

Innovazioni tecnologiche per il recupero di energia e risorse da reflui dell'agroindustria

5 Ottobre 2015

Recupero di energia ed acqua da reflui dell'industria alimentare

Francesca Malpei, Viola Corbellini, Aronne Teli

**DICA - Dipartimento Ingegneria Civile e Ambientale
Fabbrica della Bioenergia, Polo di Cremona**



- Le industrie alimentari e delle bevande: **inquadramento ed indicatori di consumo idrico**
- **Reflui** delle industrie alimentari e bevande: **aspetti generali, caratteristiche ed indicatori**
- Il **recupero energetico mediante digestione anaerobica** da reflui di industrie alimentari e bevande
- Il **riuso (possibile ?)** delle acque in ambito industrie alimentari



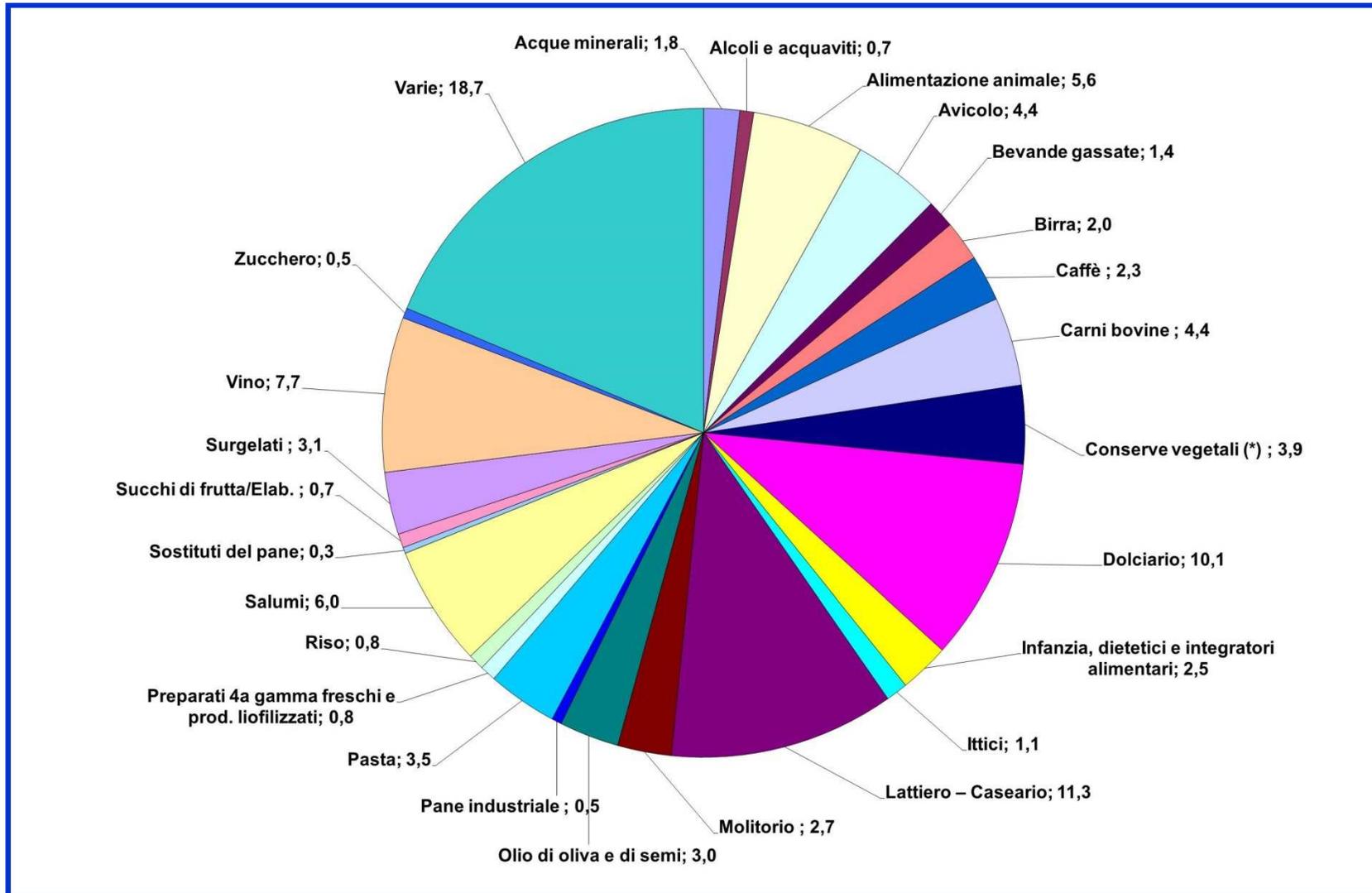
- Sono escluse le aziende di ristorazione e quelle di trasformazione di cascami alimentari in materie prime secondarie
- **2° industria manifatturiera in Italia**
- Assorbe il 70% della produzione agricola nazionale
- Dal **2006 esiste il BREF il documento di riferimento delle BAT (Best Available Techniques)**, fonte di dati e linee guida per la prevenzione dall'inquinamento di origine industriale



Fatturato 2013:
Addetti 2012:

130 miliardi euro
405.000 unità

4



http://www.federalimentare.it/banche_dati.asp



Impieghi generali dell'acqua nelle industrie alimentari:

✓ **Processo:**

- materia prima → BEVANDE
- lavaggio materie prime, semilavorati e prodotti
- cottura/ pastorizzazione in acqua o vapore
- trasporto/solvente

✓ **Raffreddamento:**

- dopo sbollentatura (es. vegetali)
- condizionamento latte dopo sterilizzazione

✓ **Riscaldamento:**

- vapore per sterilizzazione

✓ **Utility**

- pulizia e disinfezione reattori (CIP cleaning in place)



Lavorazioni tipiche delle industrie alimentari

Ricezione e preparazione materie prime	Tecniche di separazione	Tecnologie di elaborazione del prodotto	Trattamento termico	Concentrazione con calore	Tecniche di post-produzione/ Utility di processo
selezione screening	estrazione	fermentazione	fusione	evaporazione (liquido - liquido)	riempimento e imballaggio
decorticazione	centrifugazione	coagulazione	sbiancamento	essiccazione (liquido - solido)	pulizia e disinfezione
pelatura	sedimentazione	germinazione	cottura sbollentatura	disidratazione (solido - solido)	produzione e consumo di energia
lavaggio	filtrazione a membrana	salamoia / polimerizzazione e decapaggio	torrefazione	Processi di raffreddamento	uso dell'acqua
triturazione	cristallizzazione	affumicatura o stagionatura	frittura	congelamento	generazione del vuoto
macinazione	distillazione	carbonatazione	pastorizzazione, sterilizzazione e UHT	refrigerazione	refrigerazione
		carbonatazione naturale (priming)		stabilizzazione a freddo	generazione di aria compressa

FONTE: BREF, 2006



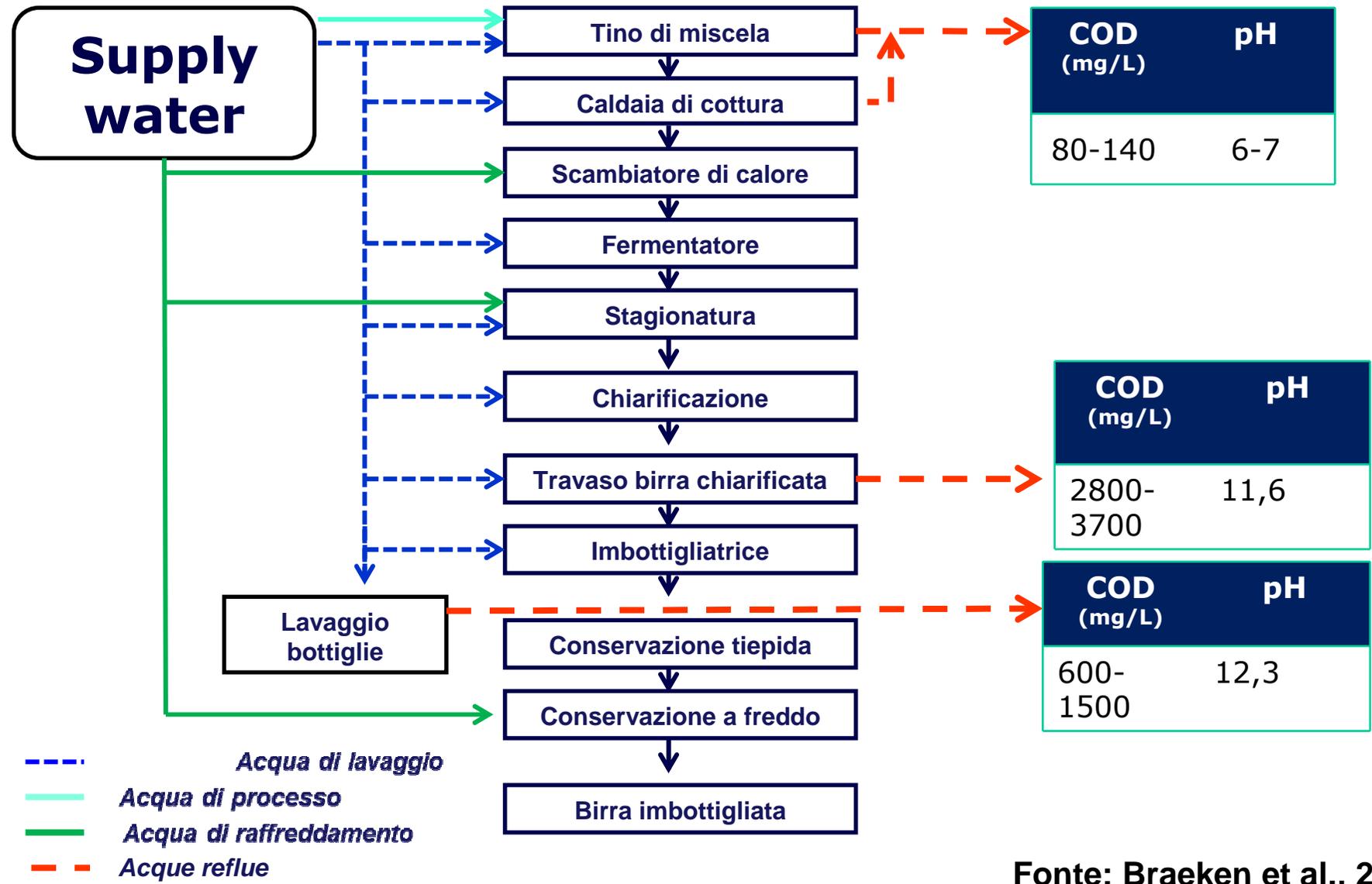
Consumo idrico specifico: alcuni esempi

7

Tipologia prodotto industriale	Unità di misura	Consumo specifico d'acqua	Produzione specifica reflui	FONTE
BIRRA	hL/hL	4-10 ¹ ; 2; 3; 3-11 ⁴	2-6 ¹	¹ BREF, 2006; ² Braeken et al., 2004; ³ Simate et al., 2011 ⁴ Filladeau et al., 2006
PELATI	m ³ /t	10-30	-	BREF, 2006
GELATO	L/kg	-	2,7-7,8	Politecnico di Milano 2009



Esempio: usi acqua nella lavorazione industriale della BIRRA

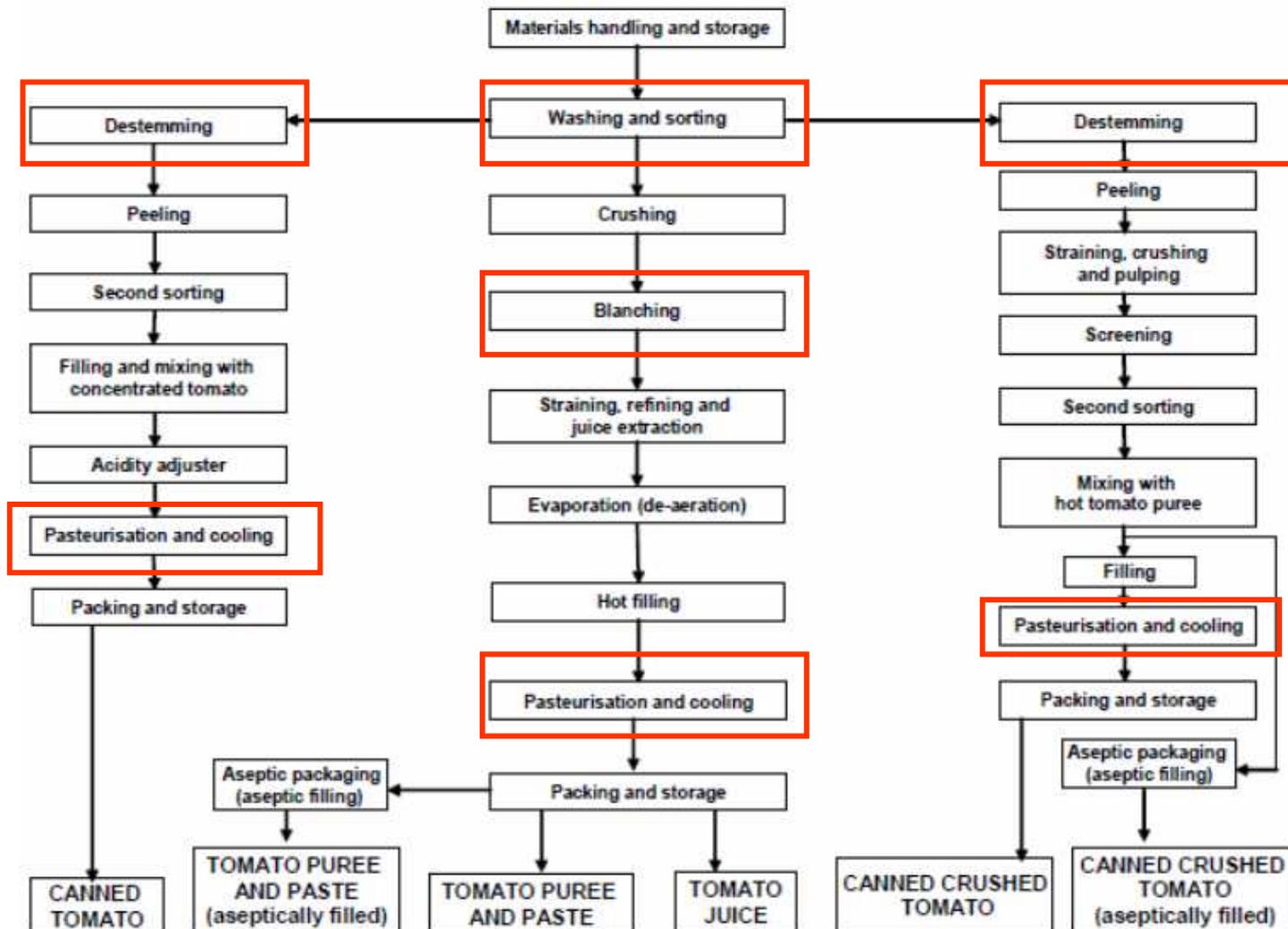


Fonte: Braeken et al., 2004



Esempio: schema lavorazione industriale del POMODORO

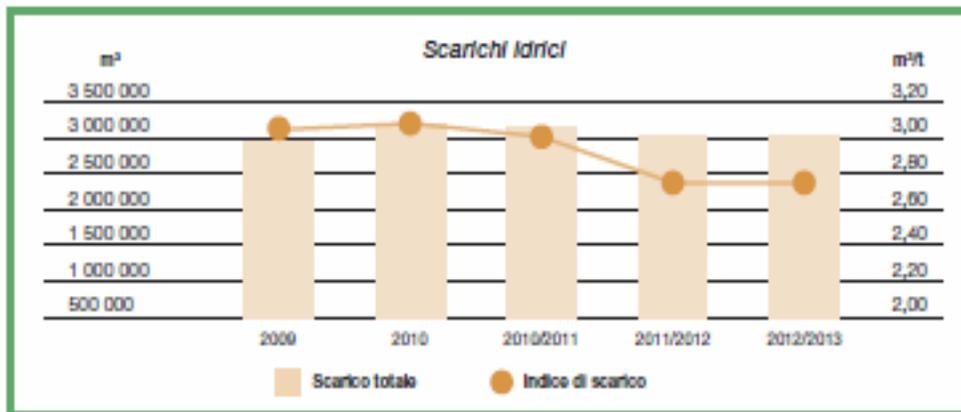
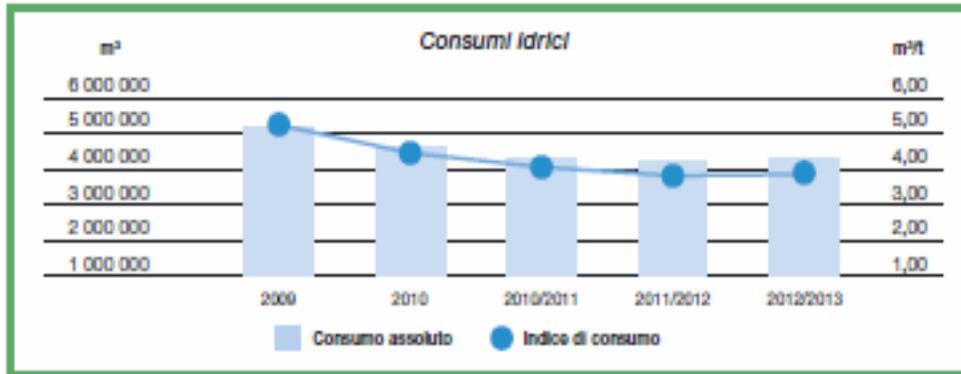
9



FONTE: BREF, 2006



Consumo idrico: riduzione negli anni recenti

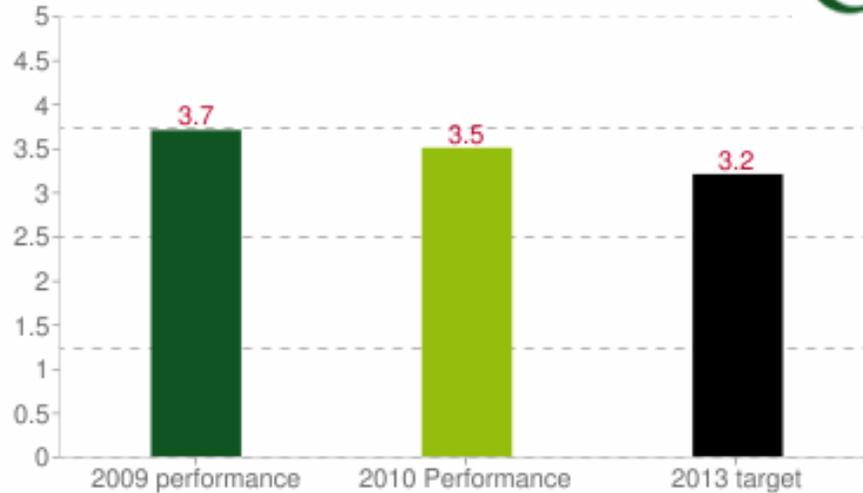


Ferrero SpA
Rapporto 2013 Bilancio di
responsabilità sociale di impresa



Consumo idrico: riduzione negli anni recenti

Specific Water Consumption (*)
Beer and Soft Drink production
Figures in hl/hl



CARLSBERG:
<http://www.carlsberggroup.com/csr/our-focusareas/Environment/progress%20in%202010/Pages/Water.aspx>

HEINZ SUSTAINABILITY:
<http://www.heinz.com/sustainability/environment/water-consumption.aspx>





Parametro	Unità di misura	Range di variabilità
BOD ₅	mg/L	1000-1500 ¹ 1200-3600 ²
COD	mg/L	1800-3000 ¹ 2000-6000 ²
SST	mg/L	10-60 ¹ 200-1000 ²
N tot	mg/L	30-100 ¹ 25-80 ²
P tot	mg/L	30-100 ¹ 10-50 ²
pH	-	3-13 ¹ 4,5-12 ²

FONTI: ¹BREF, 2006; ² Driessen et al., 2003



Parametro	Unità di misura	Valore medio
COD	g/L	100 ¹ 44,75 ²
BOD ₅	g/L	18 ¹ 22 ²
Conduttività	mS/cm	22 ¹
pH	-	5,57 ¹
N tot	ppm	65,73 ¹
Oli e grassi	mg/L	367
PO ₄ tot	-	353,76 ppm ¹ 17,4 mg P/L ²

FONTE: Sellami et al., 2010; El-Gohary et al., 1999



Caratteristiche reflui industria conserviera: PELATI

14

Parametro	Unità di misura	Media ± Dev.st / (SEM ³)
CODt	mg/L	4920 ± 460 ¹ 5754 (998) ²
BODt	mg/L	1880 ± 190 ¹ 6114 (19) ²
pH	-	5,5 (0,4)
Ammoniaca	mg/L	19,8 ± 3,3 ¹ 44,7 (10,7) ²
Nitrati	mg/L	1,1 ± 0,3 ¹ 0,12 (0,01) ²
SST	mg/L	1310 ± 340 ¹ 2155 (170) ²
SSV	mg/L	900 ± 180 ¹
TKN	mg/L	131,3 ± 13,1 ¹

FONTE: ¹Xu et al., 2006; ²Johns et al., 2011; ³ Standard error of the mean



Inquinanti o elementi da recuperare?

INQUINANTE/ELEMENTO	RECUPERO	COSA SI RECUPERA
Sostanza organica biodegradabile (COD, BOD ₅)	SI	Biogas (digestione anaerobica), a partire da COD di 1.5 - 3 g/l Combustibili (alcool per separazione membrana/distillazione) Polimeri, building blocks (chimica verde,..) Sostanze specifiche (ad esempio alcaloidi)
Oli, grassi e schiume	SI	Biocombustibili, previa separazione e/o trasformazione chimica o biochimica Sostanze specifiche
Azoto e Fosforo	SI	Processi chimici di precipitazione (struvite, sali di ammonio), promotori crescita di microalghe

- Le industrie alimentari devono depurare e smaltire i propri reflui **nel rispetto di limiti allo scarico imposti dalla legge**
- Qualsiasi operazione di **recupero** dai reflui ha senso se **riduce contestualmente gli oneri e/o la complessità di depurazione e smaltimento finale dei residui**

ANAEROBICO

→ Ottimi rendimenti anche per concentrazioni elevate (fino e oltre COD di 100 – 150 gCOD/l), senza limiti tecnici ed energetici per fornitura aria

→ Processo che opera in mesofilia (35°C) o termofilia (50 °C)

Da preferire al processo aerobico, a partire da concentrazioni COD_{biodegradabile} di 1,5 – 3 g/L, in ragione anche °T del refluo

→ Carichi volumetrici medio alti (10 volte aerobico o più)

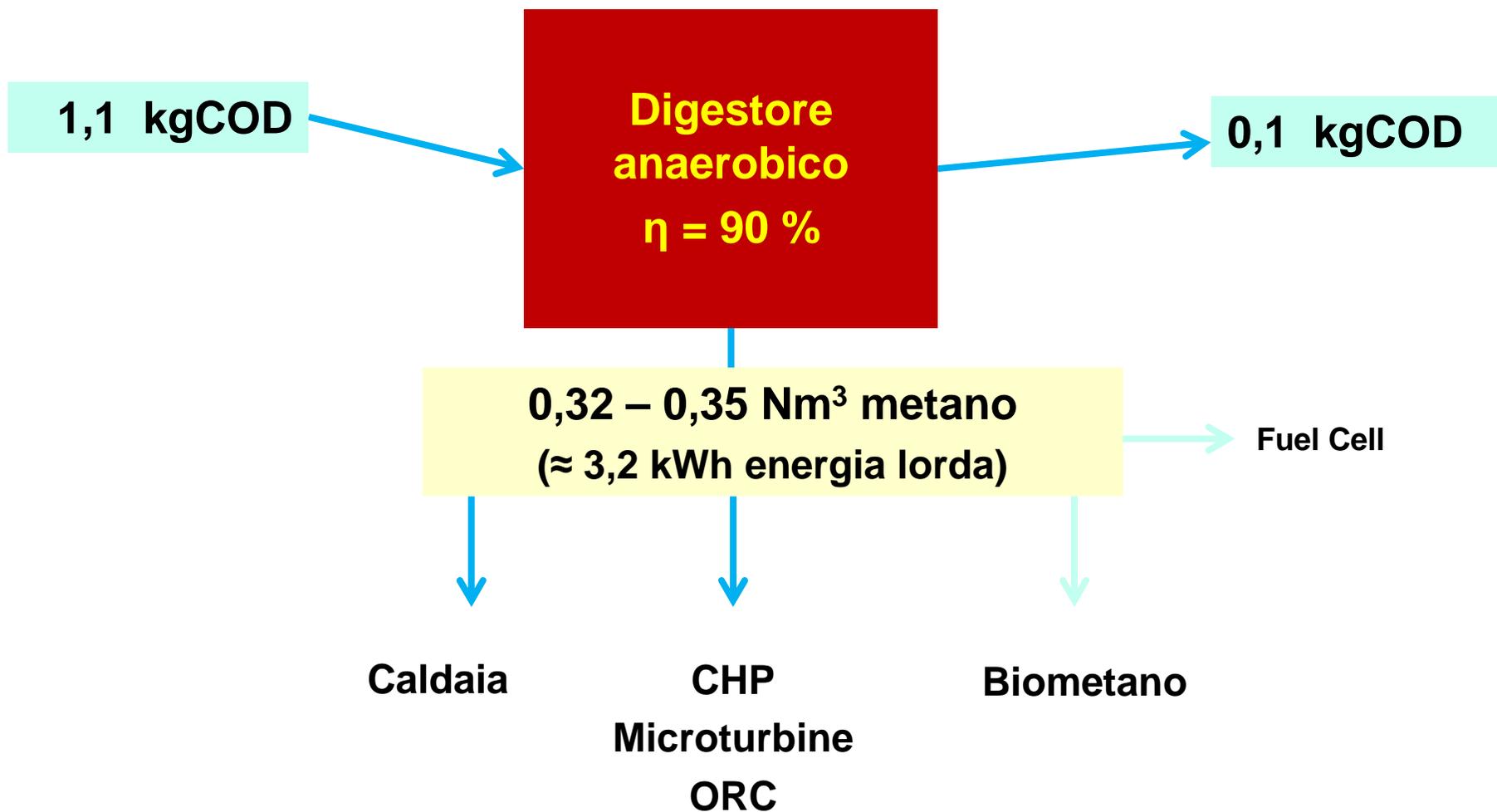
Modesta produzione fanghi (1/5 to 1/4 dell'aerobico)

→ Ridotto fabbisogno nutrienti, non rimuove azoto

Può essere mantenuto in quiescenza per lungo tempo, con avvio rapido (alcuni giorni)



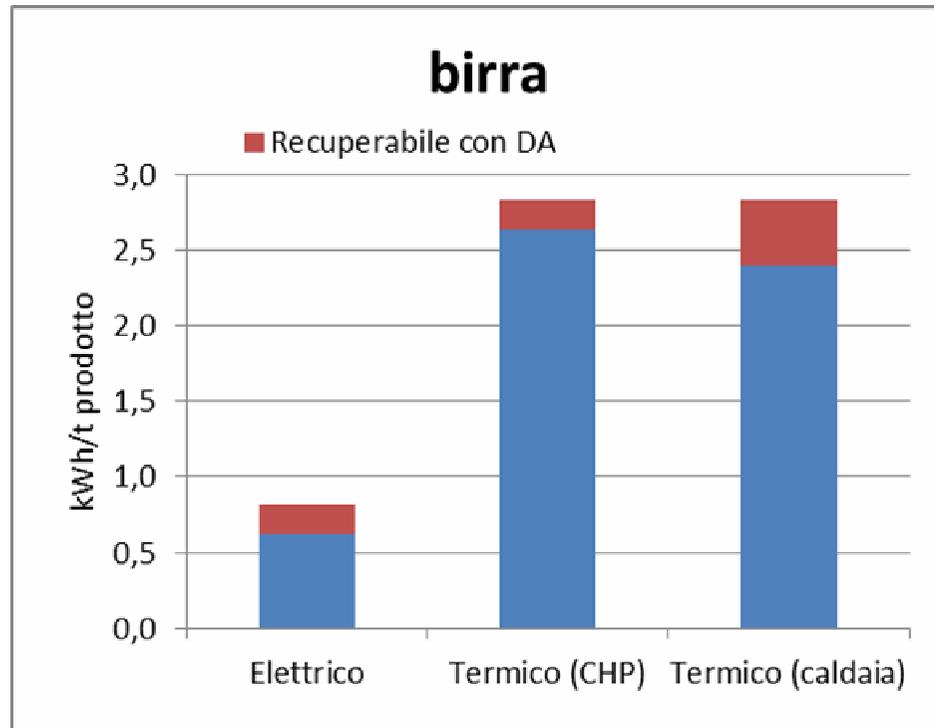
Recupero energia mediante digestione anaerobica ¹⁷





Quanto energia si può recuperare rispetto alla utilizzata ??

18

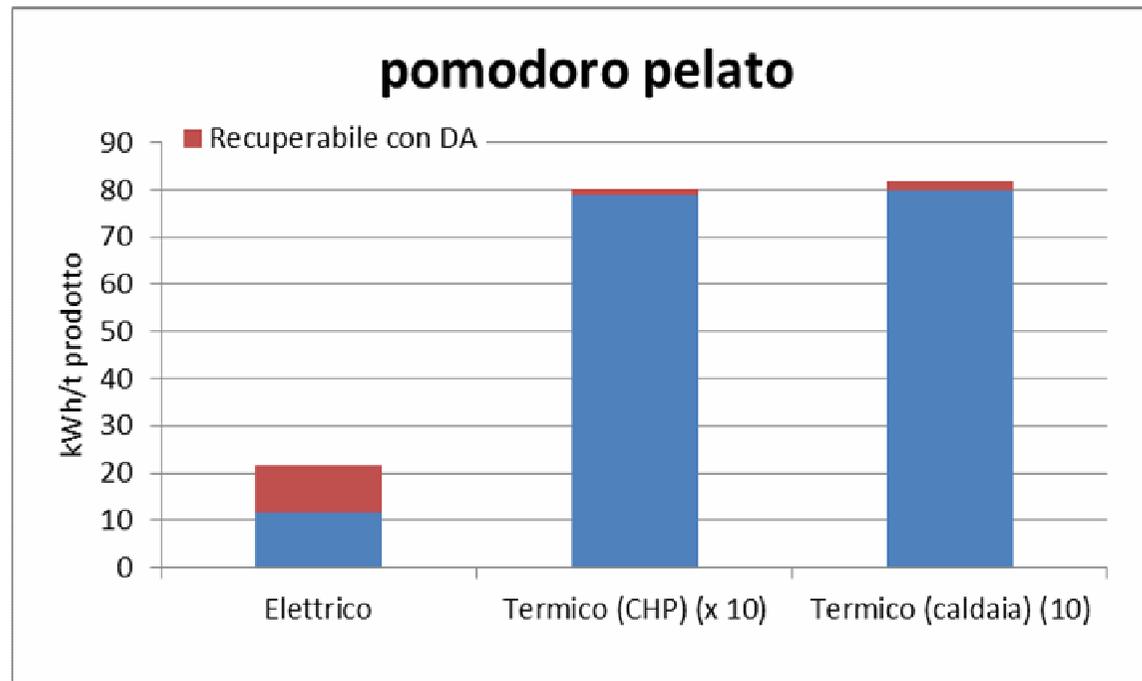


Calcoli teorici in base ai dati BREF



Quanto energia si può recuperare rispetto alla utilizzata ??

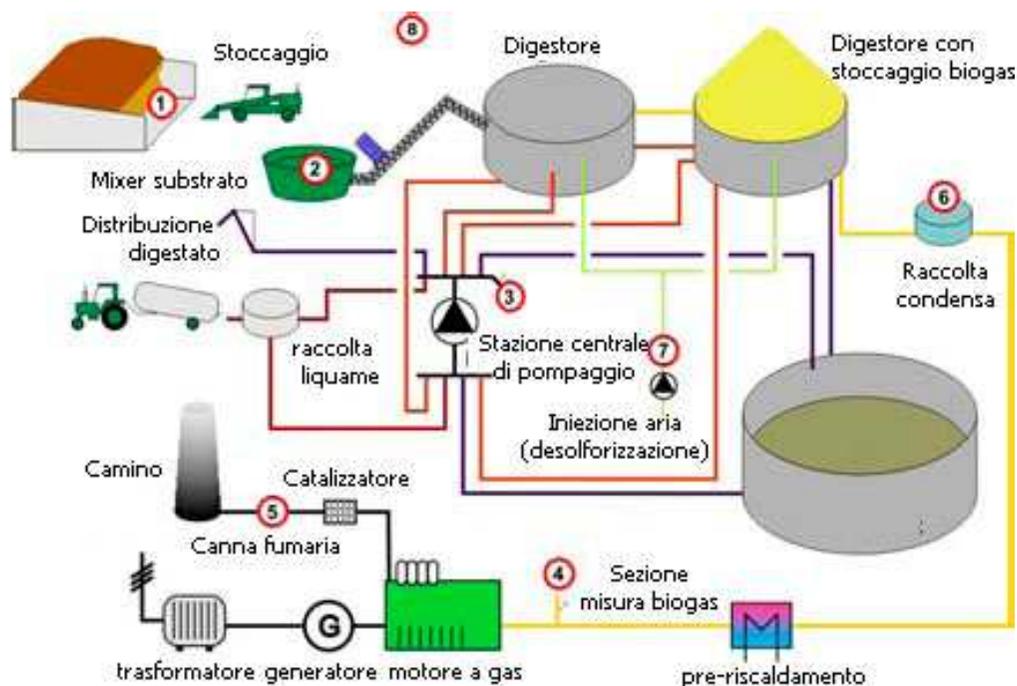
19



Calcoli teorici in base ai dati BREF



Co-digestione in digestori a basso carico ($C_v < 3-4 \text{ kgCODm}^{-3}\text{d}^{-1}$):
soluzione adatta per piccole realtà (ad esempio piccoli caseifici), la rapida biodegradabilità limita i quantitativi impiegabili in co-digestione

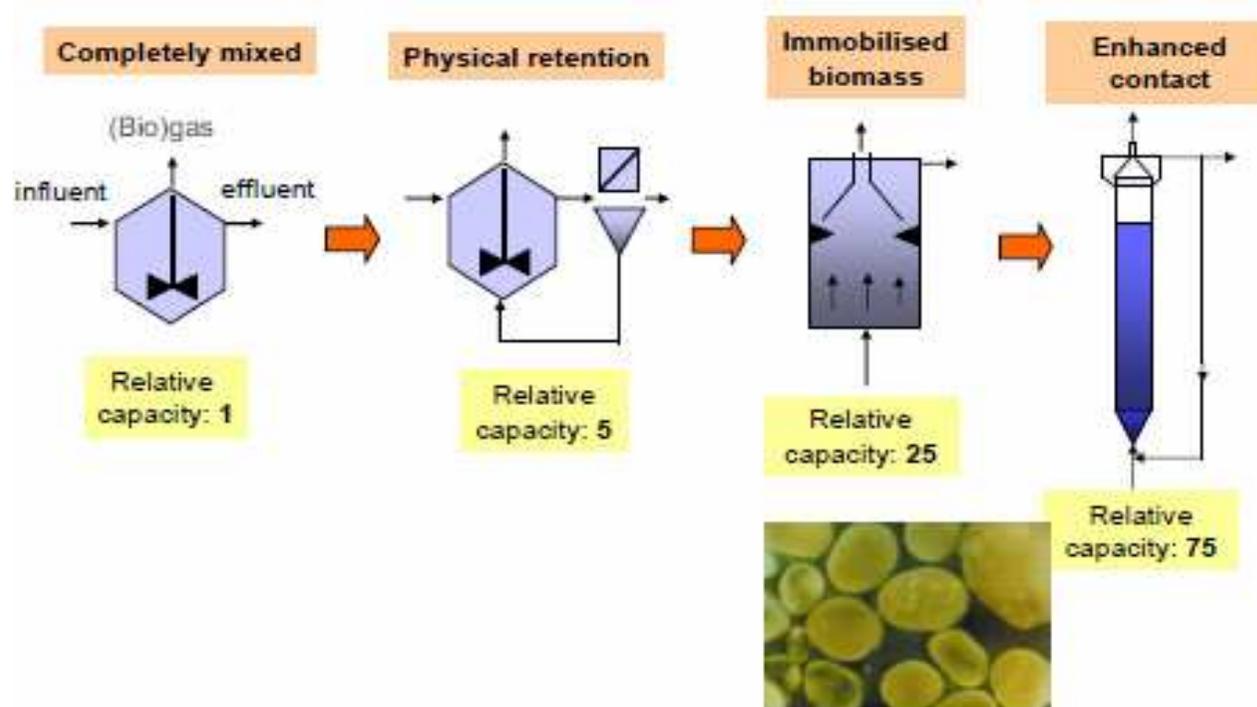




- ✓ Digestori idonei a trattare **reflui anche molto concentrati**, ma **privi** (o quasi) **di sostanze particolate**, come molti reflui industriali (reflui alimentari, cartiere, distillerie...)
- ✓ Digestori che possono operare con **tempi di residenza di alcune ore o pochi giorni**, in presenza di substrati rapidamente biodegradabili.
- ✓ Diventa fondamentale una **configurazione che consenta di mantenere elevate concentrazioni di biomassa** (fino a 60 – 100 kgSV/m³), al fine di **evitare dilavamento biomassa e consentire elevati carichi organici in alimento** (condizioni non eludibile, per reflui concentrati, per operare a bassi HRT)



Reattori ad alto carico vs. CSTR: aumento relativa della capacità trattamento (Spanjers, Lettinga Foundation)





- Sistemi granulari o a biomassa adesa
 - UASB e derivati (ANAPULSE, EGSB, IC, ...)
 - Letti fissi
 - Letti fluidi (ANAFLUX)

- MBR anaerobici



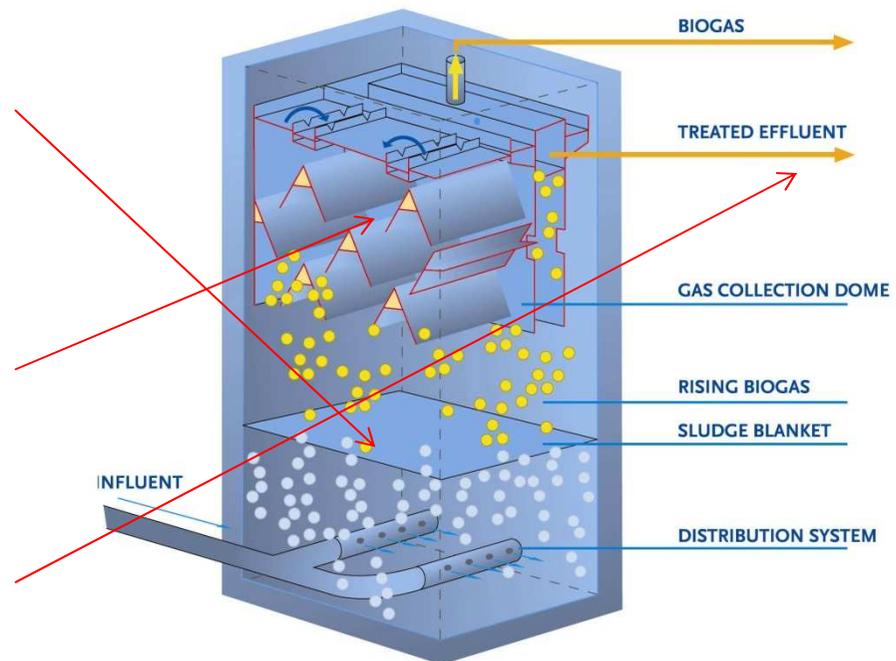
UASB Upflow anaerobic sludge blanket reactors (1972)

Letto di fango (bed) granulare o fioccoso sul fondo, mantenuto in espansione dal fluido in alimento e dal biogas prodotto.

Nella parte terminale del reattore è presente un separatore trifase che separa il liquido trattato dai solidi e dal biogas e consente la captazione del biogas.

L'effluente può contenere solidi sospesi leggeri trascinati dalle bolle di gas, eventualmente separati in una zona di calma successiva.

**Carichi organici = 10 – 15
kgCOD/m³/d**





EGSB Expanded Bed Granular Sludge (1983) Biothane

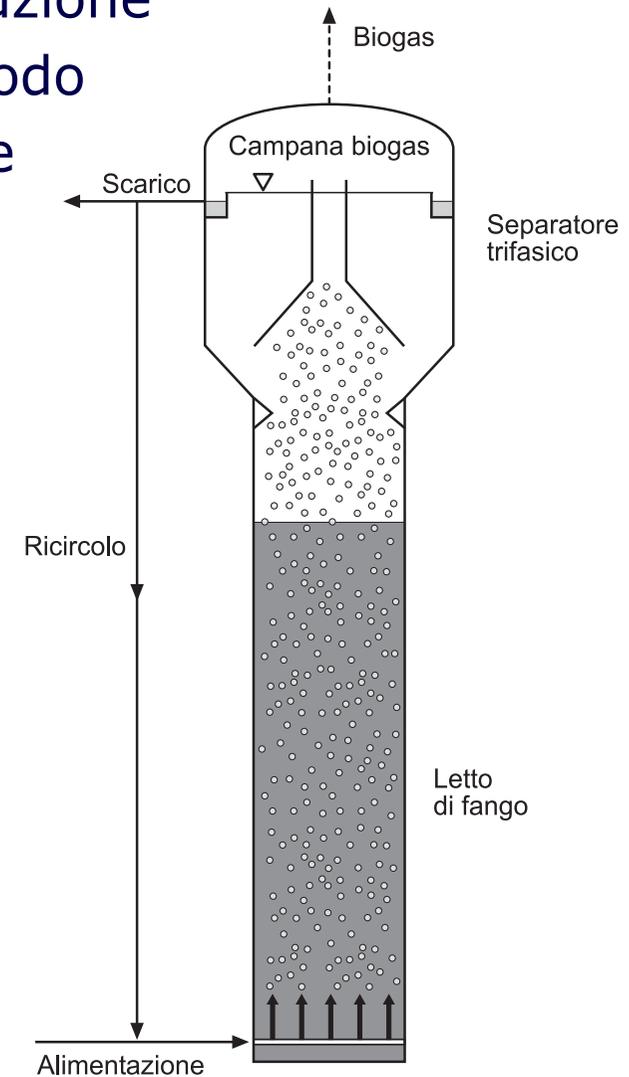
25

Deriva dal processo UASB, con l'introduzione di un elevato riciclo dell'effluente, in modo da incrementare la velocità ascensionale ed **accrescere l'azione selettiva, a favore dei microrganismi capaci di granulazione ad alta densità**

Maggiori rapporti H/D

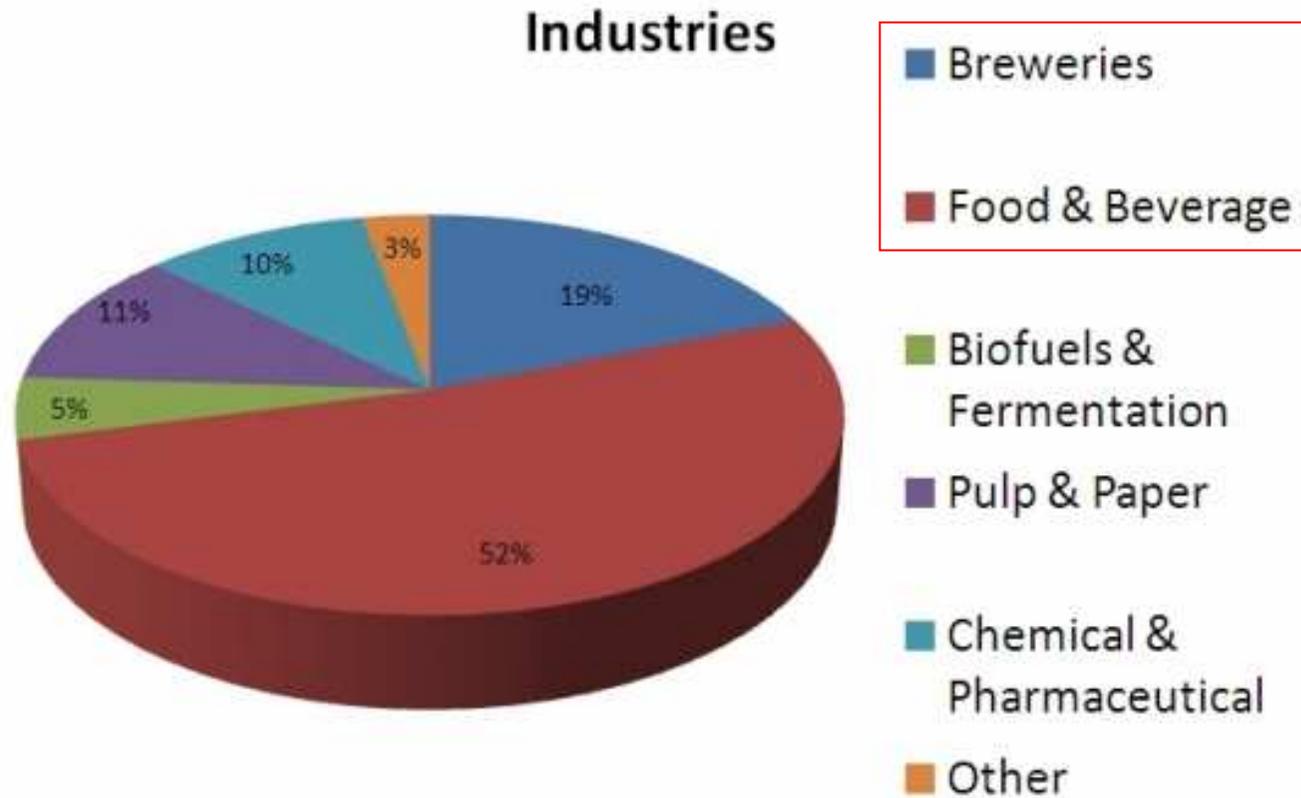
$V_{\text{risalita}} > 4 \text{ m/h}$

$\text{OLR} = 10 - 40 \text{ kgCOD/m}^3/\text{d}$





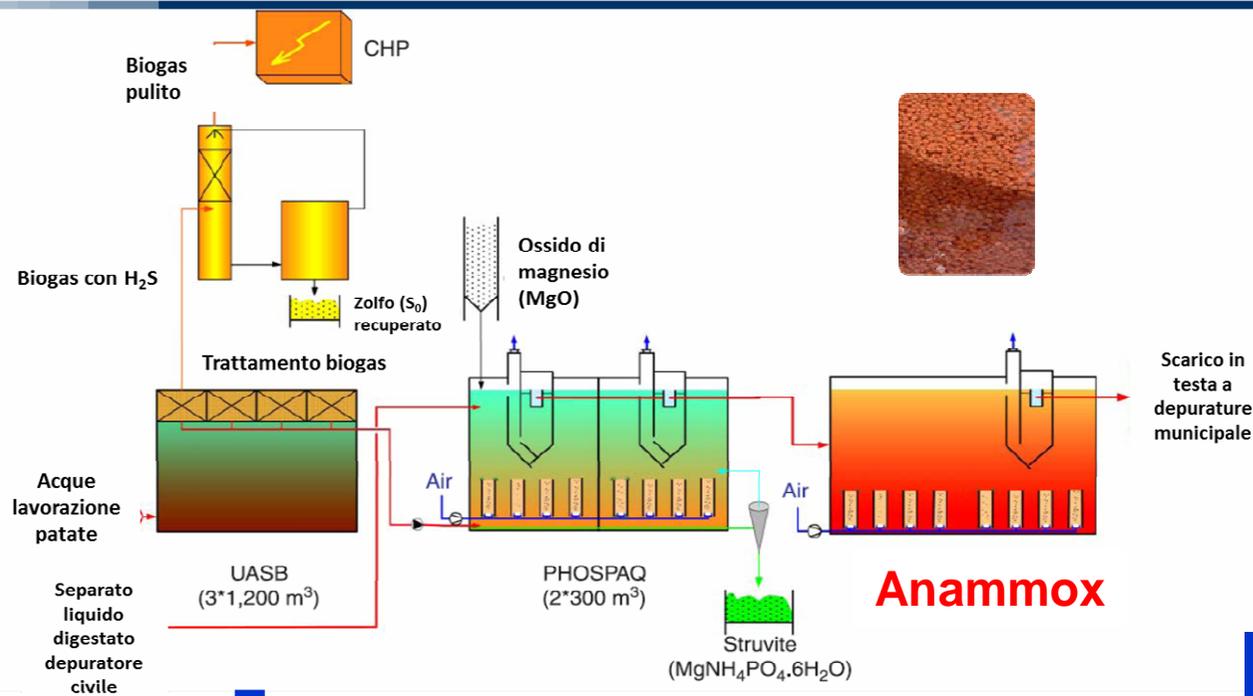
Biothane (UASB + EGSB): distribuzione percentuale applicazioni industriali



<http://www.biothane.com/en/biothane/References-Biothane/Biothane-references-markets/>



Esempio: reflui lavorazione patate



COD = 5,7 g/L

**Anaerobico
Rendimento
COD = 85%
600 kWel**

IN UASB	t/h	100
Portata	m ³ /d	3000
COD	kg/d	17000
NH4-N	kg/d	1000
PO4-P	kg/d	225

FONTE: Abma et al 2010



IC Internal Circulation Paques (1996)

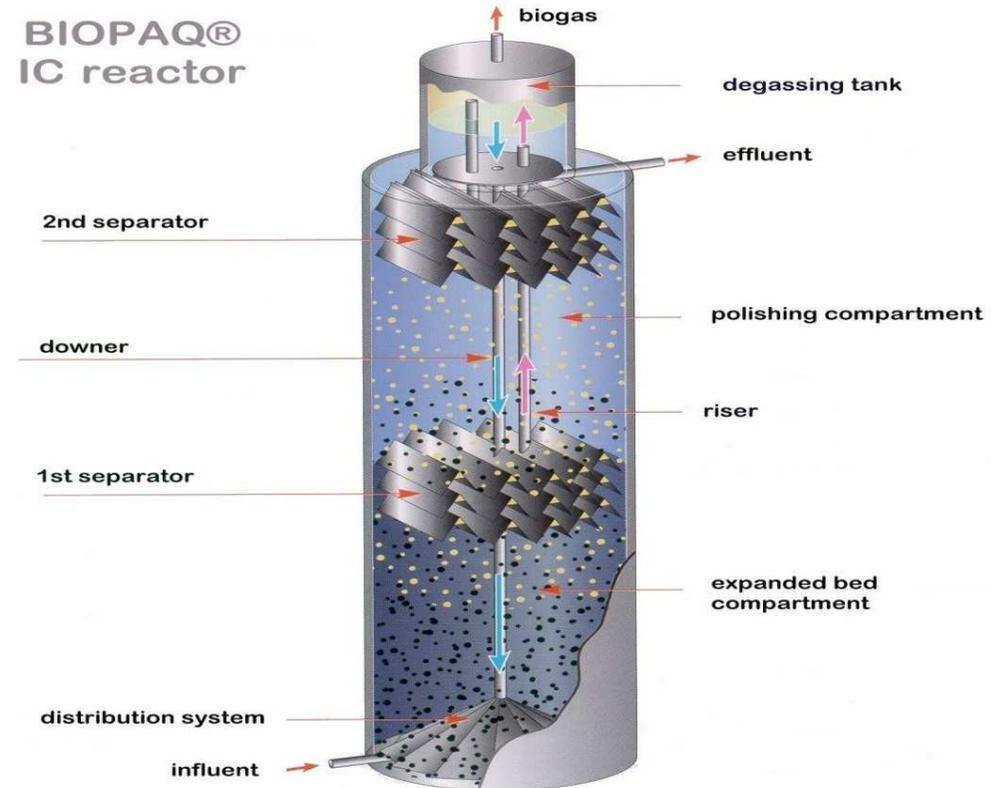
28

Ulteriore perfezionamento
della circolazione (qui interna
è determinata dal biogas prodotto)
e del sistema di separazione.

Carichi trattati > 200 tCOD/d
> 1.8 milioni di AE equivalenti
trattati - base COD = 110 gAE/d)

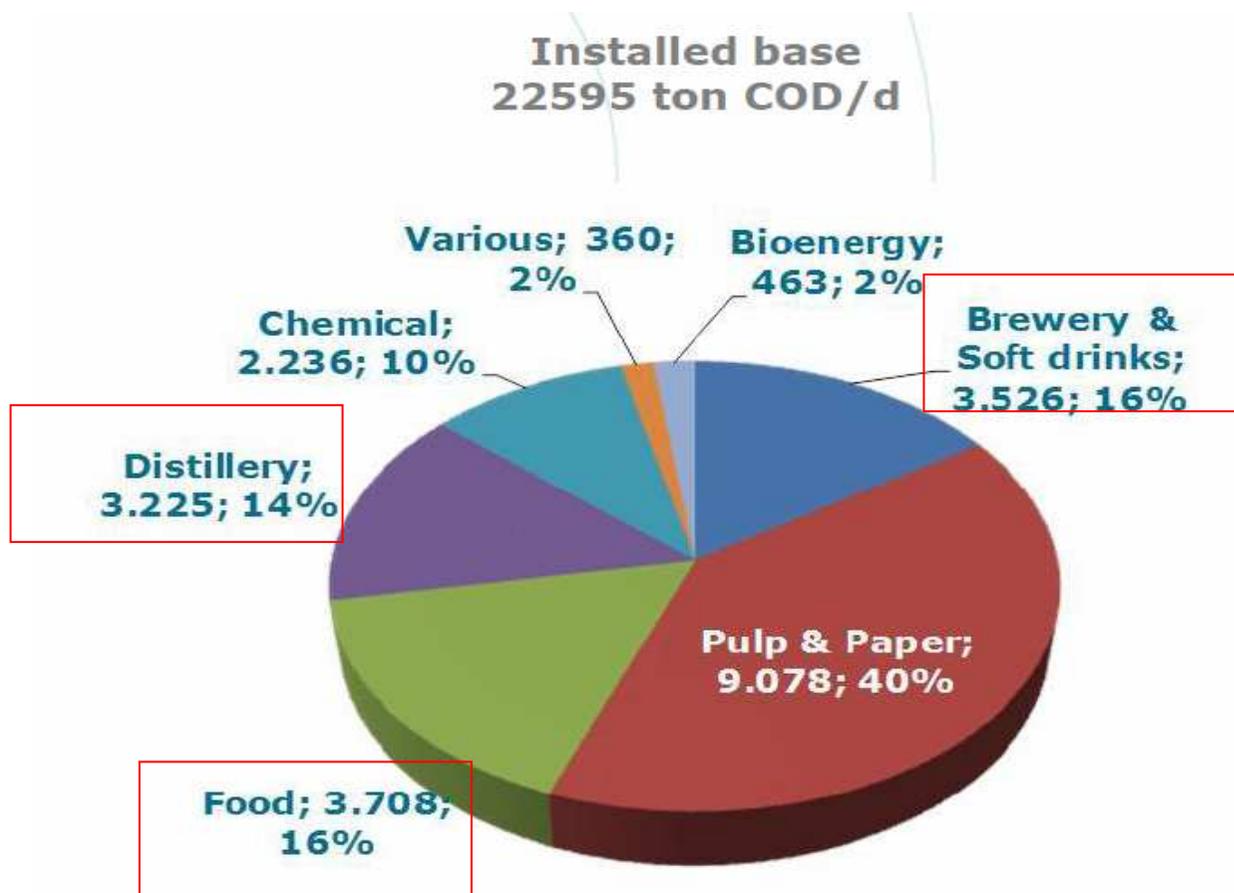
Presenza di due comparti distinti
(superiore ed inferiore), di cui il secondo
in funzione di polishing.

OLR = 10 – 40 kgCOD/m³/d

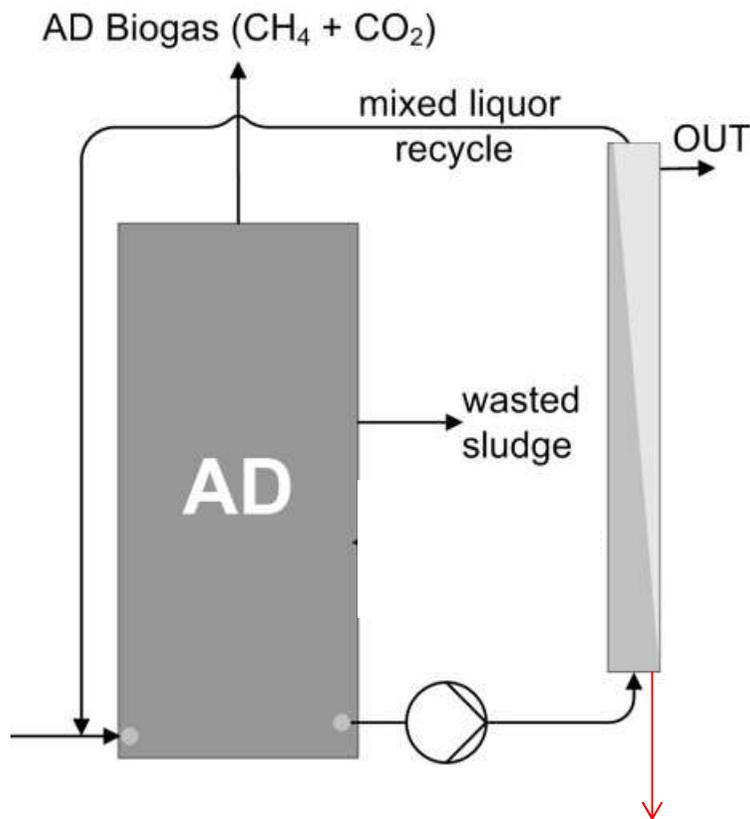




BioPAQ (2013) (UASB + IC): distribuzione percentuale applicazione



http://www.wageningenur.nl/upload_mm/4/1/7/a52a1648-4e5f-437c-99a1-e66130f2f3a6_Presentation%20Paques.pdf



Membrana MF o UF

- Effluente privo di solidi sospesi e carica microbica: **migliori rendimenti**
- Adatto a trattare **reflui con concentrazioni molto elevate** (fino a 250 gCOD/m^3)
- Prestazioni non **dipendenti dalla capacità di granulazione** della biomassa
- Problemi di **fouling membrana generalmente più rilevanti** rispetto ad MBR aerobici



AnMBR: bioreattori a membrana anaerobici

31

- **1983** AnMBR in scala industriale su amido di frumento (Choate et al., 1983),
- **1994** ADUF (Anaerobic Digestion UltraFiltration) su scarichi di cantina enologica, di malteria, birreria e di fabbriche per la produzione di amido naturale e modificato (Ross et al., 1994).
- **> 2000** KSAMBR (Kubota's submerged anaerobic membrane biological reactor) Kanai et al. (2010)
- **> 2000** Biothane AnMBR poi Memthane® (Veolia)
- **> 2000** MBOX™ a membrane tubolari esterne (Paques)



		T.U. 152/2006 – Limiti allo scarico		D.M.02.05.2006
		aree non sensibili Tab. 1/3 All. 5	aree sensibili Tab. 2 All. 5	riuso agricolo
BOD	mg/L	25	25	20
COD	mg/L	125	125	100
SST	mg/L	35	35	10
N-NH₄⁺	mg/L	15		2
N-NO₃⁻	mg/L	20		15
N_{tot}	mg/L		10	
P_{tot}	mg/L		1	2
Tensioattivi tot.	mg/L	2	2	0,5
Fenoli	mg/L	0,5	0,5	0,1
Aldeidi	mg/L	1	1	0,5
<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	5.000	5.000	10/100
Salmonella				assenti



Art. 3 **D.L. 185/2003**: "riuso industriale possibile (antincendio, processo, lavaggio, cicli termici)... **ad eccezione contatto con alimenti**, farmaci e cosmetici"

Draft Guidelines for the Hygienic Reuse of Processing Water in Food Plants della Codex Alimentarius Commission (1999-2001)

ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/CCFH/ccfh32/FH99_13e.pdf

- si applicano al riuso i principi dell'HACCP;
- **qualità almeno equivalente al potabile**;



Riutilizzo delle acque reflue depurate nell'ambito dell'industria alimentare

Fonte	Con contatto diretto/indiretto con il prodotto			Senza contatto diretto/indiretto con il prodotto				
	Aggiunta al prodotto	Contatto diretto con superficie del prodotto	Contatto indiretto con superficie del prodotto (es. prelavaggio)	Produzione di vapore	Liquido di lavaggio (di superfici a contatto con il prodotto)	Liquido per disinfezione (di superfici a contatto con il prodotto)	Liquido per lavaggio o disinfezione (di altre superfici)	Acqua di raffreddamento
Condensa da evaporazione prodotto	x	x	x	x	x		x (solo lavaggio)	x
Permeato da filtrazione	x	x	x	x	x		x (solo lavaggio)	x
Acqua di lavaggio della cagliata (produzione di prodotti caseari, formaggi e burro)		x	x	x	x	x	x	x
Condensa di vapore	x	x	x	x	x	x	x	x
Acqua di raffreddamento del prodotto o macchinari (senza utilizzo di additivi)			x	x	x		x	x
Acqua di lavaggio macchinari					x		x	x
Acqua per disinfezione macchinari							x	

FONTE: elaborazione dati tratti dal documento CX/FH 99/13



- I reflui dell'industria alimentare hanno concentrazioni medio-alte di sostanza organica biodegradabile e ne è quasi sempre indicata la depurazione per via anaerobica con recupero energetico
- La tecnologia di digestione a basso carico è da considerare quando i carichi/portate siano modesti, in codigestione con altre matrici
- Le tecnologie di digestione ad alto carico vantano una tradizione di oltre 40 anni e permettono di trattare carichi molto elevati in reattori compatti, a bassi tempi di permanenza
- Il riuso delle acque nelle industrie alimentari è vietato nel caso di contatto con alimenti e allo studio per usi indiretti.



Grazie per l'attenzione

francesca.malpei@polimi.it

<http://www.fabbricabioenergia.polimi.it>

<https://www.youtube.com/watch?v=CuIMwN1BDRo>