



Federazione delle Associazioni
Scientifiche e Tecniche

Fondata nel 1897



 POLITECNICO DI MILANO

Corso di formazione
**IMPIANTI
BIOLOGICI
DI DEPURAZIONE
2020
35° edizione**

**Modulo 2 - Corso base per la gestione di processo
18 – 20 marzo 2020**



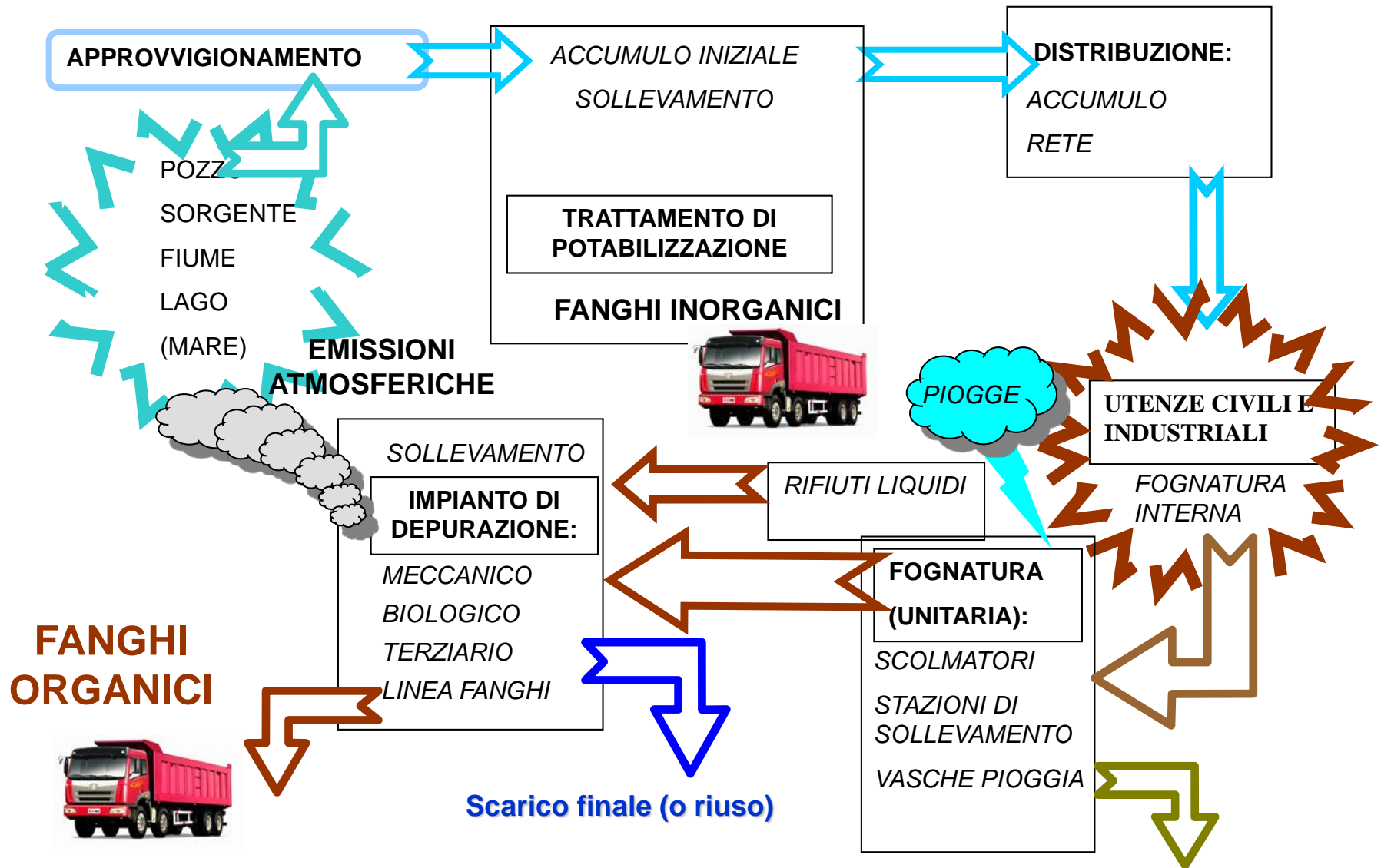
Caratteristiche delle acque di rifiuto

Roberto Canziani

Politecnico di Milano

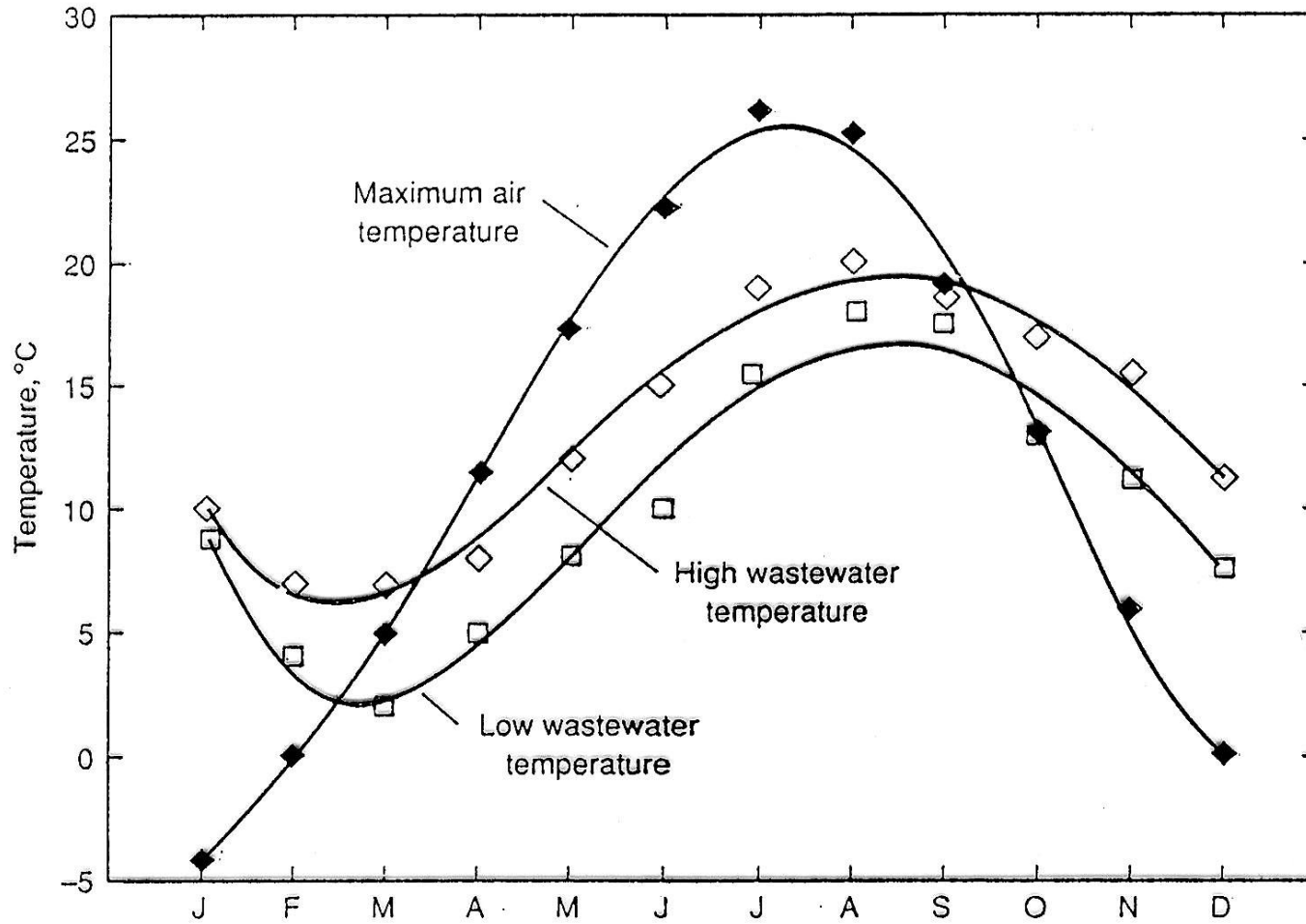
Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA)

Sezione Ambientale



Acque di rifiuto = MISCELA di prevalente origine fecale di grassi, zuccheri, proteine e batteri

- Le acque di rifiuto urbane, soprattutto di grandi centri, contengono anche effluenti di natura industriale, talvolta pretrattati a piè di fabbrica



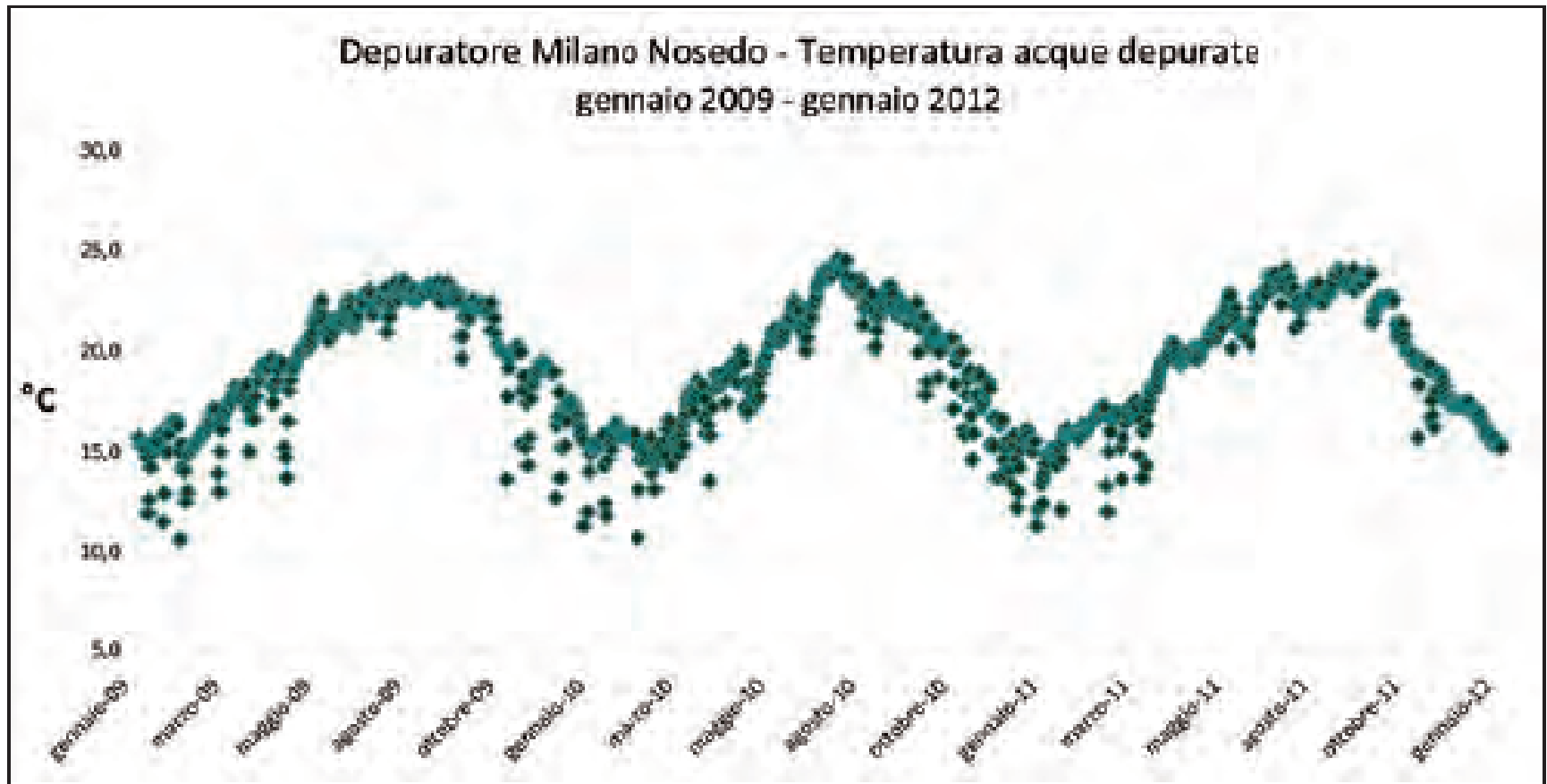


Grafico 1 – Andamento temperatura acque depurate

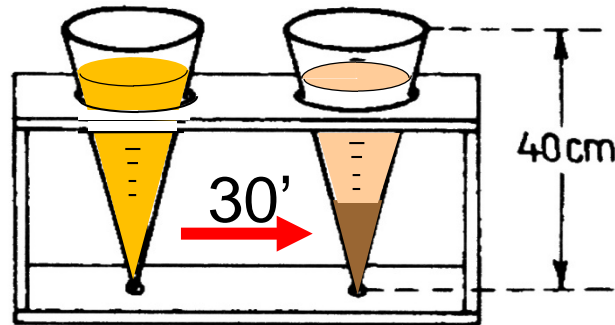


- Solidi grossi (bottiglie, lattine, cassette di legno)
- Solidi piccoli (tappi, pezzi di legno, calze, bastoncini cotonati, ...)
- Sabbia da dilavamento stradale
- Particolato sospeso sedimentabile
- Particolato fine non sedimentabile (torbidità)
- Sostanze disciolte biodegradabili e non biodegradabili
- Sali disciolti



Solidi sedimentabili, totali e sospesi

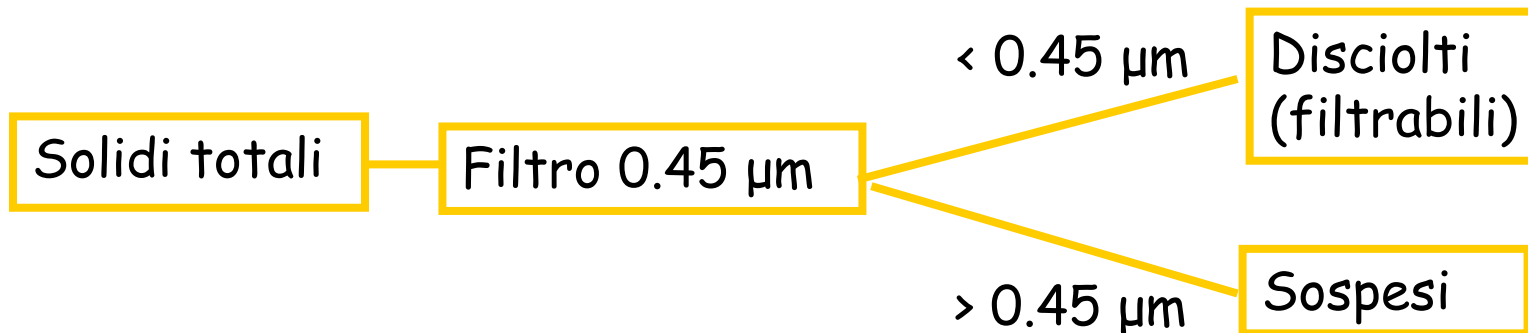
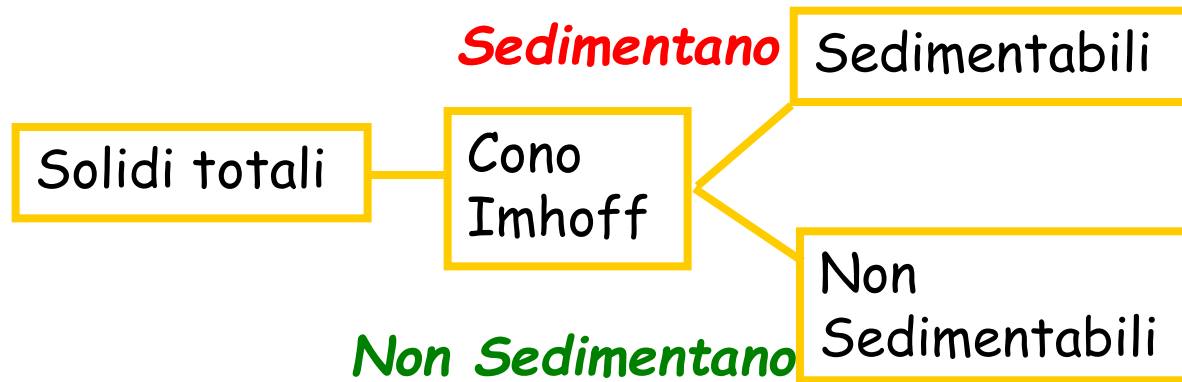
- **Solidi sedimentabili** (S_{sed} , mL/L) = volume occupato dal sedimento dopo 30' in cono Imhoff da 1 L $H = 40$ cm



- **Solidi totali** (ST , mg/L) = residuo totale secco dopo evaporazione della fase liquida a 105°C
- **Solidi disciolti** (SD , mg/L) = residuo secco (dopo evaporazione a 105°C) passante al filtro porosità $0,45\ \mu\text{m}$
- **Solidi sospesi** (SS , mg/L) = $ST - SD$



Solidi sedimentabili, totali e sospesi





Solidi volatili e inerti (non volatili)





- La misura dell'ossigeno consumato da batteri aerobi per degradare sostanza organica è un indice dell'entità del carico inquinante organico biodegradabile

NB: varia con la temperatura

BOD

- La misura dell'ossigeno consumato chimicamente è un indice dell'entità del carico inquinante organico in generale (NON varia con la temperatura)

COD



- **BOD** (*Biochemical Oxygen Demand*, cioè **richiesta biochimica di ossigeno**) dà una misura della concentrazione di sostanza organica biodegradabile (somma di grassi, zuccheri, proteine, etc.)
- BOD è l'ossigeno (mgO/L) consumato da batteri saprofiti aerobi per metabolizzare le sostanze organiche presenti nel campione di liquame.
- La metabolizzazione completa avviene in 20 giorni a 20 °C, ma ai fini pratici dell'analisi è stato concordato un tempo di 5 giorni (da cui le sigle BOD₂₀ e BOD₅), che corrisponde al consumo di circa il 70% dell'ossigeno consumabile in 20 giorni (per liquami domestici).

- Maggiore è il contenuto di sostanza organica biodegradabile, maggiore il consumo di O₂ da parte della popolazione batterica che lo degrada
- Per misure su scarichi industriali è necessaria acclimatazione + neutralizz. + addiz. Nutrienti N-P e inoculo batterico
- La misura dell'ossigeno consumato dai batteri aerobi è un indice dell'entità del carico inquinante
- NB: ad una certa Temperatura!

ES

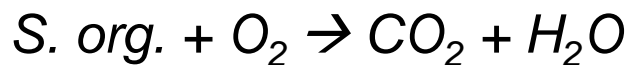
BOD di 10 mg/l = per ottenere la degradazione aerobica della sostanza organica bisogna mettere a disposizione della popolazione batterica 10 mg/l di O₂



Caratteristiche dei liquami: COD

- **COD** (Chemical Oxygen Demand, cioè richiesta chimica di ossigeno), dà una misura della sostanza organica totale (**bio + non-biodegradabile**) somma di grassi, zuccheri, proteine, cellulosa, idrocarburi, solventi, etc.

COD è l'ossigeno (mgO/L) necessario per ossidare **chimicamente** le sostanze organiche presenti in un litro d'acqua. $COD \geq BOD > BOD_5$



L'ossigeno è fornito da un forte ossidante: bicromato di potassio ($K_2Cr_2O_7$)

Si effettua in 2 ore \rightarrow più rapido e meglio riproducibile del BOD



- COD: concentrazione di sostanza organica totale (biodegradabile e non biodegradabile)
- BOD₅: concentrazione componente biodegradabile,
- **Rapporto COD/BOD₅: indice di trattabilità biologica**

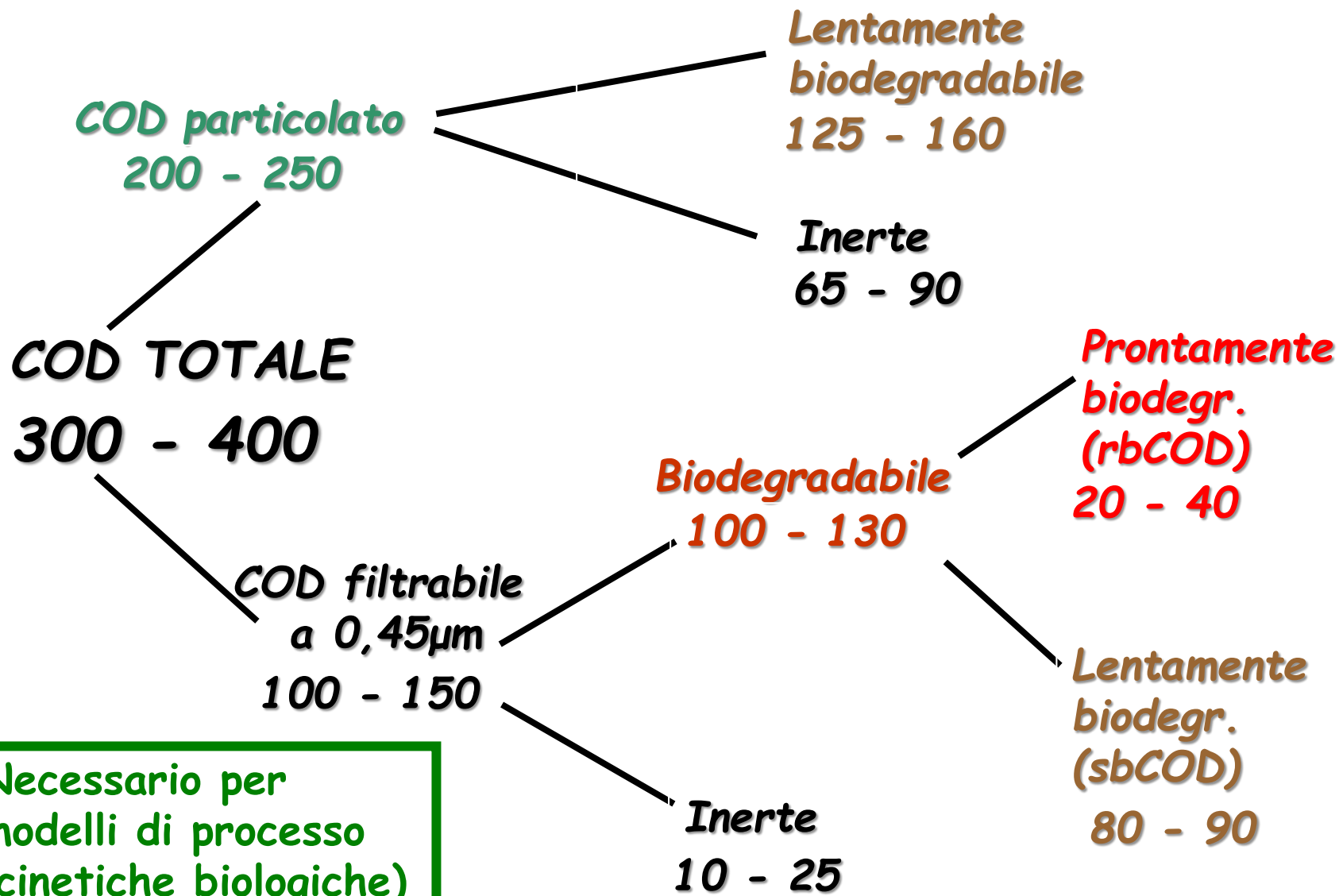
Tipo di liquame	COD/BOD ₅
Industriale molto biodegradabile	1,3 - 1,8
Biodegradabile (tipico civile)	1,8 - 2,2
Industriale mediamente biodegradabile	< 3
Industriale poco biodegradabile	3 - 4
Biodegradabilità da valutare con prove ad hoc con biomassa acclimatata	> 4

Misura del BOD per via manometrica





Frazionamento del COD di un liquame urbano (concentrazioni indicative in mg/L)

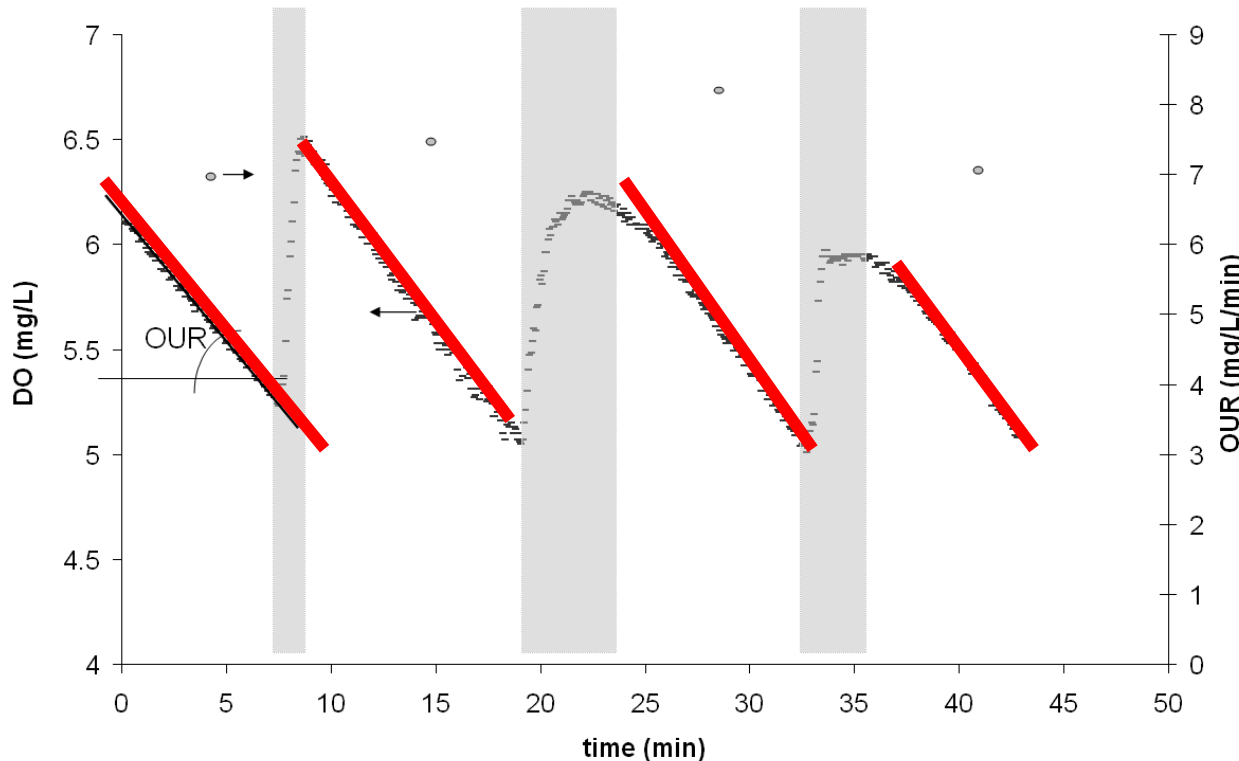


Necessario per
modelli di processo
(cinetiche biologiche)



RESPIROMETRO APERTO

Si inizia ad aerare (aerazione a bolle fini) quando l'ossigeno disciolto cala sotto un limite predefinito (es.: 4 o 5 mg/l)



L'oxygen uptake rate (OUR, mg / l / ora) è la velocità di consumo dell'ossigeno

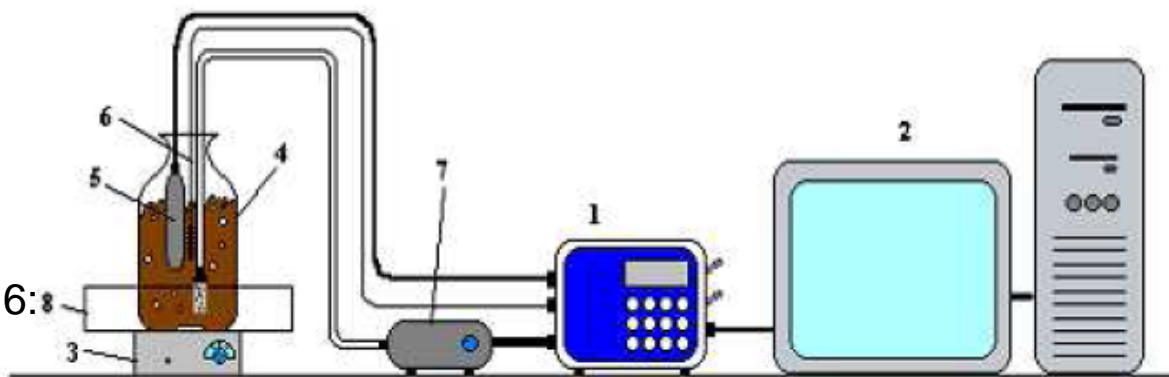
MISURA:

LA PENDENZA ossigeno / tempo nelle fasi NON aerate

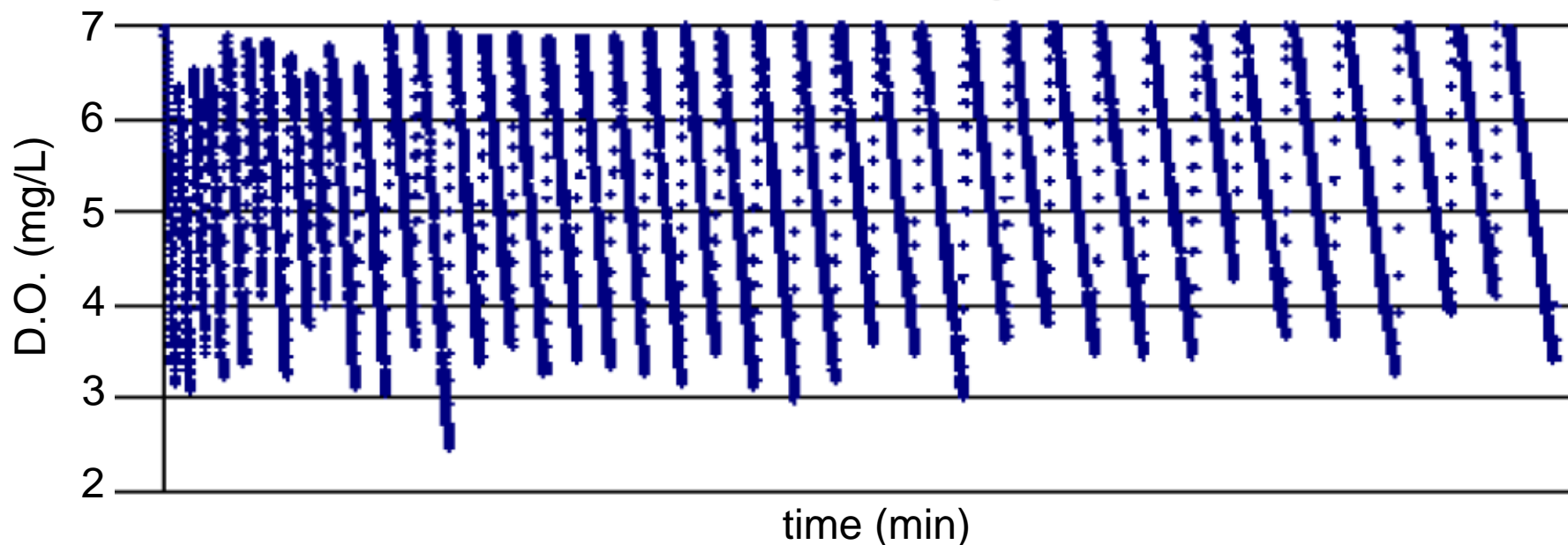


Respirometro di laboratorio:

1: registratore di O.D.; 2: PC; 3: agitatore magnetico; 4: Bottiglia con liquame+fanghi attivi; 5: Ossimetro; 6: aeratore (pietra porosa); 7: compressore; 8: bagno termostattato

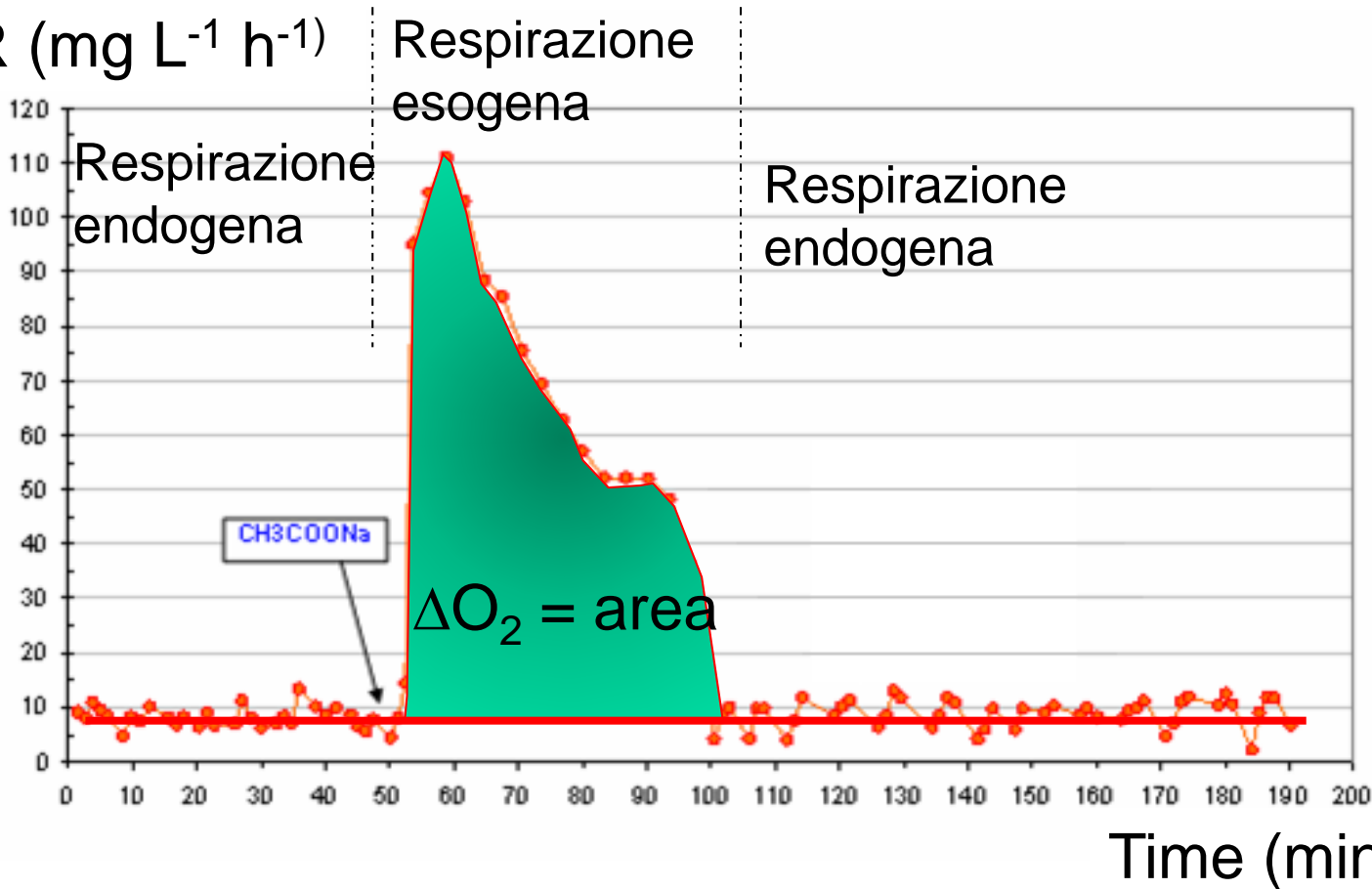


Misure grezze di O.D, measurements: **respiration** (slopes) and re-aeration



Esempio di respirogramma – ogni punto è una pendenza del grafico precedente

OUR ($\text{mg L}^{-1} \text{h}^{-1}$)



$$\text{COD biodegradato} = \text{COD ossidato} + \text{COD biomassa}$$
$$\text{bCOD} = \Delta\text{O}_2 + \text{CODf.a.}$$

Definizione: Coefficiente di resa cellulare = Y

$Y = \text{CODf.a.}/\text{bCOD}$ misura quanta biomassa si origina dalla rimozione dell'unità di biomassa cresciuta:

$$Y = 0,67 \text{ gCODf.a./gbCOD}$$

Divido entrambi i membri per bCOD:

$$\text{bCOD}/\text{bCOD} = \Delta\text{O}_2 / \text{bCOD} + \text{CODf.a.}/\text{bCOD}$$

$$1 = \Delta\text{O}_2 / \text{bCOD} + Y \rightarrow \text{bCOD} = \Delta\text{O}_2 / (1 - Y)$$

• Livello 1: TEST DI LABORATORIO

- Vol_{eff} < 10 l; V fanghi acclimatati < 5 l

COD/BOD₅, Frazionamento COD

TEMPO ESECUZIONE: 2-3 SETTIMANE;

COSTO: < 500 €

• Livello 2: IMPIANTO DI LABORATORIO

Volume reattori: 2-3 l

Volume effluente (ordine di grandezza): 10 l giorno⁻¹

TEMPO ESECUZIONE: > 2 MESI (fino a 4 - 5 mesi)

COSTO: da 5 a 20 k€

• Livello 3: IMPIANTO PILOTA in campo

Volume reattori: 100 l - 10 m³ (alimentazione con liquame reale=

TEMPO ESECUZIONE: > 6 MESI (fino a 2 anni)

COSTO: da 50 a 500 k€



Impianto a fanghi attivi (FA)
convenzionale



Impianto SBR (Sequencing Batch
Reactor) STRUMENTATO





Confronto tra diversi tipi di reattori biologici

SBR



MBR



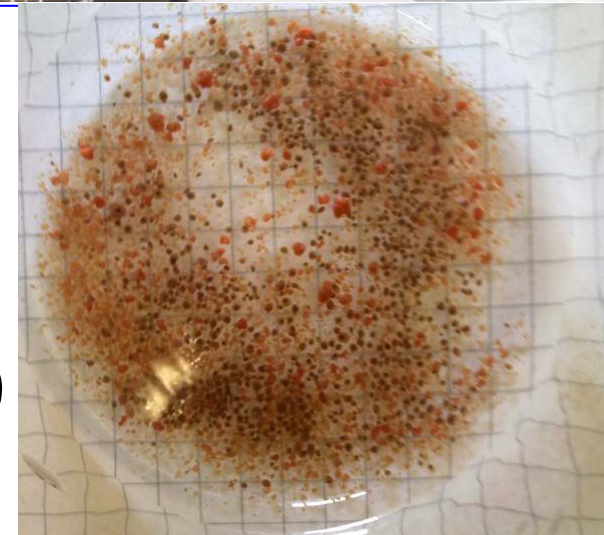
Gas-lift



Alimento:
prima
sintetico,
poi reale



Inoculo:
biomassa
anammox
granulare (da
impianto REALE)







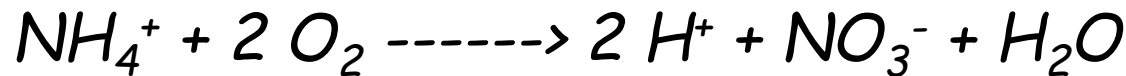
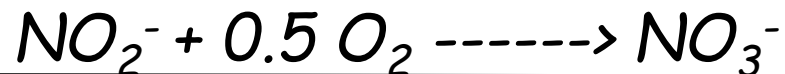
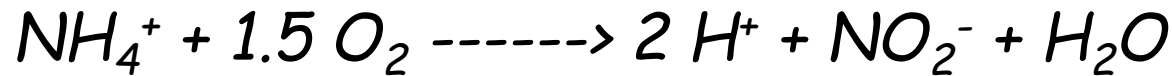
I composti dell'azoto (1/3)

- **Azoto organico (N_{org})** → è una delle forme di azoto prevalenti in fognatura. Viene velocemente mineralizzato a dare ammoniaca (**ammonificazione**)
$$N - \text{organico} \rightarrow NH_4^+ + CO_2$$
- **Azoto ammoniacale ($N-NH_4^+$)** → è una delle forme di azoto prevalenti in fognatura. Può essere direttamente utilizzato dai vegetali o essere ossidato (batteri nitrificanti) ad azoto nitroso e successivamente ad azoto nitrico

TKN → Total Kjeldahl Nitrogen =
azoto ammoniacale + azoto organico (in ingresso agli impianti di depurazione: circa 30 - 50% $N-NH_4$)

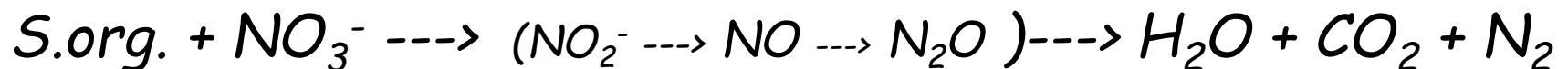
I composti dell'azoto (2/3)

- **Azoto nitroso (N-NO₂⁻)** → intermedio di ossidazione da ammoniaca a nitrati. Presente in concentrazioni trascurabili



- **Azoto nitrico (N-NO₃⁻)** → prodotto della nitrificazione completa

I batteri eterotrofi lo utilizzano in luogo dell'ossigeno per ossidare la sostanza organica. Il processo causa la riduzione dei nitrati ad azoto gassoso che si libera in atmosfera (denitrificazione)



Unità di misura

Es: 30 mg/L come TKN

10 mg/L come Ammoniaca (NH_3 , PM 17)

25 mg/L come Nitrato NO_3^- (PM 62)

2 mg/L come Nitrito NO_2^- (PM 46)

Quant'è l'azoto complessivo (N-tot)?

$$\text{N-tot} = 30 + 25 \times 14/62 + 2 \times 14/46 = 36.25 \text{ mg Tot-N/L}$$

l'azoto ammoniacale è già incluso in TKN

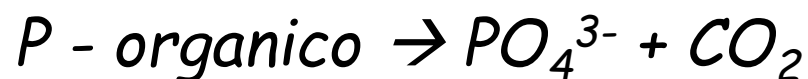
$$\text{Azoto ammoniacale, N-NH}_4^+ = 10 \times 14/17 = 8.24 \text{ mg N/L}$$

$$\text{Azoto organico, N-org} = 30 - 8.24 = 21.76 \text{ mgN/L}$$



I composti del fosforo

- Il fosforo è un elemento essenziale per la crescita dei microrganismi
- In fognatura il suo apporto è dovuto sia alle escrezioni umane e animali, sia all'apporto dei detersivi
- Insieme all'azoto è causa essenziale dei fenomeni di eutrofia (il suo utilizzo nelle sostanze detersivi civili si è molto ridotto)
- Disciolto è presente come ortofosfato PO_4^{3-} e deriva dalla trasformazione del fosforo organico (che è solitamente particolato)



- D.I. = dotazione idrica = 150 – 400 L (ab)⁻¹ (giorno)⁻¹
ab = abitante, AE = abitante equivalente (che scarica 60 gBOD₅/giorno)
 - Coefficiente di apporto in fogna: k = ~ 0,8 – 0,95
 - Apporto in fognatura = k · D.I.
 - 60 g BOD₅ (AE)⁻¹ (giorno)⁻¹
 - 110 g COD (AE)⁻¹ (giorno)⁻¹
 - Fino a 190 g SS (ab)⁻¹ (giorno)⁻¹ → SS = solidi sospesi
 - 12,3 g N (ab)⁻¹ (giorno)⁻¹
 - 1,8 gP (ab)⁻¹ (giorno)⁻¹
- CONCENTRAZIONE =**
$$[N] = \frac{12,3 \text{ gN Ab}^{-1} \text{ d}^{-1}}{0,8 \cdot 250 \text{ L Ab}^{-1} \text{ d}^{-1}} =$$

= Apporto / (k · D.I.)
$$= 61,5 \text{ mgN / L} = \text{mgN L}^{-1} =$$

$$= 61,5 \text{ gN / m}^3 = \text{gN m}^{-3}$$



I nuovi limiti allo scarico in Regione Lombardia

Regolamento Regione Lombardia n. 6 del 29/3/2019
BURL - S.O. al n. 14 del 2/4/2019

Parametri	Unità di misura	2000 ≤ AE < 10.000	10.000 ≤ AE < 50.000	50.000 ≤ AE < 100.000	> 100.000
BOD ₅	mg/L	25	25	10	10
COD	mg/L	125	125	60	60
Solidi Sospesi	mg/L	35	35	15	15
Azoto ammoniacale	mgNH ₄ /L	10	5	5	3
Azoto totale	mgN/L	n.a.	15	15	10
Fosforo totale	mg/L	2	2 (1)	1 (0,5)	1 (0,5)

Fosforo e azoto totali: valori per scarichi in aree sensibili (tra parentesi per scarichi recapitanti in laghi e loro bacini drenanti)

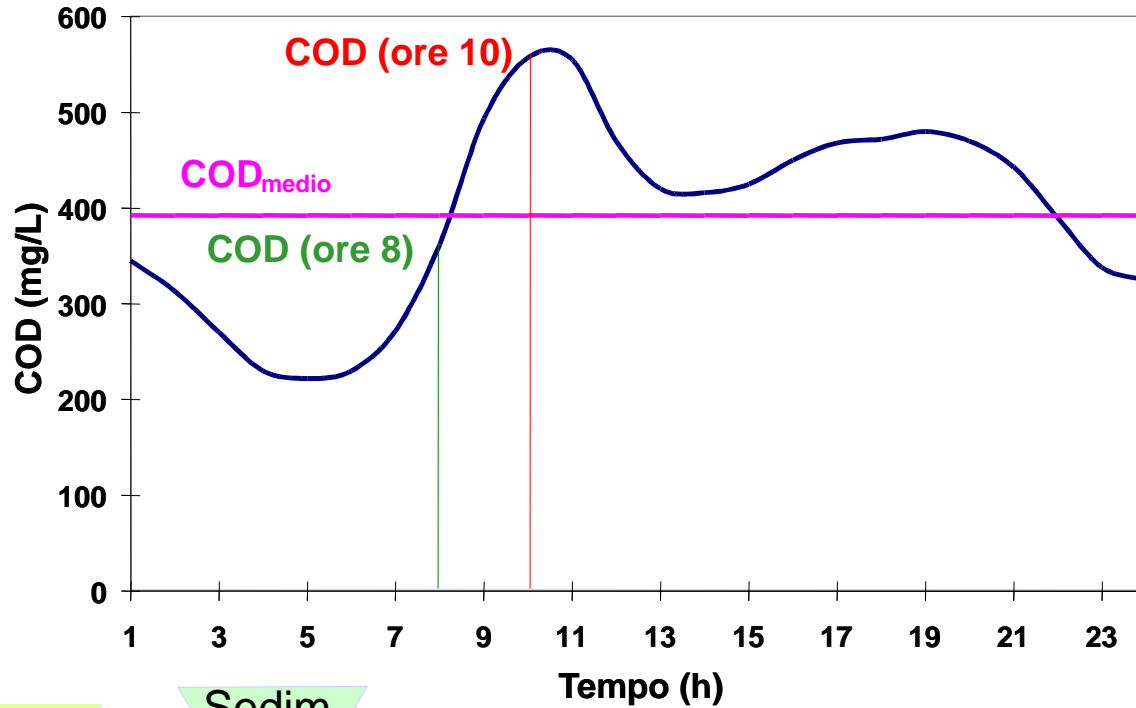


Frequenza di campionamento (consigliata)

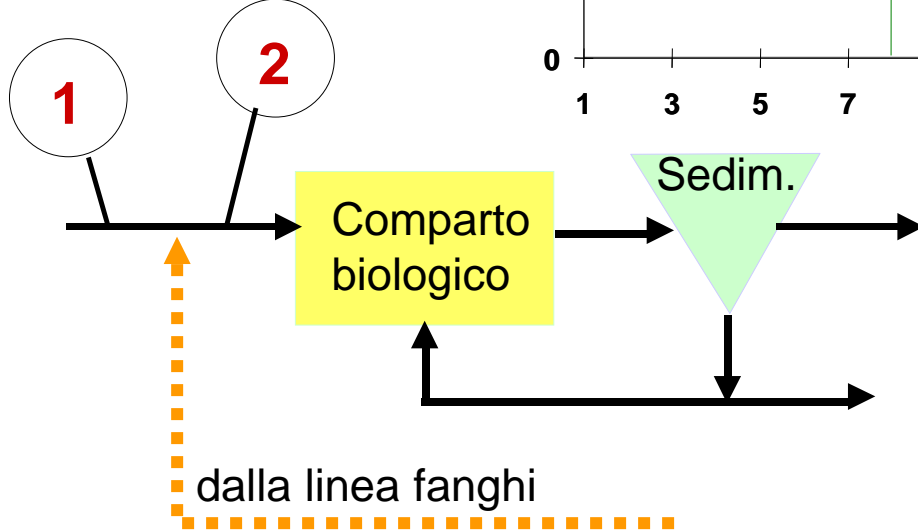
Parametro (in ingresso e in uscita)	Frequenza di campionamento	
	Monitoraggio intensivo	Monitoraggio routinario
Q (m ³ /h)	continuo	continuo
SS, COD tot, COD sol (mg/L)	1/giorno	1/settimana
Composti azotati (TKN, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻)	1/giorno	1/settimana
BOD ₅ , P _{tot} (mg/L)	1/settimana	2/mese

Effetto del momento e del punto di campionamento

$$\text{COD}_{h8} < \text{COD}_m < \text{COD}_{h10}$$

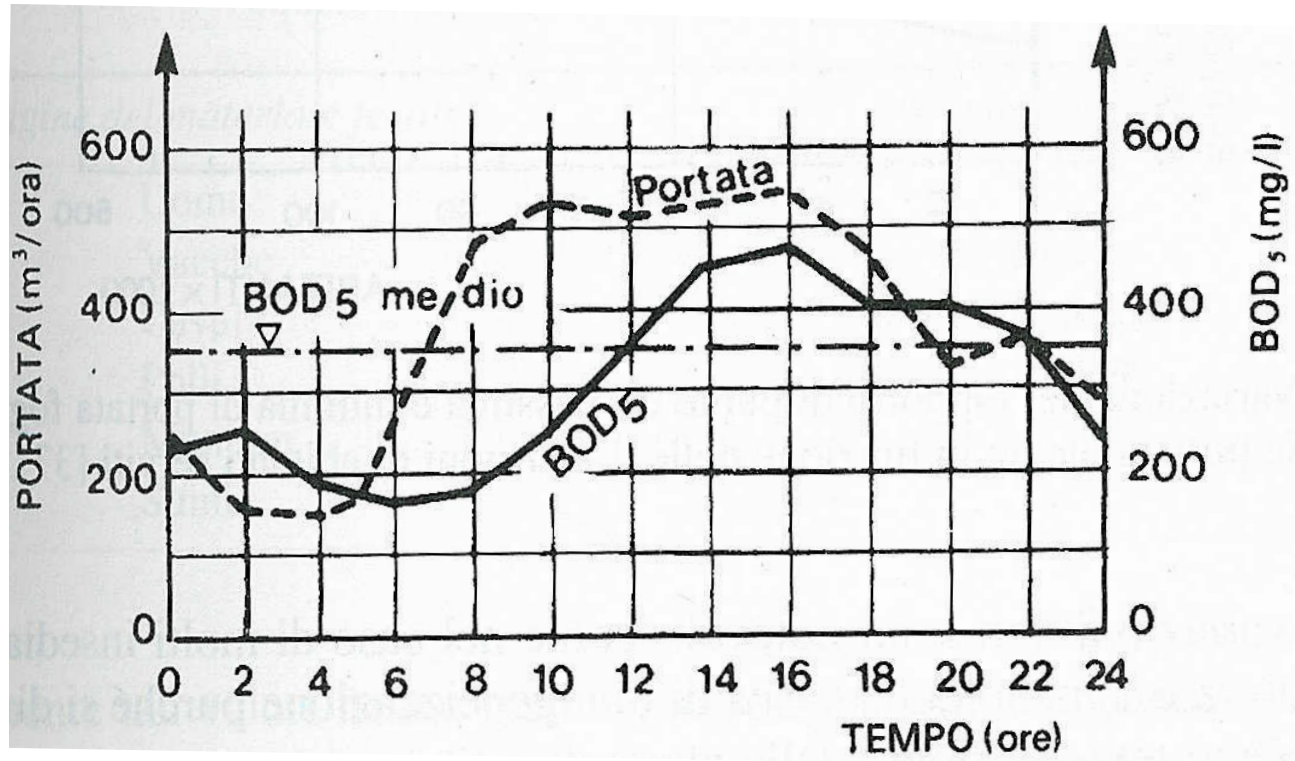


$$\text{COD}_2 > \text{COD}_1$$



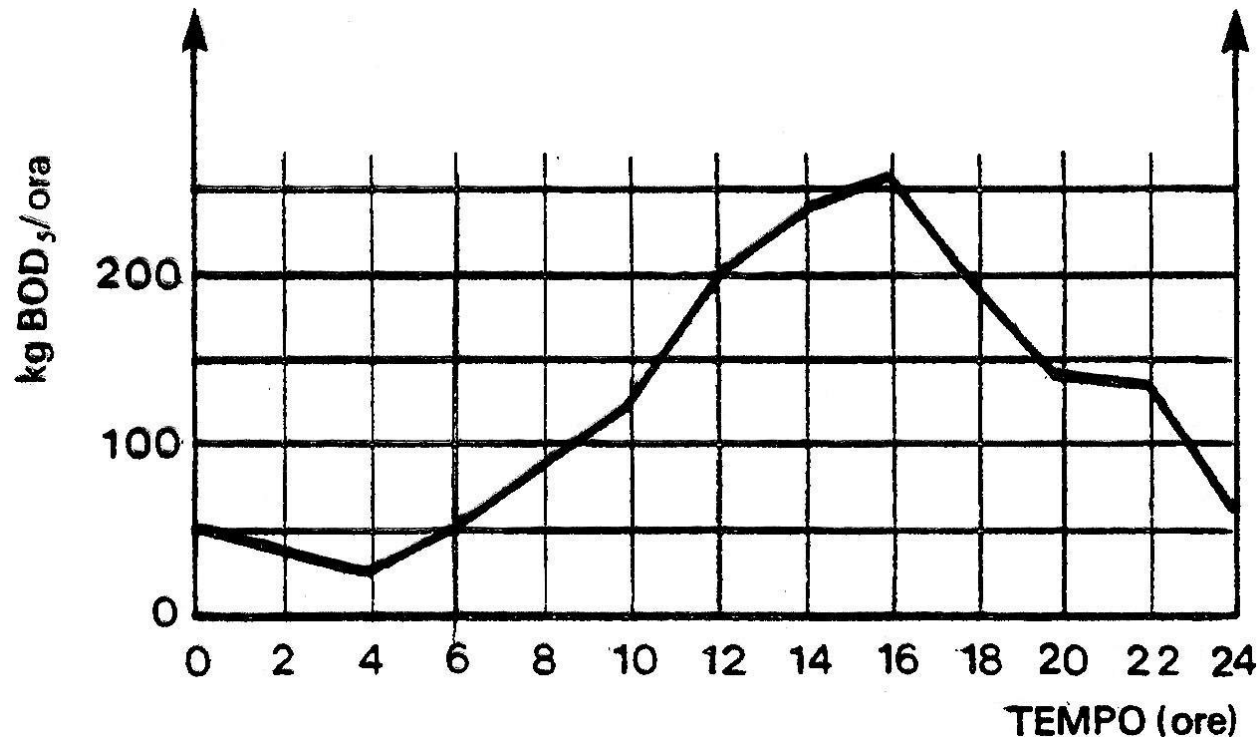


- Portata media su base annua (q_{24}): $q_{calc} = 1.3 q_{24}$
- Portata oraria
 - Punte massime nelle ore diurne tra le 8.00 e le 12.00 e minimi nelle ore notturne



VARIABILITA' DEL CARICO

Carico organico = concentrazione \times portata



Carico organico di BOD₅ = prodotto di concentrazione e portata

Esempio:

Concentrazione media = 250 mg/l = 250 g/m³ = 0,25 kg/m³

Portata media = 500 m³/ora

Carico medio = 500 * 0,25 = 125 kgBOD₅/ora

AE = 125 kg/ora * 24 ore/giorno : 0,06 kg/(AE giorno) = 50.000 AE

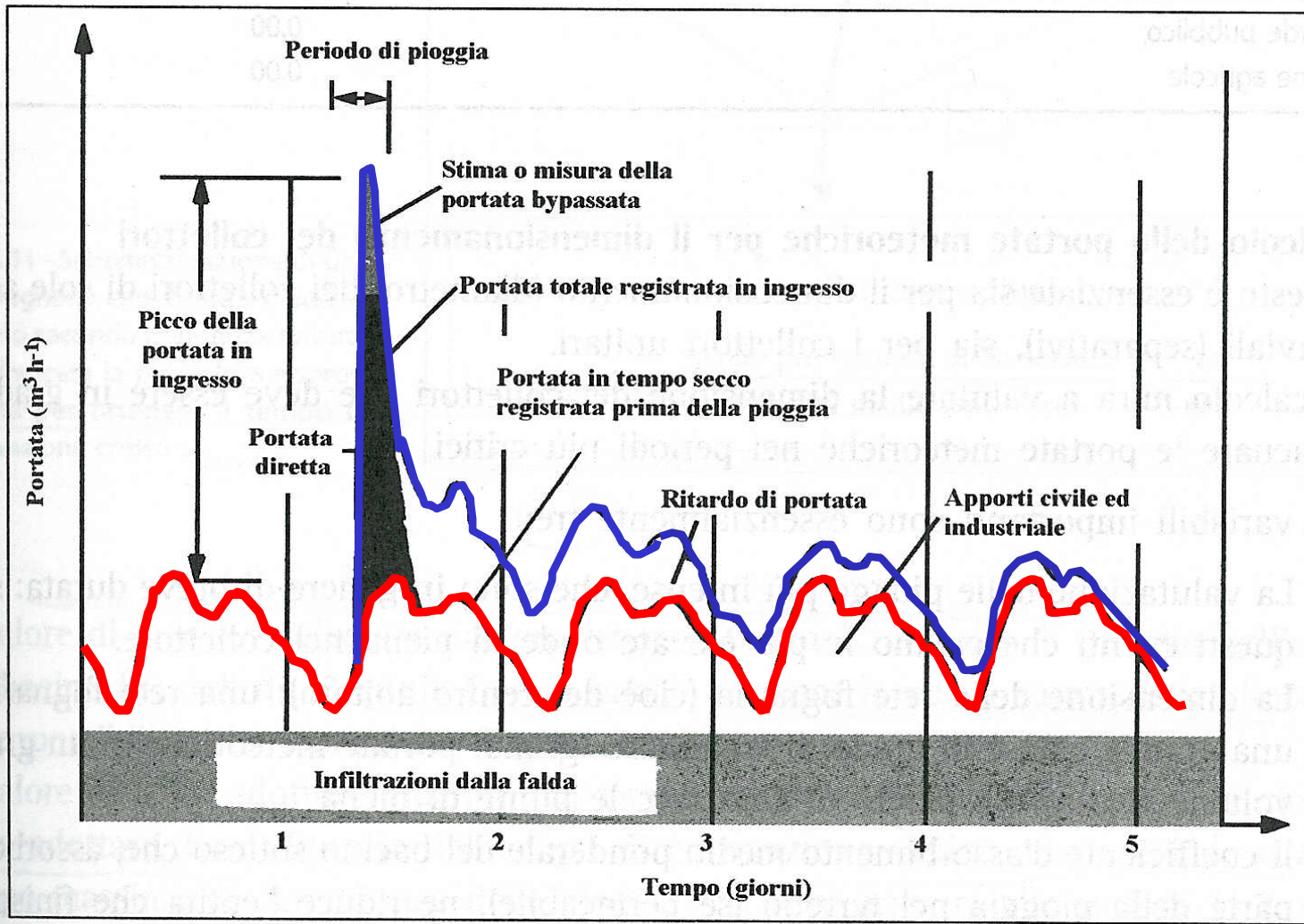
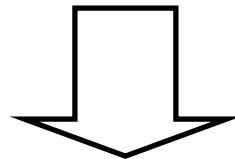


Fig. 4.10 - Identificazione grafica della portata in fognatura e delle infiltrazioni.



- Scaricano nel ricettore solo per portate $>$ di un valore di soglia prefissato
- **First flush** → Le acque meteoriche dilavano le superfici urbane → trasporto in fognatura di sostanze inquinanti: sostanze organiche e inorganiche (sedimentabile, sospesa e disciolta), N, P, batteri, oli, grassi, metalli pesanti, ...

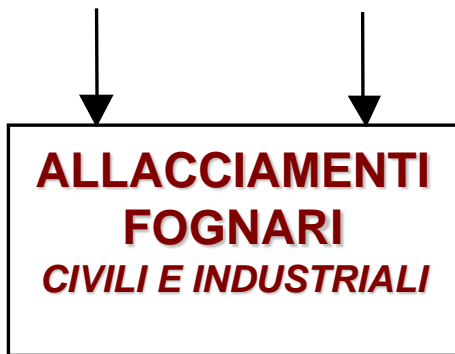


Acque di prima pioggia: acque di scorrimento superficiale defluite nei primi minuti di pioggia.

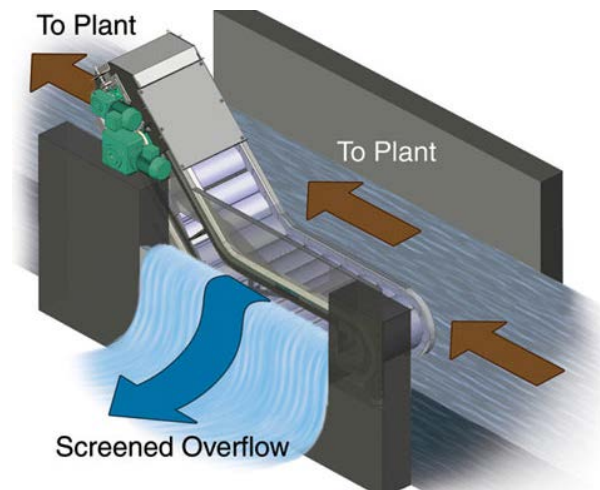
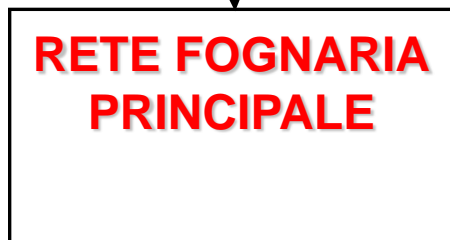
Alte concentrazioni di sostanze inquinanti (anche superiori a quelle in fognatura in tempo asciutto).



USI CIVILI E INDUSTRIALI



PIOGGE





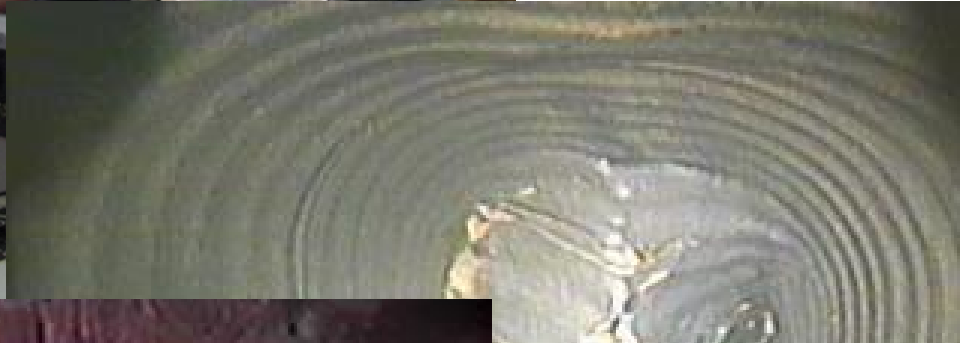
Scaricatori di piena



Longwood Engineering Company, <http://www.longwoodengineering.co.uk>



Ispezione televisiva della rete fognaria





Necessari per evitare:

- *Danni alla fognatura*
- *Rischi agli operatori*
- *Disfunzioni ai processi depurativi centralizzati*
- *Peggioramento della qualità dell'effluente finale dell'impianto centralizzato e della qualità dei fanghi*
- *Danni all'ambiente acquatico e alla qualità del corpo idrico recettore*



Telecontrollo

- monitoraggio continuo dei parametri utili e segnalazione anomalie;
- verifica della continuità della qualità dell'effluente;
- controllo e regolazione di sistemi complessi (ad es.: biologici);
- monitoraggio del rischio e della sicurezza;
- controllo del risparmio energetico e dell'ottimizzazione di processo.

Procedure di buona pratica:

- verificare efficienza
 - . macchinari;
 - . strumentazione di controllo (*amperometri, voltmetri, manometri, misuratori di portata, misuratori di livello, torbidimetri, termometri, misuratori di pH*);
- monitorare costantemente la qualità dell'effluente.

Qualità del dato: richiede taratura e verifica periodica degli strumenti.



Depurazione: telecontrollo 1 / 2 - schede impianto



Denominazione: Malga Laghetto (sigla VE - codice 10204 - codice Tlc 82)

Indirizzo: Loc. Malga Laghetto - Lavarone

Corpo idrico recettore: rio Torto; **Bacino idrico:** Astico

Altitudine: 1130 m s.l.m.

Comuni serviti: Caldonazzo, Lavarone, Levico, Luserna

Potenzialità: 3000 A.E.

Dotazione idrica: 400 L/(A.E. d)

Coefficiente di afflusso in fognatura : 0,8

Portata media giornaliera: 960 m³/d

Portata media oraria: 40 m³/h

Fattore di punta: 3

Portata massima di punta: 120 m³/h

Data di messa in servizio: 02/07/01

Data avvio sistema di telecontrollo: 12/12/02

DIMENSIONE OPERAZIONI UNITARIE

Linee	Trattamento	Sup. [m ²]	Vol. [m ³]
2	DENITR.	62	250
2	OX.	86	350
1	SED. II	167	530

RETE DI COLLETTAMENTO AL DEPURATORE

Malga Laghetto-Passo Vezzena (codice V7)

Lunghezza: 5046 m



Depurazione: telecontrollo 2 / 2 - schema generale

telecontrollo piccoli impianti



Provincia di Trento
<http://www.heidi.it>



→ Centralina di trasmissione

Pannello di controllo ←





Impianto di telecontrollo e laboratorio chimico-biologico

