

CARBON FOOTPRINT DELLA GESTIONE DELLE ACQUE REFLUE COME RISORSA NELLE AREE METROPOLITANE

Francesco Claudio Campione^o, Amanda Campodonico^{oo}

Premessa

Nelle aree metropolitane l'approvvigionamento idrico appare decisamente preoccupante: le risorse idriche sono limitate, distribuite in modo disomogeneo (sia nel tempo che nello spazio) ed in alcuni casi inquisite.

Alle variazioni stagionali delle precipitazioni, si accompagna l'oscillazione stagionale della domanda (consumo) in funzione di fattori quali: il turismo, l'irrigazione e gli usi industriali nei cicli produttivi.

Ad aggravare la situazione, intervengono talvolta eventi quali la siccità, come nelle ultime due stagioni invernali (2015-2016 e 2016-2017), che verranno ricordate per la carenza di piogge e se il trend proseguirà in questa direzione, durante la prossima estate, potremmo trovarci di fronte alla terribile questione: distribuire l'acqua all'agricoltura, ai consumi domestici o alla produzione di energia? Il deficit delle piogge a livello nazionale è del 91%. Nelle aree metropolitane la gestione delle risorse idriche, rappre-

senta uno dei principali problemi, non solo a causa dell'attuale scarsità di risorse, ma anche in considerazione delle norme di qualità sempre più rigorose, richieste dalla legislazione europea.

La gestione di questa risorsa, tradizionalmente incentrata sull'offerta, ha contribuito a far ritenere che vi fossero disponibilità illimitate di acque e la possibilità di soddisfare il fabbisogno per usi civili, irrigui ed industriali.

Si costata invece che l'equilibrio tra le aspettative e l'effettiva offerta di acqua diventa sempre più precaria e che per motivi socio-economici ed ambientale, l'impostazione seguita finora, risulta inadeguata, da ciò emerge la necessità di fare ricorso a risorse non convenzionali come impianti di trattamento delle acque reflue urbane e trattamento dei fanghi biologici con recupero di energia e riutilizzo delle acque reflue depurate in agricoltura e nei sistemi di raffreddamento per usi industriali ed impianti di dissalazione dell'acqua di mare.

La rapida urbanizzazione e gli investi-

menti nelle infrastrutture come gli impianti di trattamento dei liquami urbani a servizio delle aree metropolitane in Italia stanno determinando un carico ambientale in costante aumento con elevati consumi di energia elettrica ed emissioni climalteranti (GHG).

Per quantificare i carichi ambientali viene utilizzata la "Carbon footprint" come strumento per quantificare le emissioni di CO₂ durante il ciclo di vita e ridurre l'impatto del cambiamento climatico. Questa ricerca, esamina alcune tipologie impiantistiche, prendendo in considerazione differenti alternative nel trattamento delle acque reflue e fanghi biologici per un determinato bacino di utenza. Seguendo i criteri di valutazione dei fattori di emissione secondo il modello di calcolo della "Carbon footprint", si è potuto verificare che le emissioni dirette ed indirette di CO₂ e N₂O, dovute al consumo di energia elettrica, incidono significativamente sull'impronta di carbonio.

La “ Carbon Footprint del ciclo idrico integrato nelle aree urbane

L'energia incorporata, si riferisce alla quantità di energia richiesta per produrre e fornire un prodotto, materiale o servizio al punto di utilizzo. Nel settore del servizio idrico, l'Embodied Energy è la quantità di energia associata con l'uso di una certa quantità d'acqua in un sito specifico:

(KWh/mc), è la quantità di energia consumata per tutto il processo associato alla: Captazione, Approvvigionamento, Consumo, Smaltimento, Depurazione delle acque reflue e Riciclo.

Componenti del Ciclo idrico integrato nelle aree metropolitane

Un tipico sistema idrico integrato, è composto dalle seguenti componenti principali: la Fig. 1, rappresenta le diverse fasi in relazione ai potenziali usi finali - (i valori numerici si riferiscono al range di consumo energetico E.E. KWh/mc - min: 0,31, max: 8,10)

Captazione delle risorse idriche e trattamento

La prima fase del ciclo idrico integrato, è l'estrazione delle risorse idriche da ac-

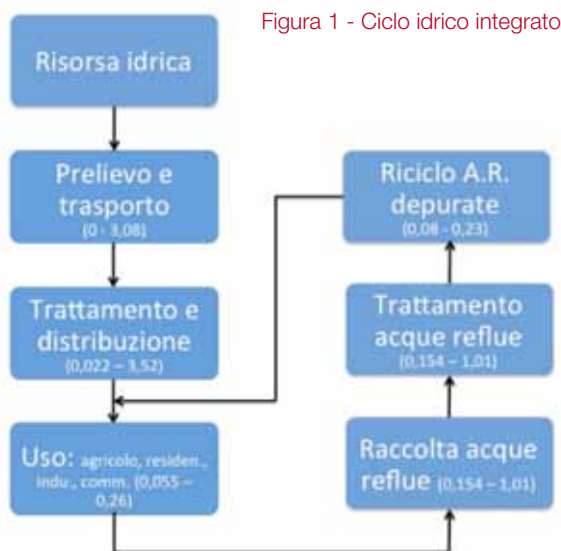


Tabella 1- Consumi di acqua per destinazione d'uso

USO	MILIARDI DI mc	%
CIVILE	6,2	20
INDUSTRIALE	5,5	21
AGRICOLO	13,60	51
ZOOTECNICO	0,90	3
ENERGETICO	1,40	5
TOTALE	26,60	

Tabella 2 - Acqua prelevata per uso potabile suddivisa per fonti di approvvigionamento (Italia)

FONTE	QUANTITÀ	%	SOTTOCATEGORIE	QUANTITÀ	%
Acque sotterranee	8.023.306	85	Sorgente	3.495.751	36,96
Acque superficiali	1.427.391	15	Pozzo	4.527.555	47,87
Acque mar. o salm.	7.947	0,08	Corso d'acqua	446.646	4,72
			Lago naturale	71.973	0,76
			Bacino artificiale	908.772	9,61
TOTALE	9.458.646				

que superficiali o da falde sotterranee. Di solito l'energia è resa necessaria per l'estrazione dell'acqua da entrambe le fonti. Alcune di queste, hanno bisogno di piccoli trattamenti e di conseguenza richiedono piccoli quantitativi di energia elettrica, quindi la loro intensità energetica varia da un basso livello di richiesta energetica per un sistema di filtrazione a gravità ad alti valori di richiesta per sistemi di pompaggio di acqua di mare ad osmosi inversa.

Sistema di distribuzione e consumo

La maggior parte dell'energia consumata dai sistemi idrici urbani, viene utilizzata per il pompaggio, sia nella fase di captazione, di trattamento che in quella di distribuzione.

Nel 2015, in Italia gli acquedotti hanno consumato 6.092,7 GWh di energia elettrica, pari al 6% del fabbisogno energetico complessivo nazionale. A questo dato, bisogna aggiungere il contributo del settore agricolo (5.689,9 GWh), la maggior parte

del quale, è legato ai processi digestione e distribuzione dell'acqua a scopo irriguo.

In totale, si stima in Italia un consumo del 3% circa del fabbisogno elettrico complessivo: 297.179,9 GWh.

Nel 2015 ogni abitante ha consumato in media 89,3 m³ di acqua per uso potabile, ovvero 245 l/ab x g.

Si riportano in Tabella 1 i consumi d'acqua espressi in miliardi di m³ per settore di attività:

Il dato medio di consumo specifico di e.e. per i sistemi di approvvigionamento idropotabile, si attesta sul valore di 0,35 - 0,50 kWh/mc di acqua emunta.

I corpi idrici utilizzati per l'approvvigionamento idrico, si distinguono in:

- Acque sotterranee (pozzi e sorgenti);
- Acque superficiali (corso d'acqua, lago naturale, bacino artificiale);
- Acque marine o salmastre;

L'84% del prelievo nazionale di acqua ad uso potabile, deriva da acque sotterranee (47,9% da pozzo e 37 \$ da sorgente), il 15,1% da acque superficiali (10,4% da lago naturale o bacino artificiale e 4,7% da corso superficiale) e lo 0,10% da acque marine o salmastre). (vedi tabella 2)

Smaltimento delle acque reflue

L'acqua di scarico delle aree urbane, viene raccolta, trattata, e rimessa nell'ambiente, dove può diventare una risorsa per altre utenze a valle del sistema. Il consumo di energia di un sistema di smaltimento delle acque reflue è il più attenzionato del consumo di energia nel sistema del ciclo idrico integrato. La maggior parte dei sistemi di raccolta delle acque reflue convenzionali, utilizza il sistema a gravità per collettare le acque reflue municipali all'impianto di depurazione.

In alcuni casi è richiesto un impianto di sollevamento per convogliare le acque reflue urbane all'impianto di trattamento e smaltimento finale. Questo contribuisce significativamente all'aumento dell'energia incorporata nel sistema del ciclo idrico integrato.

Trattamento delle acque reflue urbane

Gli impianti di depurazione richiedono una notevole quantità di energia per rimuovere le sostanze inquinanti presenti nei liquami urbani.

Alcuni richiedono più energia rispetto ad altri a seconda della portata di reflui da trattare, il livello di trattamento richiesto

Tabella 3 - Consumi di energia elettrica negli impianti di depurazione %

LINEA TRATTAMENTO LIQUAMI + LINEA TRATTAMENTO FANGHI			
POMPAGGIO LIQUAMI	14,26%	ISPESSIMENTO A GRAVITÀ	0,06%
GRIGLIATURA	1,36%	FILTROPRESSA	3,91%
DISSABBIATURA	0,02%	DIGESTIONE ANAEROBICA	14,24%
SEDIMENTAZIONE	3,15%	GESTIONE DEI FANGHI	7,20%
AERAZIONE	54,12%	RICIRCOLO FANGHI	0,46%
ILLUMIN. EDIFICI	8,14%	ALTRI SERVIZI	2,10%
CLORAZIONE	0,27%		

e le tecnologie utilizzate dai singoli impianti di trattamento.

In buona parte dei casi i liquami urbani e gli scarichi industriali, limitatamente a quelli biodegradabili, vengono sottoposti ad un trattamento a fanghi attivi, in impianti che in relazione al numero degli abitanti serviti ed alle portate in gioco, si articolano secondo uno dei cinque schemi sotto indicati. Fig. 2 - Schema di impianto a fanghi attivi.

Il consumo di energia è destinato ad aumentare, man mano che vengono adottate norme sempre più ristrette sui requisiti delle acque trattate.

D'altra parte, molti impianti di depurazione, utilizzano un " Digestore " per la produzione di Biogas prodotto dai fanghi biologici, per fornire energia allo stesso impianto di depurazione.

Nella Tabella 3, sono riportati i consumi di energia elettrica in percentuale.

Negli impianti di depurazione, generalmente vengono consumati elevati quan-

titativi di energia elettrica, assorbita nei vari stadi di trattamento e che dipende:

- distanza (Km) delle infrastrutture dal Bacino di utenza;
- dalle caratteristiche dell'effluente;
- dalla portata delle acqua in ingresso (m³/h);
- dalla localizzazione dell'impianto.

In particolare tali consumi includono: il sistema di sollevamento, miscelazione nel bacino di equalizzazione, aerazione della fase biologica e riscaldamento dei Digestori, nel caso di sistema a recupero del Biogas.

Gli impianti di depurazione a fanghi attivi o lagunaggio aerobico, rimuovono il carico organico (B.O.D.) Biochemical Oxigen demand, ma l'utilizzo di questa tecnologia richiede elevati consumi di energia, dovuti al processo di aerazione ed al trattamento del fango di supero. Per ogni Kg. di B.O.D. che è utilizzato, vengono consumati circa 2,65 kWh che danno luogo ad un'emissione di 0,97 Kg. di CO₂ in atmosfera rilasciata dal sistema di produzione dell'energia elettrica. Per ciascun impianto, inoltre, si

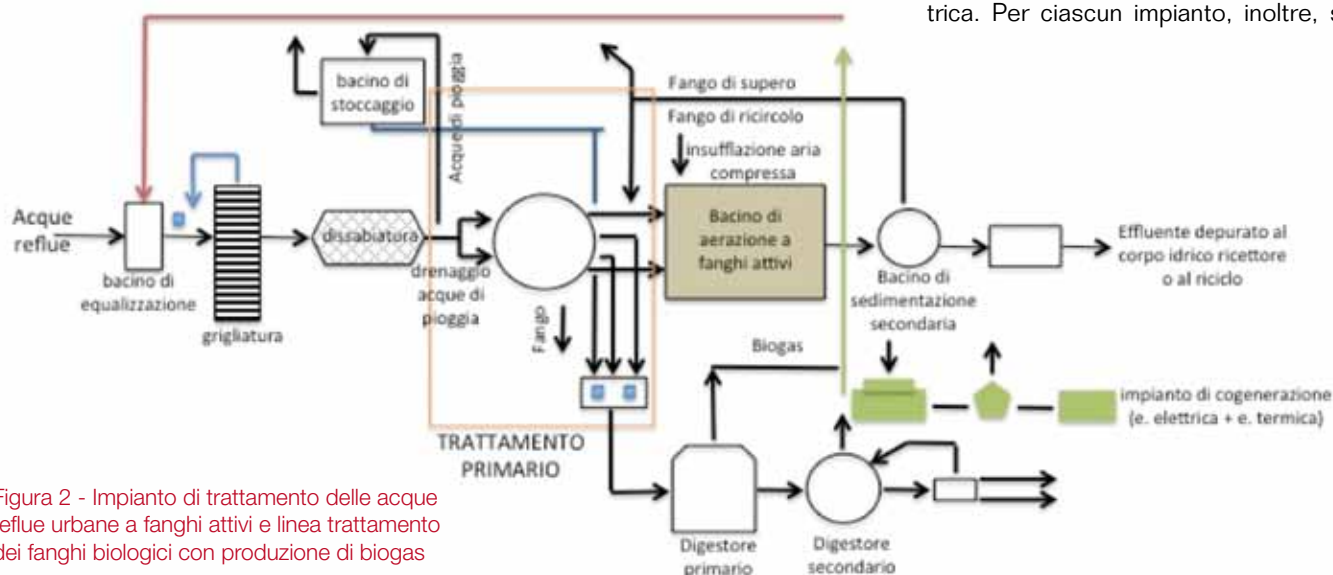


Figura 2 - Impianto di trattamento delle acque reflue urbane a fanghi attivi e linea trattamento dei fanghi biologici con produzione di biogas

Tabella 4- Potenza elettrica e consumi in funzione del numero di A.E. (abitanti equivalenti)

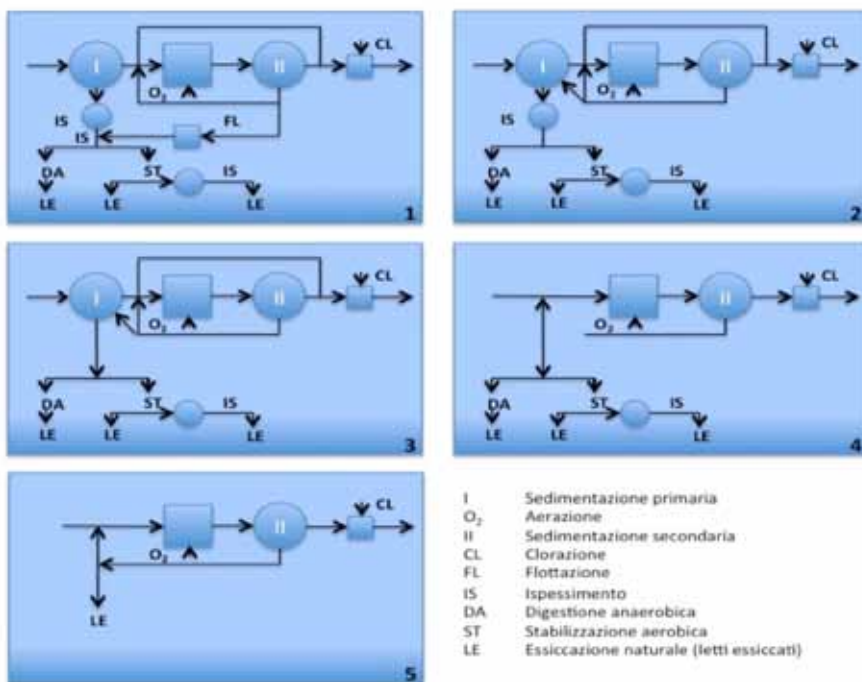
N° UTENZE SERVITE	POTENZA INSTALLATA (KW)	CONSUMO ENERGIA ELETTRICA (KWH/GIORNO)
10.000	20	234
15.000	28	326
20.000	36	420
30.000	52	608
50.000	82	960
80.000	125	1.290
100.000	150	1.755
200.000	280	3.276
500.000	650	7.560
1.000.000	1.200	14.100

può ipotizzare un consumo di e.e. di: 0,40 – 0,70 kWh/ mc ed in particolare negli impianti di depurazione a fanghi attivi convenzionali, dotati di "Digestione Anaerobica" del fango biologico, il consumo di e.e. risulta compreso tra 10 e 40 kWh/ab equivalente, mentre in quelli muniti di "Digestione Aerobica" il consumo sale a 40 – 70 kWh/ab equivalente.

La Tabella 4 riporta i valori della potenza (P) in kW in funzione del bacino di utenza. Assumendo un costo unitario dell'e.e. di 0,15 euro/kWh, il costo annuo dell'e.e. necessaria alla conduzione di un impianto

della potenzialità di 1.100.000 A.E. (abitanti equivalenti) risulta essere di 147.825 euro/anno, diventa allora interessante valutare il possibile recupero energetico dal trattamento dei fanghi biologici dal processo di "Digestione Anaerobica" abbinato ad un impianto di cogenerazione. Si riporta qui di seguito in Fig. 3 uno schema planimetrico di impianto di trattamento delle acque reflue urbane a fanghi attivi, completo di linea di trattamento dei fanghi biologici.

Figura 3 - Schemi di impianti a fanghi attivi



In Fig.4 è riportato uno schema del ciclo di impianto a recupero di energia dal trattamento dei fanghi biologici con relativo bilancio energetico:

Dati: bacino di utenza 100.000 ab.

C.I.S. 200 lt/ab x g;

Q = 15.000 mc (portata giornaliera acque reflue all' impianto di depurazione);
V = volume di biogas giornaliero= 3.050 mc/g;

Eg = energia elettrica prodotta giornalmente = 5.073 kWh/g;

Pe = potenza elettrica assorbita nell'im-

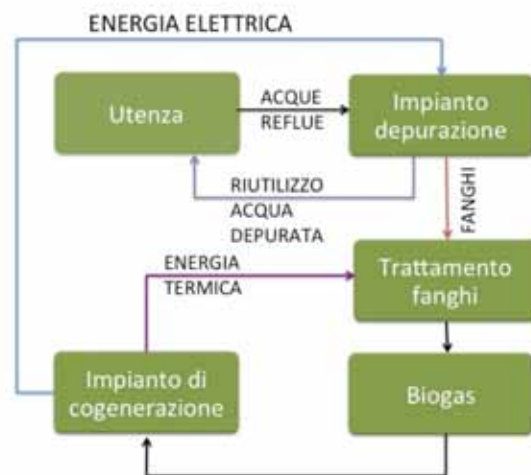


Figura 4 - Ciclo impianto a recupero di energia dal trattamento dei fanghi biologici

pianto di depurazione = 150 kW;
Ee = energia elettrica assorbita dall'impianto di depurazione= 2.700 kWh/g;
Cg = costo di gestione e.e. = 147.825 euro/anno;
Ci = costo impianto di cogenerazione: 900.000 euro;
P.B.T (pay back time) = 6 anni

Metodologia

Il consumo globale di acqua e di energia, è utilizzata per determinare i valori medi d'intensità energetica (kWh/mc), l'energia in kWh per l'estrazione, il trattamento, la distribuzione di 1 m³ di acqua, infatti utilizza i fattori (Fe) di emissione dei gas serra (gr. CO₂/kWh) in combinazione con quelli relativi all'intensità energetica, calcolando l'impronta di

Tabella 5 - Consumi di energia elettrica per diversi tipi di trattamento

TRATTAMENTO	CONSUMO MEDIO (kWh/mc)	MEDIA DEI CONSUMI (kWh/mc)
Filtro Percolatore	0,09 – 0,29	0,19
Fanghi Attivi	0,18 – 0,42	0,35
Tratt. Terziario	0,33 – 0,60	0,40
Tratt. Nitrificazione	0,40 – 0,50	0,50

carbonio globale C.F.). Nel settore dell'utilizzo delle risorse idriche, l'Embodied Energy (E.E.), è la quantità totale di energia elettrica associata all'utilizzo di un determinato quantitativo d'acqua in un luogo specifico.

È la quantità di energia elettrica consumata da tutto il processo associato alla produzione, distribuzione, consumo, trattamento e riciclo della risorsa idrica.

Un sistema per il ciclo idrico integrato, è composto da sei fasi (Fig.1)

Attraverso la tabella 3 che ci fornisce i dati dei consumi di energia elettrica per diverse utenze, è possibile stimare velocemente le emissioni di CO₂ rilasciate da un impianto di depurazione utilizzando i dati di cui all'esempio precedente, si ha:

- Consumo di energia elettrica annuo: 985.500 kWh/anno;

- F.E. (fattore di emissione del Gas Metano: 0,60 Kg CO₂/kWh;

- La C.F. (carbon footprint) è di: 591.300 Kg/anno di CO₂.

Volendo infine estendere il calcolo della Carbon Footprint a diverse tecnologie impiantistiche per avere un raffronto, sarà possibile stimare rapidamente i consumi di energia impiegando la Tabella 5. Per calcolare l'emissione globale annua di un sistema idrico integrato, è necessario calcolare l'emissione totale annua (CO₂) del singolo stadio, e sommare i rispettivi valori:

E. Annuo di CO₂ = (Captazione+ Trasporto + Trattamento+Utilizzo+Depurazione) x 365

Per esempio, il calcolo dell'emissione annua dovuta al sistema di captazione, andrà stimata come qui di seguito:

CAPTAZIONE = N. Abitanti x C.I.S. (lab xg)/1.000 x kWh/m³ x Fattore di emissione

Infine sommando i rispettivi valori, otterremo l'emissione annua di CO₂.

Conclusioni

A conclusione della memoria, vengono riportati alcuni esempi di impianti di trattamento delle acque reflue urbane che perseguono gli obiettivi della "Circular Economy" nel ciclo idrico integrato. ■

° Ph.D. in Fisica Tecnica Ambientale, Assegnista di ricerca, Docente a contratto delle seguenti materie: Fisica tecnica Ambientale, Gestione delle risorse Energetiche del territorio, Scuola Politecnica – Università di Palermo

°° Ph.D. in Tecnologie per la sostenibilità ed il risanamento ambientale presso l'Università di Palermo

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI CAGLIARI: IS ARENAS

Tra i migliori in Italia per capacità di depurazione:

Abitanti equivalenti: 557.050;

Portata: 40.412.130 mc/anno;

C.I.S.: 468 lt/ab x g;

Portata media giornaliera: 176.664 mc/g.

Tecnologia: Impianto di tipo biologico a fanghi attivi, con Digestione Anaerobica dei fanghi di supero e recupero di energia da Biogas + Trattamento terziario allo scopo di riutilizzo delle acque recuperate per l'irrigazione.

Aerofotogrammetria - estratto da google maps



IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI WOLLONGONG, AUSTRALIA

Bacino di utenza: 200.000 Abitanti;
Portata: 50 milioni di litri/giorno;
Riciclo: 20 milioni di litri/giorno;
L'acqua depurata viene impiegata per usi irrigui, industriali ed antincendio;
Fanghi di depurazione: 10.000 T/anno.
Tecnologia: Impianto di tipo biologico a fanghi attivi, con Digestione Anaerobica, un impianto di cogenerazione viene alimentato con il Biogas per la produzione di energia elettrica assorbita dall'impianto ed energia termica per il riscaldamento del digestore; un trattamento terziario consente il riutilizzo dell'effluente depurato alle utenze domestiche ed industriali.



Aerofotogrammetria - estratto da google maps

IMPIANTO DI DEPURAZIONE DI AMSTERDAM-WATERNET, OLANDA

Bacino di utenza: 1.000.000 Abitanti;
Superficie occupata dall'impianto: 1.100 m. x 120 m = 132.000 mq.
Portata: 7.000 mc/h;
Portata di punta: 30.000 mc/h;
Produzione di fanghi di depurazione: 30.137 Nmc/giorno;
Produzione di e.e.: $30.137 \text{ Nmc/g} \times 0,65 \times 38 \text{ MJ/Nmc} = 744.384 \text{ MJ/g}$.
Considerato che 1 kWh necessita di 3,6 MJ, si ottengono 206.773 kWh/g di energia recuperata dal processo di Digestione Anaerobica.

L'energia termica prodotta dall'impianto di cogenerazione e dal termoutilizzatore che brucia i fanghi residui, viene utilizzata per la rete di teleriscaldamento urbano;

Tecnologia: Impianto di tipo biologico a fanghi attivi con Digestione Anaerobica. La riduzione della pressione ambientale implica la riduzione del consumo di risorse energetiche e materiali (rinnovabili e non rinnovabili) e della produzione di rifiuti. Gli effetti ambientali nell'uso di una risorsa, vanno visti rispetto al ciclo di vita, che va dall'estrazione della materia prima, alla sua trasformazione, al suo utilizzo, riciclo o smaltimento. Nell'ultimo decennio l'evoluzione delle direttive comunitarie e nazionali in materia di salvaguardia ambientale, di limitazione del carico di inquinamento, delle emissioni dei cicli industriali, di riutilizzo dei materiali di scarto e più in generale di controllo e riduzione di qualsiasi altro impatto antropico

negativo sull'ambiente e sugli ecosistemi, è stata intensa ed incessante.

Da quanto esposto emerge la necessità di orientare le scelte progettuali verso:

- Sistemi impiantistici a basso consumo energetico (Energy saving) - fitodepurazione;
- Trattamento integrato dei fanghi biologici e F.O.R.S.U.;
- Recupero di calore dalle acque reflue;
- Riutilizzo delle acque reflue depurate per l'irrigazione;
- Riutilizzo delle acque reflue depurate negli impianti antincendio;
- Risparmio idrico (incrementando il riciclo ed il riutilizzo);
- Riutilizzo delle acque depurate per il lavaggio stradale dei centri urbani;
- Alimentazione reti duali di adduzione (separate dalle acque potabili).



Aerofotogrammetria - estratto da google maps