

RIFIUTI, ACQUE REFLUE, ENERGIA: L'ESIGENZA DI UN APPROCCIO SISTEMICO NELLE REGIONI DEL MERIDIONE D'EUROPA

Giuseppe Mancini¹, Antonella Luciano², Laura Cutaia², Debora Fino³

¹ Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Elettronica ed Informatica, Università di Catania; Associazione nazionale degli Ingegneri per l'Ambiente e il Territorio (AIAT).

² ENEA – Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Dipartimento per la sostenibilità, Centro Ricerche Casaccia, Roma.

³ Dipartimento Scienza Applicata e Tecnologia (DISAT), Politecnico di Torino.

L'emergenza COVID, l'ambiente e le semplificazioni

Viene oggi da alcuni riguardata positivamente la correlazione tra la diffusione del coronavirus e il miglioramento della qualità dell'ambiente, come se la natura si riprendesse gradualmente i suoi spazi abusivamente occupati dall'uomo. Questa immagine – forse “attraente” – ha portato alcuni ad invocare un profondo e ineluttabile cambiamento nel sistema pianeta. Ma quello che osserviamo oggi, non ha nulla a che fare con una presunta sostenibilità, a meno che per sostenibilità non si intenda un sistema in cui la razza umana, sebbene la più impattante sul pianeta, si fermi (o scompaia) per una decrescita quasi istantanea (e per nulla felice) della maggior parte delle attività come è avvenuto nei mesi del lock-down.

L'imminente ripartenza, favorita dal recovery fund, dovrà prioritariamente mirare alla tutela della salute, a garantire un lavoro dignitoso e la necessaria crescita economica senza trascurare il contenimento della povertà e delle disuguaglianze, obiettivi che richiederanno cura e attenzione per gestire al meglio le enormi risorse messe in campo. Ma proprio per questo, c'è una chiara opportunità di valorizzare – contestualmente – anche altre priorità, dirigendo la rotta d'uscita dall'emergenza attraverso un faro che punti ad un modello economico e di sviluppo più sostenibile del precedente. Questo drammatico periodo ha anche fatto riflettere su come alcune politiche industriali, negli ultimi decenni, abbiano favorito l'aumento della dipendenza del nostro Paese dall'importazione di beni e materiali come è stato (ancora una volta erroneamente) osservato per l'insufficienza di sistemi produttivi nazionali di dispositivi di protezione individuale e di respiratori. Riflessione che però accende un faro sui concetti di autosufficienza o quantomeno di resilienza.

Quando l'economia circolare ha due velocità

Ben più concreta e impattante, se si vuol parlare di sviluppo sostenibile, è l'insufficienza media, sul

territorio nazionale di impianti di valorizzazione del materiale riciclabile da raccolta differenziata così come la scarsa applicazione nell'industria (da quella agroalimentare e quella delle costruzioni) di strategie efficaci di recupero degli scarti o dei residui (Luciano et al., 2020). Il tutto senza tralasciare che i discreti valori medi, con cui viene rappresentato il paese all'estero, continuano a nascondere una gravissima sperequazione tra quanto più efficiente al Nord e quanto sostanzialmente assente al Sud (ISPRA, 2020). Ne sono esempio eclatante gli impianti per il recupero energetico della frazione residuale che in particolare nelle aree più a Sud sono ancora osteggiati da interessi personali di piccolo cabotaggio nella più totale miopia (ideologizzata o meno) della classe politica meridionale e nella più immotivata delle convinzioni che recupero di materia e di energia siano conflittuali e non sinergici.

Le conseguenze evidenti di tali debolezze strategiche e strutturali in queste aree sono un ricorso ancora estensivo alla discarica e la prospetticamente pericolosa dipendenza “dall'estero”. Quest'ultima ha manifestato tutta la sua economica problematicità negli ultimi due anni, persino su materiali ritenuti più nobili, quando il maggior paese importatore, la Cina, ha chiuso le proprie frontiere alle significative quantità del materiale faticosamente raccolto (per quanto non sempre con grandissima qualità) in Italia tramite la raccolta differenziata, mettendo in seria difficoltà l'intero mercato e quindi la filiera del riciclo nel nostro paese (Simon, 2019). Questa “coscienza aumentata” post-Covid è dunque un'opportunità per dare prospettiva ad un modello economico che punti all'innovazione – a partire da quella tecnologica – con politiche adeguate di supporto alla ripresa del Paese, indirizzando i piani di investimento verso modelli di produzione e di consumo basati su approvvigionamento ed utilizzo sostenibile delle risorse e degli scarti, lungo la strada della decarbonizzazione e della circolarità, senza mai trascurare gli impatti sociali.



Figura 1 – Qualità della raccolta porta a porta in una grande città del meridione d'Italia

Ma occorre fare attenzione affinché questa auspicabile “azione” di indirizzo, non venga guidata da interessi di parte, spesso celati dietro una troppo effimera bandiera di finto ecologismo e mediati da una informazione da social media che narcotizza il senso critico parzializzando o alterando i fatti a favore della vendita di una narrazione. I fatti possono e devono essere verificati.

Il ruolo della scienza per una legittima sostenibilità

Se una cosa abbiamo imparato (o riscoperto) in questi mesi è infatti l'importanza della scienza e la sua forza che, pur nella pluralità delle vedute, ha dato comunque un messaggio statisticamente univoco e finalmente vigoroso, seguito (più o meno) anche dai più spavaldi e autoreferenziali leader del pianeta, spauriti ed impotenti di fronte a qualcosa di così grande e “naturale” da gestire anche per loro. La scienza ha la capacità di fare dei confronti obiettivi tra i prodotti e i processi prendendo in considerazione non solo le quantità di materiali necessari per produrre qualcosa ma anche quanta energia, acqua, suolo saranno consumati nell'intero ciclo di vita del prodotto o del processo, per determinarne l'impronta ecologica. La scienza può allora dare concretezza ad un nuovo concetto di “economia circolare sostenibile” permettendo di

superare quello che si è spesso limitato ad uno slogan ripetuto e abusato dai più e guidando la mano di una politica più consapevole perché la stessa si possa assumere più coscientemente le necessarie responsabilità nell'azione di indirizzo.

La miopia dell'approccio al consenso e le sue conseguenze

In questa ricerca di vera sostenibilità rientra prepotentemente la lotta alla profonda distanza tra le diverse aree geografiche del nostro paese che in parte riflette una analogia asimmetria tra Nord e Sud d'Europa.

Le regioni del Mediterraneo continuano – prevalentemente – ad avere approcci disgiunti e poco sostenibili alla gestione dei rifiuti, delle acque reflue e delle biomasse residue che ne influenzano il relativo consumo di energia e comportano ancora gravi impatti sull'ambiente. Molte di queste aree soffrono inoltre di una storica carenza idrica, i cui effetti si stanno progressivamente intensificando a seguito del cambiamento climatico in atto.

In uno scenario caratterizzato da una raccolta differenziata ancora poco efficace (Figura 1) – soprattutto nelle grandi aree metropolitane – la maggior parte dei rifiuti solidi urbani prodotti dai milioni di abitanti di queste regioni è ancora smaltita in discariche, direttamente o dopo un oneroso e

scarsamente utile trattamento meccanico biologico (TMB) dei rifiuti indifferenziati (Figura 2), che non consente un significativo recupero di materia ma che serve – per lo più – a continuare a giustificare il successivo smaltimento in discarica (ISPRA, 2018).

Tale pratica di gestione dei rifiuti e più di un ventennio di disinformazione strumentale continuano a rafforzare una forte e spesso insormontabile avversione delle comunità locali alla costruzione di nuovi impianti di trattamento dei rifiuti. Sebbene tale ostilità sia in realtà legata più alla paura di odori sgradevoli (Luciano et al., 2017; European Parliament, 2018) e di riduzione dei valori di proprietà immobiliari che a rischi concreti per la salute, essa rappresenta ancora un indubbio ostacolo per quei decisori che desiderano proporre piani di gestione dei rifiuti finalizzati a chiudere veramente il cerchio, lasciando alla discarica un ruolo finalmente residuale (Kokkinos et al., 2019).

Decenni di economia lineare e gestione insostenibile dei rifiuti basata sulle discariche hanno ormai prodotto nelle popolazioni di queste regioni una sorta di “comoda” isteresi verso soluzioni esasperate di economia circolare e, sotto lo slancio di quella parte di ambientalismo ancora ideologizza-

to, la cui ricetta si limita ad una raccolta differenziata prossima al 100% e (piccoli) impianti di compostaggio come unica strategia ecologica “possibile”, i piani di gestione dei rifiuti in queste regioni si stanno ora concentrando pericolosamente (Lou e Nair, 2018) sul raggiungimento del consenso piuttosto che su un approccio sostenibile alla gestione integrata dei rifiuti.

Al contrario di quanto avviene in altre aree del pianeta, in rapida espansione (Huang et al., 2019), questa avversione verso i nuovi impianti di trattamento dei rifiuti trova la sua massima espressione nei confronti degli impianti di valorizzazione energetica del rifiuto (WtE) ed è spesso difficile, se non impossibile nel meridione d'Europa, costruirne di nuovi o semplicemente potenziare impianti già esistenti a causa della forte e spesso “indirizzata” opposizione della popolazione. E allora si continua ad affermare che questi impianti inquinano senza confrontare quanto inquinino gli impianti ad essi alternativi nel gestire lo stesso rifiuto (Monni, 2012). Si afferma ancora che non si recupera “abbastanza” energia senza mai darsi però pena di quantificarla e confrontarla con il risparmio di altre risorse (Perkoulidis et al., 2019). Si afferma infine (altrettanto falsamente) che occorrerebbero dieci an-

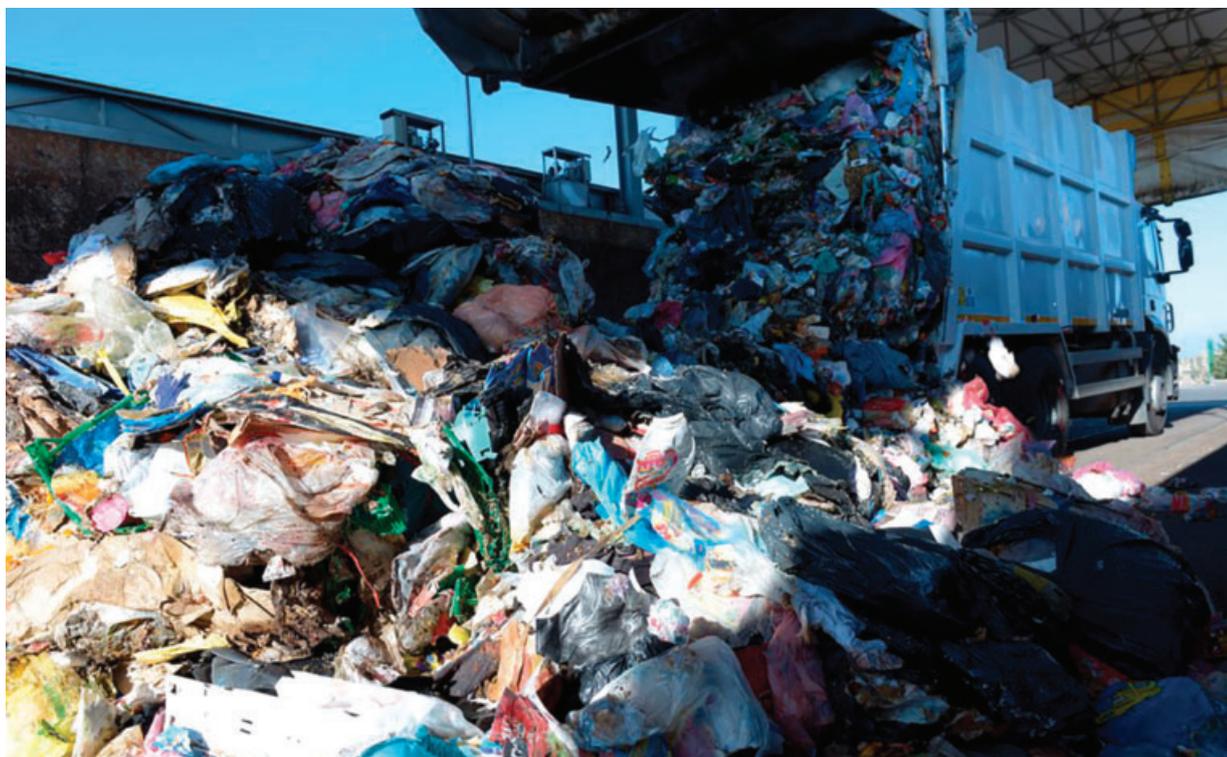


Figura 2 – Rifiuto indifferenziato da avviare al trattamento meccanico biologico prima dello smaltimento finale in discarica

ni per realizzare un impianto – e quindi “avrebbe” poco senso iniziare – ma negli stessi dieci anni si permette di autorizzare continui ampliamenti di discariche secondo un approccio ormai trentennale che prospetticamente e ancora più insostenibilmente potrà trovare unica e peggiore alternativa solo nel trasporto del rifiuto (residuale) fuori regione, secondo la tradizionale dipendenza xenofila che farà guadagnare altri stati e regioni a scapito degli abitanti di queste territori ma anche dell’ambiente nel suo complesso.

Tra carenze climatiche e carenze strutturali

Molte di queste regioni soffrono anche di una grave scarsità d’acqua, una condizione che è continuamente aggravata dai cambiamenti climatici. Pertanto, la disponibilità di risorse idriche marginali dovrebbe essere ritenuta cruciale per soddisfare la futura domanda di acqua per l’agricoltura (Fatta et al., 2015; Valipour e Singh, 2016), come del resto ampiamente discusso durante la Conferenza sul clima di Parigi nel 2015. Ma gli elevati costi di trattamento delle acque reflue per ottenere la (eccessiva) qualità dell’acqua imposta per il riutilizzo in agricoltura rende ancora assolutamente fuori mercato il prezzo di questa risorsa non convenzionale rispetto alle risorse idriche tradizionali (Molinos-Senante et al., 2014). A ciò si aggiunge una condizione diffusa che vede, in queste regioni, molti impianti di trattamento delle acque reflue soffrire di gravi problemi legati al trattamento e allo smaltimento dei fanghi prodotti, con le discariche spesso riluttanti ad accettare fanghi non adeguatamente stabilizzati e disidratati cui si sovrappone e sempre più si sovrapporrà la drastica riduzione delle possibilità di utilizzo diretto o indiretto (tramite compostaggio) in agricoltura per i potenziali effetti nocivi sul terreno e sulla catena alimentare. L’assenza di una soluzione di smaltimento continua e affidabile spinge quindi alcuni operatori, soprattutto negli impianti medio-piccoli, ad aumentare il tempo di ritenzione dei fanghi (attraverso un eccesso di ricircolo) al fine di ridurre l’estrazione e l’obbligo di smaltimento. Questa “soluzione gestionale” fa sì che i fanghi siano più ossidati ma anche più “leggeri” abbassando notevolmente l’efficienza di separazione della fase di decantazione e la qualità dell’acqua scaricata, con frequenti fughe di solidi sospesi, conseguente e continuativa compromissione dei corpi idrici recettori e relativi riflessi su salute pubblica e attività economiche, a partire dal turismo.

Le opportunità offerte dalla simbiosi industriale

Per contrastare tutte queste distorsioni, è necessario produrre un vero cambio di paradigma nel contesto economico, sociale e culturale dell’area mediterranea delle attuali politiche di gestione dei rifiuti, acque reflue e fanghi di depurazione, verso un modello basato sul risparmio energetico, basse emissioni di CO₂ e pieno recupero del contenuto energetico della sostanza organica e del rifiuto non riciclabile, superando l’ingiustificata ma ostinata opposizione agli impianti di valorizzazione energetica della frazione residuale; è ancora possibile in molte delle grandi aree metropolitane del mezzogiorno d’Italia – ma anche del mezzogiorno d’Europa – promuovere un nuovo modello eco-sistemico di gestione integrata basato sulla simbiosi industriale che possa aumentare drasticamente la circolarità complessiva e la sostenibilità in queste aree tramite il “waste-waste-water-energy nexus” (Fatta et al., 2015; Valipour e Singh, 2016; Molinos-Senante et al., 2014).

Tale modello punta alla realizzazione di una vera e propria bio-raffineria che, attraverso la simbiosi industriale integri (Tyagi e Lo, 2013; Kothari et al., 2010; AlQattan et al. 2018): 1) l’impianto esistente di trattamento acque reflue; 2) un impianto potenziato di digestione anaerobica per il trattamento contestuale (non necessariamente congiunto) di FORSU e fanghi; 3) un nuovo impianto di valorizzazione energetica della frazione residuale del rifiuto e degli scarti con produzione di energia elettrica e calore.

La simbiosi che si viene a determinare tra i tre sistemi, se ben progettata (Cutaia et al., 2018; Luciano et al., 2016), è rilevante e permette una formidabile ottimizzazione energetica massimizzando contestualmente anche il recupero di materia (Abbasi et al., 2012; Shen et al., 2015; Gikas, 2017; Giugliano et al., 2011; Turconi et al., 2011). Numerosi sono infatti i vantaggi di un tale sistema integrato rappresentato in Figura 3:

- 1) Si recupera il contenuto energetico della FORSU, lasciando al più dispendioso compostaggio solo la fase residuale di maturazione con un vantaggio in termini di emissioni di CO₂ dirette e indirette (risparmiando l’energia elettrica nella fase aerobica) nella produzione di compost di qualità.
- 2) Parte del calore generato dalla termovalorizzazione opportunamente commisurato, attraverso una gestione ben dimensionata degli spillamenti di vapore, può essere utilizzata anche in climi caldi per condurre la digestione in fase termofila e ridurre quindi tempi e volumi del-

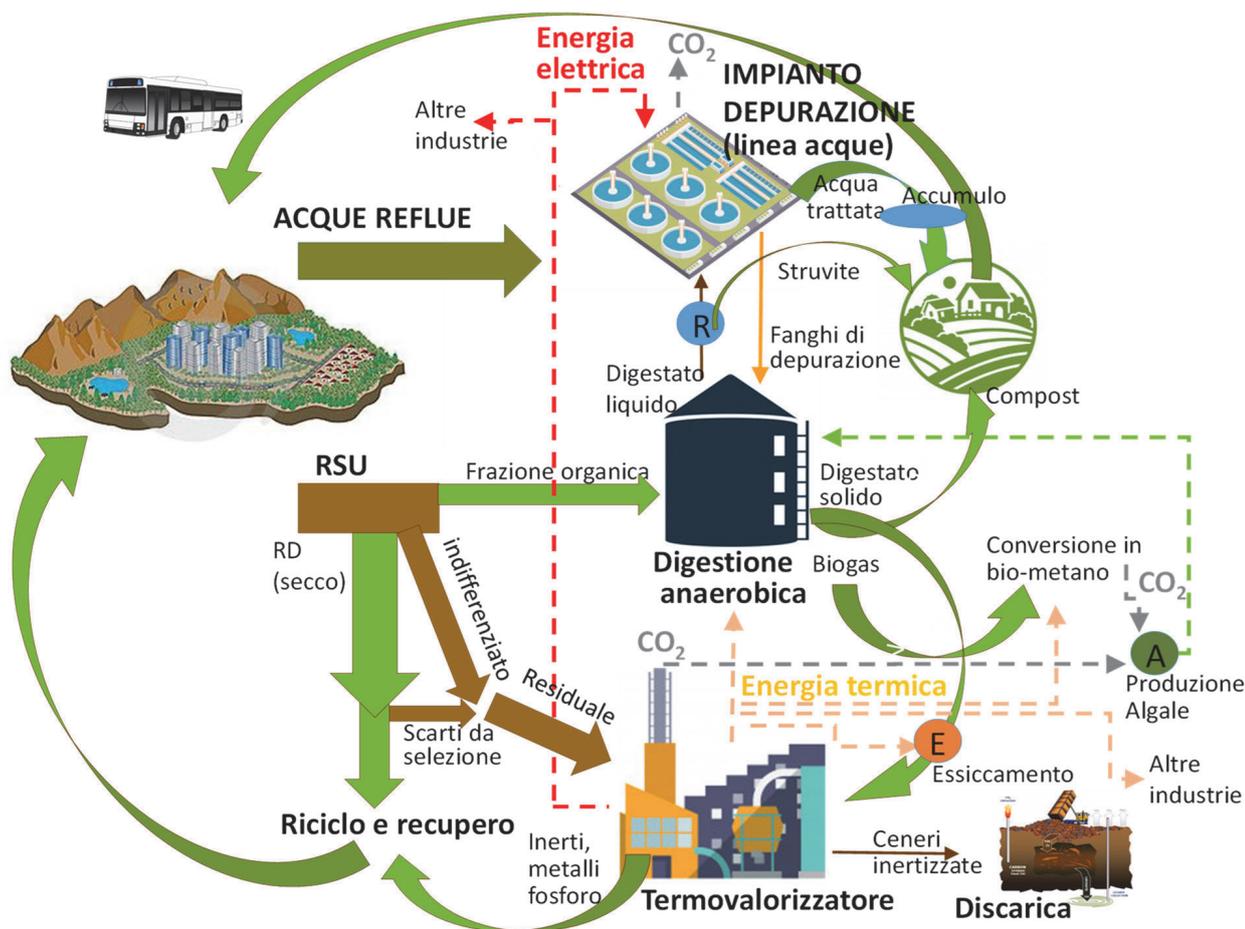


Figura 3 – Approccio sistemico al waste-wastewater-energy nexus attraverso la simbiosi industriale

la digestione aumentando la resa di produzione del biogas con un vantaggio che si ripercuote su una maggiore efficienza anche della digestione dei fanghi rispetto ai processi mesofili più tradizionali.

- 3) Il biogas così prodotto può essere totalmente convertito in biometano (invece di utilizzarlo in sistemi di cogenerazione per scaldare il digestore) massimizzando quindi gli eventuali incentivi.
- 4) Parte del calore da termovalorizzazione può essere impiegato nel processo di conversione del biogas in biometano riducendone i costi per l'utilizzo nei trasporti pubblici, e quindi, ulteriormente, le emissioni di GHG.
- 5) Il surnatante della digestione sia di FORSU che di fanghi può essere utilizzato per recuperare fosforo (struvite) e polioidrossialcanoati (PHA).
- 6) Parte del calore da termovalorizzazione può essere impiegato per pre-essiccare i fanghi di depurazione disidratati in vista di un loro recupero

energetico, possibilmente in una linea dedicata del termovalorizzatore, che raccolga anche contributi da altri impianti più piccoli vicini, per garantire il recupero del fosforo dalle ceneri ed eliminare il problema dello smaltimento finale.

- 7) Parte del calore da termovalorizzazione può essere impiegato per pre-essiccare eventuali biomasse dal settore agricolo prima del loro recupero energetico nello stesso termovalorizzatore riducendone i problemi di smaltimento.
- 8) Parte del calore da termovalorizzazione può essere impiegato per supportare eventuali aziende (esistenti o che volessero inserirsi nel distretto industriale) sfruttando il calore residuale a condizioni economicamente più vantaggiose per i loro processi (es. industria di processo agroalimentare), oltre alle eventuali esigenze di riscaldamento e raffrescamento, in ottica di simbiosi industriale con una conseguente riduzione delle loro emissioni di CO₂.

- 9) L'energia elettrica prodotta può essere parzialmente utilizzata (poche unità percentuali) per supportare la fase di trattamento terziario e di pompaggio dei reflui trattati alle aree agricole in modo da rendere competitivo il costo dell'acqua reflua trattata garantendone il pieno riuso in ottica di mercato ed evitando così che il carico concentrato venga scaricato nei corpi idrici con i relativi impatti, soprattutto nelle zone costiere.
- 11) Un'ulteriore parte dell'energia elettrica prodotta dall'impianto potrebbe essere utilizzata per supportare l'intero processo di trattamento delle acque reflue in piena ottica di simbiosi industriale. La fase di ossidazione in linea acque dovrebbe essere comunque condotta come schema classico ad alto carico per minimizzare i consumi energetici tenendo conto del successivo riuso anche attraverso un contenimento della nitrificazione. L'efficienza sull'abbattimento della frazione organica potrebbe essere meglio conseguita tramite sistemi terziari con filtri autopulenti (accoppiati ad UV per la disinfezione) che presentano bassi costi energetici e ottime efficienze. Risulta indispensabile accoppiare un sistema di accumulo dell'acqua trattata, opportunamente dimensionato e gestito che, oltre a garantire una migliore qualità finale dell'effluente finale per irrigazione ne consenta il pieno utilizzo durante tutto l'anno e non solo nella stagione irrigua evitandone del tutto lo scarico (Mancini et al., 2017; Mannina et al., 2008) e ottenendo così finalmente "impianti a scarico ZERO".
- 12) La frazione residuale e gli scarti non riciclabili vengono ridotti in volume (circa il 10%) riducendo il fabbisogno di discarica e i conseguenti impatti.
- 13) La riduzione del rifiuto da smaltire in discarica potrebbe essere ulteriormente limitata alle sole ceneri leggere inertizzate (2% circa del rifiuto totale, in pieno rispetto delle direttive Europee che fissano il limite del 10% al 2035) grazie a processi di recupero delle scorie sempre più consolidati che permetterebbero tra l'altro di aumentare il recupero di materia complessivo (+10-15% sul totale del rifiuto) – attraverso prodotti certificati – aumentando notevolmente la circolarità dell'intero sistema.
- 14) Una parte della CO₂ prodotta dal processo di conversione in biometano e/o contenuta nei fumi del termovalorizzatore potrebbe essere convertita in biomassa algale da destinare a prodotti ad alto valore aggiunto e/o alla riconversione energetica mediante la stessa digestione anaerobica.

Attualmente è difficile per le parti interessate in molte aree in tutto il mondo proporre la costruzione di un impianto WtE e si prevede che la discarica continuerà a essere la via di smaltimento predominante per una quantità significativa di rifiuti residui con buona pace delle illusioni a rifiuto zero, lasciando così un enorme onere per le generazioni future.

Sebbene però sia ormai praticamente impossibile costruire impianti WtE nel centro delle città, come è stato fatto in passato nel Nord Europa, per sfruttare appieno la loro produzione di energia termica, c'è ancora una chiara possibilità, anche per le regioni più calde (es. aree Sud-europee e aree nordafricane), di sfruttare gli illustrati vantaggi offerti dalla simbiosi industriale e urbana localizzando queste strutture in distretti industriali, vicino ai principali impianti di depurazione. La grande quantità di energia termica a basso costo che viene ad essere disponibile potrebbe peraltro incoraggiare nuove imprese (es. una cartiera) a insediarsi e sviluppare processi che richiedono calore vicino ai sistemi integrati di trattamento dei rifiuti / acque reflue, aumentando così ulteriormente la simbiosi industriale complessiva del distretto.

La sostenibilità non è ideologica

Tutti questi benefici possono risultare determinanti per superare la sterile opposizione agli impianti di valorizzazione energetica del rifiuto che sono spesso descritti in modo incoerente e infondato come antagonisti al riciclaggio dei rifiuti e alla massimizzazione del recupero.

Attraverso un utilizzo simbiotico della produzione di energia da termovalorizzazione, per supportare sia i processi di digestione anaerobica che di riuso delle acque reflue e di recupero dei fanghi, il sistema integrato proposto può essere considerato come un moderno processo di bio-raffineria, atto alla produzione di energia e materiali, in grado di fornire elettricità, calore e biometano in eccesso ai distretti industriali e/o alle città limitrofe, ma anche di aumentare in modo significativo la circolarità complessiva consentendo un riutilizzo sostenibile delle acque reflue e la drastica riduzione dei rifiuti smaltiti in discarica, favorendo così, anche in queste regioni – nettamente in ritardo (Mancini et al., 2017) – un significativo riavvicinamento nel percorso verso il Green Deal promosso dall'Unione Europea.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Luciano A., Reale P., Cutaia L., Carletti R., Elmo G., Pentasuglia R., Mancini G. (2020) Resources Optimization and Sustainable Waste Management in Construction Chain in Italy: Toward a Resource Efficiency Plan. *Waste Biomass Valor* 11, 5405-5417.
<https://doi.org/10.1007/s12649-018-0533-1>
- ISPRA (2019) Rapporto Rifiuti Urbani 2019.
www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/rapporti/rapporto-rifiuti-urbani-edizione-2019
- Simon F. (2019) EU paper recyclers 'in crisis' as China waste import ban bites.
www.euractiv.com/section/circular-economy/news/eu-paper-recyclers-in-crisis-as-china-waste-import-ban-bites/
- ISPRA (2018) Rapporto Rifiuti Urbani 2017.
www.isprambiente.gov.it/files/2017/pubblicazioni/rapporto/RapportoRifiutiUrbani_Ed.2017_n.272_Vers.Integrale_rev08_02_2018.pdf
- Luciano A., Mancini G., Eleuteri A., Torretta V., Viotti P. (2017) The modelling of odour dispersion as a support tool for the improvements of high odours impact plants. *Environ. Technol.*; 38(5): 588-597.
<https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1205146>
- European Parliament (2018) Waste Management in Europe: Main Problems Identified in EU Petitions and Best Practices.
http://publications.europa.eu/resource/cellar/8af55d22-3946-11e8-b5fe-01aa75ed71a1.0001.03/DOC_1
- Kokkinos K., Karayannis V., Lakioti E., Moustakas K. (2019) Exploring social determinants of municipal solid waste management: Survey processing with fuzzy logic and self-organized maps. *Environ Sci Pollut R*; 26: 35288-35304.
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-05506-2>
- Lou X.F., Nair J. (2018) The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions – A review. *Bioresour Technol*; 100: 3792-98.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.006>
- Huang Y., Ning Y., Zhang T., Fei Y. (2015) Public acceptance of waste incineration power plants in China: Comparative case studies. *Habitat Int*; 47: 11-19.
<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2014.12.008>
- Monni S. (2012) From landfilling to waste incineration: Implications on GHG emissions of different actors. *Int J Greenh Gas Control*; 8: 82-9.
<https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2012.02.003>
- Perkoulidis G., Papageorgiou A., Karagiannidis A., Kalogirou S. (2010) Integrated assessment of a new Waste-to-Energy facility in Central Greece in the context of regional perspectives. *Waste Manage*; 30: 1395-406.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.021>
- Fatta D., Alaton I.A., Gokcay C., Rusan M.M., Assobhei O., Mountadar M., Papadopoulos A. (2015) Wastewater Reuse: Problems and Challenges in Cyprus, Turkey, Jordan and Morocco. *European Water*; 11/12: 63-9.
- Valipour M., Singh V.P. (2016) Global Experiences on Wastewater Irrigation: Challenges and Prospects. In: Maheshwari B, Singh V, Thoradeniya B, editors. *Balanced Urban Development: Options and Strategies for Liveable Cities*, Water Science and Technology Library, vol 72. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-28112-4_18
- Molinos-Senante M., Hernández-Sancho F., Mocholí-Arce M., Sala-Garrido R. (2014) Economic and environmental performance of wastewater treatment plants: Potential reductions in greenhouse gases emissions. *Resour Energy Econ*; 38: 125-40.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.reseneeco.2014.07.001>
- Tyagi V.K., Lo S. (2013) Sludge: A waste or renewable source for energy and resources recovery? *Renew Sust Energ Rev*; 25: 708-28.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.029>
- Kothari R., Tyagi V.V., Pathak A. (2010) Waste-to-energy: A way from renewable energy sources to sustainable development. *Renew Sust Energ Rev*; 14: 3164-70.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.05.005>
- AlQattan N., Acheampong M., Jaward F.M., Ertem F.C., Vijayakumar N., Bello T. (2018) Reviewing the potential of Waste-to-Energy (WTE) technologies for Sustainable Development Goal (SDG) numbers seven and eleven. *Renewable Energy Focus*; 27: 97-110.
<https://doi.org/10.1016/j.ref.2018.09.005>
- Cutaia L., Luciano A., Barberio G., Sbaiffoni S., Mancuso E., Scagliarino C., La Monica M. (2015) The experience of the first industrial symbiosis platform in Italy. *Environ Eng Manag J*; 14: 1521-33.
http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/pdfs/vol14/no7/6_1047_Cutaia_14.pdf
- Luciano A., Barberio G., Mancuso E., Sbaiffoni S., La Monica M., Scagliarino C., Cutaia L. (2016) Potential improvement of the methodology for industrial symbiosis implementation at regional scale. *Waste Biomass Valori*; 7: 1007-1015. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9625-y>
- Abbasi T., Tauseef S.M., Abbasi S.A. (2012) Anaerobic digestion for global warming control and energy Generation-An overview. *Renew and Sustainable Energy Rev*; 16: 3228-42.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.046>
- Shen Y., Linville J.L., Urgun-Demirtas M., Mintz M.M., Snyder S.W. (2015) An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: Challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs. *Renew Sust Energ Rev*; 50: 346-62.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.129>
- Gikas P. (2017) Towards energy positive wastewater treatment plants. *J Environ Manage*; 203: 621-9.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.061>
- Giugliano M., Cernuschi S., Grosso M., Rigamonti L. (2011) Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment. *Waste Manage*; 31: 2092-101.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.02.029>
- Turconi R., Butera S., Boldrin A., Grosso M., Rigamonti L., Astrup T.F. (2011) Life cycle assessment of waste incineration in Denmark and Italy using two LCA models. *Waste Manage*; 29: 78-90.
<https://doi.org/10.1177/0734242X11417489>
- Mancini G., Cosentino L., Signorello G., Luciano A., Fino D. (2017) Criteria and operational guidelines to increase wastewater recovery on islands and in rural areas. *Desalin Water Treat*; 91: 214-221.
<https://doi.org/10.5004/dwt.2017.21023>
- Mannina G., Torregrossa M., Viviani G., Mancini G. (2008) Wastewater modification processes assessment in a stabilization reservoir. *Water Sci Technol.*; 57(7):1037-1045.
<https://doi.org/10.2166/wst.2008.203>
- Mancini G., Nicosia F.G., Luciano A., Viotti P., Fino D. (2017) An approach to an insular self-contained waste management system with the aim of maximizing recovery while limiting transportation costs. *Waste Biomass Valori* 2017; 8(5): 1617-1627.



INGEGNERIA DELL'AMBIENTE

per il 2020 è sostenuta da:



better together



INGEGNERIA
DELL'AMBIENTE



N. 3/2020

