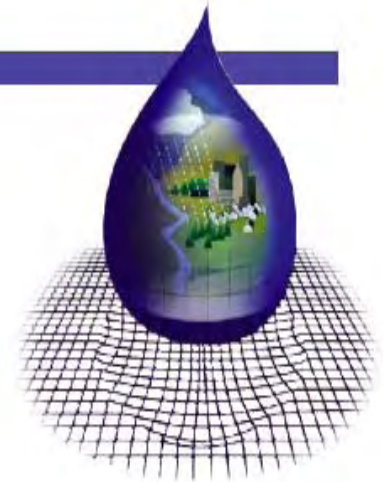

Stream Water Quality Model (QUAL2K)



Sistema di modellazione della qualità fluviale

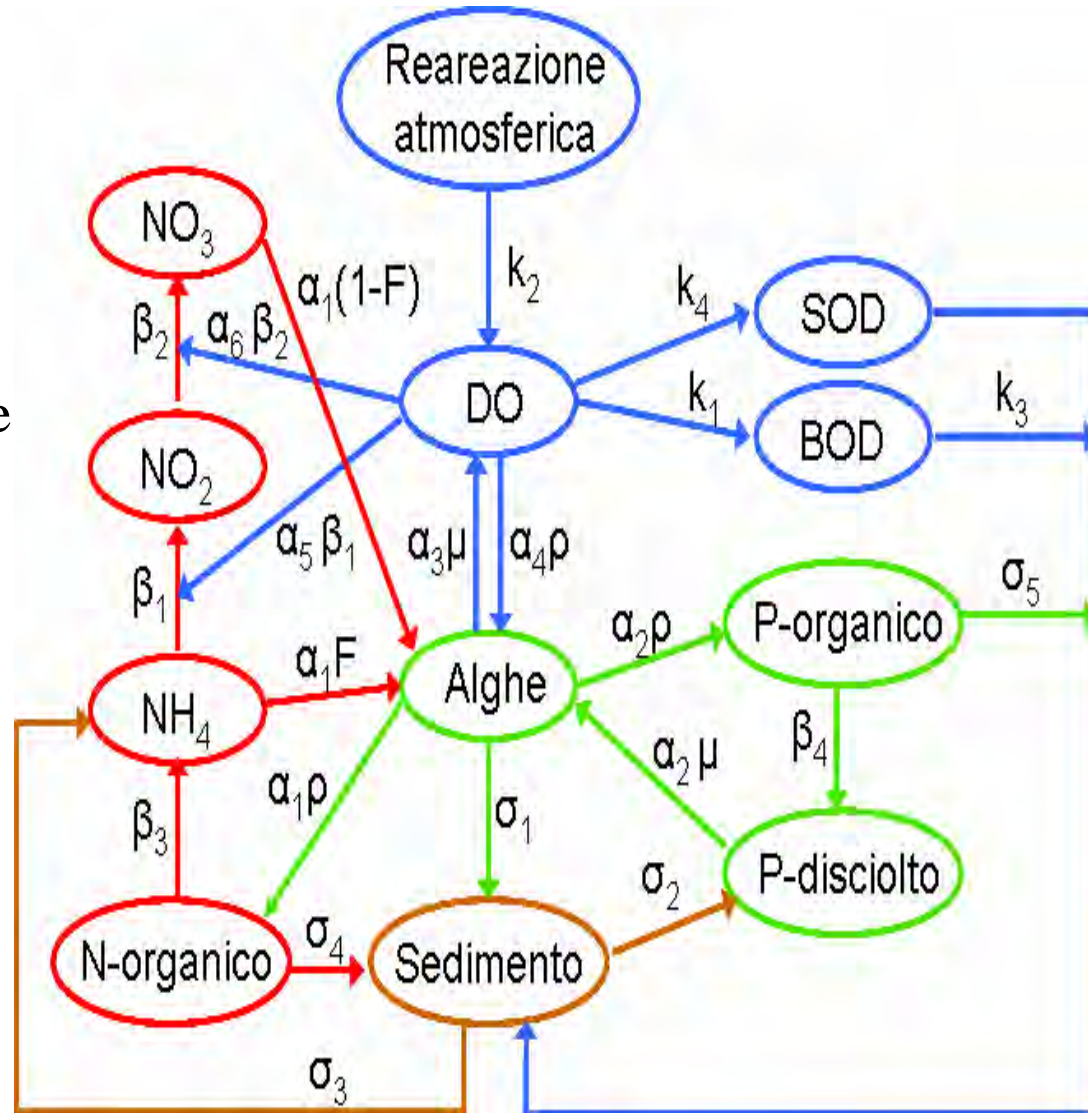
L'ambiente di modellazione QUAL2K

- ☞ L fiume è visto come ecosistema complesso composto da tre comparti
 - ⇒ fase acquosa, la fase gassosa e i sedimenti.
 - ☞ Il modello è l'insieme dei processi interni a questi comparti e delle loro interazioni dovute a:
 - ⇒ trasporto fisico e processi di scambio;
 - ⇒ processi di trasformazione biologica, chimica, biochimica e fisica.
 - ☞ QUAL2E è un ambiente di modellazione della qualità fluviale sviluppato a partire dagli anni 80 da US EPA
 - ☞ QUAL2K versione moderna di QUAL2E sviluppato nel 2003 sempre da US EPA: <http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html>
 - ☞ QUAL2Kw versione del 2006 comprende toolbox per la calibrazione parametrica
 - ☞ Il modello comprende i due aspetti fondamentali del fiume:
 - ⇒ Idraulica
 - ⇒ Qualità
- ☞ Sviluppato in Excel con macro in Visual Basic



Processi modellati

- Degradazione di sostanze organiche;
- Crescita e respirazione delle alghe;
- Nitrificazione;
- Idrolisi di azoto organico e fosforo;
- Reazione;
- Sedimentazione di alghe, fosforo organico e azoto organico;
- Consumo di ossigeno nel sedimento;
- Rilascio di azoto e fosforo dal sedimento.



Processi e componenti in Q2K

Componente Processo	1 DO	2 BOD	3 ABM	4 Org-N	5 NH4	6 NO ₂	7 NO ₃	8 Org-P	9 Dis-P	Tasso [ML ⁻³ T ⁻¹]
1 Reazione	1									$k_2(\text{DO}_{\text{sat}} - \text{DO})$
2 Biodegradazione	-1	-1								$k_1 \cdot \text{BOD}$
3 BOD sedimentato		-1								$k_3 \cdot \text{BOD}$
4 SOD	-1									k_4/d
5 Fotosintesi	α_3		1		$-\alpha_1 \cdot F$		$-\alpha_1 \cdot (1-F)$		$-\alpha_2$	$\mu_{\text{max}} \cdot \text{ABM} \cdot f(L, N, P)$
6 Respirazione	$-\alpha_4$		-1	α_1				α_2		$\rho \cdot \text{ABM}$
7 Alge sedimentate			-1							$\sigma_1/d \cdot \text{ABM}$
8 N idrolisi				-1	1					$\beta_3 \cdot \text{Org-N}$
9 Nitrificazione 1°	$-\alpha_5$				-1	1				$\beta_1 \cdot \text{NH}_4 \cdot f(\text{DO})$
10 Nitrificazione 2°	$-\alpha_6$					-1	1			$\beta_2 \cdot \text{NO}_2 \cdot f(\text{DO})$
11 N sedimentaz.				-1						$\sigma_4 \cdot \text{Org-N}$
12 N rilascio da sed.					1					σ_3/d
13 P idrolisi								-1	1	$\beta_4 \cdot \text{Org-P}$
14 P sedimentaz.								-1		$\sigma_5 \cdot \text{Org-P}$
15 P rilascio da sed.									1	σ_2/d



Ipotesi alla base di Q2E e Q2K

- ☞ ***Monodimensionale***: il canale è ben miscelato verticalmente e lateralmente;
- ☞ ***Idraulica a stati stazionari***: si simula un flusso stazionario non uniforme;
- ☞ ***Bilancio di calore diurno***: il bilancio di calore e la temperatura sono simulati in funzione della meteorologia a scala giornaliera;
- ☞ ***Cinetica della qualità dell'acqua giornaliera***: tutte le variabili di qualità dell'acqua sono simulate su scala giornaliera;
- ☞ ***Ingressi di calore***: si tiene conto delle variazioni di temperatura
- ☞ ***Ingressi di massa***: si simulano immissioni e prelievi puntuali e distribuiti.



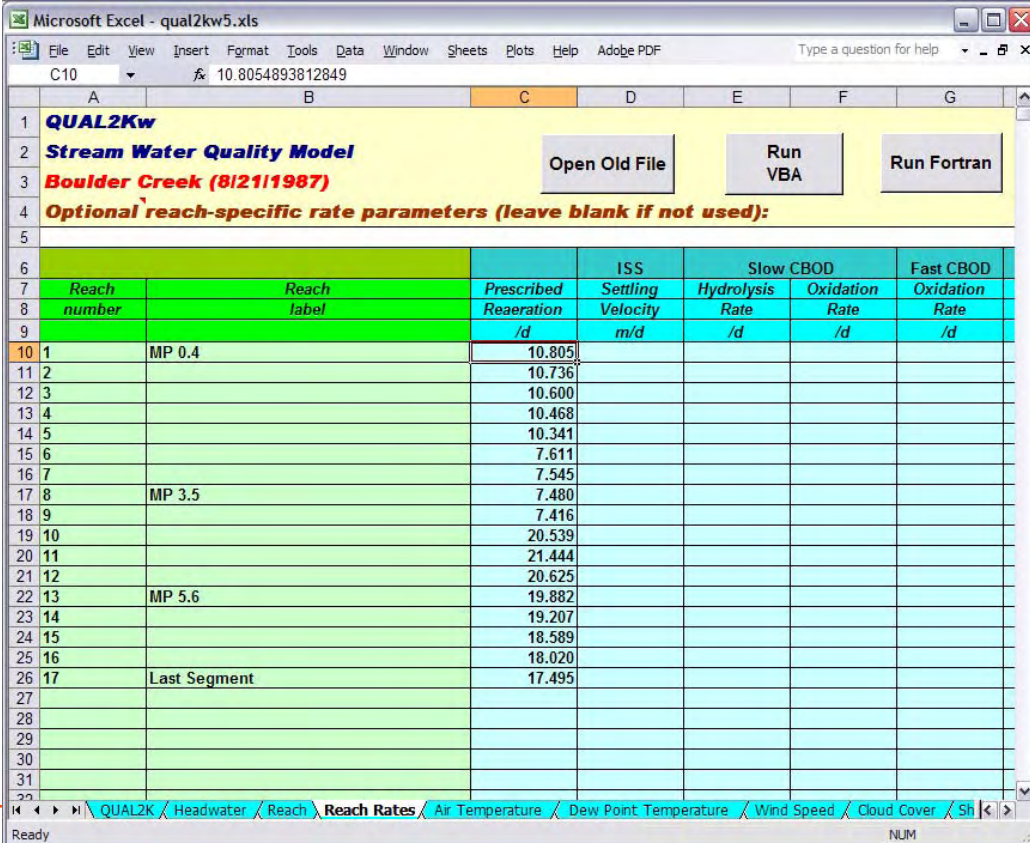
Caratteristiche Qual2

- ☞ **Segmentazione del modello:** Q2K consente tratti di diversa lunghezza con carichi e derivazioni;
- ☞ **Specificazione del BOD carbonioso:** Q2K ripartisce il BOD carbonioso in una forma ad ossidazione lenta (slow CBOD) e la forma ad ossidazione rapida (fast CBOD). Inoltre simula la sostanza organica particolata non vivente (detrito), composta da carbonio particolato, azoto e fosforo in stechiometria fissa;
- ☞ **Anossia:** Q2K è in grado di modellare situazioni di anossia riducendo le reazioni di ossidazione a zero per bassi livelli di ossigeno.
- ☞ **Denitrificazione:** è modellata come una reazione del primo ordine che si attiva per basse concentrazioni di ossigeno;
- ☞ **Interazioni sedimento-acqua:** i flussi di ossigeno disciolto e di nutrienti tra l'acqua e il sedimento sono simulati in funzione della sostanza organica particolata sedimentata, delle reazioni nel sedimento e delle concentrazioni delle forme solubili nell'acqua che lo ricopre;
- ☞ **Alghe bentoniche:** il modello include alghe attaccate sul fondo del fiume;
- ☞ **Diminuzione della luminosità:** l'estinzione della luce è calcolata in funzione delle alghe, del detrito e dei solidi inorganici;
- ☞ **pH:** sia l'alcalinità che il carbonio inorganico totale sono simulati. Il pH del fiume è quindi calcolato sulla base di queste due grandezze;
- ☞ **Agenti patogeni:** la rimozione dei patogeni è determinata in funzione della temperatura, della luce e della sedimentazione.



Modello di qualità QUAL2Kw

- **Differenziazione dei parametri:** per ogni tratto è possibile specificare i ratei delle varie cinetiche
- **Calibrazione parametrica:** basata su un algoritmo genetico per determinare i valori ottimi dei ratei delle cinetiche.



Microsoft Excel - qual2kw5.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Sheets Plots Help Adobe PDF Type a question for help

C10 10.8054893812849

1 **QUAL2Kw**

2 **Stream Water Quality Model**

3 **Boulder Creek (8/21/1987)**

4 **Optional reach-specific rate parameters (leave blank if not used):**

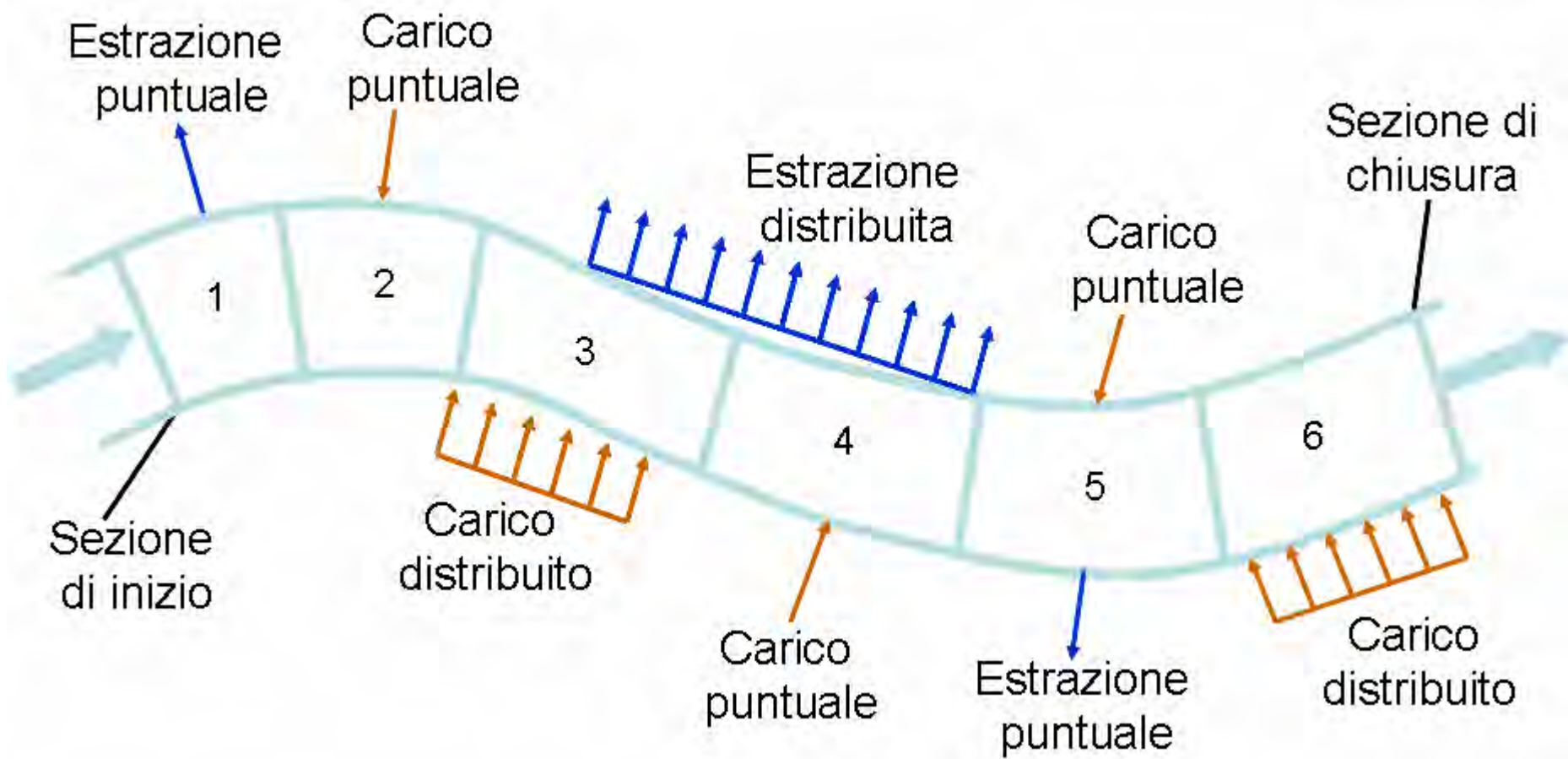
5

Reach number	Reach label	Prescribed Reaeration /d	ISS Settling Velocity m/d	Slow CBOD Hydrolysis Rate /d	Oxidation Rate /d	Fast CBOD Oxidation Rate /d
1	MP 0.4	10.805				
2		10.736				
3		10.600				
4		10.468				
5		10.341				
6		7.611				
7		7.545				
8	MP 3.5	7.480				
9		7.416				
10		20.539				
11		21.444				
12		20.625				
13	MP 5.6	19.882				
14		19.207				
15		18.589				
16		18.020				
17	Last Segment	17.495				

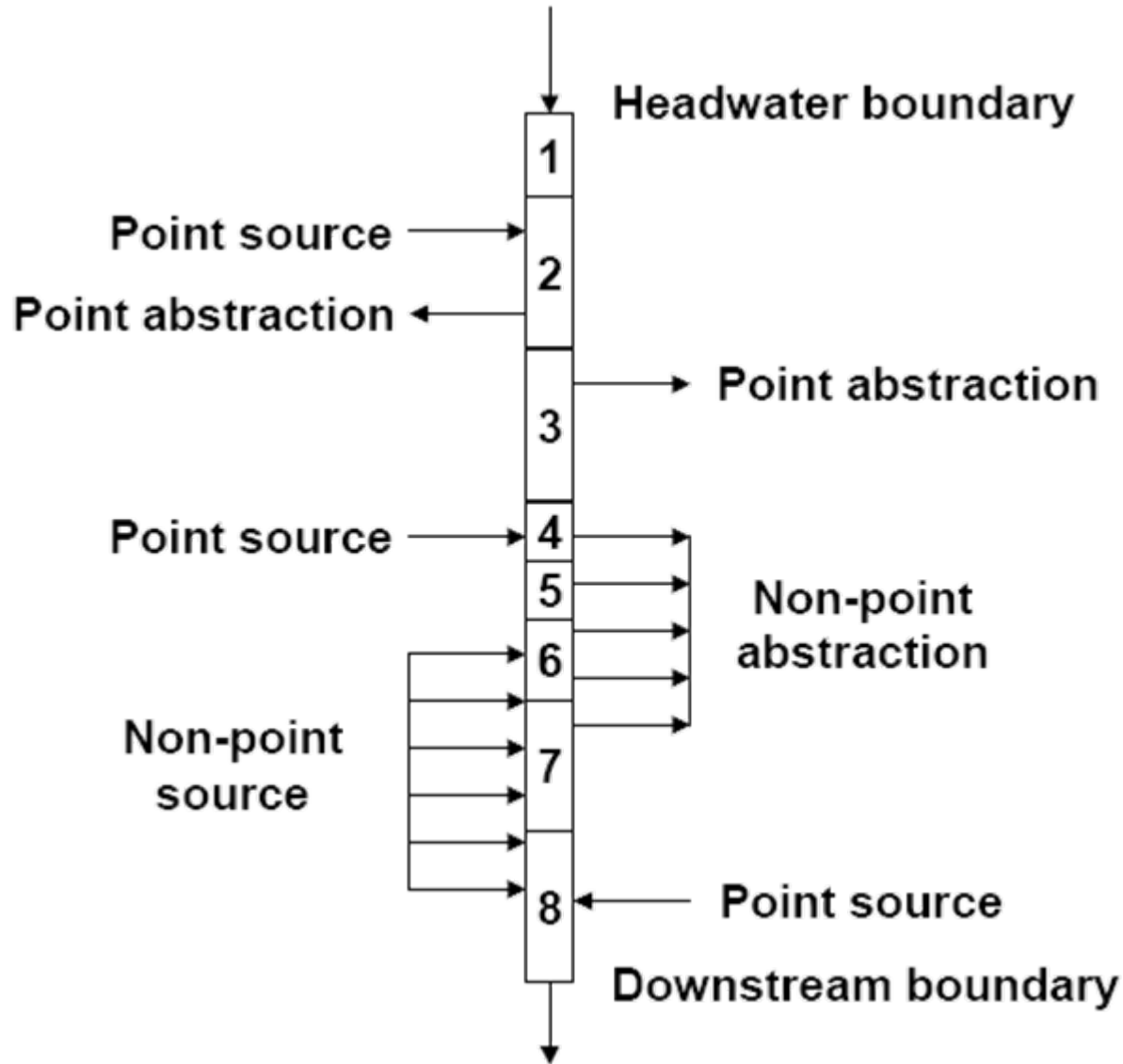
QUAL2K Headwater Reach Reach Rates Air Temperature Dew Point Temperature Wind Speed Cloud Cover Sh NUM



Segmentazione idraulica



Schema di segmentazione di Q2K

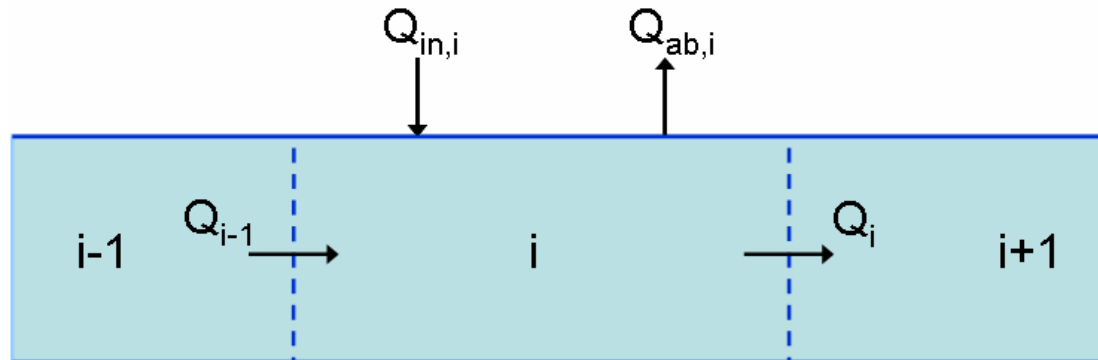


Bilancio idraulico ad ogni tratto

Continuità dei flussi

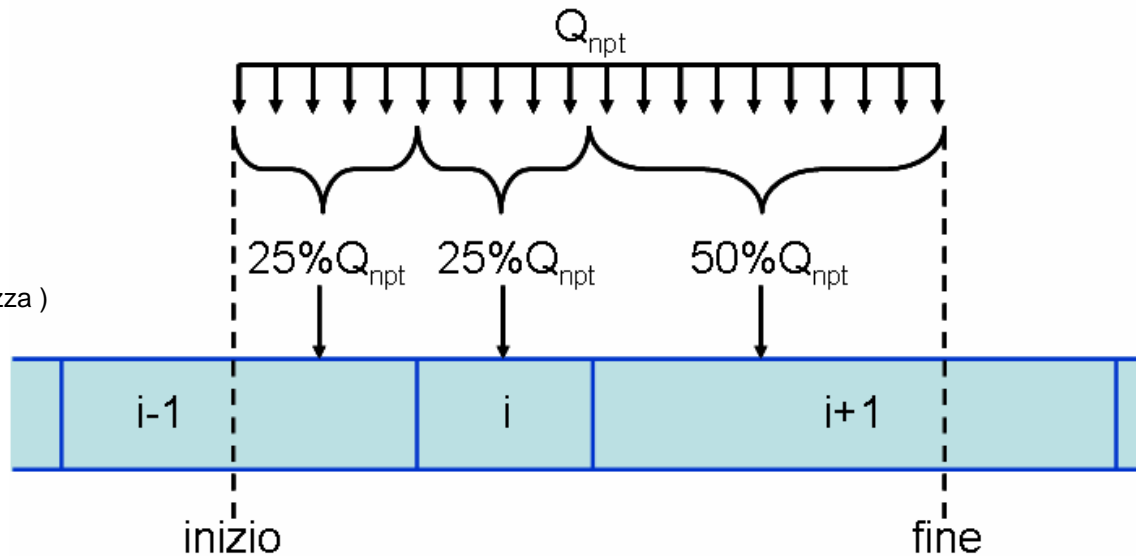
$$Q_i = Q_{i-1} + Q_{in,i} - Q_{ab,i}$$

Carichi concentrati



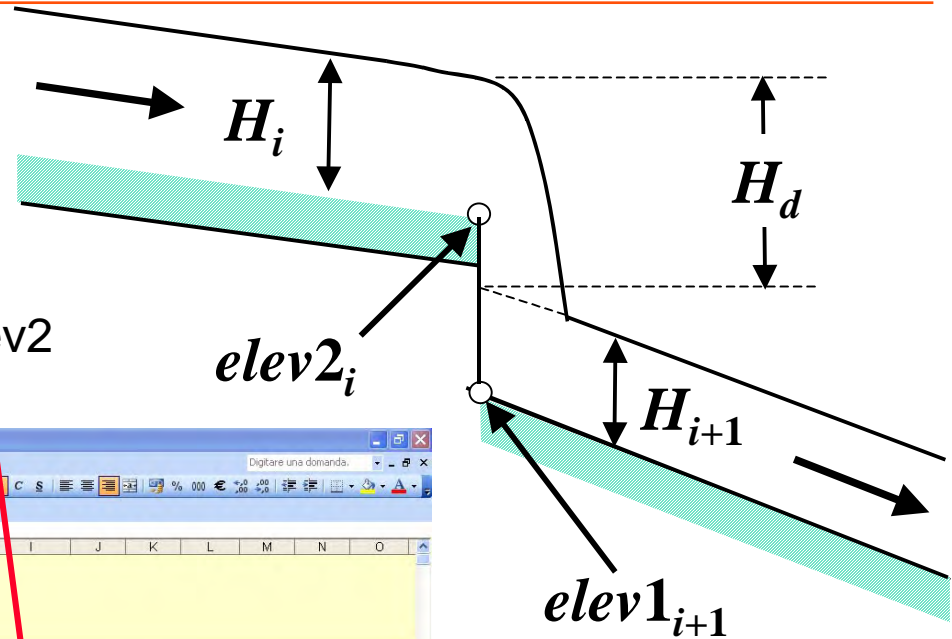
Carichi distribuiti

(in modo pesato sulla lunghezza)



Waterfalls

$$elev2_i > elev1_{i+1}$$



Microsoft Excel - qual2kw51b37.xls

QUAL2Kw
Stream Water Quality Model
Boulder Creek (8/21/1987)
Reach Data:

Reach for diet plot:	17	← change diet plots to this reach												
Reach	Downstream	Reach	Downstream	Downstream	Elevation			Downstream						
Label	end of reach label	Number	length (km)	Latitude	Longitude	location (km)	Upstream (m)	Downstream (m)	Degrees	Minutes	Seconds	Degrees	Minutes	Seconds
	Headwater	0		40.04	105.20	13.600	1676.000	1676.000	40.00	2	35	105.00	12	3
MP 0.4		1	0.42	40.05	105.20	13.175	1674.300	1674.300	40.00	2	44	105.00	11	55
		2	0.43	40.05	105.20	12.750	1674.300	1672.600	40.00	2	51	105.00	11	47
		3	0.85	40.05	105.19	11.900	1672.600	1669.200	40.00	3	0	105.00	11	23
		4	0.85	40.05	105.18	11.050	1669.200	1665.800	40.00	3	4	105.00	10	50
		5	0.85	40.05	105.17	10.200	1665.800	1662.400	40.00	3	6	105.00	10	12
		6	0.85	40.05	105.16	9.350	1662.400	1659.425	40.00	3	8	105.00	9	34
		7	0.85	40.05	105.15	8.500	1659.425	1656.450	40.00	3	4	105.00	8	58
MP 3.5		8	0.85	40.05	105.14	7.650	1656.450	1653.475	40.00	3	0	105.00	8	15
		9	0.85	40.05	105.13	6.800	1653.475	1650.500	40.00	3	2	105.00	7	33
		10	0.85	40.05	105.12	5.950	1650.500	1647.525	40.00	3	12	105.00	7	6
		11	0.85	40.06	105.11	5.100	1647.525	1644.975	40.00	3	21	105.00	6	37
		12	0.85	40.06	105.10	4.250	1644.975	1642.425	40.00	3	38	105.00	6	12
MP 5.6		13	0.85	40.06	105.09	3.400	1642.425	1639.875	40.00	3	50	105.00	5	41
		14	0.85	40.07	105.09	2.550	1639.875	1637.325	40.00	4	7	105.00	5	7
		15	0.85	40.07	105.08	1.700	1637.325	1634.775	40.00	4	23	105.00	4	40
		16	0.85	40.08	105.07	0.850	1634.775	1632.225	40.00	4	35	105.00	4	11
Last Segment	Above Coal Ck Coal Creek	17	0.85	40.08	105.06	0.000	1632.225	1629.675	40.00	4	52	105.00	3	46



Modello idraulico

Scale di deflusso

$$U = aQ^b$$

$$H = \alpha Q^\beta$$

Coefficienti calcolati
empiricamente

Equazioni di Manning

$$Q = \frac{S_0^{1/2}}{n} \frac{A_c^{5/3}}{P^{2/3}}$$

Q è il flusso [m³/s]

S_0 è la pendenza del fondo [m/m]

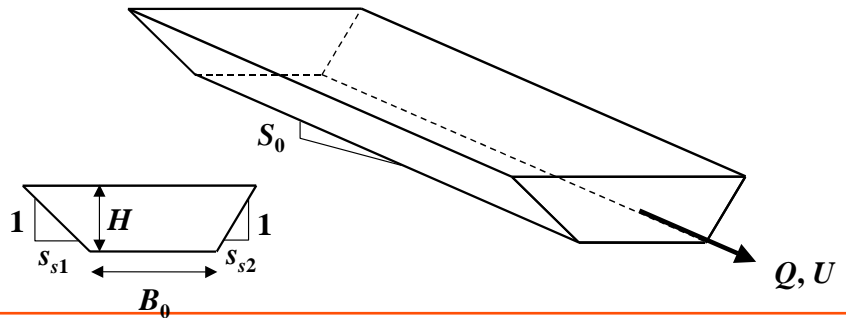
n è il coefficiente di Manning,

A_c è l'area della sezione trasversale [m²]

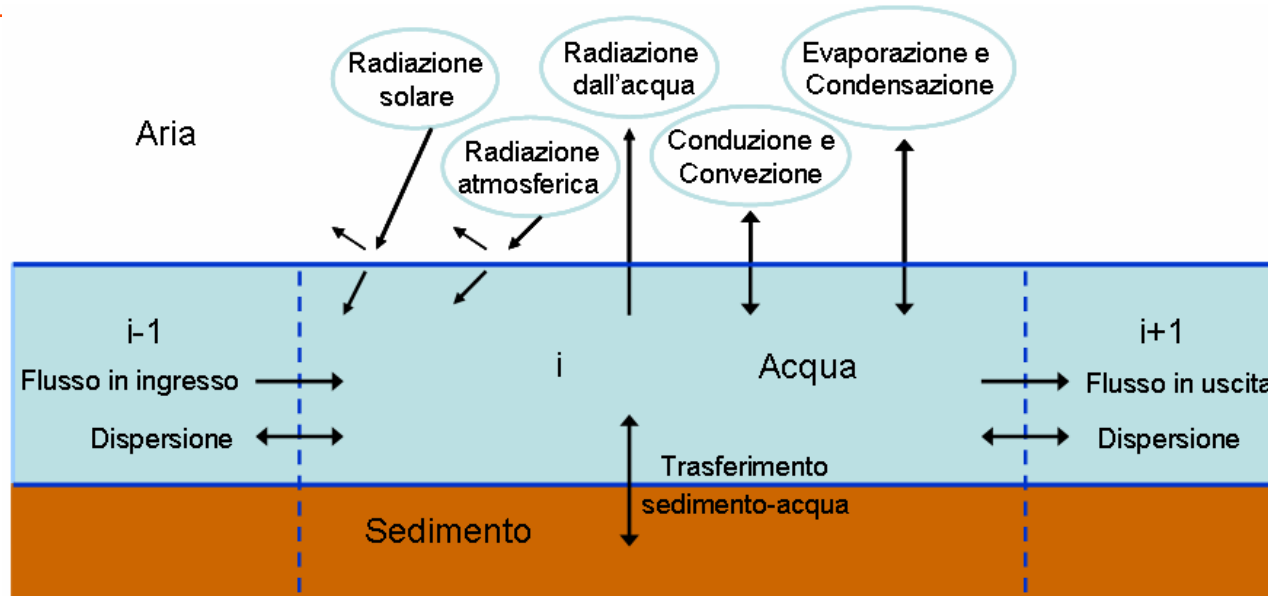
P è il perimetro bagnato [m].

$$A_c = [B_0 + 0.5(s_1 + s_2)H]H$$

$$P = B_0 + H\sqrt{s_1^2 + 1} + H\sqrt{s_2^2 + 1}$$



Dinamica della temperatura



$$\frac{dT_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} T_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} T_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} T_i$$

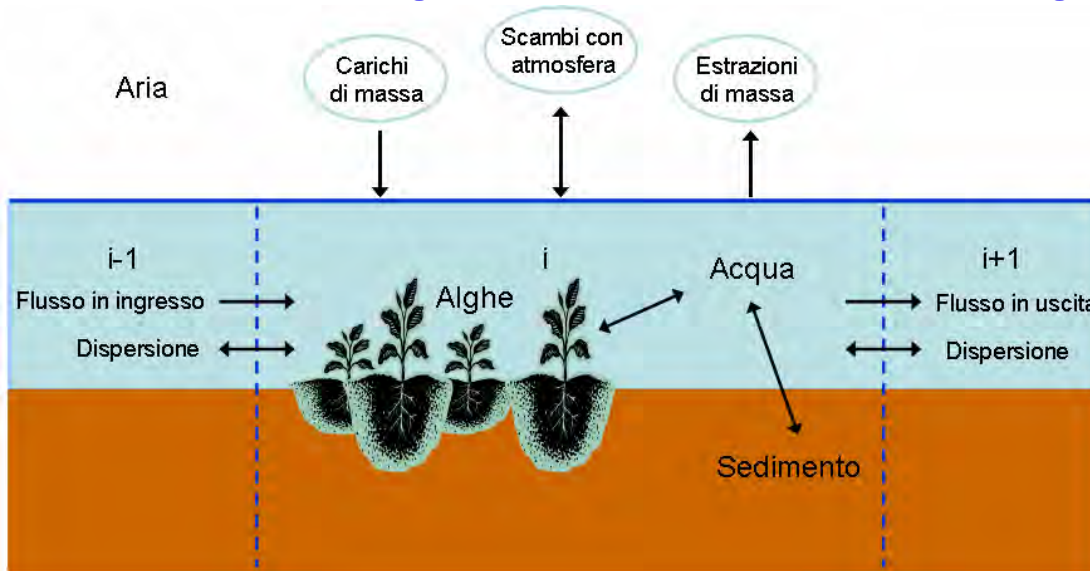
$$+ \frac{E'_{i-1}}{V_i} (T_{i+1} - T_i) + \frac{E'_i}{V_i} (T_{i+1} - T_i)$$

$$+ \frac{W_{h,i}}{\rho_w C_{pw} V_i} + \frac{J_{h,i}}{\rho_w C_{pw} H_i} + \frac{J_{s,i}}{\rho_w C_{pw} H_i}$$

E'_i	coefficiente di dispersione di massa tra i tratti i e $i+1$ [m^3/d]
Wh,i	carico netto di calore da sorgenti puntuali e distribuite nel tratto i [cal/d]
ρ_w	densità dell'acqua [g/cm^3]
Cpw	calore specifico dell'acqua [$cal/(g^\circ C)$],
Jh,i	flusso di calore tra aria e acqua [$cal/(cm^2 d)$]
Js,i	flusso di calore tra sedimento e acqua [$cal/(cm^2 d)$].



Ogni tratto è un CSTR generalizzato



$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{ab,i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i$$

$$E'_i = \frac{E_i A_{c,i}}{(\Delta x_i + \Delta x_{i+1}) / 2}$$

V_i il volume dell' i -esimo tratto [m^3]

W_i il carico esterno di costituente verso il tratto i [g/d o mg/g]

S_i costituenti che si sono prodotti e/o accumulati a causa delle reazioni e dei meccanismi di trasferimento di massa [$g/m^3/d$ o $mg/m^3/d$].

E'_i coefficiente di dispersione di massa tra i tratti i e $i+1$ [m^3/d]

$Q_{ab,i}$ total outflow from reach due to point and nonpoint abstractions

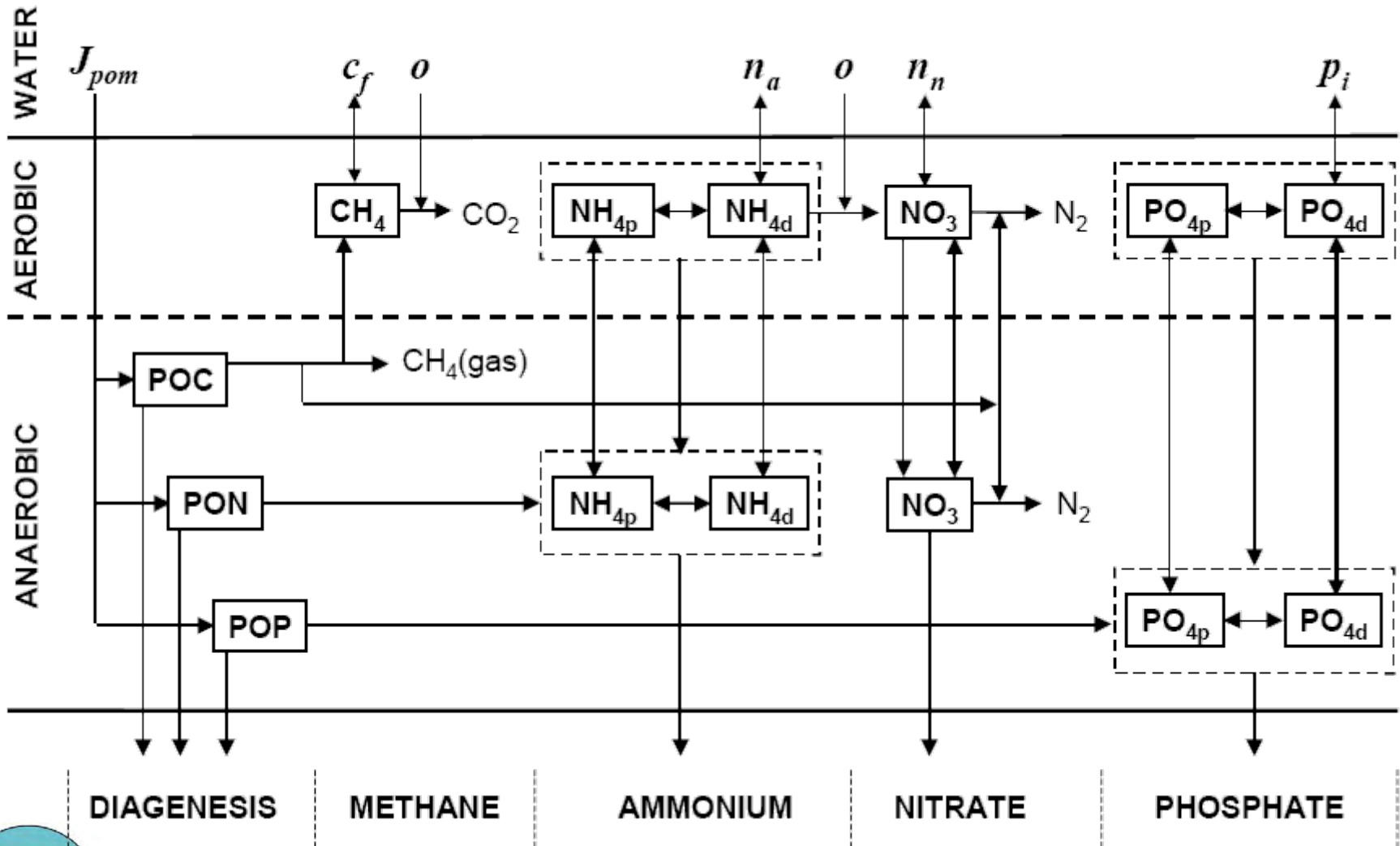


Costituenti del modello

Variabile	Simbolo	Unità
Conduttività	s	μmhos
Solidi sospesi inorganici	m_i	mgD/L
Ossigeno disciolto	o	mgO_2/L
CBOD slow	c_s	mgO_2/L
CBOD fast	c_f	mgO_2/L
N organico disciolto	n_o	$\mu\text{gN}/\text{L}$
N-NH ₄	n_a	$\mu\text{gN}/\text{L}$
N-NO ₃	n_n	$\mu\text{gN}/\text{L}$
P organico disciolto	p_o	$\mu\text{gP}/\text{L}$
P inorganico	p_i	$\mu\text{gP}/\text{L}$
Fitoplankton	a_p	$\mu\text{gA}/\text{L}$
Detrito	m_o	mgD/L
Patogeni	x	cfu/100ml
Alcalinità	Alk	mgCaCO_3/L
C organico totale	c_T	mole/L
Alghie bentoniche	a_b	gD/m^2



Interazioni SOD-nutrienti nel sedimento



Diagenesi: Processo di conversione di materia organica particolata (POM) in forma reattiva solubile



Headwater Worksheet

Microsoft Excel - qual2kw5.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

B7 0.71348

QUAL2Kw

Stream Water Quality Model

Boulder Creek (8/21/1987)

Headwater and Downstream Boundary Data:

Open File Run VBA Run Fortran

Headwater Flow 0.713 m3/s

Prescribed downstream boundary? No

Headwater Water Quality

	Units	12:00 AM	1:00 AM	2:00 AM	3:00 AM	4:00 AM
Temperature	C	14.88	14.04	13.29	12.69	12.26
Conductivity	umhos	276.42	277.23	279.22	282.26	286.14
Inorganic Solids	mgD/L	11.94	12.13	12.07	11.78	11.27
Dissolved Oxygen	mg/L	6.98	6.98	7.08	7.25	7.49
CBODslow	mgO2/L	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
CBODfast	mgO2/L	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
Organic Nitrogen	ugN/L	1561.00	1560.27	1565.73	1577.01	1593.33
NH4-Nitrogen	ugN/L	87.59	87.59	87.59	87.59	87.59
NO3-Nitrogen	ugN/L	165.56	165.56	165.56	165.56	165.56
Organic Phosphorus	ugP/L	18.15	25.31	33.43	41.96	50.32
Inorganic Phosphorus (SRP)	ugP/L	73.46	69.42	64.07	57.80	51.01
Phytoplankton	ugA/L	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Detritus (POM)	mgD/L	1.29	1.43	1.54	1.61	1.65
Pathogen	cfu/100 mL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Alkalinity	mgCaCO3/L	90.91	91.18	91.93	93.09	94.60
pH	s.u.	7.33	7.21	7.13	7.10	7.12

Downstream Boundary Water Quality (optional)

Temperature C

Conductivity umhos

QUAL2K Headwater Reach Air Temperature Dew Point Temperature Wind Speed Cloud Cover Shade Ra

Ready NUM

Portata
m³s⁻¹

Qualità



Reach Worksheet

Microsoft Excel - qual2kw5.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Type a question for help

G27 fx 0

1 **QUAL2Kw**

2 **Stream Water Quality Model**

3 **Boulder Creek (8/21/1987)**

4 **Reach Data:**

5

6 **Reach for diel plot:** 17 <----- change diel plots to this reach

7

Reach	Downstream	Reach	Downstream	Downstream	Elevation
Label	end of reach label	Number	length (km)	Latitude Longitude	location (km) Upstream (m) Downst (m)
	Headwater	0		40.04 105.20	13.600 1672.000 167
MP 0.4		1	0.42	40.05 105.20	13.175 1674.300 167
		2	0.43	40.05 105.20	12.750 1672.600 166
		3	0.85	40.05 105.19	11.900 1669.200 166
		4	0.85	40.05 105.18	11.050 1665.800 166
		5	0.85	40.05 105.17	10.200 1662.400 165
		6	0.85	40.05 105.16	9.350 1659.425 165
		7	0.85	40.05 105.15	8.500 1656.450 165
MP 3.5		8	0.85	40.05 105.14	7.650 1653.475 165
		9	0.85	40.05 105.13	6.800 1650.500 164
		10	0.85	40.05 105.12	5.950 1647.525 164
		11	0.85	40.06 105.11	5.100 1644.975 164
		12	0.85	40.06 105.10	4.250 1642.425 163
MP 5.6		13	0.85	40.06 105.09	3.400 1639.875 163
		14	0.85	40.07 105.09	2.550 1637.325 163
		15	0.85	40.07 105.08	1.700 1634.775 163
	Above Coal Ck	16	0.85	40.08 105.07	0.850 1632.225 162
Last Segment	Coal Creek	17	0.85	40.08 105.06	0.000 1632.225 162

QUAL2K Headwater Reach Air Temperature Dew Point Temperature Wind Speed Cloud Cover Shade Rat

Ready NUM



Reach Rates Worksheet

Microsoft Excel - qual2kw5.xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Sheets Plots Help Adobe PDF Type a question for help

C10 10.8054893812849

QUAL2Kw
Stream Water Quality Model
Boulder Creek (8/21/1987)
Optional reach-specific rate parameters (leave blank if not used):

Open Old File Run VBA Run Fortran

Reach number	Reach label	Prescribed Reaeration /d	ISS Settling Velocity m/d	Slow CBOD Hydrolysis Rate /d	Fast CBOD Oxidation Rate /d
1	MP 0.4	10.805			
2		10.736			
3		10.600			
4		10.468			
5		10.341			
6		7.611			
7		7.545			
8	MP 3.5	7.480			
9		7.416			
10		20.539			
11		21.444			
12		20.625			
13	MP 5.6	19.882			
14		19.207			
15		18.589			
16		18.020			
17	Last Segment	17.495			

QUAL2K / Headwater / Reach / Reach Rates / Air Temperature / Dew Point Temperature / Wind Speed / Cloud Cover / Sh

Ready NUM



Caso Applicativo

Calcolo del LIM del fiume Arno

LIM da D. Lgs. 152/99

Il Livello di Inquinamento da Macrodescrittori (LIM)

si ottiene sommando i punteggi derivanti dal calcolo del 75° percentile dei sette parametri (macrodescrittori), analizzati con frequenza mensile.

Calcolo del LIM ai sensi del D.Lgs 152/99:

$$\text{LIM} = f(\text{DO}\% ; \text{BOD}_5 ; \text{COD} ; \text{NH}_4 ; \text{NO}_3 ; \text{P}_{\text{tot}} ; \text{E.coli})$$

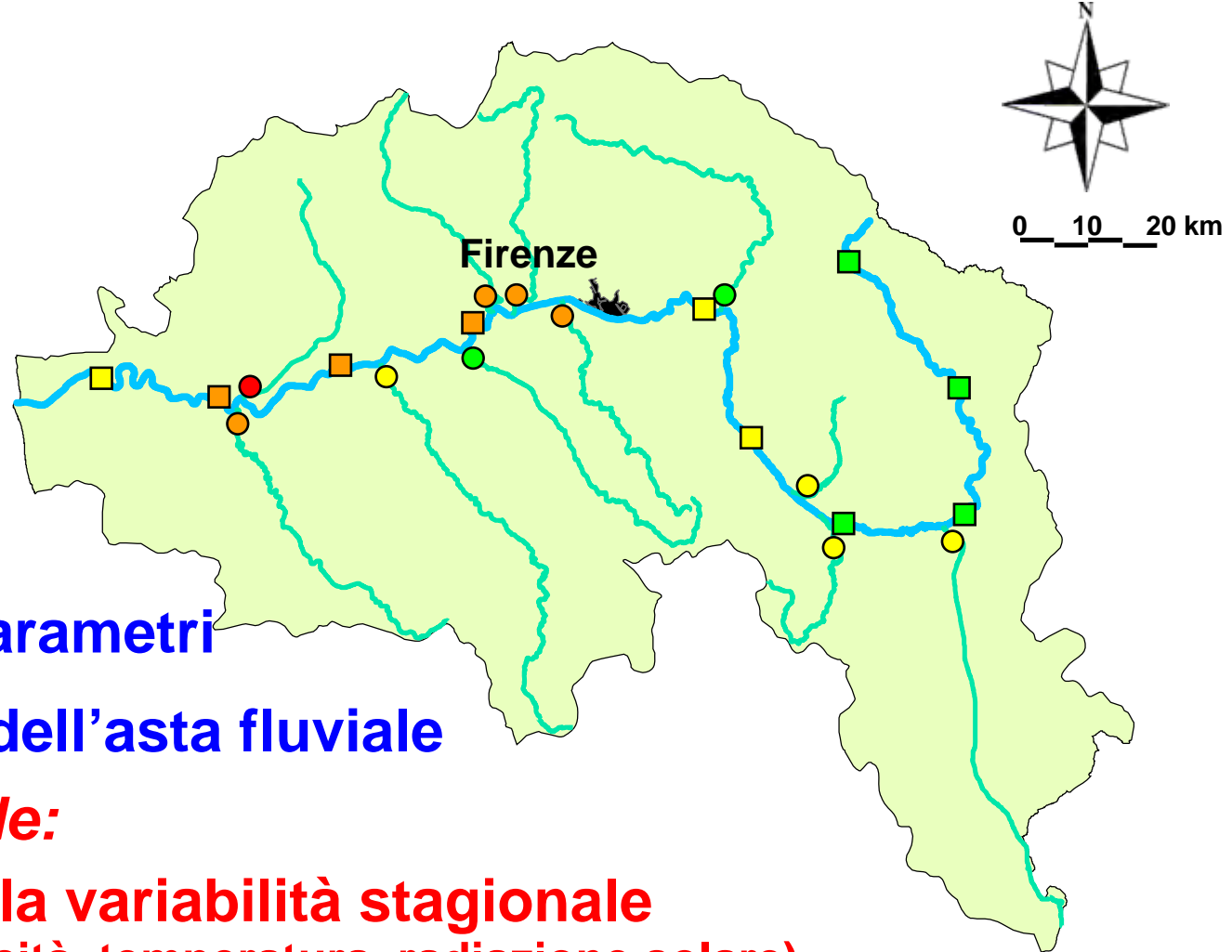
Livello	1	2	3	4	5
Parametro 100-OD (% sat.)	<10	<20	<30	<50	>50
Parametro BOD ₅ (O ₂ mg/L)	<2,5	<4	<8	<15	>15
Parametro COD (O ₂ mg/L)	<5	<10	<15	<25	>25
Parametro NH ₄ (N mg/L)	<0,03	<0,10	<0,50	<1,50	>1,50
Parametro NO ₃ (N mg/L)	<0,3	<1,5	<5,0	<10,0	>10,0
Parametro Fosforo totale (P mg/L)	<0,07	<0,15	<0,30	<0,60	>0,60
Parametro Escherichia coli (UFC/100 mL)	<100	<1000	<5000	<20000	>20000
Punteggio	80	40	20	10	5
LIM	480-560	240-475	120-235	60-115	<60
Giudizio	Ottimo	Buono	Sufficiente	Scarso	Pessimo
Colore attribuito	Blu	Verde	Giallo	Arancio	Rosso



Livello di Inquinamento da Macrodescrittori (LIM)

Punteggi	LIM	Stato
480-560	1	ottimo
240-475	2	buono
120-235	3	sufficiente
60-115	4	scadente
<60	5	pessimo

 LIM Arno 2003
 LIM Affluenti 2003



LIM stagionale:

- Variazioni dei parametri
- Esteso al resto dell'asta fluviale

LIM annuale:

- Trascura la variabilità stagionale (portata, velocità, temperatura, radiazione solare)
- Limitato alle stazioni di monitoraggio




Fasi di lavoro

Modellazione del fiume Arno con QUAL2Kw:

-  Modello di qualità fluviale realizzato da US EPA (Environmental Protection Agency)



Applicazione del modello idraulico HEC-RAS:

-  Modello idraulico per l'analisi dei fiumi realizzato dall'Hydrologic Engineering Center of US Army Corps of Engineers



Realizzazione di una macro Excel in VBA per il calcolo del LIM e trasferimento dati verso l'ambiente GIS di ArcMap 8.1

Definizione di alcuni scenari sui quali vengono valutate le risposte del modello in termini di LIM



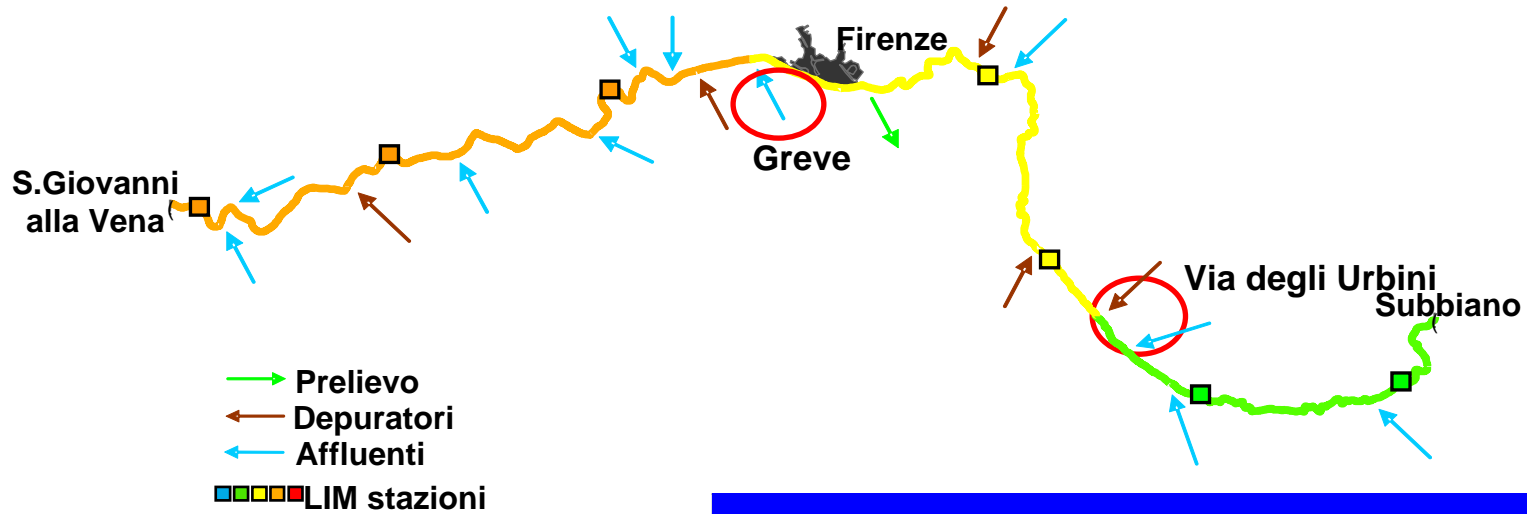
Applicazione di QUAL2Kw al fiume Arno

- 👉 Asta principale: da *Subbiano* a *S.Giovanni alla Vena* (160 km)
- 👉 Suddivisione in *30 tratti* in corrispondenza di sezioni trasversali
- 👉 *Ingressi puntuali*: affluenti principali e impianti di depurazione
- 👉 *Ingressi diffusi*: acque dilavamento e sversamenti multipli
- 👉 *Prelievo*

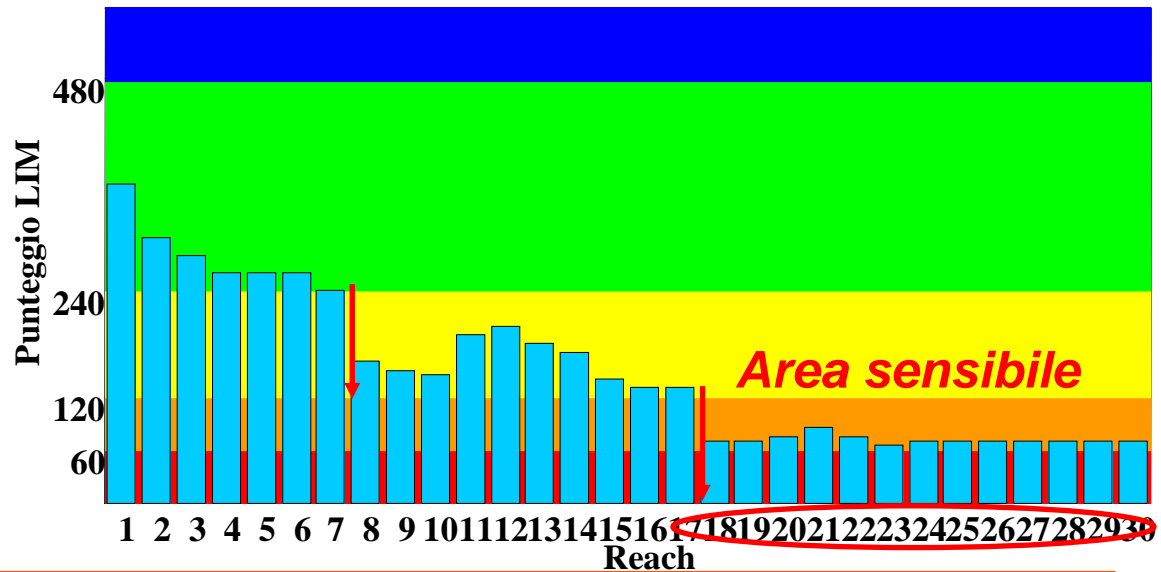


Modello di magra

👉 Dati di qualità e portate medie del *periodo estivo* del 2003-2004

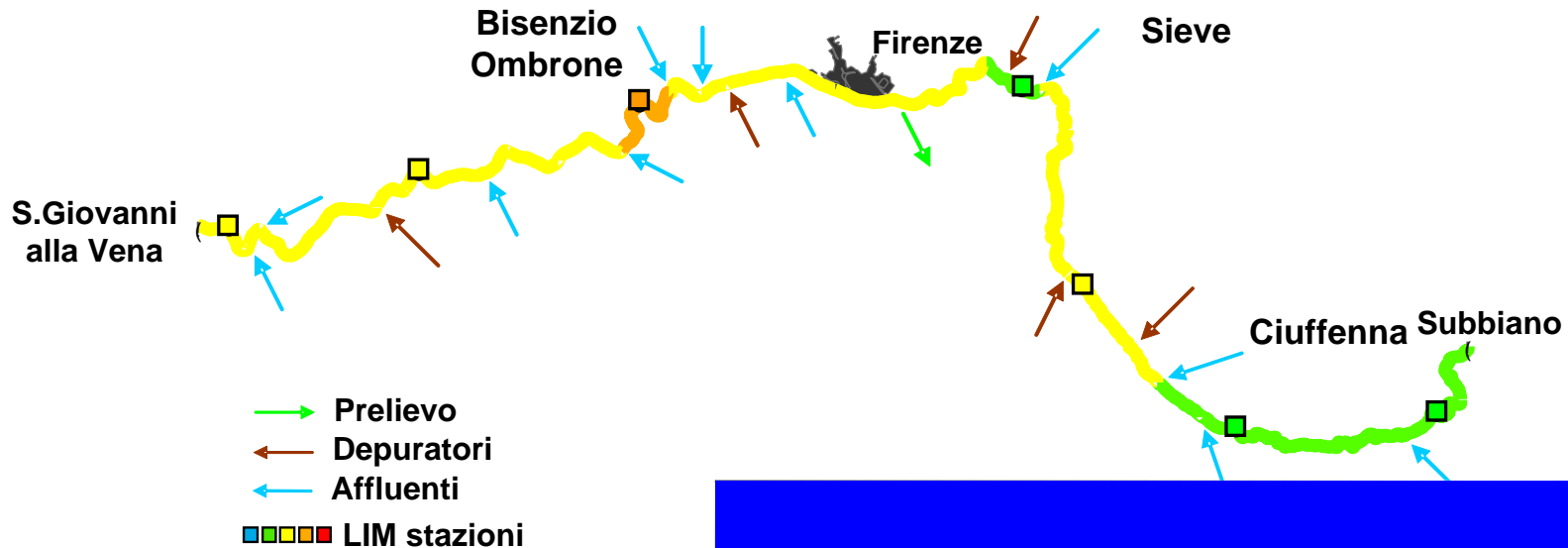


NOME STAZIONE	LIM	
	<i>magra</i>	<i>annuale</i>
Castelluccio	2	2
Ponte Acqua Borra	2	2
Figline	3	3
Rosano	3	2
Camaioni	4	4
Ponte di Fucecchio	4	3
Ponte di Calcinaia	4	3

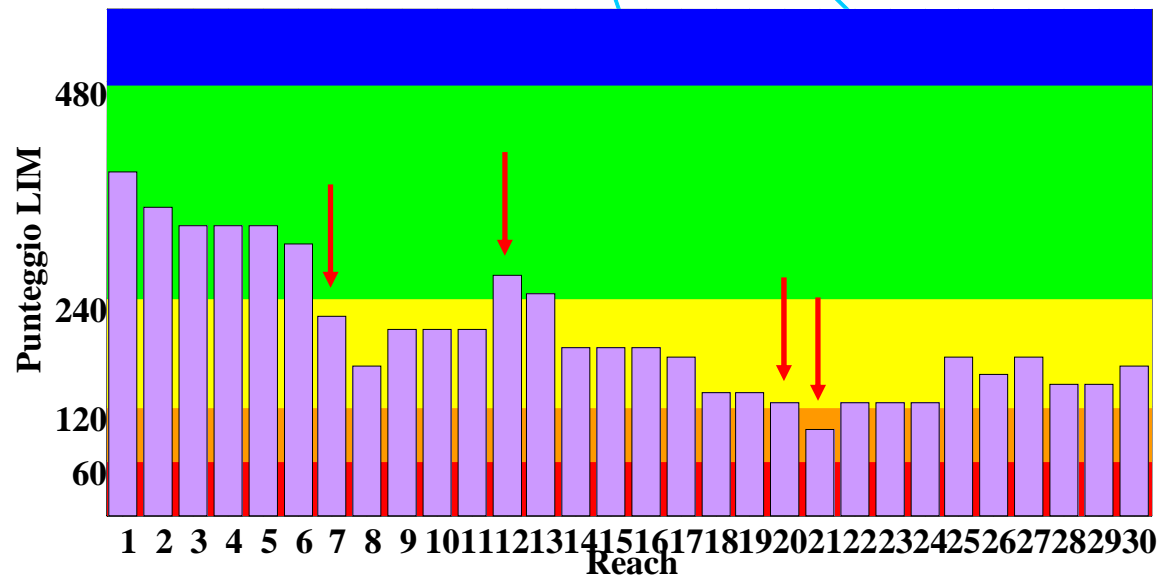


Modello di morbida

☞ Dati di qualità e portate medie del *periodo primaverile ed autunnale* del 2003-2004



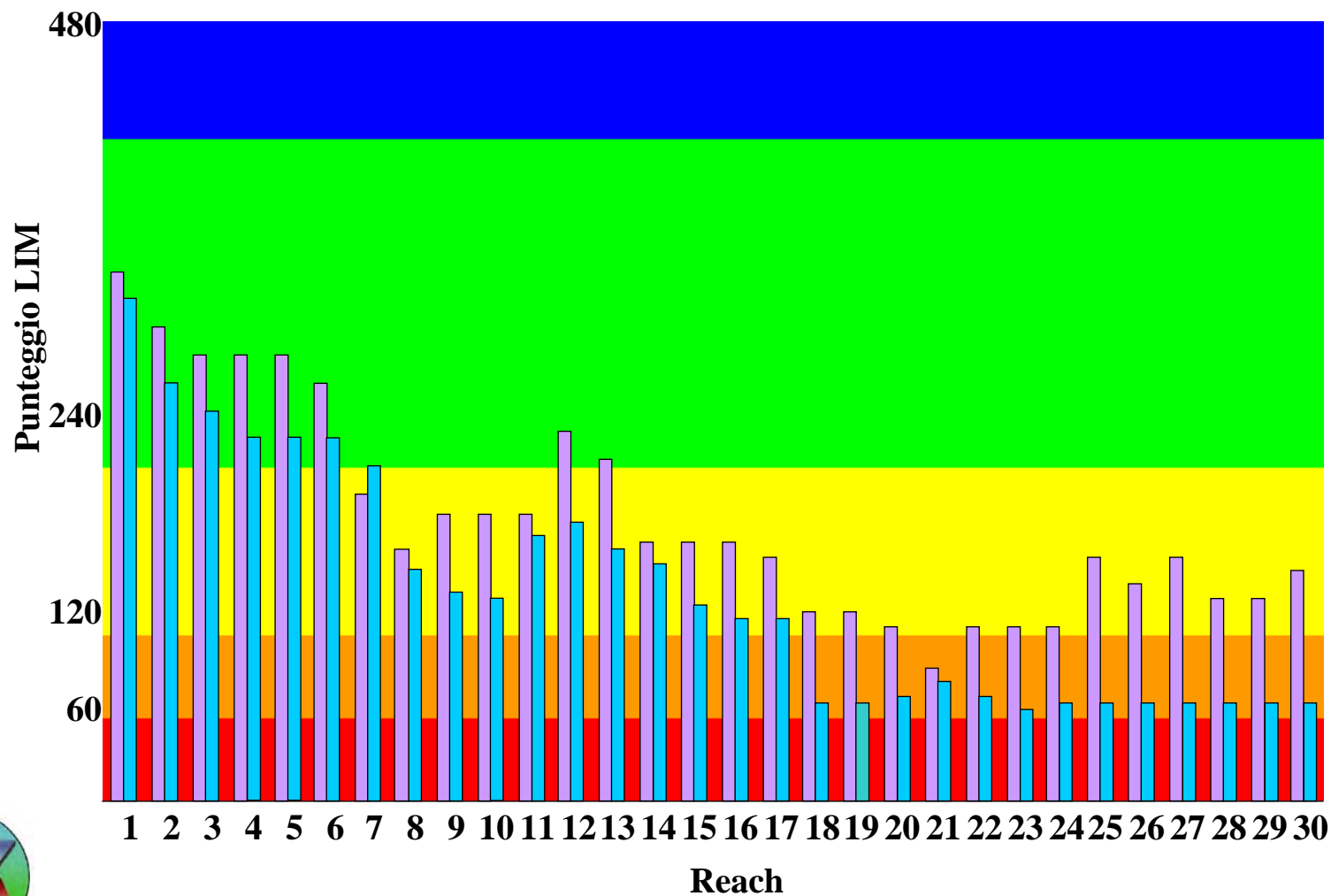
NOME STAZIONE	LIM	
	<i>morbida</i>	<i>annuale</i>
Castelluccio	2	2
Ponte Acqua Borra	2	2
Figline	3	3
Rosano	2	2
Camaioni	4	4
Ponte di Fucecchio	3	3
Ponte di Calcinaia	3	3



Confronto modelli

Morbida

Magra



Valutazione di scenari

☞ Definizione di scenari di possibili interventi nel bacino per valutarne gli **impatti sulla qualità dell'Arno** in termini di LIM:

1) *variazioni della portata della Sieve*

2) *variazioni delle concentrazioni dei macrodescrittori degli ingressi puntuali*

3) *variazioni delle portate degli ingressi diffusi*



Variazioni della portata della Sieve

- ☞ Portata della Sieve di $4.65 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_m+50\%$) nel periodo estivo a Fornacina:
 - ⇒ **stato di qualità buono** a valle della confluenza con l'Arno
 - ⇒ **stato di qualità sufficiente** nei tratti successivi fino alla confluenza con il Bisenzio
 - *stesse classi LIM del modello di morbida*
 - ⇒ portata dell'Arno di $8 \text{ m}^3/\text{s}$ a Rosano (**Deflusso Minimo Vitale** applicando un contributo unitario per superficie di bacino sottesa pari a 1.6 l/s per km^2)



Valutazione degli impianti di depurazione

☞ Rendimenti di abbattimento di **BOD₅**, **COD**, **azoto** e **fosforo totale** dei depuratori presenti lungo l'asta principale:

⇒ numero di AE trattati e $Q_{in}=0.8*Q_{progetto}$

Impianto	BOD ₅	COD	N-tot	P-tot
	% Abbatt.	% Abbatt.	% Abbatt.	% Abbatt.
Via degli Urbini	87.9	83.2	81.3	70.2
Agaccioni	97.1	97.1	98.7	95.5
Aschieto	96.5	95.5	95.0	92.8
S.Colombano	88.6	89.8	80.4	44.9
Cuioidepur	99.9	98.1	98.2	99.7

- Aumento delle percentuali di **abbattimento di BOD₅, COD, N-tot del 5% e 10%**
- Per il **P-tot un abbattimento dell'80%** come richiesto per gli effluenti scaricati in **aree sensibili**



Valutazione degli affluenti

- ☞ Gli affluenti principali essendo corpi recettori di scarichi inquinanti li trasferiscono a loro volta all'Arno
- ☞ Per entrambi i modelli è stato valutato l'impatto degli affluenti **maggiormente inquinati**:
 - ⇒ *Chiana, Ambra, Ciuffenna, Greve, Bisenzio, Ombrone, Elsa, Usciana, Era*
- ☞ Sono state ridotte progressivamente le **concentrazioni dei macrodescrittori degli affluenti da -10% a -50%**



Valutazione dei carichi diffusi

- ☞ Per entrambi i modelli sono state diminuite **le portate dei carichi diffusi fino al 100%**, aumentando le portate degli effluenti dei depuratori:

