni.

Vista l'importanza che assume il sequential cropping nello sviluppo della filiera del biometano, può essere interessante analizzare la sua distribuzione nelle maggiori province produttrici, considerando a scopo illustrativo l'anno 2030.

Come si nota nel grafico, nelle province del Sud e delle Isole presenti nella graduatoria, il peso del sequential cropping è particolarmente elevato, significativamente superiore al peso che esso assume nelle altre province, con quote che vanno dal 77% al 91% del totale prodotto.

Dopo il 2030, la crescente maturità della tecnologia della gassificazione termochimica permette lo sfruttamento di quantità crescenti di biomasse solide entro la filiera del biometano, portando ad una riduzione della quota del biometano da sequential cropping, nonostante la crescita della sua disponibilità in termini assoluti continui fino al 2050.

FIGURA 11 - IL RUOLO DEL SEQUENTIAL CROPPING NELLE MAGGIORI PROVINCE PRODUTTRICI AL 2030 (MILIONI DI STANDARD METRI CUBI)

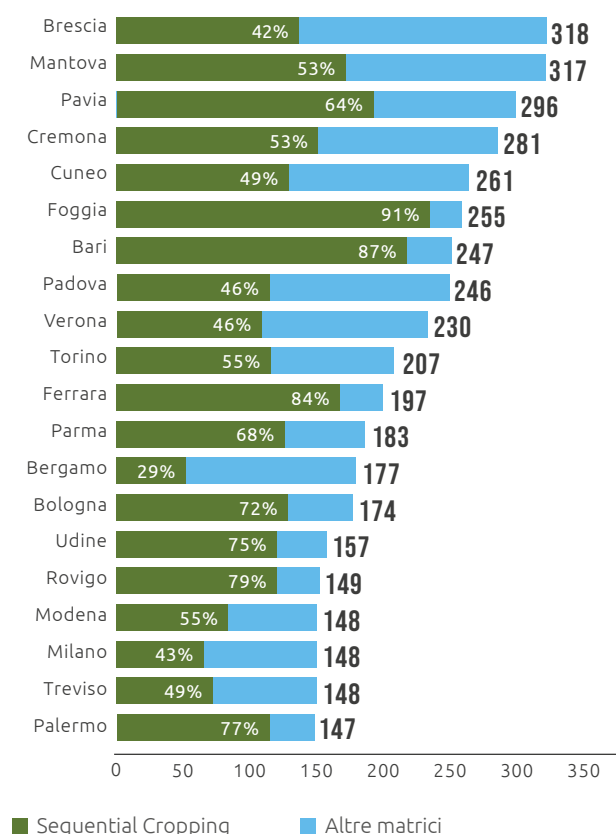
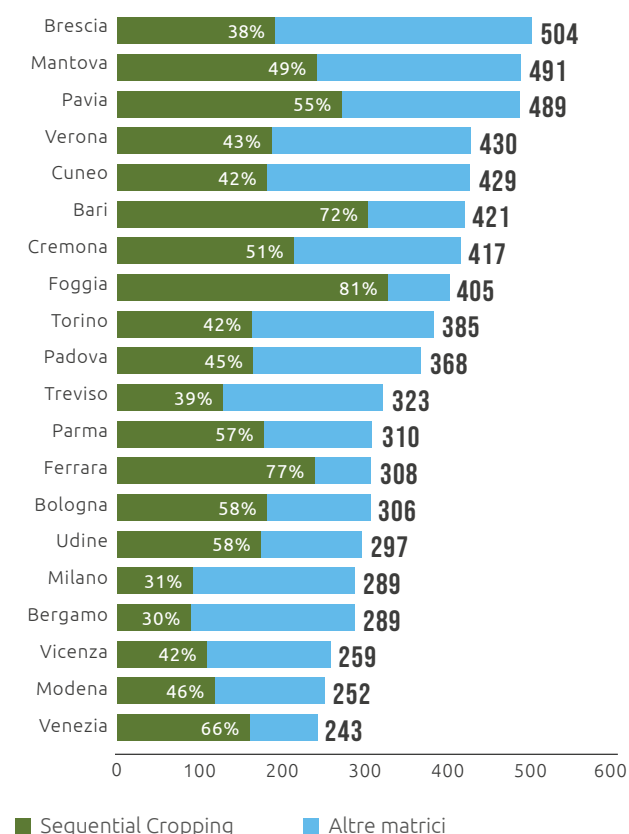
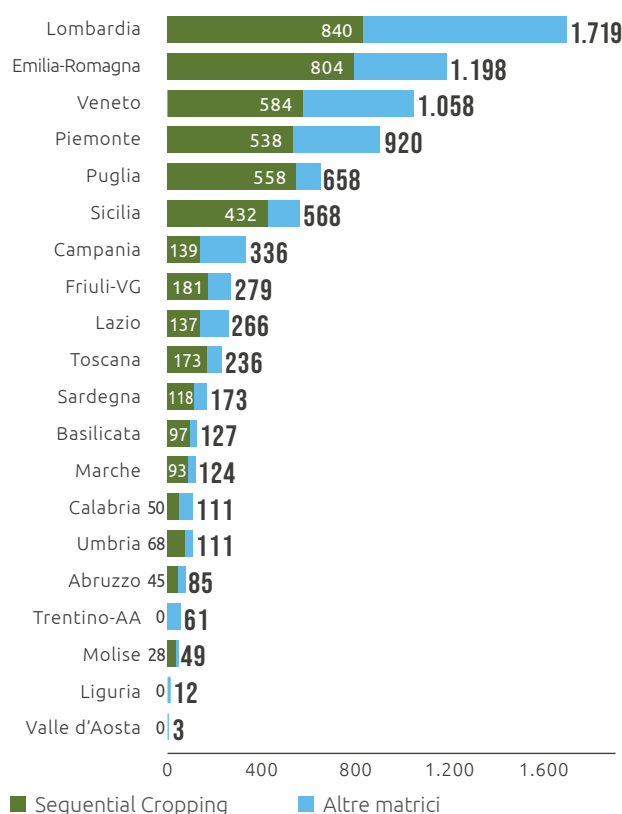


FIGURA 12 - IL RUOLO DEL SEQUENTIAL CROPPING NELLE MAGGIORI PROVINCE PRODUTTRICI AL 2050 (MILIONI DI STANDARD METRI CUBI)



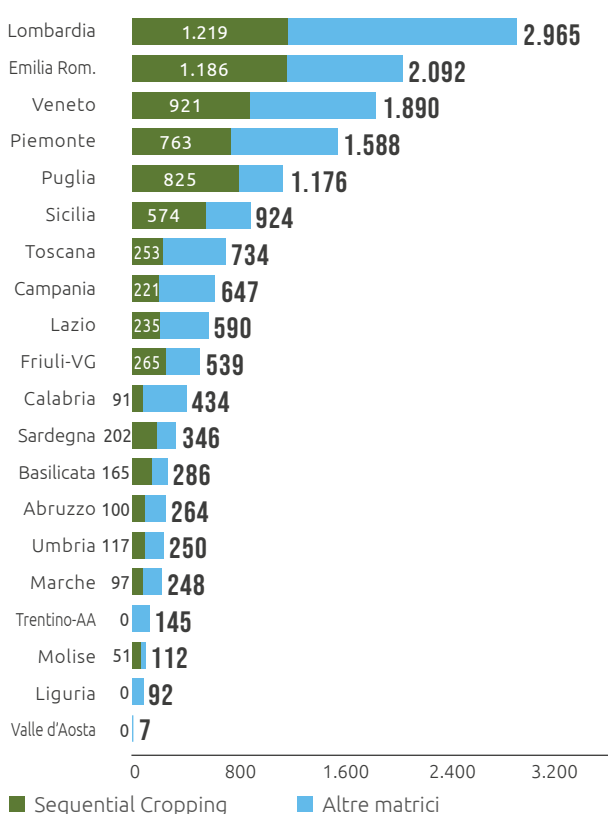
Questi fenomeni possono essere rilevati anche considerando il livello regionale, da cui si evince che nelle principali regioni produttrici del Sud (Puglia e Sicilia) il sequential cropping assume un ruolo significativamente maggiore rispetto a quello mostrato nelle principali regioni produttrici settentrionali (Lombardia, Emilia-Romagna, Veneto e Piemonte). Al 2030, le biomasse da sequential cropping costituiscono il 60% del potenziale nazionale, ma raggiungono la quota dell'85% e del 76% in Puglia e Sicilia, rispettivamente.

FIGURA 13 – IL RUOLO DEL SEQUENTIAL CROPPING NELLE REGIONI ITALIANE AL 2030
(MILIONI DI STANDARD METRI CUBI)



Al 2050, la quota nazionale del biometano potenziale da sequential cropping scende al 48% in ragione, come detto, della crescita della disponibilità di biometano da gassificazione termochimica. Nelle regioni della Puglia e della Sicilia tale quota si porta al 70% e al 62% rispettivamente.

FIGURA 14 – IL RUOLO DEL SEQUENTIAL CROPPING NELLE REGIONI ITALIANE AL 2050
(MILIONI DI STANDARD METRI CUBI)

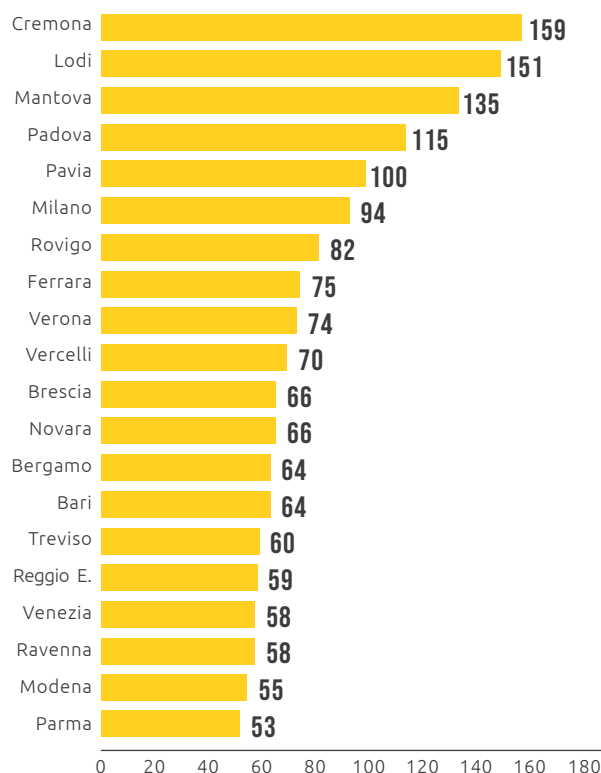


È da sottolineare un elemento fondamentale che differenzia il sequential cropping da tutte le altre matrici: mentre per queste ultime la crescita è determinata da miglioramenti tecnici e organizzativi che consentono lo sfruttamento di un potenziale in gran parte già oggi esistente, trattandosi di biomasse residuali rispetto a processi primari già in essere, nel caso del sequential cropping si tratta di biomassa addizionale rispetto al dato storico. Questo perché si tratta di una matrice la cui disponibilità è, entro certi limiti, programmabile, in grado cioè di adeguarsi alla domanda e al valore di mercato del biometano (v. Capitolo 5.3). La stima della sua disponibilità potenziale futura non può quindi prescindere completamente da una visione sul ruolo prospettico del biometano nel sistema energetico.

La produzione potenziale della provincia è ovviamente legata anche alla sua superficie. Il dato della produzione totale tende quindi a nascondere le differenze tra una provincia e l'altra in termini di "intensità" produttiva. Dividendo il dato della produzione potenziale di biometano per la superficie della provincia si ottiene un dato di produttività per unità di superficie "normalizzato" per la diversa estensione territoriale delle province.

Considerando l'anno 2030, si nota come l'ordinamento delle province si modifichi significativamente passando dal concetto di produzione a quello di produttività, come mostrato nel grafico successivo.

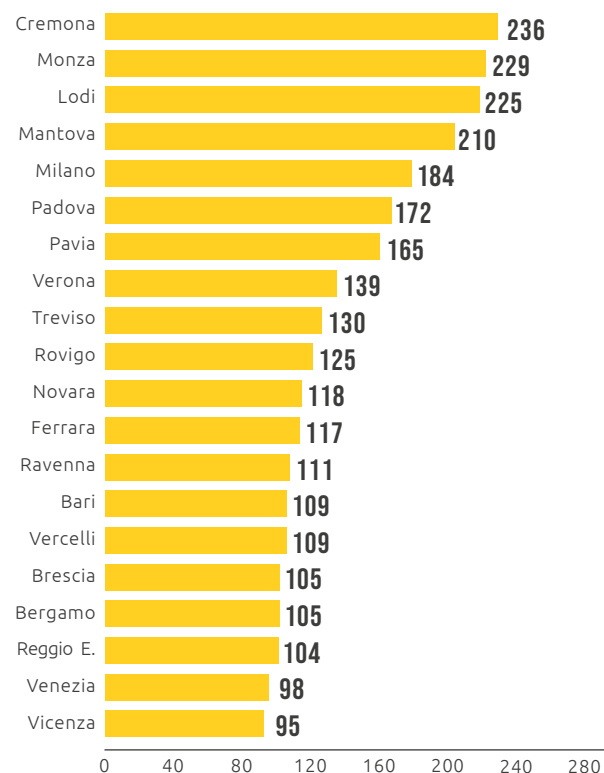
FIGURA 15 - PRODUTTIVITÀ DI BIOMETANO POTENZIALE NELLE MAGGIORI PROVINCE PRODUTTRICI AL 2030 (MIGLIAIA DI STANDARD METRI CUBI / KM²)



La differente produttività potenziale per unità di superficie delle province presenta delle importanti implicazioni per l'ubicazione degli impianti di produzione del biometano. Infatti, nelle province a più alta produttività, una data produzione di biometano può essere conseguita con un minor raggio di approvvigionamento della biomassa necessaria, e di conseguenza con minori costi per il suo trasporto verso l'impianto e con una sua maggiore sostenibilità, dati i minori consumi energetici connessi alla sua movimentazione. Ancora, a parità di raggio di approvvigionamento, nelle province a più alta produttività può essere reperita una maggiore quantità di biomassa, consentendo una più grande dimensione dell'impianto produttivo che può quindi godere di maggiori economie di scala.

La produttività di biometano per unità di superficie aumenta fino al 2050 in tutte le province, riducendo ulteriormente il raggio di approvvigionamento di biomassa degli impianti produttivi di entrambe le tecnologie considerate, e/o consentendo il conseguimento di maggiori economie di scala degli impianti. Ciò è il risultato della prosecuzione dello sviluppo del sequential cropping e della maturità della gassificazione termochimica, ipotizzata pienamente conseguita al 2050, che consente il pieno sfruttamento del potenziale delle biomasse solide entro la filiera del biometano.

FIGURA 16 - PRODUTTIVITÀ DI BIOMETANO POTENZIALE NELLE MAGGIORI PROVINCE PRODUTTRICI AL 2050
(MIGLIAIA DI STANDARD METRI CUBI / KM²)



Nel lungo periodo è quindi logico attendersi, a parità di altre condizioni, una progressiva riduzione dei costi di produzione del biometano, sia nella componente del reperimento della biomassa che in quella dei costi fissi unitari operativi e di investimento, con un conseguente beneficio per il consumatore finale.

È parimenti da attendersi un "affollamento" di progetti nelle aree a maggior produttività di biomassa, che richiederà una adeguata programmazione delle realizzazioni e una stretta cooperazione tra i soggetti pubblici e privati coinvolti nei processi decisionali della filiera.



CAPITOLO 5 – LE BIOMASSE PER LA DIGESTIONE ANAEROBICA

I paragrafi successivi descrivono l'approccio utilizzato per determinare il potenziale di biometano dalle matrici utilizzabili nella digestione anaerobica.

5.1 Effluenti zootecnici

Gli effluenti zootecnici si distinguono in liquami, ovvero deiezioni a prevalente componente liquida, e deiezioni palabili, come il letame bovino, costituite da una miscela di liquami e materiale da lettiera (ad esempio paglia), impiegato per garantire il benessere degli animali stabulati. L'analisi ha preso in considerazione le principali specie allevate – bovini e bufalini, suini, ovicapri, avicoli e cunicoli – e, per ciascuna, ha rilevato il dato del numero attuale² di capi a livello provinciale contenuto nell'Anagrafe Zootecnica Nazionale³. Complessivamente, le specie considerate superano i 170 milioni di capi in Italia (di cui circa 6 milioni di bovini e bufalini, 8 milioni di suini, 7 milioni di ovicapri, oltre 140 milioni di avicoli e circa 12 milioni di cunicoli). Le proiezioni del numero di capi al 2030, 2040 e 2050 sono state basate sulle previsioni contenute nel "EU Agricultural Outlook 2023-2035" [4], relative al numero di capi per specie e, ove non disponibile, relative alla produzione lorda indigena per ciascuna specie⁴. In mancanza di stime specifiche per il 2040, si è fatto riferimento al 2035, mentre per il 2050 si è ipotizzato un tasso di crescita costante rispetto al decennio precedente.

A partire dal numero di capi e dal peso vivo medio per specie, è stato calcolato il peso vivo complessivo, da cui si è stimata la produzione totale di effluenti zootecnici (in tonnellate di tal quale, cioè comprensive del contenuto d'acqua)⁵, applicando coefficienti di produzione di effluenti zootecnici per tonnellata di peso vivo specifici per specie, età e sesso dell'animale. Contestualmente, è stata valutata anche la quantità di paglia impiegata nelle lettiere, variabile in funzione del tipo di stabulazione adottato, successivamente detratta dall'ammontare di residui agricoli destinabili alla produzione di biometano (si veda il paragrafo dedicato ai residui agricoli).

Per il *potenziale teorico*, è stato considerato il numero totale dei capi (inclusi quelli allevati in allevamenti estensivi, ossia al pascolo), mentre per il passaggio al *potenziale tecnico*, si è ipotizzato che soltanto gli effluenti prodotti da animali all'interno di allevamenti stabulati (circa il 90% del totale dei capi)⁶ possano essere raccolti. Non è stato calcolato il *potenziale sostenibile*, in quanto, trattandosi di un rifiuto, viene considerato equivalente al potenziale tecnico.

Infine, nel calcolo del *potenziale disponibile*, si è ipotizzata una graduale convergenza verso il potenziale tecnico per riflettere il progressivo adeguamento della catena di approvvigionamento necessaria per raccogliere, aggregare e convogliare questo substrato organico verso gli impianti di biometano: 25% nel periodo attuale, 70% nel 2030, 85% nel 2040 e 100% nel 2050.

Il potenziale di biometano è stato stimato partendo dalla produzione di effluenti zootecnici in peso tal quale ed applicando in successione dei coefficienti di contenuto di sostanza secca, di sostanza volatile (vale a dire di frazione organica della sostanza secca effettivamente degradabile nei processi anaerobici) e di resa in metano specifici per ciascun tipo di effluente. Essendo tali coefficienti caratterizzati da elevata variabilità, si sono sempre adottati valori cautelativi. Una sintesi delle assunzioni principali adottate per gli effluenti zootecnici è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

2 Per tutte le matrici analizzate, il valore attuale corrisponde all'ultimo dato disponibile al momento dell'analisi.

3 Sistema Informativo Veterinario - Statistiche.

4 In assenza di dati specifici sulla crescita dei cunicoli all'interno del "EU Agricultural Outlook 2023-2035", per i cunicoli sono state adottate le stesse percentuali di crescita previste per gli avicoli.

5 Nell'analisi si assume la presenza di impianti di strippaggio per ridurre il contenuto di azoto nel digestato.

6 I capi per i quali la modalità di allevamento non era espressamente indicata nei dati dell'Anagrafe Zootecnica Nazionale sono stati inclusi nella categoria degli allevamenti stabulati o intensivi.



FIGURA 17 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA EFFLUENTI ZOOTECNICI PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

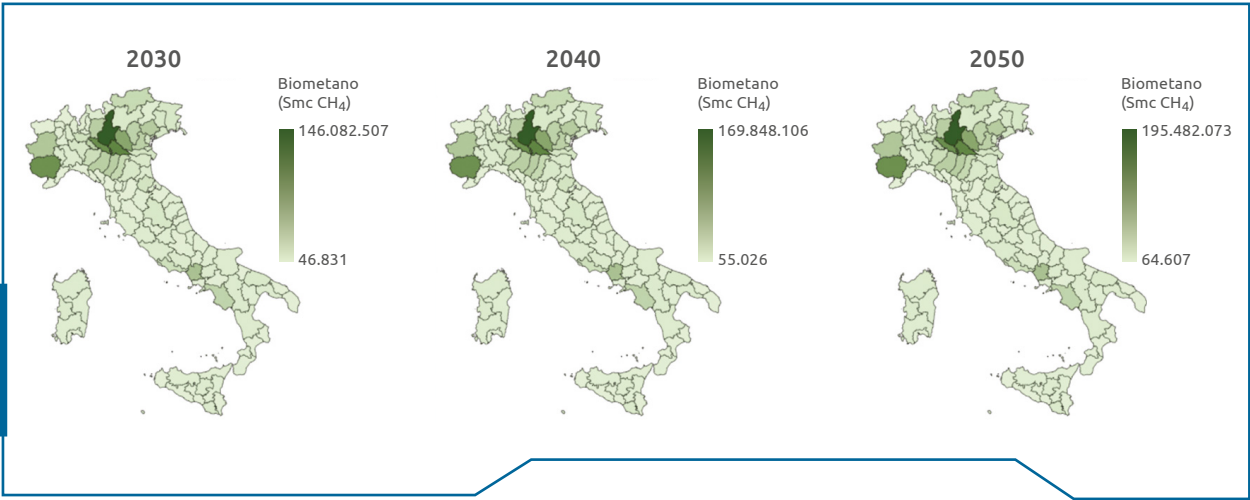


TABELLA 4 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA EFFLUENTI ZOOTECNICI NELLO SCENARIO

Effluenti zootecnici – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	59.557.053	69.324.721	81.300.820
Biometano (Smc)	1.492.665.994	1.736.499.074	2.023.496.608

5.2 Residui agricoli

I residui agricoli sono biomasse che permangono sul campo dopo la raccolta del prodotto principale. Sono costituiti principalmente dai fusti delle piante (paglie, stocchi, steli), ma possono includere anche materiale fogliare. Nell’analisi sono stati inclusi i residui derivanti da colture cerealicole (orzo, mais, avena, riso, segale, triticale, sorgo, frumento tenero e frumento duro), oleaginose (colza, girasole, soia), leguminose (fagiolo secco, fagiolo e fagiolino in piena aria), e barbabietola da zucchero.

Come primo passo, sono stati estratti dalle banche dati ISTAT⁷ i dati sui quantitativi storici di produzione (in tonnellate tal quali) per ciascuna provincia, calcolando una media quinquennale, al fine di ottenere un dato il più possibile depurato dagli effetti delle rotazioni culturali e delle anomalie metereologiche annuali. Sulla base di tali dati, la produzione annua totale delle colture considerate a livello nazionale è stata stimata in circa 20 milioni di tonnellate (tal quali). Le stime delle produzioni per il 2030, 2040 e 2050 sono state ottenute applicando le previsioni di crescita della Commissione Europea per ogni tipo di coltura contenute nel “EU Agricultural Outlook 2023-2035”[4]. Per il 2040, in assenza di stime specifiche, si è fatto riferimento al 2035. Per il 2050, si è mantenuto invariato il tasso di crescita del decennio precedente.

La produzione è stata poi moltiplicata per il *residue to product ratio*, un coefficiente specifico per ciascuna coltura che indica la quantità di biomassa residua generata per ogni unità di prodotto principale raccolto. I risultati, convertiti in sostanza secca, hanno permesso di stimare la quantità complessiva di residui potenzialmente disponibili. Il *potenziale teorico* è stato stimato ipotizzando che tutta la quantità di residui che permane sul campo dopo la raccolta del prodotto principale possa essere utilizzata per la produzione di biometano, senza considerare limiti tecnici, ambientali o economici. È stato poi calcolato un potenziale tecnico per riflettere le restrizioni relative alla rimozione dal campo dei residui, determinate dall’efficienza del macchinario, applicando alla biomassa sopraelevata un coefficiente di rimozione specifico per ogni tipo di residuo culturale.

7 Coltivazioni | IstatData.

Nel caso di questa matrice, è stato necessario tenere conto anche di vincoli ambientali. La rimozione dei residui agricoli è infatti sostenibile solo entro determinate soglie, al fine di preservare il contenuto di carbonio organico nel suolo (SOC), elemento essenziale per la ritenzione di acqua e nutrienti. Un prelievo eccessivo potrebbe inoltre compromettere la biodiversità del terreno e aumentare il rischio di erosione causata da pioggia e vento. Per questo motivo, al fine di garantire la sostenibilità ambientale, dal potenziale teorico è stato ricavato un *potenziale sostenibile*, che rappresenta la quantità di residui che può essere raccolta senza compromettere la fertilità del suolo. Il calcolo di tale potenziale è stato fatto applicando, per ciascuna provincia, un indice di rimozione del residuo dal campo compatibile con la conservazione del contenuto di carbonio organico del suolo.

Si è inoltre tenuto conto degli usi esistenti di questa matrice, in particolare della paglia impiegata come lettiera, che è stata sottratta dal *potenziale sostenibile* dei residui di frumento. L'analisi ha evidenziato come alcune province presentino un surplus di paglia rispetto ai propri fabbisogni zootecnici, mentre altre – soprattutto nel Nord Italia – risultino in deficit. Per tenere conto di questi disequilibri provinciali tra fabbisogni e disponibilità, si è ricostruito l'insieme degli interscambi provinciali di paglia, con le province in surplus che esportano verso quelle in deficit. Tali flussi sono stati modellizzati prioritizzando lo scambio tra province confinanti, al fine di minimizzare le distanze percorse dalla biomassa.

Infine, è stato stimato il *potenziale disponibile*, ipotizzando un accesso progressivo alla biomassa sostenibile da parte della supply chain: 30% nel periodo attuale, 60% nel 2030, 80% nel 2040 e 100% nel 2050.

Il potenziale di biometano è stato infine stimato applicando rese in metano specifiche per ciascun tipo di residuo. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 18 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA RESIDUI AGRICOLI PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

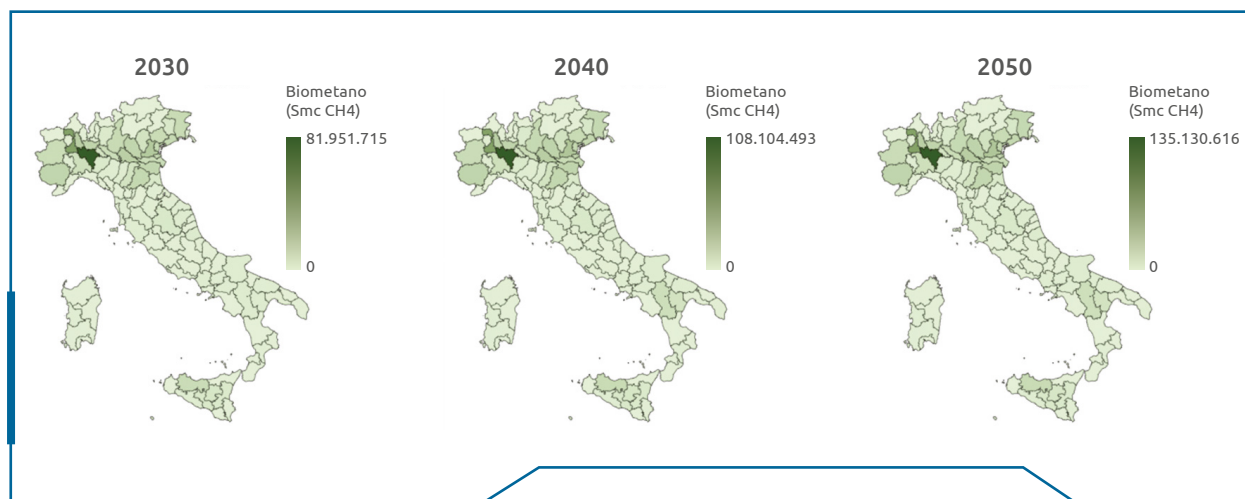


TABELLA 5 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA RESIDUI AGRICOLI NELLO SCENARIO

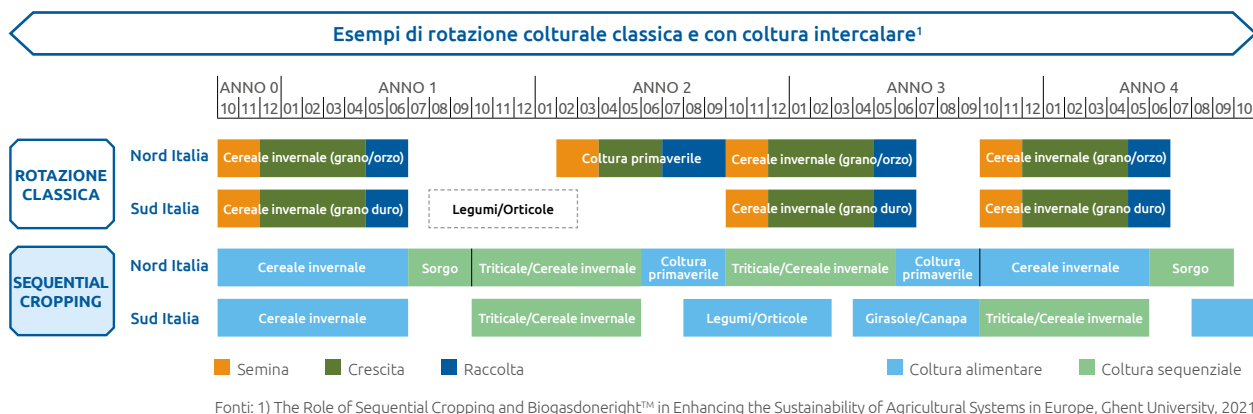
Residui agricoli – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	4.678.559	6.513.984	8.142.480
Biometano (Smc)	595.817.404	835.016.613	1.043.770.767



5.3 Sequential cropping

Il sequential cropping è una pratica agronomica consistente nell'inserimento di una coltura intercalare tra due colture principali, precedente e successiva, dedicate agli usi alimentari e foraggeri. Se correttamente implementata, questa pratica consente di ottenere *una coltura da destinare a usi energetici* evitando effetti diretti e indiretti di cambiamento di destinazione d'uso del suolo, che ridurrebbero la disponibilità di alimenti per l'uomo e per il bestiame. Favorisce inoltre l'arricchimento di contenuto di carbonio organico nel terreno, migliorandone fertilità e resistenza all'erosione, e limitando al contempo la diffusione di piante infestanti. Il digestato ottenuto come prodotto congiunto della produzione di biometano contiene ancora tutti gli elementi nutritivi della biomassa di partenza e può essere trattato per ridurre il contenuto di azoto, potenzialmente dannoso per la falda acquifera, per un suo utilizzo in sostituzione di fertilizzanti prodotti a partire da fonti fossili. Il sequential cropping consente, infine, di evitare periodi di riposo altrimenti improduttivi tra le colture principali (maggese), ottimizzando l'utilizzo del terreno e offrendo un'opportunità di reddito aggiuntivo per le aziende agricole. La figura successiva mostra il confronto schematico tra il modello monocolturale che caratterizza l'agricoltura europea e il modello che incorpora le colture intercalari.

FIGURA 19 - ROTAZIONE CULTURALE CLASSICA E CON CULTURA INTERCALARE



Per stimare il potenziale derivante dal sequential cropping, si è innanzitutto individuata la superficie agricola utilizzata (SAU) potenzialmente dedicabile a questa pratica (detta *SAU potenziale*). A tal fine, sono stati estratti dalle banche dati ISTAT, per ciascuna provincia, i dati riguardanti le superfici attualmente destinate alla coltivazione di cereali da granella, di foraggiere, di pomodoro e di soia, ossia colture da rinnovo compatibili con l'inserimento di una coltura intercalare. Queste superfici complessivamente rappresentano circa 6 milioni di ettari a livello nazionale, costituendo la SAU potenziale su cui è possibile sviluppare il sequential cropping. La stima della SAU potenziale destinabile a queste colture nel 2030 è stata basata sulle previsioni di crescita della Commissione Europea contenute nel *"EU Agricultural Outlook 2023-2035"* [4]. Per il 2040, in assenza di previsioni specifiche, si è fatto riferimento alle stime al 2035, mentre per il 2050 si è ipotizzato un tasso di crescita invariato rispetto a quello del 2040.



Il *potenziale teorico* è stato stimato ipotizzando, in un primo momento, che circa l'80%⁸ della SAU potenziale nazionale possa essere destinata alle colture intercalari. Questa percentuale è stata poi ridotta al 58%, al fine di tenere conto della disponibilità idrica, rispettando un vincolo fondamentale: la SAU dedicata al sequential cropping non può in nessun caso superare la SAU irrigabile (ovvero la superficie attrezzata per l'irrigazione, pari a circa 4 milioni di ettari in Italia). Sulla base di queste ipotesi, si arriverebbe a una produzione potenziale di biometano pari a circa 13,5 miliardi di Smc nel 2030, 2040 e 2050. È stato poi calcolato un *potenziale tecnico*, più cautelativo, ipotizzando che una quota inferiore, ma progressivamente crescente, della SAU potenziale possa essere dedicata al sequential cropping: 20% nel 2030, 25% nel 2040 e 30% nel 2050 (a livello nazionale). Applicando tali vincoli, la produzione potenziale di biometano stimata risulta pari a circa 4,9 miliardi di Smc nel 2030, 6,1 miliardi di Smc nel 2040 e 7,3 miliardi di Smc nel 2050. Questa cautela riflette diverse barriere all'adozione su larga scala di questa pratica agronomica, tra cui il fatto che non tutte le aziende agricole avrebbero la concreta possibilità di cedere la propria produzione di coltura intercalare a causa di fattori come il grado di maturità organizzativa della supply chain, la disponibilità di una logistica adeguata al trasporto della biomassa verso il digestore, oppure in ragione della scelta dell'azienda agricola di interrare tramite sovescio il raccolto intercalare, al fine di accedere agli incentivi previsti dalla Politica Agricola Comune.

Le ipotesi adottate di diffusione della pratica del sequential cropping, pur improntate alla cautela, implicano comunque un potenziale di crescita rilevante. A differenza di altre matrici, il sequential cropping non si basa su residui e rifiuti, ma su colture dedicate a usi energetici che si configurano come risorse programmabili e flessibili, in grado di modulare la propria disponibilità in funzione della domanda di biometano. In scenari di crescita della domanda, si prevede che il sequential cropping possa costituire il principale strumento di espansione dell'offerta. Infine, la nuova Politica Agricola Comune (PAC), introducendo l'obbligo di rotazione colturale con l'inserimento di *cover crop* – colture intercalari lasciate sul campo – come condizione per accedere a determinati supporti economici, potrebbe favorire la diffusione del sequential cropping, trattandosi di una pratica agronomicamente affine.

Nel caso di questa matrice, si è ipotizzato che il potenziale tecnico coincida sia con il *potenziale sostenibile*, in quanto il sequential cropping è incluso nell'Annex IX della RED II⁹, che riporta l'elenco delle matrici organiche che danno origine ai biocarburanti avanzati, che con il *potenziale disponibile*, poiché le limitazioni della supply chain sono principalmente legate alla diffusione della pratica agronomica, già considerate nel calcolo del potenziale tecnico.

Una volta stimata la SAU dedicabile al sequential cropping, si è ipotizzata l'adozione di specifiche combinazioni colturali, differenziate su base geografica. Nelle province del Nord Italia, è stata prevista l'introduzione di triticale, sorgo, segale, orzo e miscugli di graminacee e leguminose. Nelle province del Centro e Sud Italia, le colture intercalari considerate sono sulla, leguminose invernali, sorgo e miscugli di graminacee e leguminose. A ciascuna combinazione colturale è stata associata una resa media colturale per ettaro, che ha permesso di stimare la quantità di biomassa (in tonnellate di sostanza secca) producibile. Ipotizzando una resa di 570 Smc di biogas per tonnellata di sostanza secca e un contenuto medio di biometano nel biogas del 53-55%, è stato infine stimato il potenziale di produzione di biometano da sequential cropping.

L'impatto dei cambiamenti climatici – in particolare l'aumento della siccità, soprattutto nelle regioni meridionali – potrebbe ulteriormente limitare la disponibilità di superfici coltivabili in secondo raccolto, sebbene non sia stata effettuata una quantificazione precisa degli effetti. Va comunque sottolineato che è in corso di elaborazione a livello nazionale ed europeo una strategia avente lo scopo di individuare le più efficaci misure di resilienza e adattamento al cambiamento climatico in tutti i settori, incluso quello dell'agricoltura. Agricoltori e istituzioni nazionali ed europee potranno introdurre le opportune innovazioni tecnologiche ed organizzative in grado di attenuare e al limite annullare gli effetti del cambiamento climatico sulla produttività del suolo agricolo. Ad esempio, adottando tecniche di irrigazione più efficienti, quali irrigazione di precisione e fertirrigazione, migliorando l'efficienza della rete idrica che porti ad una significativa riduzione delle perdite, realizzando vasche di invaso in grado di attenuare gli effetti delle alluvioni. Le stime contenute nel presente studio sono quindi compatibili con uno scenario in cui gli effetti del cambiamento climatico sulla produttività della superficie agricola vengono annullati dalle misure di resilienza attuate da soggetti privati e pubblici.

8 Percentuale adattata su base provinciale.

9 Parte A feedstock (p) e (t), e Parte B feedstock (F).



Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 20 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA SEQUENTIAL CROPPING PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

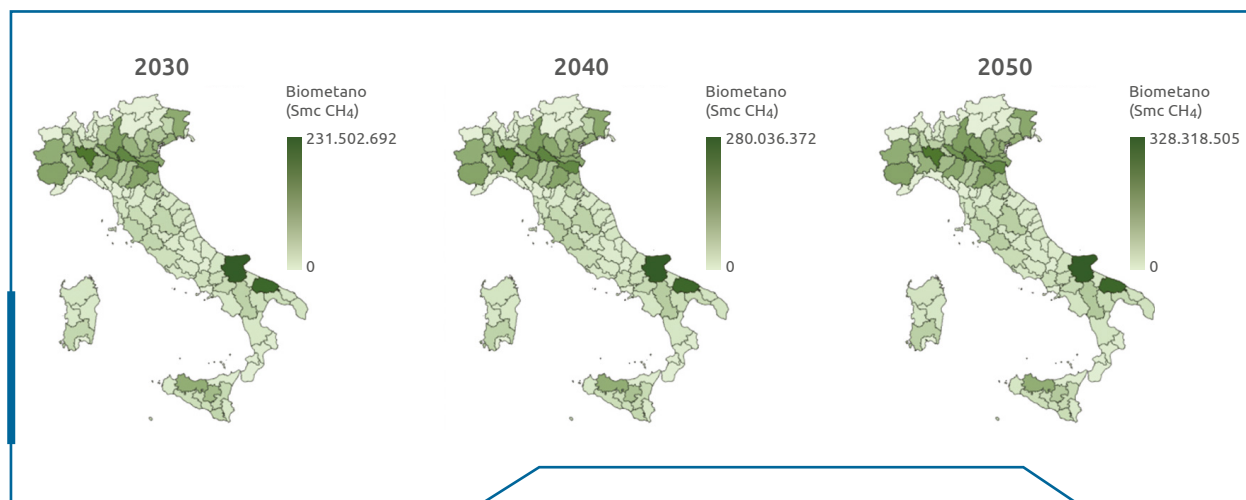


TABELLA 6 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA SEQUENTIAL CROPPING NELLO SCENARIO

Sequential cropping – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	47.473.722	59.698.171	70.863.801
Biometano (Smc)	4.885.878.140	6.138.664.494	7.286.872.820

5.4 Residui agroindustriali

I residui agroindustriali includono materiali di scarto derivanti dalle attività di trasformazione dei prodotti agroalimentari. L'analisi ha riguardato i comparti produttivi che generano regolarmente residui organici di buona qualità e in quantità significative. In particolare, sono stati considerati i settori della lavorazione e trasformazione di prodotti vegetali (legumi, patate, pomodori, olive, frutta – inclusi agrumi e uva), della macellazione di bovini, suini e avicoli, e dell'industria lattiero-casearia.

Trattandosi di comparti molto eterogenei, seppur ricondotti sotto la categoria comune dei residui agroindustriali, l'analisi è stata articolata in modo differenziato per ciascuna filiera.

Per i residui vegetali, la stima è stata effettuata a partire dalle trasformazioni delle produzioni vegetali nel settore alimentare (circa 16 milioni di tonnellate tal quali a livello nazionale). Quando questo dato non era direttamente disponibile nelle banche dati ISTAT, si è operata una stima partendo dalla produzione agricola raccolta e ipotizzando quote di trasformazione industriale specifiche per tipo di coltura. Poiché il luogo di raccolta del prodotto agricolo non coincide necessariamente con il luogo della lavorazione industriale (dove si genera il residuo agro-industriale), i dati ottenuti sono stati successivamente ripartiti a livello provinciale utilizzando i criteri di localizzazione forniti dall'Atlante delle Biomasse di ENEA¹⁰.

Per gli scarti della macellazione, la stima è partita dai dati sul peso vivo complessivo dei capi macellati a livello nazionale (circa 4,4 milioni di tonnellate tal quali), estratti dalle banche dati di ISTAT. Tali quantità sono state poi ripartite a livello provinciale sulla base dei dati riguardanti le macellazioni per provincia, per specie e per età contenuti nell'Anagrafe Zootecnica Nazionale.

¹⁰ Biomassa da scarti agro-industriali 2021 - Dataset - ENEA.

Per gli scarti dell'industria lattiero-casearia, la stima è partita dai dati regionali sulla produzione di prodotti lattiero-caseari (circa 4 milioni di tonnellate tal quali a livello nazionale), estratti dalle banche dati ISTAT. Tali dati sono stati successivamente distribuiti tra le province in funzione dell'ubicazione provinciale degli allevamenti con orientamento produttivo lattiero, ricavabile dall'Anagrafe Zootecnica Nazionale.

I dati storici ottenuti sono stati proiettati al 2030, 2040 e 2050 utilizzando le proiezioni di crescita della Commissione Europea contenute nel "EU Agricultural Outlook 2023-2035" [4], relative alla produzione vegetale, animale e lattiero-casearia. Per il 2040, poiché non erano disponibili previsioni specifiche, si è fatto riferimento alle previsioni per il 2035. Per il 2050, si è ipotizzato che il tasso di crescita rimanga invariato rispetto al decennio precedente.

Per ciascun comparto, la stima dei sottoprodotti si è basata su due elementi principali: le quantità di materia prima lavorata (la produzione agricola destinata all'industria, il peso vivo degli animali macellati, e il latte impiegato per la trasformazione casearia), e l'applicazione di coefficienti unitari di produzione di scarto (espressi in tonnellate di tal quale per unità di peso di materia prima in ingresso).

Il *potenziale teorico* è stato calcolato sulla base della quantità complessiva di residui agroindustriali generati dai comparti analizzati. Per la stima del *potenziale tecnico* e del *potenziale sostenibile*, invece, si è tenuto conto del fatto che solo una parte – variabile a seconda dell'industria di provenienza – può essere effettivamente destinata alla digestione anaerobica. Alcuni residui, infatti, non sono chimicamente idonei a tale tipo di trattamento, mentre altri trovano un impiego in usi alternativi, come la produzione di mangimi, l'alimentazione del bestiame o anche il consumo umano. Nel caso dei sottoprodotti di origine bovina, ad esempio, una quota consistente viene recuperata o è potenzialmente recuperabile in filiere economicamente vantaggiose, come l'industria conciaria o quella del *pet food*, mentre un'altra parte è destinata direttamente all'alimentazione umana.

Infine, si è ipotizzato che il *potenziale disponibile* coincida con il *potenziale sostenibile*. Questo perché, a differenza di altre matrici, tali residui non presentano significative barriere logistiche, essendo già inseriti in filiere esistenti e ben strutturate, che ne facilitano la raccolta e il convogliamento verso gli impianti di conversione energetica.

Il potenziale di biometano derivante è stato stimato applicando a ciascun tipo di residuo un contenuto di sostanza secca e di sostanza volatile e delle rese in metano specifiche. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 21 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA RESIDUI AGROINDUSTRIALI PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

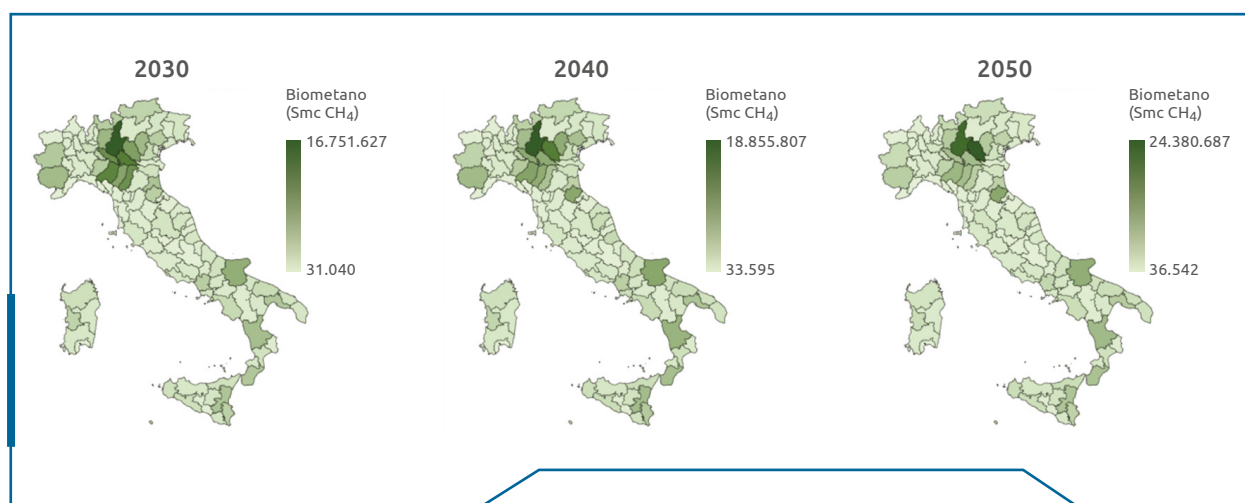


TABELLA 7 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA RESIDUI AGROINDUSTRIALI NELLO SCENARIO

Residui agroindustriali – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	8.327.312	9.030.317	9.573.962
Biometano (Smc)	285.442.272	323.674.909	358.961.958

5.5 FORSU

La Frazione Organica del Rifiuto Solido Urbano (FORSU) è costituita dalla frazione umida dei rifiuti urbani e dai residui del verde urbano. La FORSU può essere valorizzata tramite tre modalità di trattamento biologico, ossia processi naturali di degradazione della sostanza organica da parte di microrganismi:

- il trattamento integrato aerobico e anaerobico, che combina la produzione di biogas con la produzione di compost;
- la digestione anaerobica, che produce unicamente biogas;
- il compostaggio, che produce unicamente compost.

I dati storici sulla FORSU raccolta in modalità differenziata (in tonnellate tal quali) sono stati estratti dalle banche dati dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA)¹¹. In Italia, la raccolta differenziata totale dei rifiuti urbani supera i 19 milioni di tonnellate tal quali annue, di cui circa 7,5 milioni sono attribuibili alla FORSU. Per proiettare tali dati al 2030, 2040 e 2050, si sono ipotizzati:

- una riduzione dei rifiuti urbani complessivi, legata al calo demografico¹²;
- partendo dal valore storico registrato, un progressivo aumento in ogni provincia della quota dei rifiuti urbani raccolti con modalità differenziata, fino al raggiungimento del valore del 90% al 2050 in tutte le province;
- una diminuzione del peso della FORSU sulla raccolta differenziata, partendo dal 38% attuale per arrivare al 35% nel 2050, valore che ISPRA stima essere il peso della FORSU sul totale dei rifiuti urbani. In sostanza, l'ipotesi è che, al progredire della raccolta differenziata, la presenza in essa della FORSU progressivamente si riduca, tendendo al peso che la FORSU assume relativamente al totale dei rifiuti urbani. Ciò in ragione dell'aumento della raccolta differenziata di altre frazioni merceologiche (plastica, metalli, ecc.).

Il *potenziale teorico* è stato stimato sulla base della disponibilità potenziale massima di FORSU, intesa come la somma tra la frazione organica raccolta in modo differenziato e quella presente nel rifiuto indifferenziato¹³. Si è quindi ipotizzato un recupero integrale della FORSU disponibile: tramite digestione anaerobica per la FORSU differenziata, e attraverso degradazione anaerobica in discarica per quella contenuta nel rifiuto indifferenziato.

È stato poi calcolato un *potenziale tecnico* sulla base dell'effettiva capacità degli impianti di trattamento biologico esistenti oggi e prevedibili negli anni futuri considerati. Per ottenere questi ultimi si è fatta l'ipotesi che, a partire dal 2030, l'Italia disponga di una capacità complessiva di trattamento biologico sufficiente a valorizzare l'intera FORSU raccolta in modo differenziato. Tuttavia, la provincia in cui la FORSU viene raccolta non coincide sempre con quella in cui avviene il trattamento integrato o di digestione anaerobica. Tali impianti risultano oggi concentrati prevalentemente nel Nord Italia. Di conseguenza, alcune province (importatrici) trattano più FORSU di quanta ne raccolgano, mentre altre (esportatrici) ne trattano meno di quanta ne raccolgano a causa di una insufficiente capacità di trattamento installata sul loro territorio. Per rappresentare correttamente questi flussi, è stato quindi calcolato, per ciascuna provincia, il saldo tra importazioni ed esportazioni di frazione organica. A tale scopo è stato ricostruito un percorso ottimizzato tra i punti di produzione e i punti di trattamento, rispettando due vincoli principali:

- la capacità nazionale complessiva di trattamento biologico deve essere pari, a partire dal 2030, alla produzione nazionale complessiva di FORSU raccolta tramite differenziata;
- nell'orizzonte temporale considerato, ogni provincia deve trattare biologicamente almeno la stessa quantità di FORSU che viene trattata ad oggi. Questa ipotesi implica che nessuna capacità impiantistica oggi esistente resti inutilizzata in futuro.

¹¹ ISPRA :: Catasto Nazionale Rifiuti.

¹² ISTAT.

¹³ Secondo stime ISPRA, la frazione organica costituisce circa il 35% dei rifiuti urbani complessivi (differenziati e non).



Il *potenziale tecnico* è stato ipotizzato limitato alla sola FORSU trattabile negli impianti che prevedono digestione anaerobica, sia integrata con trattamenti aerobici, sia autonoma. Sono stati quindi esclusi i flussi di FORSU destinati a usi alternativi nell'ambito dell'economia circolare, ovvero trattati in impianti di solo compostaggio senza produzione di biogas. Per i flussi trattati in impianti di solo compostaggio si prevede una graduale riduzione, proiettando al futuro la tendenza, che si sta registrando da diversi anni, a destinare la FORSU ai più efficienti impianti di trattamento integrato.

Anche nel caso del compostaggio, tuttavia, alcune province trattano una quantità di FORSU superiore a quella prodotta localmente. Al fine di allocare correttamente su base provinciale la biomassa convertibile in biometano, si è quindi reso necessario ricostruire anche per la biomassa da convertire in compost gli scambi tra province in surplus e province in deficit. Nel calcolo del potenziale tecnico, infine, è stata inclusa anche la produzione di biogas da discarica, limitatamente agli impianti di captazione attivi ad oggi e prevedibili come ancora operativi nel 2030, 2040, e 2050 assumendo una vita utile di 20 anni e ipotizzando l'assenza di nuove realizzazioni.

Si è infine assunto che il *potenziale sostenibile* e *quello disponibile* coincidano con il potenziale tecnico. Questa ipotesi si basa su due considerazioni: da un lato, la FORSU è un rifiuto recuperato, e pertanto il suo utilizzo è da considerarsi sostenibile; dall'altro, le limitazioni logistiche e organizzative della supply chain legate alla raccolta differenziata sono già state incorporate nel calcolo del potenziale tecnico.

Il potenziale di biometano derivante è stato stimato applicando alla biomassa tal quale un contenuto di sostanza secca del 31%, un contenuto di sostanza volatile dell'82% e una resa in metano variabile: 385 Smc CH₄ per tonnellata di sostanza volatile nel caso della FORSU raccolta tramite differenziata, e 5 Smc CH₄ per tonnellata di rifiuto tal quale nel caso della FORSU contenuta nel rifiuto indifferenziato. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 22 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA FORSU PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

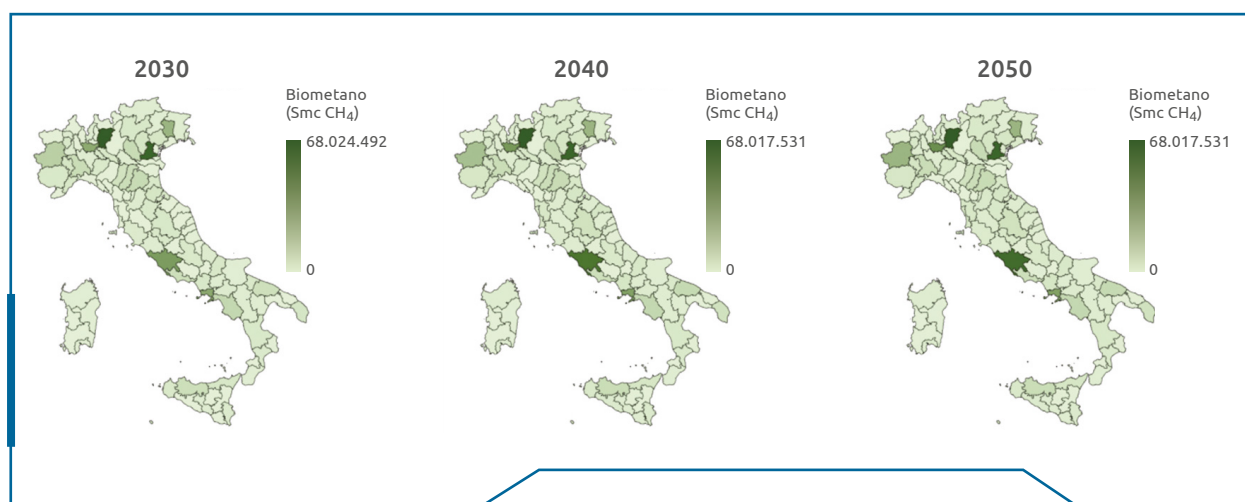


TABELLA 8 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA FORSU NELLO SCENARIO

FORSU – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	6.224.601	7.263.185	7.561.051
Biometano (Smc)	611.742.060	713.063.453	742.306.451

5.6 Fanghi da depurazione delle acque reflue urbane

I fanghi di depurazione sono residui solidi ad alto contenuto organico prodotti nei processi di trattamento delle acque reflue urbane. La loro composizione può variare in funzione del carico inquinante in ingresso, dei processi di trattamento adottati e della presenza di eventuali pretrattamenti. Come la FORSU, i fanghi possono essere valorizzati per la produzione di biogas venendo trattati in impianti integrati o di sola digestione anaerobica.

Il *potenziale teorico* è stato stimato considerando la disponibilità massima di fanghi urbani (circa 3 milioni di tonnellate di tal quale a livello nazionale), definita considerando i dati dell'ISPRA relativi alle produzioni regionali attuali, successivamente ripartite a livello provinciale in base alla popolazione. Le proiezioni al 2030, 2040 e 2050 assumono una produzione pro capite costante, ma una riduzione complessiva legata al calo demografico previsto.

Il *potenziale tecnico* è stato successivamente determinato tenendo conto della capacità effettiva di trattamento tramite digestione anaerobica e trattamento integrato aerobico e anaerobico. Si ipotizza che tale capacità aumenti progressivamente in tutte le province, fino a trattare entro il 2050 il 70% dei fanghi urbani. Come già fatto per la FORSU, è stato rispettato il vincolo secondo cui in nessuna provincia la capacità futura di trattamento integrato e digestione anaerobica può risultare inferiore a quella attualmente disponibile. Questa ipotesi implica la presenza di un surplus di capacità di trattamento superiore alla quantità di fanghi generati nella provincia e genera un flusso di importazioni di biomassa da altre province che al contrario presentano un deficit di capacità di trattamento rispetto ai fanghi generati. Anche in questo caso, si è ipotizzato che il *potenziale sostenibile* e il *potenziale disponibile* coincidano con il *potenziale tecnico*.

Il potenziale di biometano derivante è stato stimato considerando un contenuto di sostanza secca nella biomassa tal quale del 10%, una quota di sostanza volatile del 70% e una resa in metano di 326 Smc CH₄ per tonnellata di sostanza volatile. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 23 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA FANGHI URBANI PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

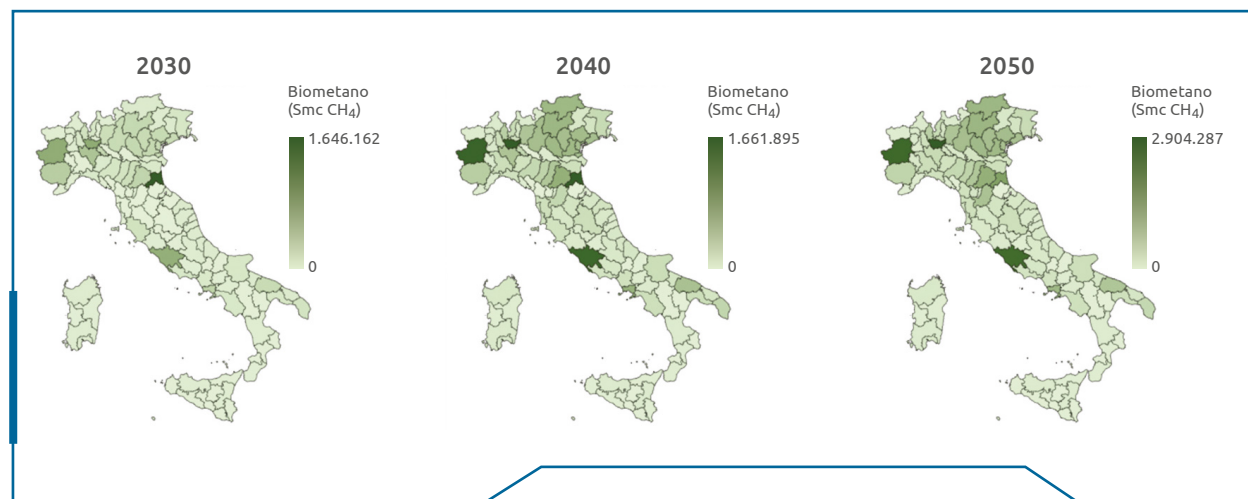


TABELLA 9 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA FANGHI URBANI NELLO SCENARIO

Fanghi urbani – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	640.079	1.258.397	2.139.400
Biometano (Smc)	14.608.393	28.720.144	48.827.099



5.7 Fanghi da depurazione delle acque reflue industriali

Come nel caso delle acque reflue urbane, anche quelle generate nei processi industriali possono essere valorizzate per la produzione di biogas tramite trattamento integrato o sola digestione anaerobica. I fanghi industriali derivano dal trattamento delle acque reflue prodotte in vari settori manifatturieri, in particolare in quelli agroalimentare, cartario e tessile. Questi fanghi presentano caratteristiche chimico-fisiche eterogenee, legate alla specifica attività produttiva da cui provengono, con una variabilità significativa in termini di contenuto organico, presenza di inquinanti e potenziale metanigeno. Si è quindi seguito un approccio analogo a quello seguito per le acque reflue urbane, partendo dalla stima di un *potenziale teorico*, che considera la massima disponibilità di questa matrice organica. In questo caso, la disponibilità massima è stata ricavata facendo riferimento ai dati regionali relativi alla produzione di acque reflue non pericolose (circa 800mila tonnellate tal quali secondo i dati dell'ISPRA). A questi è stata aggiunta la quantità di fanghi provenienti dalle industrie agroalimentare, cartaria e tessile (stimata in circa 500mila tonnellate tal quali)¹⁴. Si è ipotizzato che le quantità considerate restino costanti fino al 2050, mentre la distribuzione a livello provinciale è stata effettuata sulla base dell'occupazione nel settore industriale a livello provinciale.

Il *potenziale tecnico* è stato determinato tenendo conto della capacità effettiva di trattamento tramite digestione anaerobica e trattamento integrato aerobico e anaerobico, ipotizzando che tale capacità aumenti progressivamente in tutte le province, fino a trattare entro il 2050 il 50% dei fanghi industriali. Come per i fanghi urbani, anche in questo caso è stato mantenuto il principio secondo cui, in ogni provincia, la capacità futura di trattamento integrato e digestione anaerobica deve essere almeno pari a quella attualmente esistente, e si è ipotizzato che il *potenziale sostenibile* e il *potenziale disponibile* coincidano con il *potenziale tecnico*.

Il potenziale di biometano derivante è stato infine stimato considerando un contenuto di sostanza secca nella biomassa tal quale del 10%, una quota di sostanza volatile del 70% e una resa in metano di 264 Smc CH₄ per tonnellata di sostanza volatile. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 24 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA FANGHI INDUSTRIALI PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

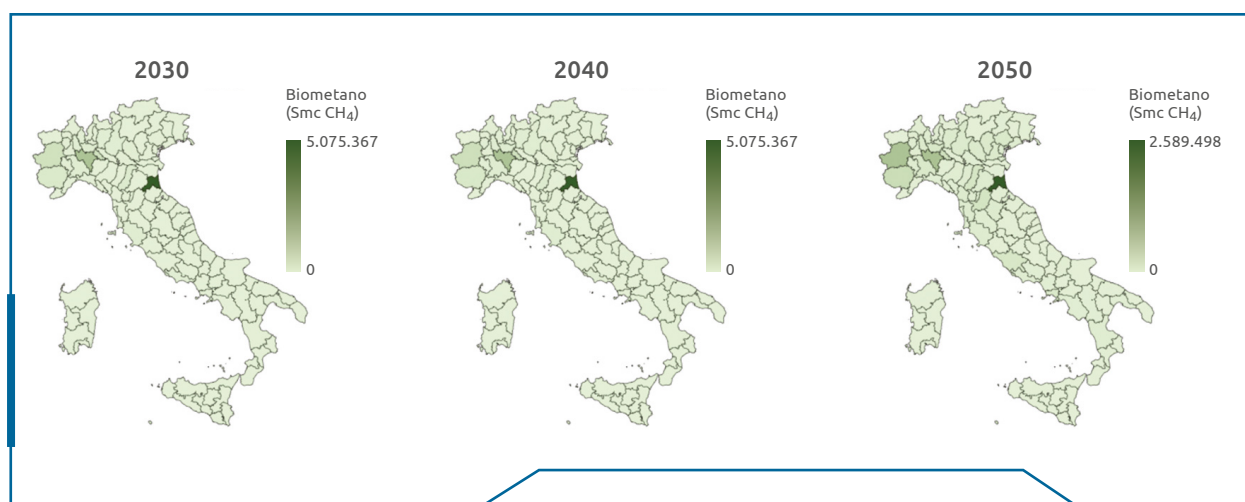


TABELLA 10 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA FANGHI INDUSTRIALI NELLO SCENARIO

Fanghi industriali – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	588.564	604.739	642.174
Biometano (Smc)	10.876.664	11.175.570	11.867.367

14 Poiché non è stato possibile reperire dati completi sulla produzione totale di reflui di questi comparti, si è ipotizzato che tale valore coincida con le quantità già oggi avviate a trattamento integrato o digestione anaerobica.

5.8 Erba dai bordi stradali

L'erba sfalcata lungo i bordi stradali è un residuo derivante dalla manutenzione del verde pubblico urbano e delle infrastrutture viarie. Questa biomassa include erba, foglie e altro materiale vegetale raccolto durante le operazioni di sfalcio effettuate regolarmente per motivi di sicurezza stradale, decoro urbano e gestione del rischio incendi. Sebbene presenti una variabilità stagionale e qualitativa, l'erba di sfalcio ha un discreto contenuto di sostanza organica e può essere valorizzata attraverso processi di digestione anaerobica, purché si presenti in condizioni idonee, ovvero priva di contaminanti come piombo, sabbia, plastica o altri materiali estranei. I dati provinciali attuali, ricavati dall'ISPRA¹⁵, sono stati assunti come base e considerati costanti fino al 2050, in quanto legati a pratiche di manutenzione ordinaria e alla stabilità del patrimonio infrastrutturale. Attualmente, questa biomassa viene in molti casi gestita come rifiuto verde e destinata a compostaggio o discarica. Tuttavia, tali usi non sempre garantiscono un'efficace valorizzazione energetica o ambientale, soprattutto in contesti urbani o ad alta densità infrastrutturale, dove la logistica e la qualità del materiale possono rappresentare un limite. La digestione anaerobica rappresenta quindi un'opportunità per trasformare un residuo a bassa valorizzazione in una risorsa per la produzione di biogas e biometano, a patto di garantire una raccolta separata e pulita.

Per il *potenziale teorico*, si è stimata la massima disponibilità di questo residuo (circa 500mila tonnellate di tal quale). Poiché non si riscontrano particolari vincoli alla sua raccolta – già oggi regolarmente effettuata – e considerando che la digestione anaerobica rappresenta una modalità di valorizzazione più efficiente dal punto di vista energetico e ambientale rispetto agli attuali impieghi, si è ipotizzato che, a partire dal 2030, l'intera quantità di erba sfalcata possa essere destinata alla produzione di biometano. Di conseguenza, si è assunto che il *potenziale teorico* coincida con quello *disponibile*.

Il potenziale di biometano derivante è stato calcolato applicando alla biomassa tal quale un contenuto di sostanza secca del 18%, una quota di sostanza volatile del 91% e una resa in metano di 306 Smc CH₄ per tonnellata di sostanza volatile. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 25 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA ERBA DAI BORDI STRADALI PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

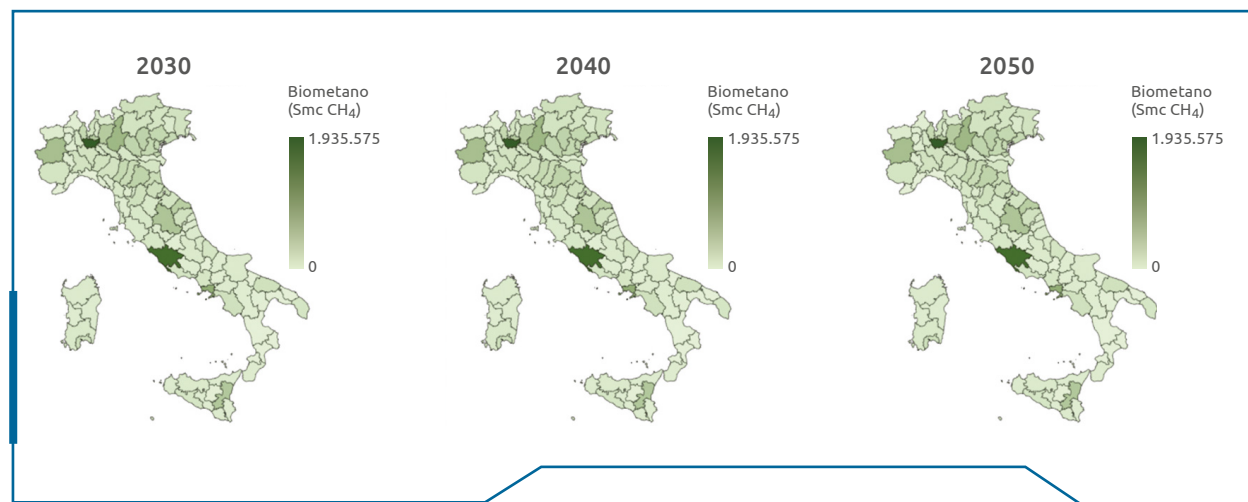


TABELLA 11 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA ERBA DAI BORDI STRADALI NELLO SCENARIO

Erba dai bordi stradali - Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	499.714	499.714	499.714
Biometano (Smc)	25.066.733	25.066.733	25.066.733

¹⁵ Dati relativi alla pulizia stradale a recupero.

5.9 Prati marginali

Per prati marginali si intendono le superfici a colture erbacee permanenti che, pur essendo classificate come foraggiere, non risultano impiegate attivamente per il pascolo o la fienagione. Si tratta di aree che, per ragioni economiche, logistiche o legate alla scarsa produttività, vengono abbandonate o lasciate a incolto pur mantenendo la loro destinazione agricola. Questa tipologia di superfici, spesso localizzata in aree collinari o marginali, rappresenta una potenziale risorsa per la produzione di biomassa, mobilitabile a costi contenuti grazie a interventi di sfalcio periodico. La qualità della biomassa può variare in funzione della composizione floristica e del grado di conservazione del prato, ma presenta in genere un contenuto organico sufficiente a renderla adatta alla digestione anaerobica. I dati provinciali attuali sono stati ottenuti sottraendo, dai terreni destinati a foraggiere permanenti, quelli effettivamente in produzione, secondo i dati ISTAT. Ne risulta una superficie residua di circa 140.000 ettari. Si è poi ipotizzato che tale superficie rimanga costante fino al 2050, considerando che la dinamica di abbandono agricolo in molte aree interne e montane tende a stabilizzarsi nel lungo periodo.

Il *potenziale teorico* è stato stimato considerando la massima disponibilità di queste superfici. È stata calcolata la produttività media in biomassa delle aree a colture erbacee permanenti effettivamente coltivate, applicandola anche alle superfici non utilizzate, ipotizzando rese analoghe. Ciò ha permesso di stimare la quantità di biomassa potenzialmente disponibile (in tonnellate di tal quale), che si ipotizza essere costituita principalmente da piante perenni, come loietto ed erba medica.

Per il *potenziale tecnico* e il *potenziale sostenibile*, si è assunto che solo una parte della biomassa disponibile possa essere destinata alla produzione di biometano. Tale quota aumenta nel tempo in tutte le province, risultando però inferiore nelle aree montuose, dove le caratteristiche del territorio rendono difficile la raccolta, e più elevata nelle zone pianeggianti. In ogni caso, sono stati adottati criteri prudenziali, considerando anche i possibili usi zootecnici di una biomassa di alta qualità.

Per la conversione della biomassa in biometano si sono considerati un contenuto di sostanza secca pari al 31%, una quota di sostanza volatile pari al 94%, una resa in biogas di circa 600 Smc biogas per tonnellata di sostanza volatile e un contenuto di biometano all'interno del biogas pari al 50%. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 26 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA PRATI MARGINALI PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

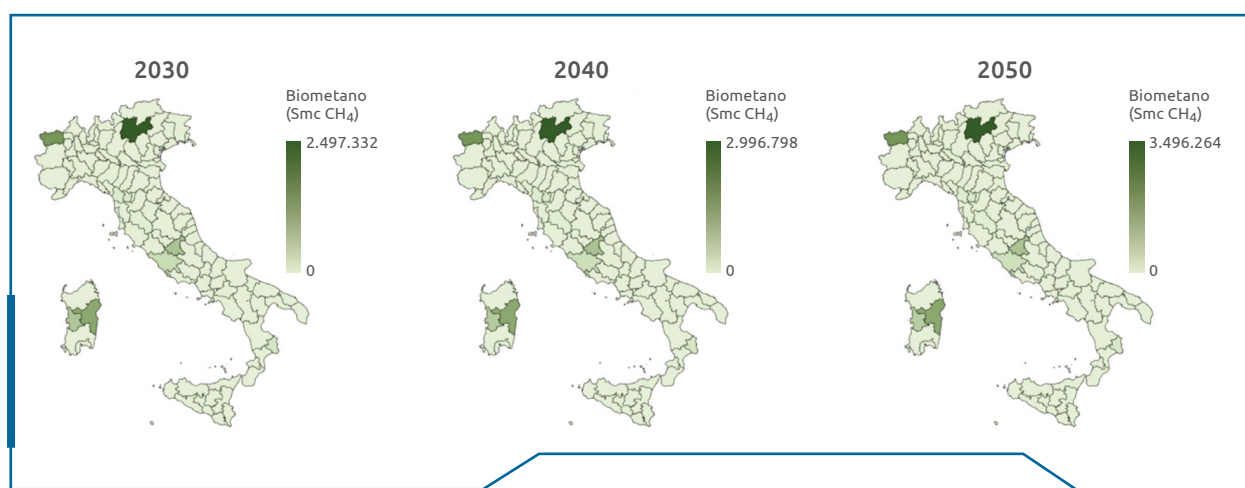


TABELLA 12 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA PRATI MARGINALI NELLO SCENARIO

Prati marginali – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	91.915	107.918	123.920
Biometano (Smc)	8.273.044	9.713.412	11.153.781



5.10 Rifiuti da attività di ristorazione

I rifiuti organici derivanti da attività di ristorazione includono scarti alimentari, residui di preparazione e avanzi di cibo prodotti da mense aziendali e scolastiche, ristoranti, bar, servizi di catering e altre attività del settore *food service*. Si tratta prevalentemente di materiale organico facilmente biodegradabile e ad alto contenuto di umidità e sostanza volatile, che lo rende particolarmente adatto ai processi di digestione anaerobica. Questi rifiuti, in quanto generati da attività economiche, sono classificati come rifiuti speciali e non vengono quindi conteggiati all'interno della FORSU, che riguarda esclusivamente i flussi domestici e assimilati. L'integrazione di questi flussi nella filiera del biometano può rappresentare un'opportunità significativa per incrementare la resa energetica complessiva e migliorare la circolarità del settore agroalimentare e della ristorazione collettiva.

A partire dai dati ISPRA relativi alla produzione regionale attuale (circa 27mila tonnellate di tal quale a livello nazionale), la distribuzione a livello provinciale è stata ottenuta utilizzando come proxy il numero di addetti nel settore della ristorazione presenti in ciascuna provincia, assumendo una correlazione diretta tra occupazione e generazione di rifiuti organici nel comparto. Le proiezioni per il 2030, 2040 e 2050 sono state sviluppate ipotizzando che l'evoluzione della produzione di questi rifiuti segua l'andamento demografico nazionale, riflettendo quindi le variazioni previste nella domanda di servizi di ristorazione connessa alla popolazione residente.

Il *potenziale teorico* è stato calcolato considerando l'intera quantità disponibile dei rifiuti della ristorazione. Per il *potenziale tecnico*, invece, si è ipotizzato un utilizzo progressivo nel tempo, fino a raggiungere il 70% della disponibilità totale nel 2050, come quota destinata alla produzione di biometano. Si è ipotizzato, infine, che il *potenziale sostenibile* e il *potenziale disponibile* coincidano con il potenziale tecnico.

Per la conversione della biomassa in biometano si sono considerate un contenuto di sostanza secca del 31% nella biomassa tal quale, un contenuto di sostanza volatile dell'82% e una resa in metano di 385 Smc CH₄ per tonnellata di sostanza volatile. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 27 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA RIFIUTI DA ATTIVITÀ DI RISTORAZIONE PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

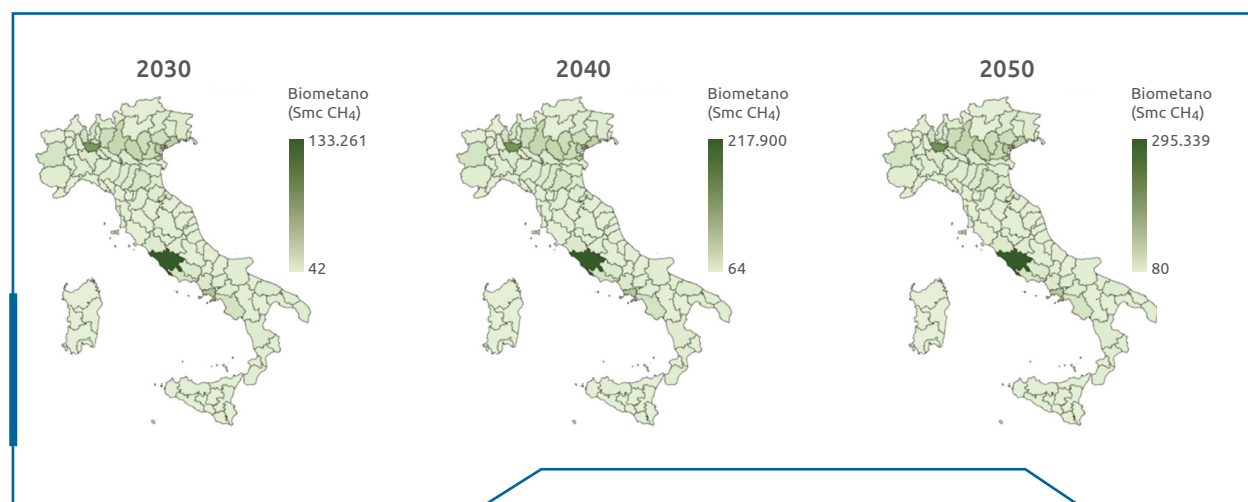


TABELLA 13 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA RIFIUTI DA ATTIVITÀ DI RISTORAZIONE NELLO SCENARIO

Rifiuti ristorazione – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	8.171	13.418	18.278
Biometano (Smc)	802.154	1.317.316	1.794.490



CAPITOLO 6 – LE BIOMASSE PER LA GASSIFICAZIONE TERMOCHIMICA

I paragrafi successivi descrivono l'approccio utilizzato per determinare il potenziale di biometano dalle matrici utilizzabili dalla gassificazione termochimica. Per la stima del potenziale da residui forestali primari, da potature e da gusci della frutta secca, in luogo di un calcolo che partisse da dati statistici sulla biomassa generata a livello provinciale, ci si è basati sui risultati finali di analisi condotte in passato da ENEA [30].

6.1 Legno da raccolta differenziata

Il legno contenuto nei rifiuti urbani – come mobili dismessi e imballaggi – è una biomassa secca a contenuto lignocellulosico, convertibile in biometano tramite gassificazione termochimica.

Come base di partenza sono stati utilizzati i dati dell'ISPRA relativi al legno raccolto separatamente nelle aree urbane (pari a circa 1 milione di tonnellate di tal quale a livello nazionale). Per proiettare questa variabile al 2030, 2040 e 2050, si è proceduto in due passi successivi.

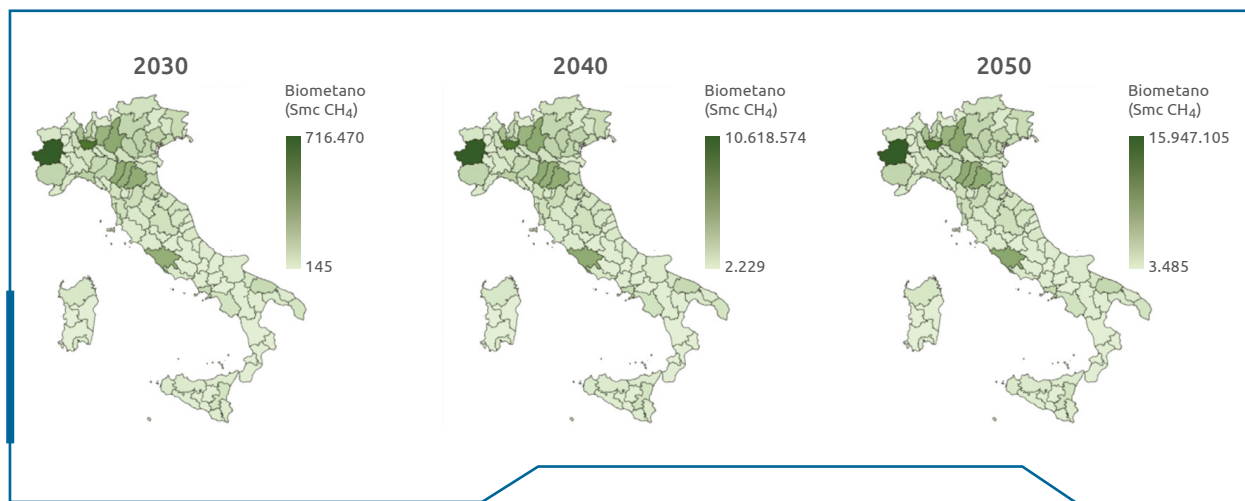
In primo luogo, sono state adottate le stesse ipotesi che hanno guidato il calcolo del potenziale tecnico della biomassa da FORSU, ossia:

- una progressiva riduzione dei rifiuti urbani legata all'andamento demografico previsto;
- un progressivo aumento della percentuale di raccolta differenziata rispetto ai rifiuti urbani complessivi, fino al raggiungimento del valore del 90% nel 2050 in ogni provincia. Queste due ipotesi, partendo dal totale dei rifiuti raccolti nel 2023, consentono di calcolare per ogni anno dello scenario considerato il totale dei rifiuti da raccolta differenziata.

Successivamente, al fine di calcolare l'evoluzione della percentuale del legno nella raccolta differenziata, si è adottata l'ipotesi che al 2050 la percentuale di legno nella raccolta differenziata sia prossima alla percentuale del legno sui rifiuti urbani totali registrata storicamente. Ciò equivale ad assumere che la raccolta differenziata tenderà a recuperare tutto il legno contenuto nei rifiuti urbani totali. Secondo le stime effettuate da ISPRA la percentuale media di legno nei rifiuti urbani totali in Italia era del 3,5% nel 2023, mostrandosi più alta nelle province del Nord (4,9%), e più bassa nelle province del Centro (2,8%) e del Sud (1,9%). Si è quindi ipotizzata una progressiva convergenza a questi valori della percentuale del legno nella raccolta differenziata, adottando per ogni provincia il valore relativo alla macroregione in cui essa è ubicata. Ciò ha permesso il calcolo della quantità di legno raccolto come rifiuto differenziato lungo tutto l'orizzonte temporale considerato e per ogni provincia.

Il *potenziale teorico* di biometano coincide con la massima disponibilità di legno da rifiuti urbani differenziati calcolata sopra. Per il *potenziale tecnico* si è ipotizzato che solo una parte di questa quantità – in progressivo aumento, fino al 65% nel 2050 – possa essere effettivamente utilizzata per la produzione di biometano, potendo questo rifiuto essere riciclato. Per il successivo calcolo del *potenziale disponibile*, si è considerato una graduale crescita della maturità della tecnologia della gassificazione, assumendo che per essa l'accesso a questa matrice cresca nel tempo: dall'1% nel periodo attuale, al 5% nel 2030, fino a raggiungere il 70% nel 2040 e il 100% nel 2050 [2].

Il potenziale di biometano derivante è stato stimato applicando una resa in metano di 361 Smc CH₄ per tonnellata di tal quale. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 28 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA LEGNO DA RACCOLTA DIFFERENZIATA PER PROVINCIA NELLO SCENARIO**TABELLA 14 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA LEGNO DA RACCOLTA DIFFERENZIATA NELLO SCENARIO**

Legno da RD – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	28.430	426.642	649.021
Biometano (Smc)	10.257.657	153.932.332	234.166.641

6.2 Residui forestali primari

I residui forestali primari sono costituiti dalle parti dell'albero non destinate alla lavorazione industriale del legno, come rami, foglie, corteccia e ceppi, che restano disponibili sul sito di prelievo dopo il taglio del tronco.

Per stimare il contributo di questa matrice, si è fatto riferimento alle stime dello studio ENEA [30] del *potenziale sostenibile* dei residui derivanti da boschi di latifoglie, boschi di conifere e arboricoltura, relativi all'anno 2006 e stimati in circa 2,2 milioni di tonnellate di sostanza secca.

ENEA stima che l'84% dei residui forestali primari provenga da boschi di latifoglie, mentre i boschi di conifere e l'arboricoltura apportano un contributo del 6% e del 10% rispettivamente. Le zone a maggiore disponibilità di residui forestali primari sono quelle appenniniche e prealpine, dove prevalgono boschi di latifoglie (quercia, noce, faggio), e le zone alpine dove prevalgono i boschi di conifere (pino, abete). Non è però infrequente nell'arco alpino la presenza di boschi formati sia da conifere che da latifoglie. La ragione del maggior sfruttamento della massa boschiva delle latifoglie risiede nelle caratteristiche fisiche ed estetiche di questo legno, chiamato anche legno duro, tra cui la densità, che lo rende particolarmente resistente, e le sue venature, e quindi adatto, in ragione della sua estetica, all'impiego nella fabbricazione di mobili di pregio.

Le stime pubblicate nello studio di ENEA già incorporano le limitazioni al prelievo della biomassa dovute a vincoli:

- di sostenibilità ambientale: è opportuno non prelevare dal bosco l'intero potenziale teorico di residui. Questo approccio cautelativo è dettato dalla necessità di prevenire un impoverimento della fertilità del suolo e proteggerlo da processi di erosione;
- di accessibilità alla biomassa dipendenti da altitudine del bosco, pendenza del terreno e distanza dalla viabilità.

Si tratta quindi di una stima del potenziale sostenibile effettivamente raccoglibile e trasportabile verso il mercato relativa all'anno 2006.



Questo valore è stato proiettato negli anni futuri dello scenario ipotizzando una crescita dello 0,9% annuo della quantità di residui raccogliabili e trasportabili. Si tratta della percentuale di crescita che lo studio *Gas for Climate* del 2022 [2] individua come possibile e sostenibile per paesi che, come Germania, Francia e Svezia, attuano politiche di sfruttamento della biomassa applicando pratiche avanzate e sostenibili di gestione del patrimonio forestale nazionale. Le ragioni che giustificano l'estensione all'Italia di questa potenzialità di crescita sono molteplici.

Innanzitutto, l'Italia è un paese con un grandissimo patrimonio boschivo [37]. Le aree forestali italiane coprono il 37% del territorio nazionale: più di 9 milioni di ettari sono occupati da foreste, quasi 2 milioni di ettari da altre superfici boschive (secondo la definizione FAO) e circa 97.000 ettari sono coperti da piantagioni forestali, per un totale di oltre 11 milioni di ettari. Una superficie che colloca l'Italia al secondo posto in Europa in termini di copertura forestale dopo solo la Spagna (55,4%), e davanti a Germania (32,8%), Francia (32,1%) e Gran Bretagna (13,1%), e al di sopra della media UE (33%).

Non solo la consistenza, ma anche il tasso di crescita della biomassa forestale colloca l'Italia ai primi posti in Europa: nel periodo 1990-2015, l'Italia ha registrato una crescita media annua della superficie forestale dello 0,8%, seconda solo alla Spagna (1,2%), davanti a Francia (0,7%), Gran Bretagna (0,5%) e Germania (0,04%), e ben al di sopra della media UE (0,4%).

Ancora più marcata della crescita della superficie boscata è stata la crescita della biomassa arborea epigea che, secondo i dati dell'*Inventario Nazionale delle Foreste del 2015* [38], è aumentata di quasi il 20% rispetto ai valori stimati dall'*Inventario del 2005* (INFC 2005) in ragione dell'invecchiamento delle foreste.

L'estensione dei boschi italiani è aumentata a causa anzitutto dell'abbandono di gran parte dei terreni agricoli e pascolivi, collinari e soprattutto montani nelle aree più marginali e sottosviluppate del paese. In Italia, l'area totale coperta dalle foreste cresce ogni anno al ritmo di circa 52.000 ettari. E questo nonostante la superficie occupata dalle foreste diminuisca sulle coste, nei fondivalle e nelle pianure, per far posto a infrastrutture e aree urbane, con una perdita complessiva di 7.000 ettari all'anno.

La *Strategia Forestale Nazionale* [36] si propone di valorizzare il patrimonio forestale italiano, nella sua funzione di generatore di servizi ecosistemici, quali l'assorbimento e il sequestro di carbonio, la fornitura di legname per successivi usi produttivi nei settori industriali e la fornitura di fonti energetiche rinnovabili.

Va considerato infatti che il paese presenta un'elevata dipendenza dalle importazioni:

- per il soddisfacimento di una domanda interna sostenuta da settori come quello della fabbricazione dei mobili, che costituisce parte importante del Made in Italy, e dai consolidati settori della cartaria e del *packaging* (circa l'80% dei prodotti legnosi e circa il 70% del legname grezzo consumati sono importati);
- per la fornitura di pellet per uso riscaldamento: i 3,3 milioni di tonnellate di pellet consumati annualmente in Italia provengono per la quasi totalità dall'estero, visto che la produzione nazionale è intorno a 300mila tonnellate.

Per non generare debiti di carbonio rispetto al *Livello Forestale di Riferimento* (FRL, *Forest Reference Level*, ossia il livello di assorbimento di carbonio di foreste e prodotti legnosi mantenendo invariate le attuali modalità di gestione forestale), la gestione forestale in Italia può espandere le attività di prelievo fino ad un massimo del 45% dell'incremento annuo, partendo dall'attuale utilizzo stimato del 33% (il valore medio riferibile all'Europa continentale è stimabile attualmente attorno al 54%) [37].

Tenendo conto che la disponibilità di residui forestali primari non è legata unicamente al taglio del bosco, ma anche alla sua gestione entro pratiche di diradamento selettivo preventivo e di manutenzione, e che le stime di biomassa disponibile per l'anno 2006 si ispirano a criteri molto prudentziali, si è ritenuto ragionevole estendere all'Italia l'ipotesi di crescita della disponibilità dei residui forestali primari (appunto lo 0,9% annuo) che lo studio *Gas For Climate* del 2022 [2] ipotizza per paesi come la Germania e la Francia, paesi da cui proviene gran parte del legname grezzo importato in Italia e che presentano tassi di utilizzo della biomassa forestale nettamente superiori a quella dell'Italia.



Infine, per stimare il reale contributo produttivo di biometano attivabile nel tempo, vale a dire il *potenziale disponibile*, è stato introdotto un coefficiente di maturità tecnologica della gassificazione termochimica. Rifacendosi allo studio *Gas for Climate* del 2022 [2], si è adottata l'ipotesi che la quota effettivamente utilizzabile di questa biomassa nella gassificazione termochimica aumenti progressivamente, dall'1% di oggi, al 5% del 2030 e al 70% e 100% del 2040 e 2050 rispettivamente.

Per la conversione della biomassa in biometano si è considerata una resa in metano di 423 Smc CH₄ per tonnellata di sostanza secca [2]. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano rispettivamente la distribuzione provinciale del biometano potenziale disponibile e i risultati dell'analisi relativi alla disponibilità potenziale totale di biomassa e biometano.

FIGURA 29 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA RESIDUI FORESTALI PRIMARI PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

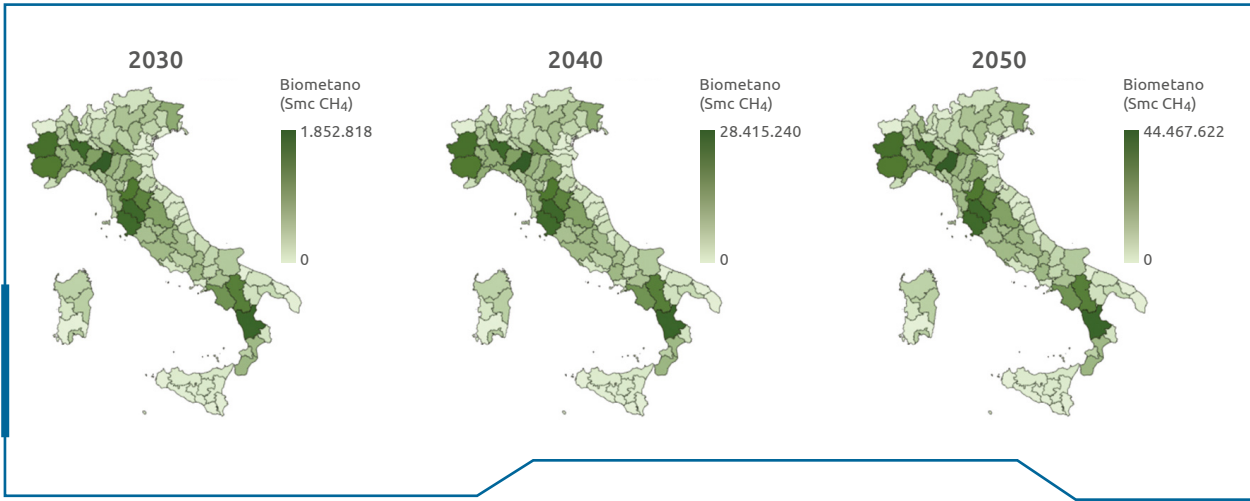


TABELLA 15 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA RESIDUI FORESTALI PRIMARI NELLO SCENARIO

Residui forestali primari – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	226.156	3.468.385	5.427.751
Biometano (Smc)	57.398.467	880.276.177	1.377.563.196

6.3 Residui forestali secondari

I residui forestali secondari appartengono alla categoria dei rifiuti speciali e vengono rilevati dal Catasto Nazionale dei Rifiuti di ISPRA. Comprendono i rifiuti derivanti dalle attività industriali di lavorazione del legno e della carta, come scarti di segherie, residui della produzione di mobili e altri sottoprodotti. Questi rifiuti, entro il Catasto Nazionale, vengono inseriti nella categoria dei rifiuti speciali non pericolosi (ad esempio trucioli, segatura o prodotti in legno grezzo o trattato senza sostanze nocive) oppure in quella dei rifiuti speciali pericolosi, quando contengono vernici ignifughe o altre sostanze potenzialmente nocive. Ai fini dell'analisi sono stati considerati, nel caso dei rifiuti derivanti dalla lavorazione del legno, sia i residui non pericolosi che quelli pericolosi, ipotizzando per questi ultimi la possibilità di rimuovere i rivestimenti superficiali mediante specifiche tecniche di trattamento, così da renderli idonei alla valorizzazione energetica tramite gassificazione. Tuttavia, poiché durante questo processo una parte della biomassa può andare persa, è stato considerato solo il 90% della biomassa dei rifiuti pericolosi disponibili. Nel caso dei rifiuti derivanti dalla lavorazione della carta, invece, sono stati esclusi i rifiuti pericolosi, quali ad esempio i solventi utilizzati nella preparazione della pasta di carta, considerati non recuperabili.

I dati regionali attuali (circa 3,9 milioni di tonnellate tal quali a livello nazionale) sono stati estratti dal catasto nazionale dei rifiuti speciali dell'ISPRA, e successivamente ripartiti a livello provinciale sulla base del numero di addetti nelle industrie del legno, dei mobili e della carta in ciascuna provincia. Per le proiezioni al 2030, 2040 e 2050 si è ipotizzata una variazione nella produzione di questi rifiuti legata all'andamento demografico, considerato una variabile proxy per la domanda di mercato di questi prodotti.

Il *potenziale teorico* è stato calcolato considerando la disponibilità massima potenziale di questi residui. Per il calcolo del *potenziale tecnico e sostenibile*, si è invece ipotizzato che solo una parte – in aumento nel tempo – possa essere utilizzata per la produzione di biometano [31].

Infine, per il calcolo del *potenziale disponibile* si è tenuto conto del graduale sviluppo della maturità della tecnologia della gassificazione, applicando al potenziale sostenibile ottenuto in precedenza delle percentuali del 5% per il 2030 e del 70% e 100% per il 2040 e 2050 rispettivamente [2].

Per la conversione della biomassa in biometano si è considerato un contenuto di sostanza secca dell'80% e una resa in metano di 451 Smc CH₄ per tonnellata di sostanza secca. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 30 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA RESIDUI FORESTALI SECONDARI PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

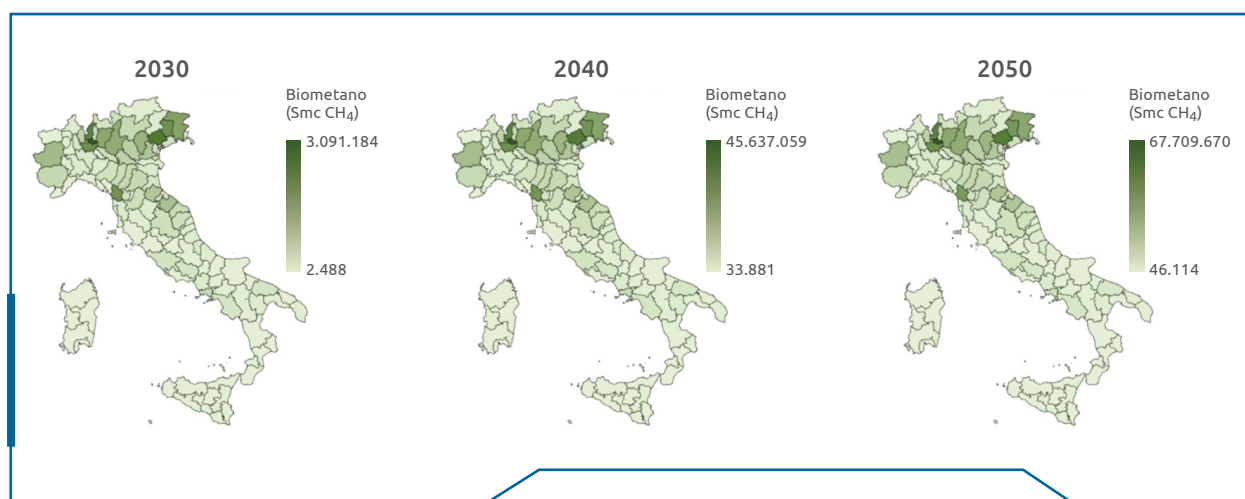


TABELLA 16 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA RESIDUI FORESTALI SECONDARI NELLO SCENARIO

Residui forestali secondari – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	119.909	1.734.969	2.528.313
Biometano (Smc)	43.263.018	625.976.840	912.215.272

6.4
Potature

Le potature (anche chiamate residui arborei) sono residui legnosi prodotti dal taglio, pacciamatura e cippatura di alberi da frutto, vigneti, olivi, noci e altre piante da frutta a guscio. Derivano dalla normale gestione agricola finalizzata a mantenere e migliorare la produttività di vigneti, uliveti e frutteti [2]. Questi residui sono disponibili per la raccolta direttamente in campo e rappresentano una fonte di biomassa legnosa valorizzabile per usi energetici.

Il *potenziale teorico* è stato stimato a partire dalla disponibilità massima di biomassa per provincia, quantificata da ENEA per l'anno 2006 in 4,9 milioni di tonnellate di sostanza secca. Tale valore è stato proiettato fino al 2050 secondo l'andamento demografico previsto, ipotizzato essere la variabile determinante della crescita della domanda di frutta, olio e vino. Il calcolo del *potenziale sostenibile* ha tenuto conto del reimpiego della biomassa da potature sul terreno che l'ha generata e di altri usi in essere. Una quota parte della biomassa da potatura, analogamente a quanto avviene per i residui agricoli deve infatti essere interrata nel terreno dove insiste la coltivazione arborea, previa trinciatura con apposite macchine, al fine di preservarne la fertilità. Un'altra parte della biomassa da potature può essere impiegata per la produzione da compost o come legna da ardere. Per le potature di ulivo vi è anche un utilizzo come legno da falegnameria, sia pur limitato. Per stimare il *potenziale tecnico* e *sostenibile*, si è quindi ipotizzato che una percentuale del 45% al 2030 e del 55% al 2050 della biomassa potenziale teorica possa essere destinabile alla produzione di biometano [31]. Infine, per il calcolo del *potenziale disponibile*, è stato considerato un aumento graduale della maturità della tecnologia di gassificazione, che raggiunge la piena maturità solo al 2050, applicando al potenziale sostenibile dei coefficienti tratti – dallo studio di *Gas for Climate* del 2022 [2] – del 5% nel 2030, e del 70% e 100% nel 2040 e 2050 rispettivamente.

Per la conversione della biomassa in biometano si è considerata una resa in metano di 419 Smc CH₄ per tonnellata di sostanza secca [2]. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 31 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA POTATURE PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

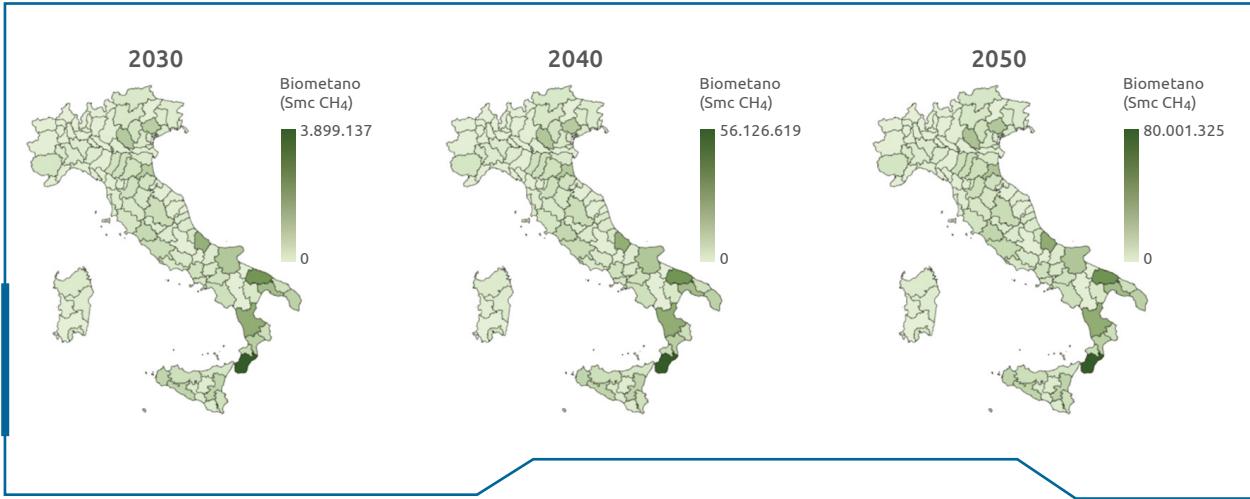


TABELLA 17 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA POTATURE NELLO SCENARIO

Potature – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	148.688	2.206.951	3.261.212
Biometano (Smc)	42.712.804	633.979.536	936.831.166

6.5 Gusci della frutta secca

I gusci della frutta secca sono residui derivanti dalla lavorazione industriale di noci, mandorle, nocciole, pistacchi e altra frutta a guscio. Sono una biomassa secca, generalmente disponibile in forma concentrata presso gli impianti di sgusciatura, che può essere valorizzata ai fini energetici tramite processi di gassificazione. Una buona parte di questi residui trova già un utilizzo, sia come fonte di energia termica (calore di processo) nelle imprese stesse, sia in alcune centrali di produzione di energia elettrica.

Il dato di partenza è costituito dalla stima fatta da ENEA [30] sul *potenziale teorico* del 2006, pari a oltre 100mila tonnellate di sostanza secca. Tale dato è stato proiettato nell'orizzonte di scenario preso in considerazione, adottando come variabile esplicativa l'andamento demografico, assunta come proxy dell'andamento futuro della domanda di frutta secca.

Si è assunto che una percentuale del 60% al 2030 e del 55% al 2050 possa essere destinabile alla produzione di biometano, ottenendo una stima del potenziale tecnico. L'ipotesi appare tantopiù ragionevole se si considera nel 2040 le centrali elettriche che attualmente utilizzano tale biomassa avranno terminato da tempo sia il periodo di incentivazione che la loro vita utile. Trattandosi di un rifiuto, il *potenziale tecnico* ottenuto coincide con quello *sostenibile*.

Anche per il biometano producibile da questo tipo di biomasse solide si è tenuto in considerazione il grado di maturità della tecnologia della gassificazione, moltiplicando il potenziale ottenuto nei passaggi precedenti per dei coefficienti che la esprimono: 5% al 2030, 70% e 100% al 2040 e 2050 rispettivamente [2].

Per la conversione in biometano è stata usata una resa in metano di 410 Smc CH₄ per tonnellata di sostanza secca. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 32 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA GUSCI DELLA FRUTTA SECCA PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

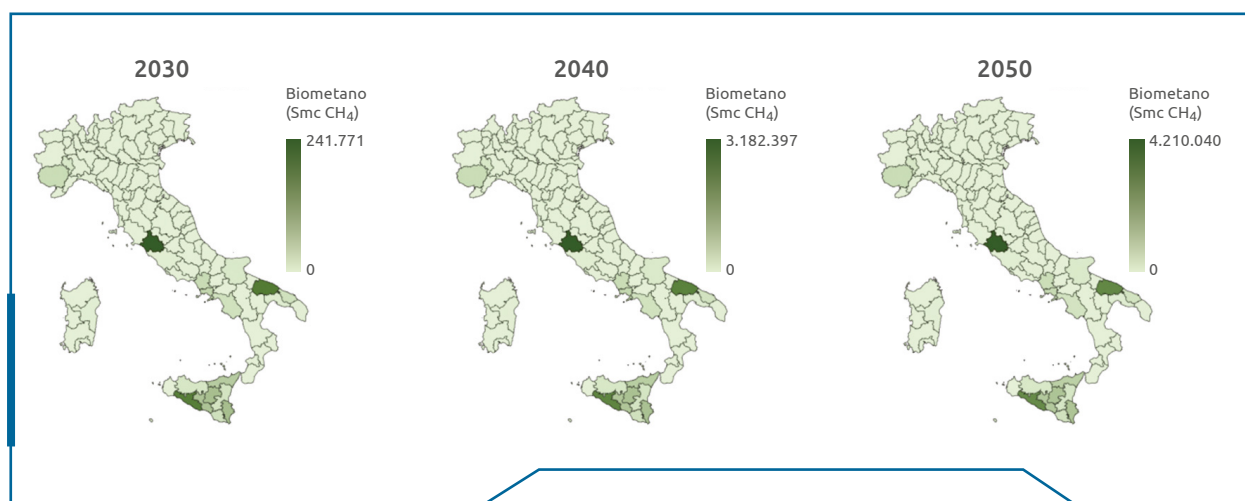


TABELLA 18 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA GUSCI DELLA FRUTTA SECCA NELLO SCENARIO

Gusci frutta secca – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	4.703	59.622	75.719
Biometano (Smc)	1.349.664	17.111.386	21.731.277



6.6 Rifiuti indifferenziati

È stato infine considerato il potenziale energetico della frazione organica (carta, legno e umido) contenuta nel rifiuto indifferenziato, potenzialmente destinabile alla gassificazione. La quota della frazione organica (carta, legno e umido) contenuta nei rifiuti indifferenziati può essere stimata in circa il 60%.

Per stimare il *potenziale teorico*, si è calcolata la disponibilità massima di questi rifiuti partendo dal totale dei rifiuti indifferenziati (in tonnellate di tal quale), a cui sono state applicate le stime dell'ISPRA sulla composizione merceologica dei rifiuti urbani¹⁶. Ne risulta un valore di circa 6 milioni di tonnellate tal quali di carta, legno e umido indifferenziati. Le proiezioni al 2030, 2040 e 2050 sono state effettuate adottando le stesse ipotesi già utilizzate per la FORSU e per il legno da raccolta differenziata, ovvero una progressiva riduzione dei rifiuti urbani e un aumento della raccolta differenziata fino al 90% in ogni provincia, con conseguente riduzione dei rifiuti indifferenziati.

Per passare al *potenziale tecnico*, che si assume coincidere con il *potenziale sostenibile*, è stata sottratta dalla disponibilità teorica la quota di biomassa avviata a incenerimento, coincenerimento e discarica. Si è ipotizzato che ad oggi l'intera frazione organica contenuta nel rifiuto indifferenziato venga smaltita con queste modalità, con una riduzione progressiva a partire dal 2030, fino a scomparire completamente entro il 2050, anno in cui il potenziale tecnico e sostenibile coincidono con quello teorico.

Infine, come per le altre matrici valorizzabili tramite gassificazione, è stato calcolato il *potenziale disponibile* considerando il progresso graduale nella *maturità della tecnologia di gassificazione*, ipotizzando un accesso crescente a questa risorsa nel tempo, secondo le stesse percentuali riportate nei paragrafi precedenti.

Il potenziale di biometano è stato stimato applicando alla biomassa sopra determinata un contenuto di sostanza secca del 55% e una resa in metano di 324 Smc CH₄ per tonnellata di sostanza secca. Una sintesi delle principali assunzioni è riportata negli Allegati. La figura e la tabella seguenti illustrano la distribuzione provinciale del biometano disponibile, insieme ai risultati relativi alla disponibilità di biomassa e biometano.

FIGURA 33 – IL POTENZIALE DI BIOMETANO DA RIFIUTI INDIFFERENZIATI PER PROVINCIA NELLO SCENARIO

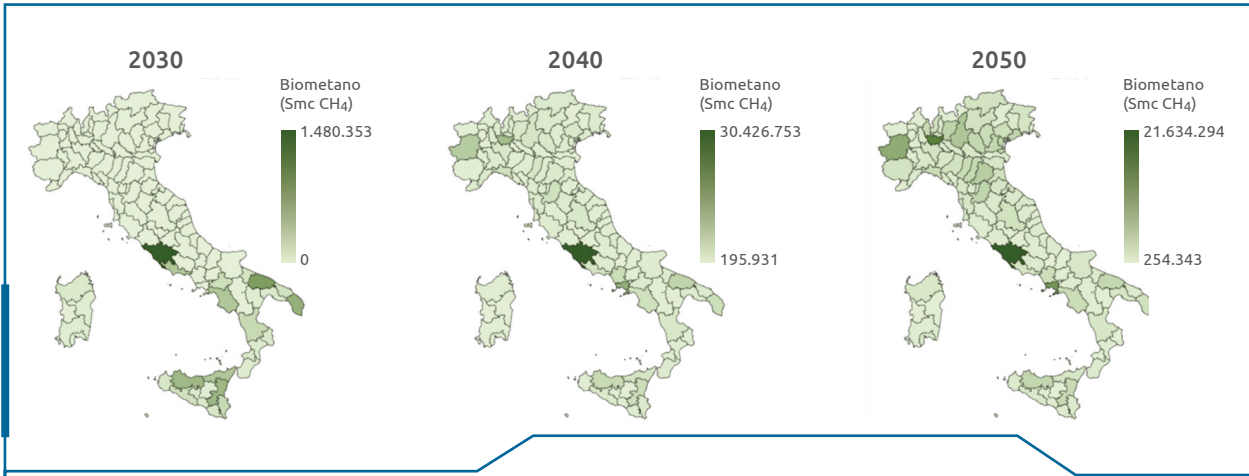


TABELLA 19 – POTENZIALE DISPONIBILE DI BIOMASSA E BIOMETANO DA RIFIUTI INDIFFERENZIATI NELLO SCENARIO

Rifiuti indifferenziati – Potenziale disponibile	2030	2040	2050
Biomassa (t tal quale)	46.982	1.384.051	1.639.579
Biometano (Smc)	8.372.261	246.637.910	292.172.997

16 Secondo le stime di ISPRA, la frazione organica rappresenta circa il 60% del totale dei rifiuti urbani.

ALLEGATO I – DATI NUMERICI

A. Digestione anaerobica

Effluenti zootecnici

TABELLA 20 – CONSISTENZA DEGLI ALLEVAMENTI ATTUALE¹⁷ E TASSI DI CRESCITA DEL NUMERO DEI CAPI AL 2030, 2040 E 2050

Specie	Categoria	Consistenza attuale degli allevamenti	Crescita al 2030	Crescita al 2040	Crescita al 2050
Bovini	Vacche da latte	1.287.630	-6,8%	-11,4%	-11,4%
	Altri bovini adulti	1.047.574	-4,8%	-8,1%	-8,1%
	Bovini da carne	2.339.794	-4,8%	-8,1%	-8,1%
	Vitelli	745.549	-4,8%	-8,1%	-8,1%
Bufalini	Bufale da latte	198.621	-6,8%	-11,4%	-11,4%
	Altri bufali adulti	202.574	-4,8%	-8,1%	-8,1%
	Vitelli	34.784	-4,8%	-8,1%	-8,1%
Suini	Scrofe	496.815	-5,5%	-9,2%	-9,2%
	Altri suini adulti	5.691.398	-5,5%	-9,2%	-9,2%
	Lattonzoli	1.948.780	-5,5%	-9,2%	-9,2%
Ovicapri	Ovicapri	6.921.176	-2,1%	-3,5%	-3,5%
Avicoli	Galline da uova	54.037.613	2,8%	4,9%	4,9%
	Polli da carne	79.542.052	2,8%	4,9%	4,9%
	Tacchini	9.510.106	2,8%	4,9%	4,9%
	Altri avicoli ¹⁸	3.536.864	2,8%	4,9%	4,9%
Cunicoli ¹⁹	Cunicoli	11.623.618	2,8%	4,9%	4,9%

¹⁷ Sistema Informativo Veterinario - Statistiche.

¹⁸ Include anatre, avicoli misti, colombe, faraone, oche, piccioni, quaglie, ratiti, selvaggina per ripopolamento.

¹⁹ In assenza di dati specifici sulla crescita dei cunicoli all'interno del "EU Agricultural Outlook 2023-2035", per i cunicoli sono state adottate le stesse percentuali di crescita previste per gli avicoli.

TABELLA 21 – PESO VIVO MEDIO, QUANTITÀ DI EFFLUENTI E PAGLIA PRODOTTA PER SPECIE E PER MODALITÀ DI STABILIZZAZIONE²⁰

Specie	Categoria	Modalità di stabilizzazione	Numero capi per modalità di stabilizzazione (% del totale) ²¹	Peso vivo medio (kg/capo)	Liquame (t/t p. v./a) ²²	Letame o materiale palabile (t/t p.v./a)	Quantità di paglia (kg/t p.v./giorno)
Bovini	Vacche da latte	In stalla fissa	20%	600	9,0	26,0	5,0
		Su cuccette	70%		16,5	18,5	5,0
		Su lettiera	10%		14,6	22,0	1,0
	Altri bovini adulti	In stalla fissa	20%	400	9,0	26,0	5,0
		Su cuccette	50%		12,5	14,5	5,0
		Su lettiera	30%		2,2	20,0	10,0
	Bovini da carne	Su pavimento fessurato	50%	500	26,0	0,0	0,0
		Su lettiera	50%		2,2	20,0	10,0
	Vitelli	Su pavimento fessurato	100%	130	27,0	0,0	0,0
	Bufale da latte	Su lettiera	100%	650	10,3	15,4	1,0
Bufalini	Altri bufali adulti	Su lettiera	100%	300	3,3	22,3	10,0
		Su pavimento fessurato	100%	100	19,0	0,0	0,0
	Vitelli	Su pavimento fessurato	100%	100	19,0	0,0	0,0
Suini	Scrofe	Su pavimento fessurato	50%	180	37,0	0,0	0,0
		Su pavimento parzialmente fessurato	50%		44,0	0,0	0,0
	Altri suini adulti	Su pavimento fessurato	50%	82	37,0	0,0	0,0
		Su pavimento parzialmente fessurato	50%		44,0	0,0	0,0
		Su pavimento fessurato	50%	18	37,0	0,0	0,0
	Lattonzoli	Su pavimento parzialmente fessurato	50%		44,0	0,0	0,0
	Ovicaprini	Con stabilizzazione in recinti individuali o collettivi	50%	33	7,0	15,0	0,0
		Su pavimento fessurato	50%		16,0	0,0	0,0
Avicoli	Galline da uova	Su lettiera	30% ²³	2	0,1	9,5	0,0
		Senza lettiera	70%		22,0	0,0	0,0
	Polli da carne	Su lettiera	100%	1	0,6	6,2	0,0
	Tacchini	Su lettiera	100%	7	0,4	4,5	0,0
	Altri avicoli	Su lettiera	100%	1	0,6	6,2	0,0
Cunicoli	Cunicoli	Su lettiera	100%	2	0,0	8,0	0,0

20 DM Effluenti del 25 febbraio 2016.

21 Elaborazioni interne.

22 Da considerarsi palabile per gli avicoli.

23 Si prevede un progressivo incremento della stabilizzazione su lettiera per le galline da uova, accompagnato da una riduzione corrispondente della stabilizzazione senza lettiera: 40% entro il 2030, 60% entro il 2040, e 80% entro il 2050.



TABELLA 22 – CARATTERISTICHE DEL LETAME E DEL LIQUAME²⁴

Specie	SS liquame (% tal quale)	SV liquame (% SS)	Resa in metano liquame (Smc CH ₄ /t SV)	SS letame (% tal quale)	SV letame (% SS)	Resa in metano letame (Smc CH ₄ /t SV)
Bovini	9%	72%	238	22%	81%	212
Bufalini	12%	80%	231	20%	77%	251
Suini	5%	71%	290			n.a. ²⁵
Ovicapri	8%	75%	238	24%	81%	153
Avicoli	49%	69%	283	57%	82%	265
Cunicoli	0%	0%	0	24%	81%	153

Residui agricoli

TABELLA 23– PRODUZIONE ATTUALE, TASSI DI CRESCITA AL 2030, 2040 E 2050, E CARATTERISTICHE DEI RESIDUI AGRICOLI

Coltivazione	Residui attuali (ton tal quale) ²⁶	Crescita al 2030 ²⁷	Crescita al 2040 ²⁷	Crescita al 2050 ²⁷	SS (% tal quale) ²⁸	Residue to product ratio ²⁹	Resa in metano (Smc CH ₄ /t SS) ³⁰	Coefficiente di raccogliabilità tecnica ³¹
Frumento tenero	3.196.529	0,7%	1,2%	1,2%	87%	1,1	221	90%
Frumento duro	4.321.247	0,7%	1,2%	1,2%	87%	1,1	221	90%
Segale	14.506	0,7%	1,2%	1,2%	86%	1,2	221	90%
Orzo	1.109.724	-2,1%	-3,5%	-3,5%	88%	1,0	221	90%
Avena	265.142	0,7%	1,2%	1,2%	88%	1,1	221	90%
Mais	4.714.470	1,4%	2,4%	2,4%	32%	0,8	243	90%
Riso	2.129.156	-2,8%	-4,7%	-4,7%	86%	1,5	221	90%
Sorgo	369.304	0,7%	1,2%	1,2%	86%	1,4	221	90%
Triticale	74.485	0,7%	1,2%	1,2%	88%	1,1	221	90%
Fagiolo secco	56.062	-0,3%	-0,6%	-0,6%	86%	4,9	240	50%
Fagiolo e fagiolino in piena aria	710.823	-0,3%	-0,6%	-0,6%	10%	4,9	240	50%
Colza	67.288	-2,1%	-3,5%	-3,5%	60%	1,2	253	50%
Girasole	493.811	1,4%	2,4%	2,4%	60%	1,7	253	52%
Soia	2.085.962	17,3%	31,4%	31,4%	60%	2,1	253	50%
Barbabietola da zucchero	426.051	-2,8%	-4,7%	-4,7%	23%	0,3	179	50%

24 CRPA, Gestione degli Effluenti d'Allevamento.

25 Si assume che i suini non vengano allevati su lettiera e che quindi non producano letame.

26 ISTAT.

27 Commissione Europea.

28 Gas for Climate (2022), JRC (2020).

29 Scarlat et al. (2019), Ademe (2018).

30 Gas for Climate (2022). Per le colture non incluse nello studio GfC 2022, è stato assunto che la resa in metano sia uniforme per tutte le colture cerealicole e separatamente uniforme per tutte le colture oleaginose.

31 Scarlat et al. (2019). Per le colture da granella è stato ipotizzato che il coefficiente di raccogliabilità tecnica sia pari al 90%. Per le colture non incluse nella pubblicazione di Scarlat et al. del 2019, è stato assunto che il coefficiente di raccogliabilità tecnica sia uniforme per tutte le colture cerealicole e separatamente uniforme per tutte le colture oleaginose.



TABELLA 24 – COEFFICIENTI DI RACCOGLIBILITÀ AMBIENTALE

Gli indici di rimozione dei residui agricoli dal campo utilizzati per il calcolo del potenziale ambientale sono stati stimati sulla base della variazione assoluta carbonio organico del suolo associata ad una rimozione dal campo di circa il 50% dei residui agricoli per le colture cerealicole e di circa il 20% per le altre colture³². Nel dettaglio:

- qualora i tassi di rimozione attuali comportino una variazione negativa elevata del SOC (inferiore a -1 t C/ha), si è assunto un indice di rimozione pari a 0%;
- se la variazione è compresa tra -1 e 0 t C/ha, si è ipotizzata una rimozione del 55% per le colture cerealicole e del 30% per le altre colture;
- se la variazione risulta positiva (>0), si è considerata una rimozione dell'85% per le colture cerealicole e del 50% per le altre colture;
- infine, per tutte le province montuose, è stata ipotizzata una raccogliibilità pari al 45% per le colture cerealicole e al 30% per le altre colture.

Variazione assoluta di SOC sulla base delle pratiche di rimozione attuali (t C/ha)	Indice di rimozione per colture cerealicole	Indice di rimozione per altre colture
<-1	0%	0%
Da -1 a 0	55%	30%
>0	85%	50%
Province Alpine e Appenniniche	45%	30%

Sequential cropping

TABELLA 25 – SAU ATTUALE E TASSI DI CRESCITA AL 2030, 2040 E 2050, PER LE COLTURE POTENZIALMENTE INTERESSATE DALL'INSERIMENTO DI UNA CULTURA INTERCALARE

Destinazione SAU	SAU attuale (ha) ³³	Crescita al 2030 ³⁴	Crescita al 2040 ³⁴	Crescita al 2050 ³⁴
Cereali da granella	3.014.439	-0,7%	-1,2%	-1,2%
Soia	312.906	12,5%	22,4%	22,4%
Pomodoro ³⁵	92.461	13,3%	23,9%	23,9%
Foraggiere	2.530.827	0,7%	1,2%	1,2%

32 Scarlat et al. (2019).

33 ISTAT.

34 Commissione europea.

35 In assenza di previsioni specifiche per la SAU destinata al pomodoro, si è ipotizzato che essa cresca in linea con le other arable *crops*.

TABELLA 26 – PERCENTUALE DELLA SAU POTENZIALE TOTALE DESTINATA ALLE COLTURE INTERCALARI PER IL CALCOLO DEL POTENZIALE TECNICO, PER MACROREGIONE

Le percentuali sono state ricavate a partire dalle percentuali di SAU destinata alle colture intercalari riportate nello studio del CIB del 2016 [5], su base regionale. Tali valori sono stati successivamente adattati su scala provinciale, tenendo conto del vincolo rappresentato dalla SAU irrigabile: le percentuali di partenza sono state aumentate o ridotte in funzione della disponibilità effettiva di SAU irrigabile in ciascuna provincia.

Macroregione	Regione	Provincia	2030	2040	2050
Nord	Piemonte	Torino	24%	29%	34%
Nord	Piemonte	Vercelli	24%	29%	34%
Nord	Piemonte	Novara	24%	29%	34%
Nord	Piemonte	Cuneo	24%	29%	34%
Nord	Piemonte	Asti	24%	29%	34%
Nord	Piemonte	Alessandria	24%	29%	34%
Nord	Piemonte	Biella	24%	29%	34%
Nord	Piemonte	Verbano-Cusio-Ossola	28%	38%	48%
Nord	Valle d'Aosta/Vallée d'Aoste	Valle d'Aosta / Vallée d'Aoste	0%	0%	0%
Nord	Liguria	Imperia	0%	0%	0%
Nord	Liguria	Savona	0%	0%	0%
Nord	Liguria	Genova	0%	0%	0%
Nord	Liguria	La Spezia	0%	0%	0%
Nord	Lombardia	Varese	28%	38%	48%
Nord	Lombardia	Como	28%	38%	48%
Nord	Lombardia	Sondrio	28%	38%	48%
Nord	Lombardia	Milano	24%	29%	34%
Nord	Lombardia	Bergamo	28%	38%	48%
Nord	Lombardia	Brescia	24%	29%	34%
Nord	Lombardia	Pavia	24%	29%	34%
Nord	Lombardia	Cremona	24%	29%	34%
Nord	Lombardia	Mantova	24%	29%	34%
Nord	Lombardia	Lecco	28%	38%	48%
Nord	Lombardia	Lodi	24%	29%	34%
Nord	Lombardia	Monza e della Brianza	24%	29%	34%
Nord	Provincia Autonoma Bolzano/Bozen	Bolzano / Bozen	0%	0%	0%
Nord	Trento	Trento	0%	0%	0%
Nord	Veneto	Verona	28%	38%	48%
Nord	Veneto	Vicenza	28%	38%	48%
Nord	Veneto	Belluno	28%	38%	48%
Nord	Veneto	Treviso	28%	38%	48%
Nord	Veneto	Venezia	24%	29%	34%
Nord	Veneto	Padova	24%	29%	34%
Nord	Veneto	Rovigo	24%	29%	34%
Nord	Friuli-Venezia Giulia	Udine	24%	29%	34%
Nord	Friuli-Venezia Giulia	Gorizia	24%	29%	34%
Nord	Friuli-Venezia Giulia	Trieste	28%	38%	48%
Nord	Friuli-Venezia Giulia	Pordenone	24%	29%	34%
Nord	Emilia-Romagna	Piacenza	24%	29%	34%
Nord	Emilia-Romagna	Parma	24%	29%	34%
Nord	Emilia-Romagna	Reggio nell'Emilia	24%	29%	34%
Nord	Emilia-Romagna	Modena	24%	29%	34%
Nord	Emilia-Romagna	Bologna	24%	29%	34%
Nord	Emilia-Romagna	Ferrara	24%	29%	34%
Nord	Emilia-Romagna	Ravenna	28%	38%	48%
Nord	Emilia-Romagna	Forlì-Cesena	28%	38%	48%
Nord	Emilia-Romagna	Rimini	24%	29%	34%
Subtotale			24%	30%	36%



Macroregione	Regione	Provincia	2030	2040	2050
Centro	Toscana	Massa-Carrara	14%	19%	24%
Centro	Toscana	Lucca	14%	19%	24%
Centro	Toscana	Pistoia	14%	19%	24%
Centro	Toscana	Firenze	14%	19%	24%
Centro	Toscana	Livorno	14%	19%	24%
Centro	Toscana	Pisa	14%	19%	24%
Centro	Toscana	Arezzo	14%	19%	24%
Centro	Toscana	Siena	14%	19%	24%
Centro	Toscana	Grosseto	14%	19%	24%
Centro	Toscana	Prato	14%	19%	24%
Centro	Umbria	Perugia	14%	19%	24%
Centro	Umbria	Terni	14%	19%	24%
Centro	Marche	Pesaro e Urbino	14%	19%	24%
Centro	Marche	Ancona	14%	19%	24%
Centro	Marche	Macerata	14%	19%	24%
Centro	Marche	Ascoli Piceno	14%	19%	24%
Centro	Marche	Fermo	14%	19%	24%
Centro	Lazio	Viterbo	14%	19%	24%
Centro	Lazio	Rieti	14%	19%	24%
Centro	Lazio	Roma	14%	19%	24%
Centro	Lazio	Latina	14%	19%	24%
Centro	Lazio	Frosinone	14%	19%	24%
Subtotale			14%	18%	20%

Macroregione	Regione	Provincia	2030	2040	2050
Sud	Abruzzo	L'Aquila	13%	23%	33%
Sud	Abruzzo	Teramo	9%	14%	19%
Sud	Abruzzo	Pescara	9%	14%	19%
Sud	Abruzzo	Chieti	9%	14%	19%
Sud	Molise	Campobasso	9%	14%	19%
Sud	Molise	Isernia	9%	14%	19%
Sud	Campania	Caserta	19%	24%	29%
Sud	Campania	Benevento	19%	24%	29%
Sud	Campania	Napoli	23%	33%	43%
Sud	Campania	Avellino	19%	24%	29%
Sud	Campania	Salerno	23%	33%	43%
Sud	Puglia	Foggia	24%	29%	34%
Sud	Puglia	Bari	24%	29%	34%
Sud	Puglia	Taranto	28%	38%	48%
Sud	Puglia	Brindisi	28%	38%	48%
Sud	Puglia	Lecce	28%	38%	48%
Sud	Puglia	Barletta-Andria-Trani	28%	38%	48%
Sud	Basilicata	Potenza	14%	19%	24%
Sud	Basilicata	Matera	14%	19%	24%
Sud	Calabria	Cosenza	14%	19%	24%
Sud	Calabria	Catanzaro	14%	19%	24%
Sud	Calabria	Reggio di Calabria	18%	28%	38%
Sud	Calabria	Crotone	18%	28%	38%
Sud	Calabria	Vibo Valentia	14%	19%	24%
Subtotale			19%	25%	30%



Macroregione	Regione	Provincia	2030	2040	2050
Isole	Sicilia	Trapani	28%	38%	48%
Isole	Sicilia	Palermo	24%	29%	34%
Isole	Sicilia	Messina	28%	38%	48%
Isole	Sicilia	Agrigento	24%	29%	34%
Isole	Sicilia	Caltanissetta	24%	29%	34%
Isole	Sicilia	Enna	24%	29%	34%
Isole	Sicilia	Catania	24%	29%	34%
Isole	Sicilia	Ragusa	24%	29%	34%
Isole	Sicilia	Siracusa	24%	29%	34%
Isole	Sardegna	Sassari	14%	19%	24%
Isole	Sardegna	Nuoro	14%	19%	24%
Isole	Sardegna	Cagliari	14%	19%	24%
Isole	Sardegna	Oristano	14%	19%	24%
Isole	Sardegna	Sud Sardegna	14%	19%	24%
Subtotale			21%	25%	30%

TABELLA 27 – RESA IN BIOMASSA E BIOGAS DELLA SAU DESTINATA ALLE COLTURE INTERCALARI

Destinazione SAU	Resa biomassa (t SS/ha) ³⁶	Resa in biogas (Smc biogas/t SS)	Biometano nel biogas
Triticale, sorgo, segale, orzo, miscugli di graminacee e leguminose	13,5	570	53-55%
Sulla, altre leguminose invernali, sorgo, miscugli di graminacee e leguminose	11	570	53-55%

36 Elaborazioni interne.

Residui agroindustriali

SCARTI VEGETALI

TABELLA 28 – TASSI DI CRESCITA DELLA PRODUZIONE AGRICOLA DESTINATA A TRASFORMAZIONE AL 2030, 2040 E 2050

Origine scarto	Crescita al 2030 ³⁷	Crescita al 2040 ³⁸	Crescita al 2050 ³⁸
Pomodoro da trasformazione in piena aria	8,0%	14,0%	14,0%
Piselli, fagioli e fagiolini	22,8%	42,2%	42,2%
Patata comune	-9,9%	-16,4%	-16,4%
Pesche e nettarine destinate a trasformazione	-6,8%	-11,4%	-11,4%
Albicocche	-6,8%	-11,4%	-11,4%
Pere e mele destinate a trasformazione	-2,1%	-3,5%	-3,5%
Arance ³⁸	20,5%	37,7%	37,7%
Mandarini	38,5%	74,9%	74,9%
Clementine	11,4%	20,3%	20,3%
Limoni	10,6%	18,8%	18,8%
Uva da vino	-3,4%	-5,8%	-5,8%
Olive da olio	3,6%	6,2%	6,2%

TABELLA 29 – CARATTERISTICHE DEGLI SCARTI VEGETALI³⁹

Tipologia scarto	Produzione raccolta destinata a successive lavorazioni industriali (ton tal quale) ⁴⁰	Scarti vegetali ottenibili (% del peso totale della produzione destinata a trasformazione) ⁴¹	SS (% tal quale) ⁴²	SV (% SS) ⁴³	Resa in metano ⁴³ (Smc CH ₄ /t SV)
Pomodoro	5.128.043	5%	25%	97%	336
Piselli	103.982	11%	16%	84%	370
Fagioli secchi	8.871	10%	16%	84%	264
Fagioli e fagiolini in piena aria	113.028	7%	16%	84%	264
Patata comune	103.519	23%	22%	96%	348
Pesche e nettarine	52.178	5%	13%	94%	317
Pere	58.074	2%	13%	94%	317
Albicocche	8.586	4%	13%	94%	317
Mele	99.278	9%	13%	94%	317
Arance	687.411	55%	16%	94%	328
Mandarini	57.912	55%	16%	94%	328
Clementine	243.775	55%	16%	94%	328
Limoni	181.977	55%	16%	94%	328
Uva da vino	6.880.722	20%	32%	91%	117
Olive da olio – sanse vergini	2.162.374	45%	20%	94%	327
Olive da olio – acque di vegetazione		60%	5%	94%	502

37 Commissione europea.

38 Per le colture per cui non erano disponibili dati specifici della Commissione Europea, ipotizzata variazione annuale uguale a quella osservata negli ultimi anni.

39 ISTAT, ISPRA, ENEA, CRPA, CIB.

40 ISTAT. Quando disponibile, come dato di partenza è stata utilizzata la produzione raccolta destinata alla trasformazione industriale. Qualora tale dato non fosse disponibile, si è fatto riferimento alla produzione raccolta totale, alla quale sono stati successivamente applicati tassi percentuali stimati per determinare la quota avviata alla trasformazione.

41 Elaborazioni interne.

42 ISPRA (2010), CIB (2016), elaborazioni interne.

43 Elaborazioni interne.



TABELLA 30 – PERCENTUALE DELLA PRODUZIONE RACCOLTA DESTINATA A TRASFORMAZIONE INDUSTRIALE E AVVIABILE A DIGESTIONE ANAEROBICA, PER IL CALCOLO DEL POTENZIALE DISPONIBILE

Per il calcolo del potenziale disponibile si è ipotizzato che soltanto una parte, crescente negli anni, degli scarti vegetali disponibili possa destinato alla digestione anaerobica per produrre biometano.

Tipologia scarto	2030	2040	2050
Pomodoro	70%	80%	85%
Piselli	50%	65%	85%
Fagioli secchi	50%	65%	85%
Fagioli e fagiolini in piena aria	50%	65%	85%
Patata comune	50%	65%	85%
Pesche e nettarine	50%	65%	85%
Pere	50%	65%	85%
Albicocche	50%	65%	85%
Mele	50%	65%	85%
Arance	70%	80%	85%
Mandarini	70%	80%	85%
Clementine	70%	80%	85%
Limoni	70%	80%	85%
Uva da vino	50%	65%	85%
Olive da olio – sanse vergini e acque di vegetazione	50%	65%	85%

SCARTI DELLA MACELLAZIONE

TABELLA 31 – PRODUZIONE ATTUALE DI SOTTOPRODOTTI ANIMALI E TASSI DI CRESCITA DELLA PRODUZIONE ANIMALE (E DEI RELATIVI SOTTOPRODOTTI) AL 2030, 2040 E 2050

Specie	Categoria	Sottoprodotti attuali (ton tal quale) ⁴³	Crescita al 2030 ⁴⁴	Crescita al 2040 ⁴⁴	Crescita al 2050 ⁴⁴
Bovini	Vitelli	114.632	-4,8%	-8,1%	-8,1%
	Vitelloni e manzi	613.601	-4,8%	-8,1%	-8,1%
	Vacche, buoi, tori	204.202	-6,8%	-11,4%	-11,4%
Suini	Magroni	5.749	-5,5%	-9,2%	-9,2%
	Suini grassi	256.363	-5,5%	-9,2%	-9,2%
	Lattonzoli	780	-5,5%	-9,2%	-9,2%
Avicoli	Galline da uova e da riproduzione	12.029	2,8%	4,9%	4,9%
	Polli da carne	374.948	2,8%	4,9%	4,9%
	Tacchini	82.275	2,8%	4,9%	4,9%
	Altri avicoli (faraone, oche, anatre, quaglie, piccioni)	2.785	2,8%	4,9%	4,9%

44 Commissione europea.



TABELLA 32 – CARATTERISTICHE DEGLI SCARTI DELLA MACELLAZIONE, VARIABILI IN BASE ALLA TIPOLOGIA DI SCARTI⁴⁵

Categoria animale	SS (% tal quale)	SV (% SS)	Resa in metano (Smc CH ₄ /t SV)
Bovini	13%-40%	92%-97%	285-581
Suini	13%-40%	94%-97%	348-422
Avicoli	13%-40%	94%-97%	348-422

TABELLA 33 – SCARTI DELLA MACELLAZIONE CONSIDERATI ADATTI ALLA DIGESTIONE ANAEROBICA E PERCENTUALE DESTINABILE ALLA PRODUZIONE DI BIOMETANO, PER IL CALCOLO DEL POTENZIALE DISPONIBILE

Per il calcolo del potenziale disponibile, sono state considerate idonee alla digestione anaerobica solo alcune specifiche tipologie di scarti animali⁴⁶. Di queste, si è ipotizzato che solo una quota – progressivamente crescente nel tempo – possa essere effettivamente destinata alla digestione anaerobica per la produzione di biometano⁴⁷.

Specie	Tipologia di scarti adatti alla DA	Disponibile al 2030 (% totale)	Disponibile al 2040 (% totale)	Disponibile al 2050 (% totale)
Bovini	Carnicci, frattaglie, grasso	80%	90%	100%
	Contenuto ruminale			
	Fegato, polmoni, cuore, milza, rumine			
	Sangue non edibile			
Suini	Budella	80%	90%	100%
	Frattaglie e scarto misto di macellazione			
	Sangue non edibile			
Avicoli	Intestini	80%	90%	100%
	Sangue			

SCARTI DELL'INDUSTRIA LATTIERO-CASEARIA

TABELLA 34 – PRODUZIONE ATTUALE DI SOTTOPRODOTTI E TASSI DI CRESCITA DELLA PRODUZIONE LATTIERO-CASEARIA AL 2030, 2040 E 2050

Prodotto	Sottoprodotti attuali (ton tal quale) ⁴⁸	Crescita al 2030 ⁴⁹	Crescita al 2040 ⁴⁹	Crescita al 2050 ⁴⁹
Latte alimentare	493.794	-11,3%	-18,6%	-18,6%
Crema o panna	257.003	2,8%	4,9%	4,9%
Latte fermentato (yogurt ed altri)	70.653	-0,7%	-1,2%	-1,2%
Formaggi (a pasta dura, semidura, molle e freschi)	10.281.474	2,1%	3,7%	3,7%

45 ISPRA (2010), CIB (2016), elaborazioni interne.

46 ISPRA (2010).

47 Elaborazioni interne.

48 Elaborazioni interne.

49 Commissione Europea.



TABELLA 35 – SOTTOPRODOTTI GENERATI A PARTIRE DAL LATTE LAVORATO PER CIASCUNA TIPOLOGIA DI PRODOTTO LATTIERO CASEARIO E RELATIVA RESA IN METANO

Ciclo di lavorazione	Tipo di prodotto lattiero caseario	Tipologia sottoprodotto	Sottoprodotti generati (% latte lavorato) ⁵⁰	Resa in metano sottoprodotti (Smc CH ₄ /t tal quale) ⁵¹
Latte alimentare, panna, yogurt	Latte alimentare totale (latte trattato igienicamente)	Siero	20%	25
Latte alimentare, panna, yogurt	Crema o panna da consumo	Siero	20%	25
Latte alimentare, panna, yogurt	Latte fermentato (yogurt ed altri)	Siero	20%	25
Produzione formaggi a pasta dura (grana, pecorino, asiago, montasio, ecc.)	Formaggi a pasta dura	Siero	90%	25
Produzione formaggi a pasta semidura (provolone, fontina, caciocavallo, ecc.)	Formaggi a pasta semidura	Siero	83%	25
Produzione formaggi a pasta molle (taleggio, gorgonzola, crescenza, ecc.) e freschi	Formaggi a pasta molle	Scotta	75%	25
Produzione formaggi a pasta molle (taleggio, gorgonzola, crescenza, ecc.) e freschi	Formaggi freschi (a pasta filata, a pasta non filata, a base di crema)	Scotta	75%	25

TABELLA 36 – PERCENTUALE DEI SOTTOPRODOTTI GENERATI DALL'INDUSTRIA LATTIERO-CASEARIA DESTINABILE ALLA PRODUZIONE DI BIOMETANO, PER IL CALCOLO DEL POTENZIALE DISPONIBILE

Per il calcolo del potenziale disponibile, si è ipotizzato che solo una quota – progressivamente crescente nel tempo – dei sottoprodotti possa essere effettivamente destinata alla digestione anaerobica per la produzione di biometano, tenuto conto della presenza di usi alternativi già esistenti per questa matrice.

2030	2040	2050
52%	53%	53%

FORSU

TABELLA 37 – EVOLUZIONE DELLA PERCENTUALE DI RACCOLTA DIFFERENZIATA SUL TOTALE DEI RIFIUTI URBANI

La tabella seguente illustra le ipotesi di evoluzione della raccolta differenziata (RD) per le province, distinte in base al grado attuale di penetrazione della RD, espresso dal rapporto RD/RU.

	2030	2040	2050
Province con RD / RU <65% ad oggi	65%	80%	90%
Province con RD / RU tra 65% e 70% ad oggi	80%	85%	90%
Province con RD / RU >70% ad oggi	85%	90%	90%

TABELLA 38 – CARATTERISTICHE DELLA FORSU

	FORSU attuale (ton tal quale) ⁵²	SS (% tal quale)	SV (% SS)	Resa in metano
FORSU raccolta tramite differenziata	7.470.501	31%	82%	385 Smc CH ₄ /t SV
FORSU contenuta nel rifiuto indifferenziato	2.685.866	-	-	5 Smc CH ₄ /t tal quale

50 ISPRA (2010).

51 CIB (2016).

52 ISPRA.



FANGHI DA DEPURAZIONE DELLE ACQUE REFLUE URBANE E INDUSTRIALI

TABELLA 39 – CARATTERISTICHE DEI FANGHI

Tipologia fanghi	Produzione attuale (ton tal quale) ⁵³	SS (% tal quale) ⁵⁴	SV (% SS)	Resa in metano (Smc CH ₄ /t SV)
Fanghi urbani	3.197.443	10%	70%	326
Fanghi industriali	1.284.347	10%	70%	264

TABELLA 40 – PERCENTUALE DELLA PRODUZIONE TOTALE DI FANGHI AVVIABILE A TRATTAMENTO INTEGRATO E DIGESTIONE ANAEROBICA, PER IL CALCOLO DEL POTENZIALE DISPONIBILE⁵⁵

	2030	2040	2050
Fanghi urbani	20%	40%	70%
Fanghi industriali	46%	47%	50%

ERBA DAI BORDI STRADALI

TABELLA 41 – CARATTERISTICHE DELL'ERBA SFALCIATA DAI BORDI STRADALI

Produzione attuale (ton tal quale) ⁵⁶	SS (% tal quale)	SV (% SS)	Resa in metano (Smc CH ₄ /t SV)
499.714	18%	91%	306

PRATI MARGINALI

TABELLA 42 – CARATTERISTICHE DELLA BIOMASSA OTTENIBILE DAI PRATI MARGINALI

Per stimare la biomassa ottenibile dai prati marginali (che si ipotizza essere costituita principalmente da piante perenni, come loietto ed erba medica), è stata calcolata la produttività media in biomassa delle aree effettivamente coltivate, applicandola anche alle superfici non utilizzate, ipotizzando rese analoghe.

Biomassa ottenibile (ton tal quale) ⁵⁷	SS (% tal quale) ⁵⁸	SV (% SS) ⁵⁸	Resa in biogas (Smc biogas/t SV) ⁵⁸	Biometano nel biogas ⁵⁸
320.055	31%	94%	618	50%

53 ISPRA.

54 È stato assegnato un valore medio poiché il dato fornito da ISPRA sulla produzione di fanghi urbani rappresenta la somma di fango tal quale, ispessito e disidratato.

55 Elaborazioni interne.

56 ISPRA.

57 Elaborazioni interne.

58 Consorzio Monviso Agroenergia (2021).



TABELLA 43 – PERCENTUALE DELLA PRODUZIONE TOTALE DI BIOMASSA DA PRATI MARGINALI AVVIABILE A DIGESTIONE ANAEROBICA, PER IL CALCOLO DEL POTENZIALE DISPONIBILE

Per il calcolo del potenziale disponibile, si è ipotizzato che soltanto una quota della biomassa disponibile possa essere destinata alla produzione di biometano. Tale quota aumenta nel tempo, risultando inferiore nelle aree montuose, dove le caratteristiche del territorio rendono difficile la raccolta, e più elevata nelle zone pianeggianti.

	2030	2040	2050
Province pianeggianti	55%	60%	65%
Province montuose	25%	30%	35%

RIFIUTI DA ATTIVITÀ DI RISTORAZIONE

TABELLA 44 – CARATTERISTICHE DEI RIFIUTI DA ATTIVITÀ DI RISTORAZIONE

Produzione attuale (ton tal quale) ⁵⁹	SS (% tal quale)	SV (% SS)	Resa in metano (Smc CH ₄ /t SV)
27.171	31%	82%	385

TABELLA 45 – PERCENTUALE DELLA PRODUZIONE TOTALE DI RIFIUTI DA ATTIVITÀ DI RISTORAZIONE AVVIABILE A DIGESTIONE ANAEROBICA, PER IL CALCOLO DEL POTENZIALE DISPONIBILE

	2030	2040	2050
	30%	50%	70%

59 ISPRA.

B. Gassificazione termochimica

TABELLA 46 – PERCENTUALE DELLA PRODUZIONE TOTALE DI RESIDUI VALORIZZABILI TRAMITE GASSIFICAZIONE AVVIABILE ALLA PRODUZIONE DI BIOMETANO, PER IL CALCOLO DEL POTENZIALE TECNICO E SOSTENIBILE

Nel calcolo del potenziale tecnico e sostenibile, si è ipotizzato che solo una quota della biomassa disponibile – progressivamente crescente nel tempo – possa essere destinata alla produzione di biometano, tenendo conto delle difficoltà legate alla raccolta e di altri vincoli operativi e ambientali.

Matrice		2030	2040	2050
Legno da raccolta differenziata ⁶⁰		55%	60%	65%
Residui forestali primari ⁶¹	Boschi latifoglie	30%	30%	30%
	Boschi conifere	15%	15%	15%
	Arboricoltura	100%	100%	100%
Residui forestali secondari ⁶⁰		60%	63%	65%
Potature ⁶⁰		45%	50%	55%
Gusci della frutta secca ⁶⁰		60%	58%	55%
Umido, carta e legno contenuti nel rifiuto indifferenziato ⁶²		22%	78%	100%

TABELLA 47 – PERCENTUALE DI RIFIUTI VALORIZZABILI TRAMITE GASSIFICAZIONE AL NETTO DELLA MATURITÀ TECNOLOGICA, PER IL CALCOLO DEL POTENZIALE DISPONIBILE⁶³

Per tutte le matrici valorizzabili tramite gassificazione, nel calcolo del potenziale disponibile si è tenuto conto del grado di maturità della tecnologia, ipotizzandone un progressivo sviluppo nel tempo. Di conseguenza, solo una quota della biomassa disponibile è considerata effettivamente destinabile alla produzione di biometano, in funzione dell'evoluzione tecnologica prevista.

	2030	2040	2050
	5%	70%	100%

⁶⁰ Imperial College (2021).

⁶¹ ENEA (2009).

⁶² Il potenziale tecnico e sostenibile di questa matrice è stato calcolato ipotizzando una progressiva riduzione del quantitativo di umido, carta e legno indifferenziati che viene avviato in discarica, incenerimento e co-incenerimento, che si prevede essere pari a 0 al 2050.

⁶³ Gas for Climate (2022).



TABELLA 48 – CARATTERISTICHE DELLE MATRICI VALORIZZABILI TRAMITE GASSIFICAZIONE

Matrice	Produzione attuale (ton tal quale)	SS (% tal quale)	Resa in metano (Smc CH ₄ /t SS) ⁶⁴
Legno da raccolta differenziata	1.047.965 ⁶⁵	80%	451
Residui forestali primari	12.457.122 ⁶⁶	60%	423
Residui forestali secondari	3.970.102 ⁶⁷	80%	451
Potature	6.582.830 ⁶⁸	70%	419
Gusci della frutta secca	152.809 ⁶⁹	70%	410
Umido, carta e legno contenuti nel rifiuto indifferenziato	5.857.663 ⁷⁰	55%	324

64 Gas for Climate (2022).

65 ISPRA.

66 ENEA (2009).

67 ISPRA.

68 ENEA (2009).

69 ENEA (2009).

70 ISPRA.



ALLEGATO II - EVOLUZIONE DEMOGRAFICA

TABELLA 48 - CRESCITA DELLA POPOLAZIONE DI CIASCUNA REGIONE TRA IL 2023 E IL 2030, 2040 E 2050¹

Regione/Provincia autonoma	Crescita al 2030	Crescita al 2040	Crescita al 2050
Abruzzo	-2,4%	-6,9%	-12,5%
Basilicata	-4,6%	-12,6%	-21,6%
Calabria	-3,6%	-10,8%	-19,1%
Campania	-2,9%	-8,9%	-16,0%
Emilia-Romagna	2,0%	3,3%	3,1%
Friuli-Venezia Giulia	0,0%	-1,7%	-4,1%
Lazio	-0,6%	-2,5%	-5,6%
Liguria	-0,4%	-2,6%	-6,0%
Lombardia	2,4%	3,6%	3,5%
Marche	-0,9%	-4,4%	-9,0%
Molise	-3,3%	-10,4%	-18,5%
Piemonte	-1,0%	-3,8%	-7,4%
Provincia Autonoma Bolzano	3,6%	6,6%	8,3%
Provincia Autonoma Trento	2,4%	5,0%	6,4%
Puglia	-3,5%	-9,9%	-17,4%
Sardegna	-4,5%	-12,4%	-21,1%
Sicilia	-3,3%	-9,7%	-17,3%
Toscana	-0,2%	-2,0%	-4,5%
Umbria	-2,0%	-5,9%	-10,5%
Valle d'Aosta	-1,0%	-4,2%	-8,8%
Veneto	-0,2%	-1,1%	-3,1%
Italia	-0,7%	-3,4%	-7,1%

¹ ISTAT.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Position Paper Consorzio Italiano Biogas – Snam (2015), Confagricoltura per COP 21 di Parigi, Lo sviluppo del biometano e la strategia di decarbonizzazione in Italia.
- [2] Gas for Climate (2022), Biomethane production potentials in the EU, consultato il 26/07/2024.
- [3] EBA (2024), Biogases towards 2040 and beyond, consultato il 11/09/2024.
- [4] European Commission (2023), EU Agricultural Outlook 2023-2035, consultato il 26/07/2024.
- [5] CIB (2016), Considerazioni sul potenziale del “biogas fatto bene” italiano ottenuto dalla digestione anaerobica di matrici agricole, consultato il 17/10/2024.
- [6] ISPRA (2010), Studio sull'utilizzo di biomasse combustibili e biomasse rifiuto per la produzione di energia, Rapporti 111/2010, consultato il 22/11/2024.
- [7] ENEA (2021), Potenziale teorico di biometano avanzato in Italia, consultato il 31/05/2024.
- [8] DM Effluenti del 25 febbraio 2016, Allegato I, Tabella 1, consultato il 20/09/2024.
- [9] N. Scarlat et al. (2018), A spatial analysis of biogas potential from manure in Europe, Renewable and Sustainable Energy Review 94, pag. 915-930, consultato il 04/06/2024.
- [10] L. Valli, CRPA, Gestione degli Effluenti d'Allevamento, slide webinar, consultato il 26/09/2024.
- [11] N. Scarlat et al. (2019), Integrated and spatially explicit assessment of sustainable crop residues potential in Europe, Biomass and Bioenergy 122, pag. 257–269, consultato il 19/06/2024.
- [12] ENGIE (2021), Geographical analysis of biomethane potential and costs in Europe in 2050, consultato il 26/07/2024.
- [13] Ademe (2018), Un mix de gaz 100 % renouvelable en 2050, consultato il 03/07/2024.
- [14] JRC (2020), Biomass flows in the European Union, consultato il 26/07/2024.
- [15] S. García-Condado et al. (2019), Assessing lignocellulosic biomass production from crop residues in the European Union: Modelling, analysis of the current scenario and drivers of interannual variability, GCB Bioenergy 11, pag. 809-831, consultato il 24/07/2024.
- [16] Progetto mais 100%, La qualità dei residui di mais, consultato il 20/09/2024.
- [17] F. Magnolo et al. (2021), The role of sequential cropping and Biogasdoneright™ in enhancing the sustainability of agricultural systems in Europe, Agroecology 11, 2102, consultato il 22/10/2024.
- [18] BIP Europe (2025), Sequential & Rotational cropping for biomethane – The potential of sustainable crop rotations across Europe, consultato il 08/04/2025.
- [19] ISPRA (2024), Rapporto rifiuti urbani edizione 2024, Rapporti 406/2024, consultato il 03/01/2025.
- [20] ISPRA (2023), Rapporto rifiuti urbani edizione 2023, Rapporti 393/2023, consultato il 16/12/2024.



- [21] K. Piccinno, Utilizzo del biogas di discarica per la produzione di biometano per autotrazione, consultato il 03/02/2025.
- [22] M. Soldano et al. (2024), Studio della variabilità chimico-fisica del rifiuto organico per la produzione di biometano, pubblicato da Maggioli, pag. 383-387, consultato il 03/01/2025.
- [23] R. Pandolfo et al., Stima delle emissioni di biogas dalle discariche di RSU, AmbienteDiritto.it, consultato il 03/01/2025.
- [24] M. Soldano et al. (2018), Verso il biometano avanzato: biomasse e potenzialità, Biogas Informa 26, pag. 52-58, consultato il 06/03/2025.
- [25] P. Mantovi et al. (2013), Si ottimizza la filiera del biogas se la sansa viene pretrattata, L'Informatore Agrario 47, pag. 39-43, consultato il 06/03/2025.
- [26] M. Garuti et al. (2022), Sottoprodotti vegetali utili a produrre biometano, L'Informatore Agrario 1, pag. 44-48, consultato il 17/02/2025.
- [27] ISPRA (2018), Rapporto rifiuti speciali edizione 2018, Rapporti 285/2018, consultato il 20/03/2025.
- [28] ISPRA (2024), Rapporto rifiuti speciali edizione 2024, Rapporti 402/2024, consultato il 07/03/2025.
- [29] Consorzio Monviso Agroenergia (2021), Producibilità in biogas delle principali biomasse, Rev. 9.00, consultato il 26/03/2025.
- [30] ENEA (2009), Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante Biomasse su WEB-GIS, Report RSE/2009/167, consultato il 17/03/2025.
- [31] Imperial College London (2021), Sustainable biomass availability in the EU, to 2050, consultato il 15/03/2025.
- [32] Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare (2014), Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia, consultato il 07/04/2025.
- [33] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2018), Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, Allegato III, Impatti e vulnerabilità settoriali, consultato il 07/04/2025.
- [34] ENAMA (2009), BIOMASSE ED ENERGIA, consultato il 18/03/2025.
- [35] JRC (2015), The JRC-EU-TIMES model. Bioenergy potentials for EU and neighbouring countries, consultato il 15/03/2025.
- [36] Mipaaf, Strategia Forestale Nazionale, consultato il 05/07/2025.
- [37] Legambiente (2024), Bioeconomia delle foreste, consultato il 05/07/2025.
- [38] P. Gasparini et al. (2022), Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio—Metodi e Risultati della Terza Indagine, consultato il 05/07/2025.
- [39] Ghent University (2021), The Role of Sequential Cropping and Biogasdoneright™ in Enhancing the Sustainability of Agricultural Systems in Europe, consultato il 22/10/2024.
- [40] A. Thorenz et al. (2018), Assessment of agroforestry residue potentials for the bioeconomy in the European Union, consultato il 03/07/2024.





A cura di
Snam

Impaginazione
ACC & Partners

Per informazioni rivolgersi a
Snam S.p.A.
Piazza Santa Barbara, 7
20097 San Donato Milanese (MI)
Sito Internet: www.snam.it

