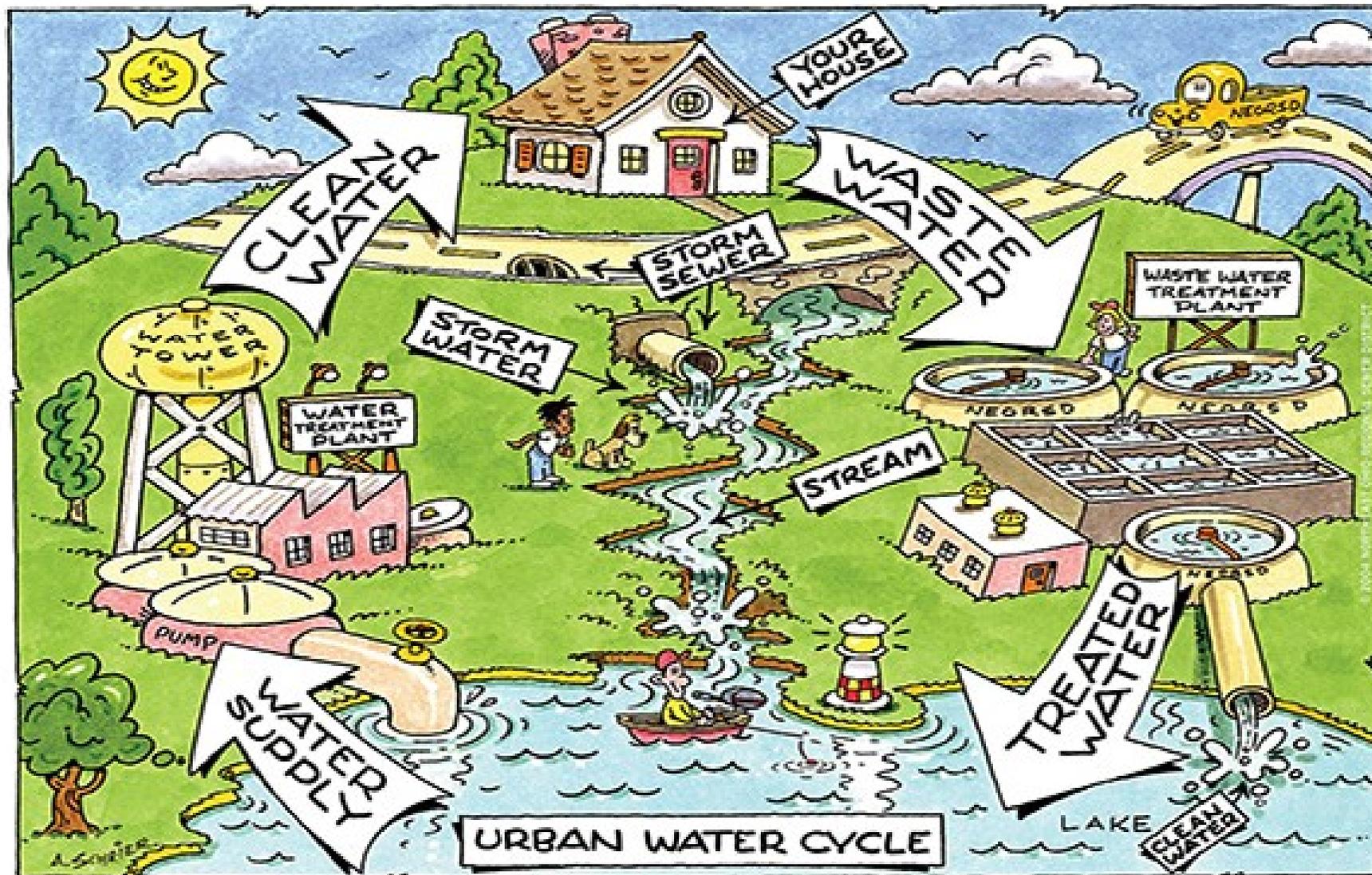
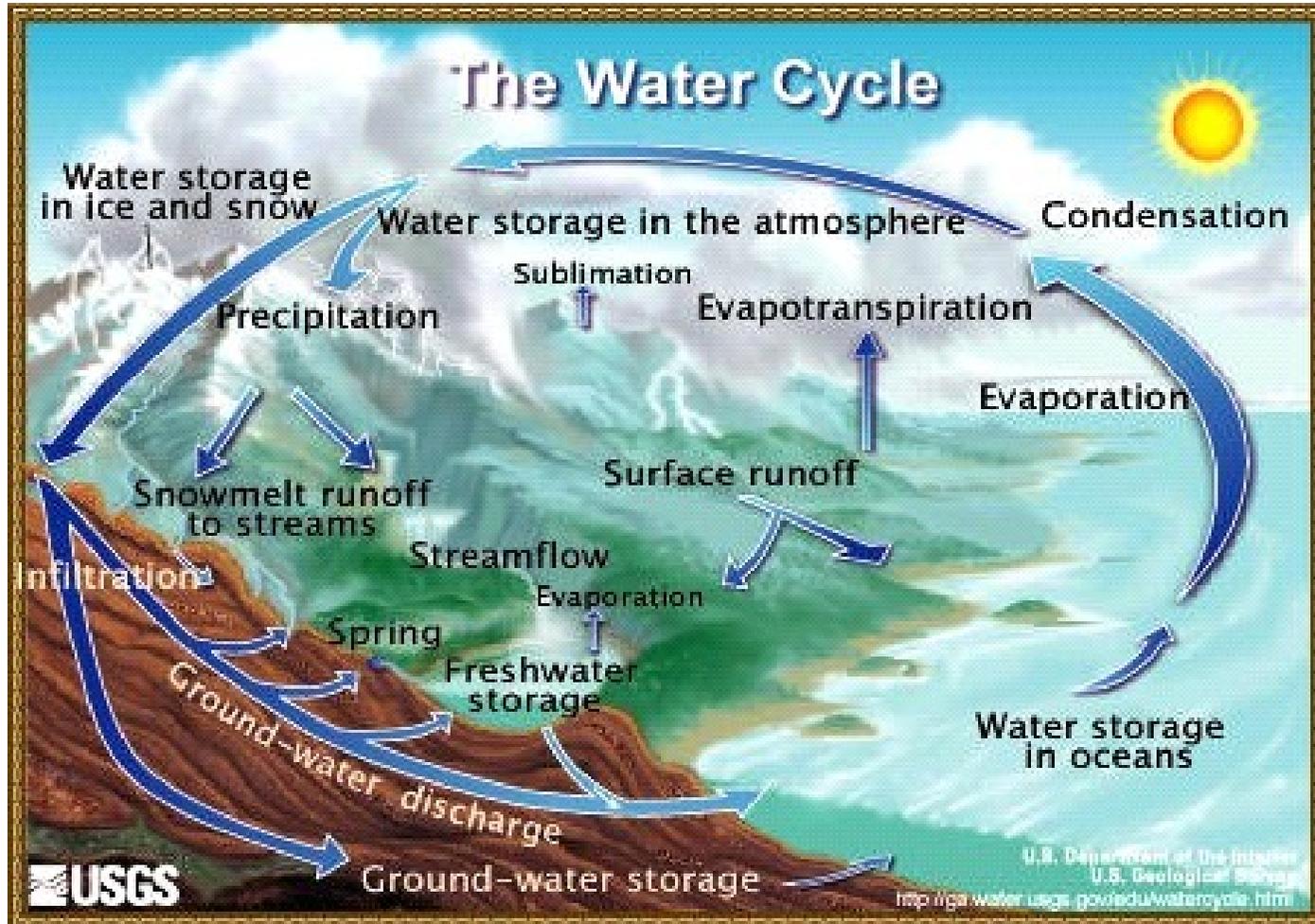


IL CICLO IDROLOGICO URBANO



Il ciclo naturale dell'acqua

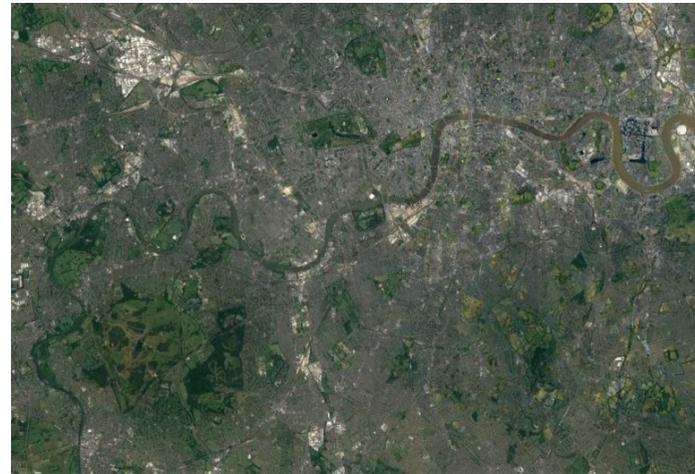


Il ciclo naturale dell'acqua



Il ciclo idrologico urbano

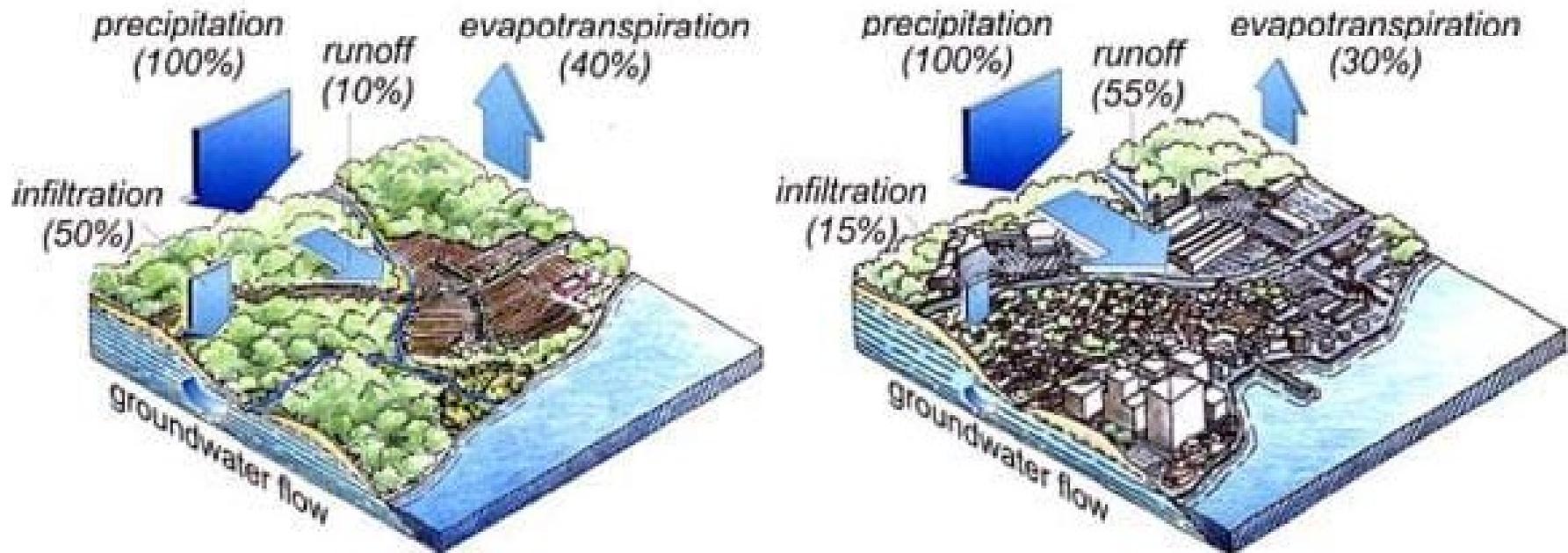
Il ciclo naturale dell'acqua



Il ciclo idrologico urbano

Il ciclo idrologico urbano

In ambiente urbano, il ciclo idrologico dell'acqua risulta alterato da vari fattori, tra cui l'alta percentuale di superfici a bassa permeabilità (terreni compattati o pavimentati), cambiamenti nelle dinamiche di evaporazione, ruscellamento e ricarica delle acque sotterranee.

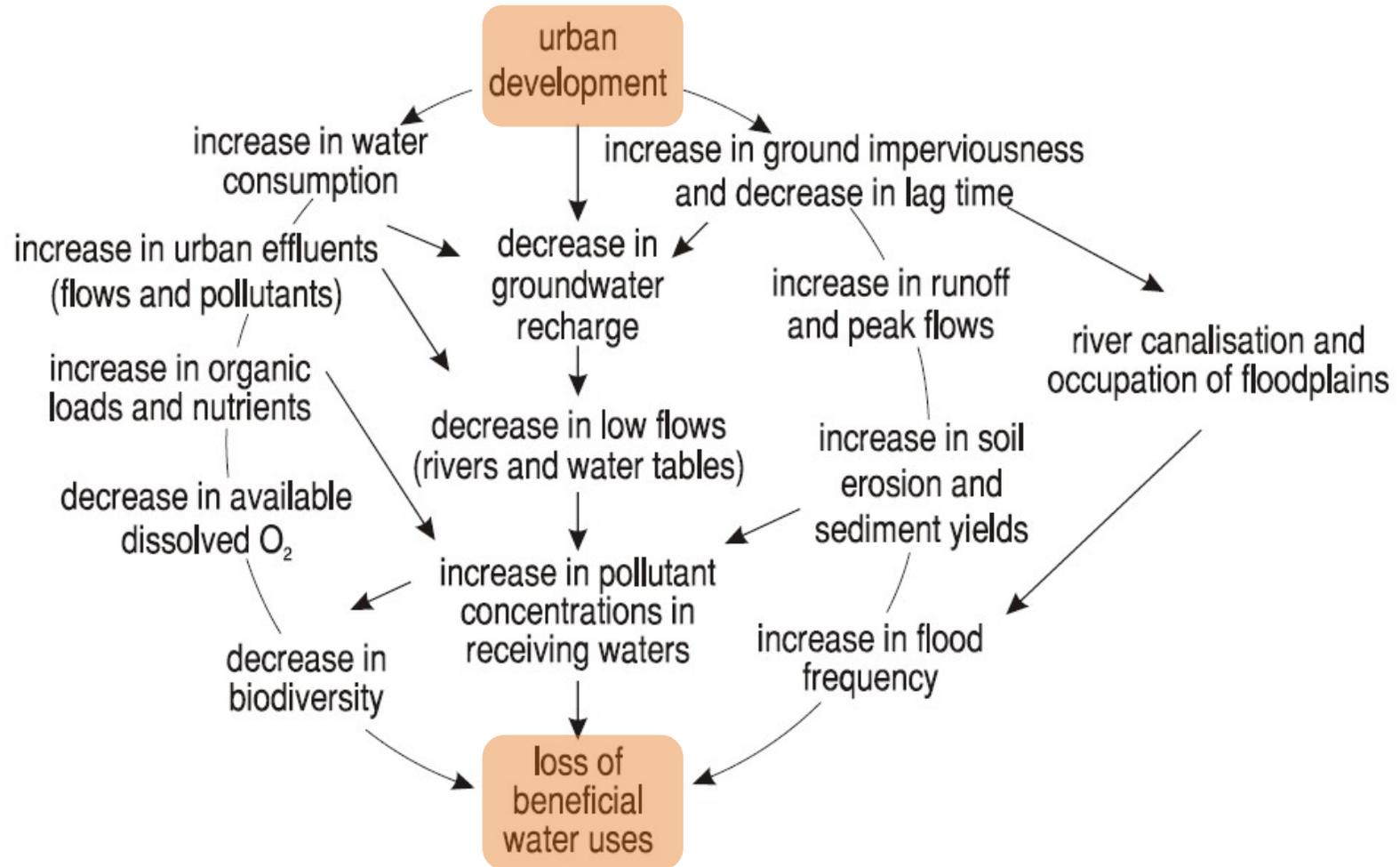


Il ciclo idrologico urbano

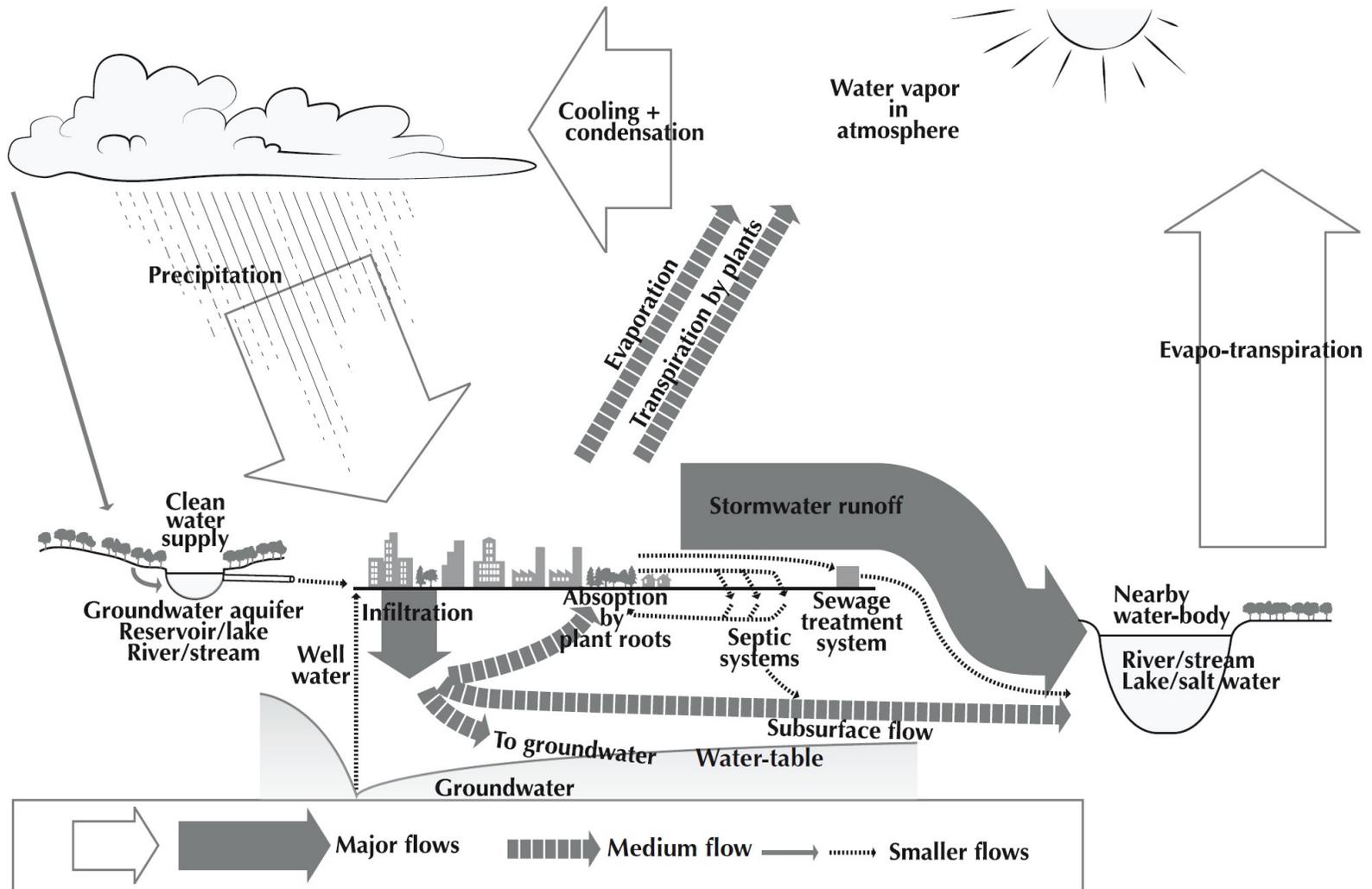
- ✓ Minore **infiltrazione**
- ✓ **Deflusso superficiale** aumenta ed accelera
- ✓ Il **livello di falda** si abbassa per il duplice effetto della mancata ricarica e del pompaggio
- ✓ I pattern di **precipitazione** cambiano



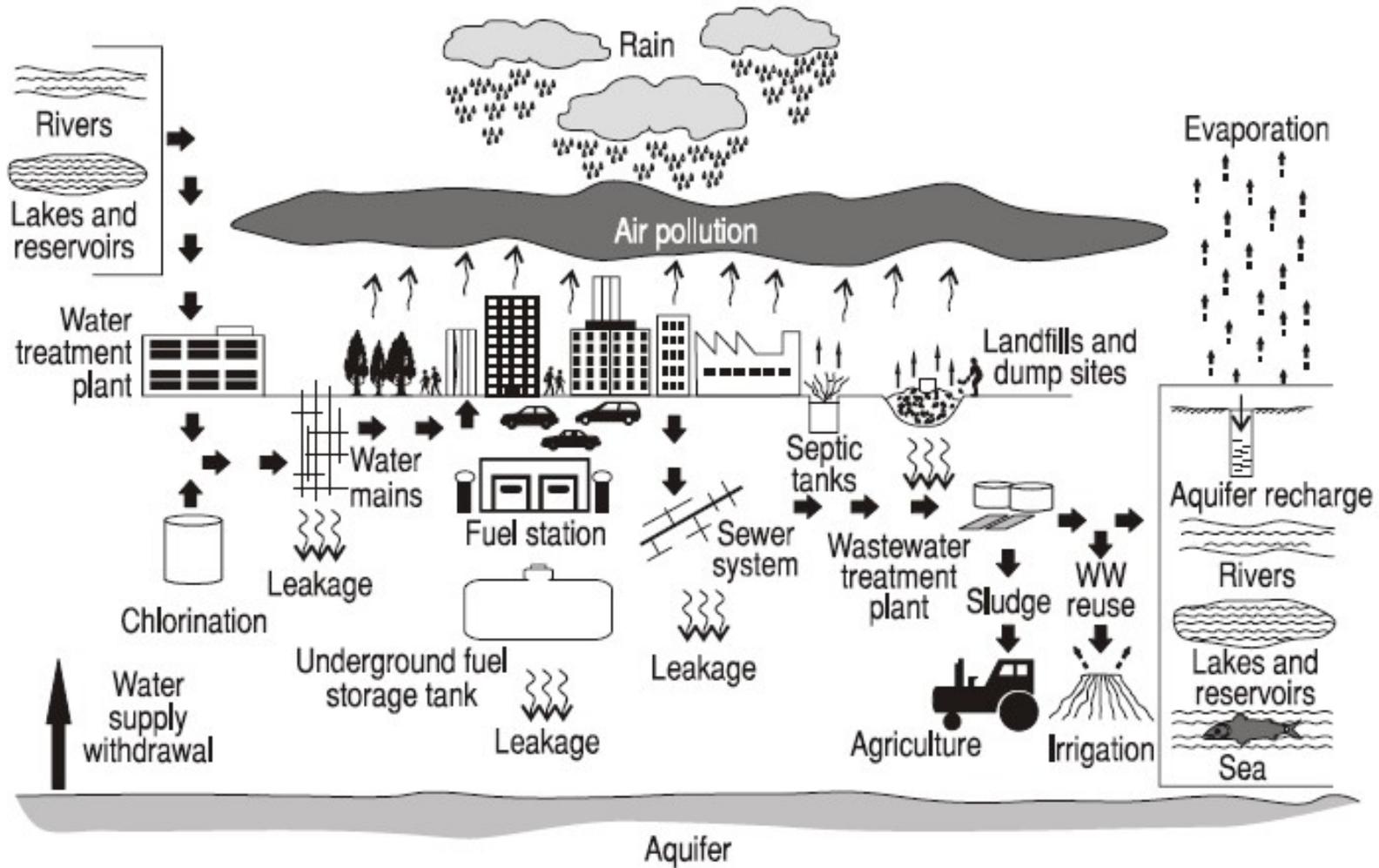
Il ciclo idrologico urbano



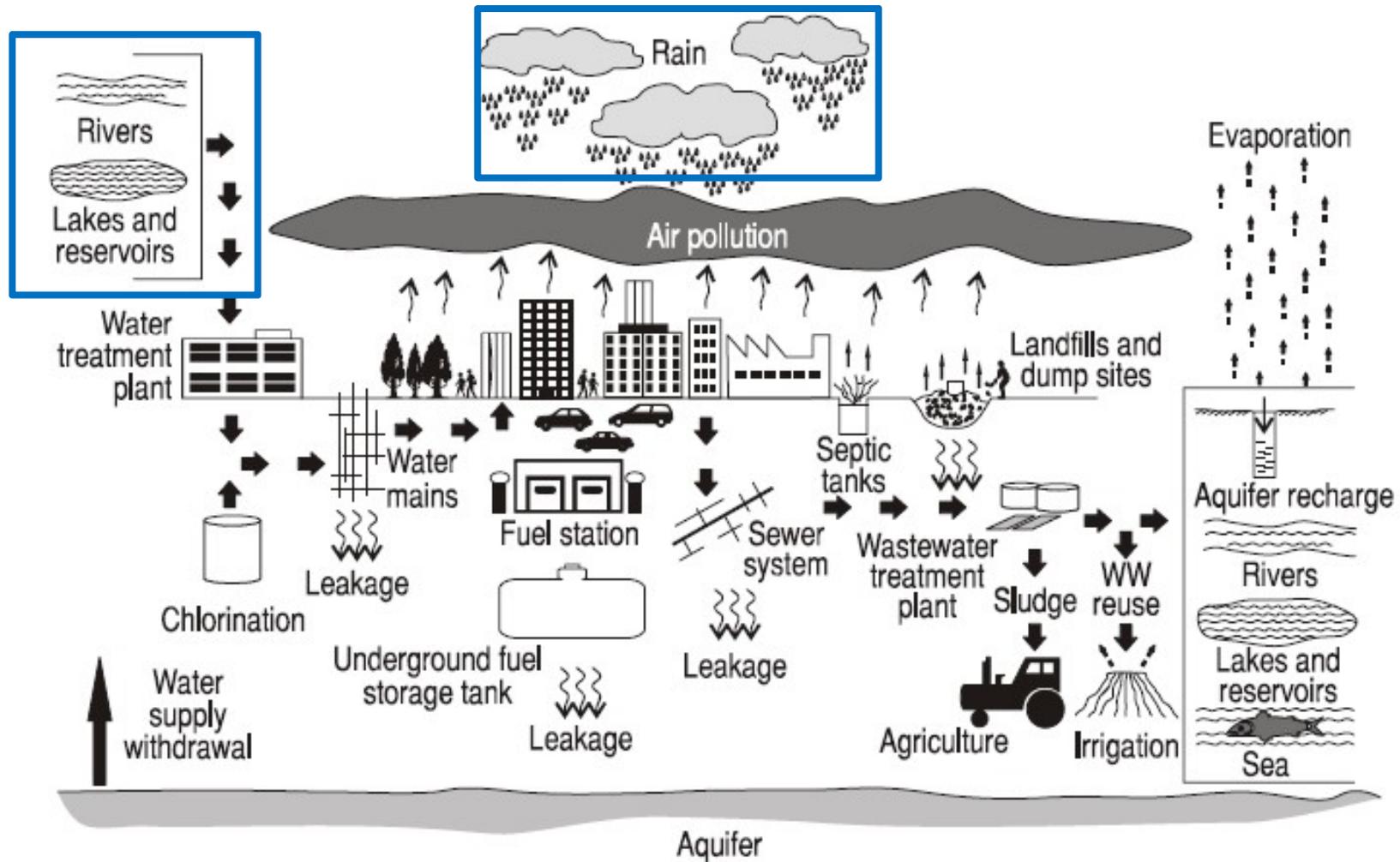
Il ciclo idrologico urbano



Il ciclo idrologico urbano



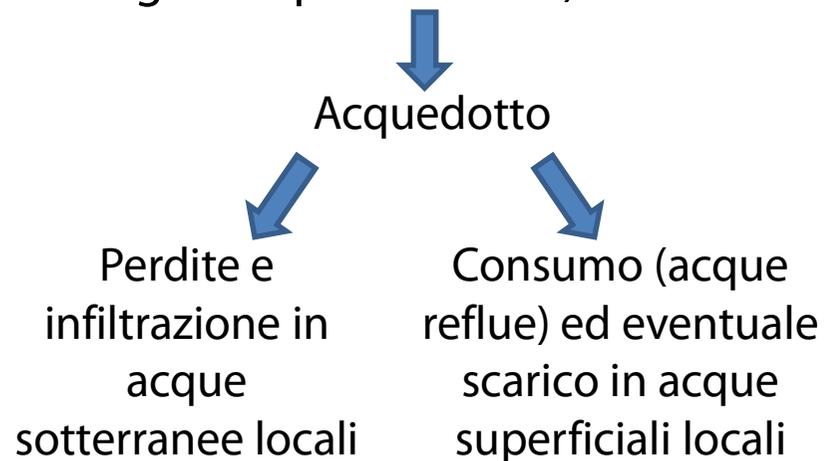
Il ciclo idrologico urbano



Il ciclo idrologico urbano

Captazione e adduzione

L'acqua distribuita dalla rete idrica urbana può provenire da aree anche molto lontane dalla città, in quantità variabili in base alla locale richiesta d'acqua per usi domestici, commerciali, industriali, ecc. (50-700 L al giorno per abitante).



Istanbul (14 milioni di abitanti) viene rifornita d'acqua da fonti collocate a 180 km di distanza.



Il ciclo idrologico urbano

Precipitazioni

L'acqua che precipita (in varie forme) nelle aree urbane interagisce con **inquinanti atmosferici** (particolato, aerosol, gas) e genera un elevato ruscellamento superficiale, mentre l'infiltrazione nel suolo è limitata.

Le megalopoli influenzano il **microclima locale** (cambiamento in bilancio di energia e calore, inquinamento dell'aria, emissione di gas serra, alterazione della circolazione atmosferica), alterando quindi il **pattern di precipitazione**.



Il ciclo idrologico urbano

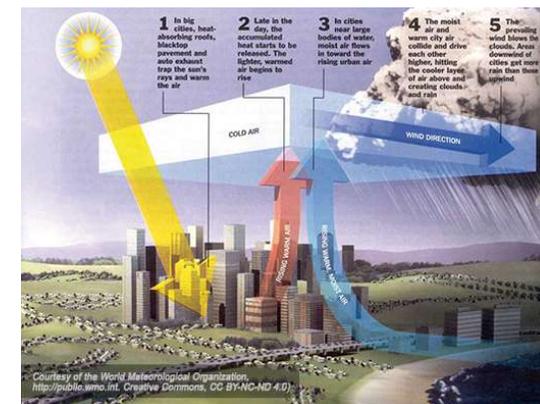
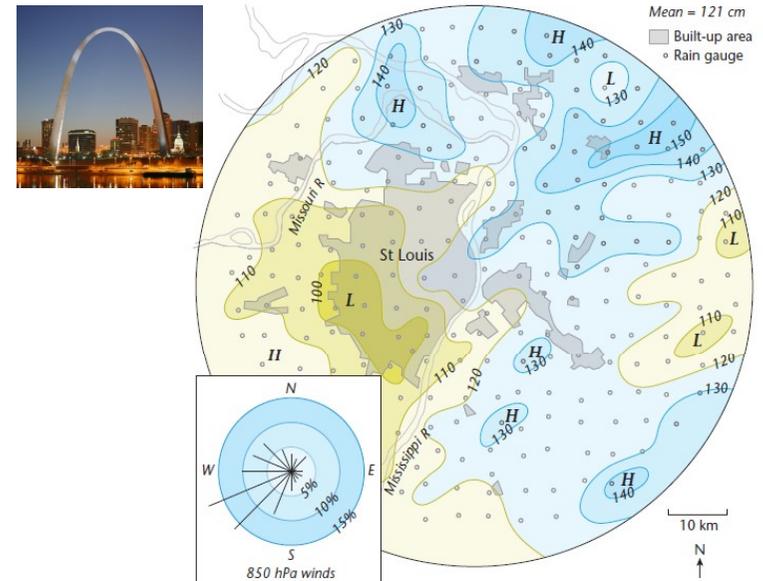
Precipitazioni

- precipitazioni più frequenti ed intense sopra e sottovento alla città durante l'estate (piogge convettive)
- maggiore incidenza di tempeste convettive che generano fulmini, tuoni, grandine vicino alle città. Durante i giorni feriali, i fulmini sono più frequenti.

- effetto isola di calore
- rugosità urbana
- aerosol

L'entità delle precipitazioni su grandi aree urbane è 5-10% maggiore rispetto ad aree circostanti (fino a 30% per singolo evento).

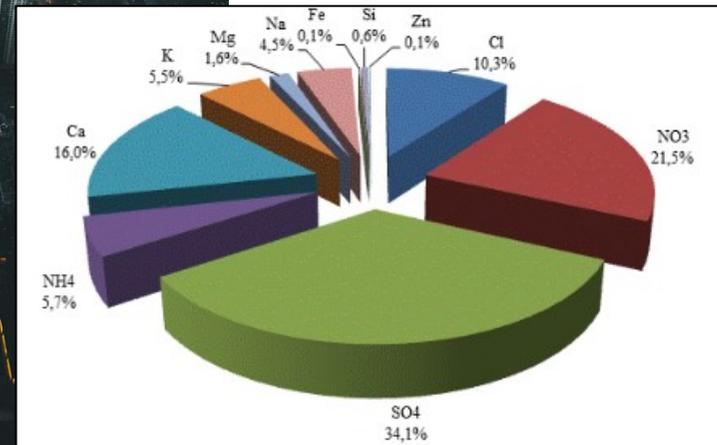
St. Louis (Missouri, USA)



Il ciclo idrologico urbano

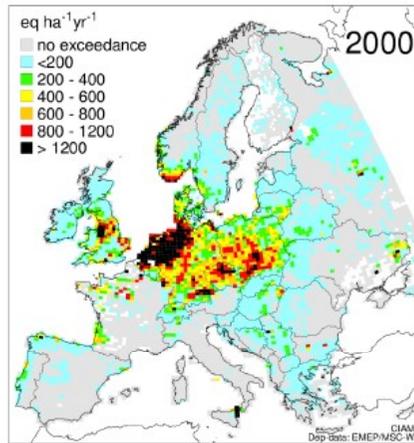
Precipitazioni

Acqua di pioggia
+
Inquinamento
atmosferico
=
Deposizione
umida

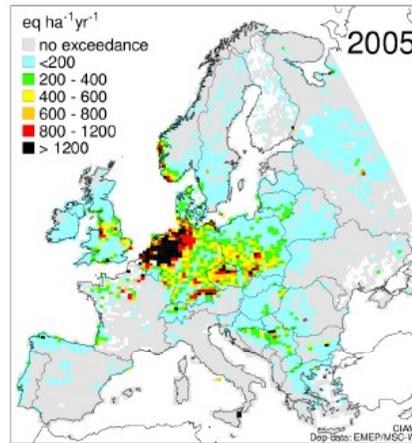


Il ciclo idrologico urbano

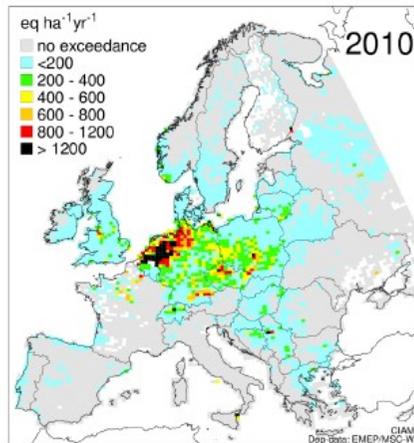
Precipitazioni in Europa



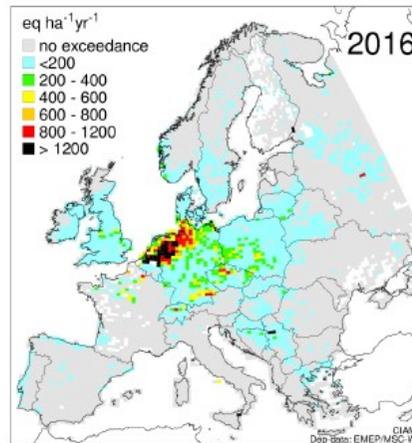
(a) Acidification, 2000



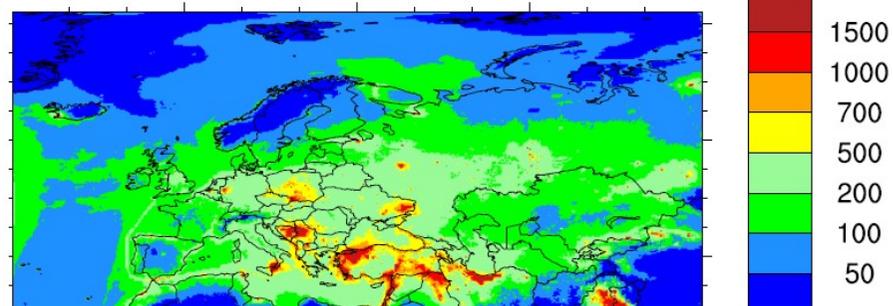
(b) Acidification, 2005



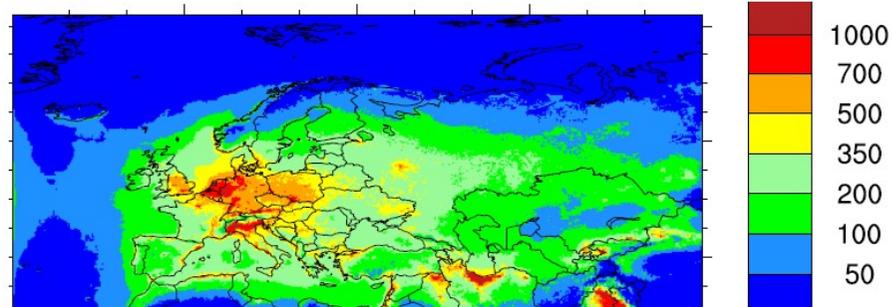
(c) Acidification, 2010



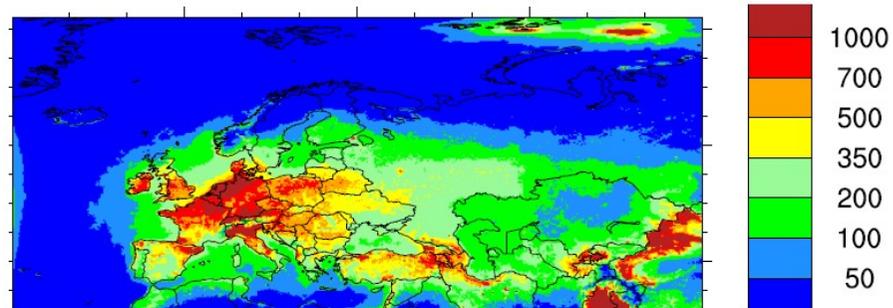
(d) Acidification, 2016



(a) oxidized S



(b) oxidized N



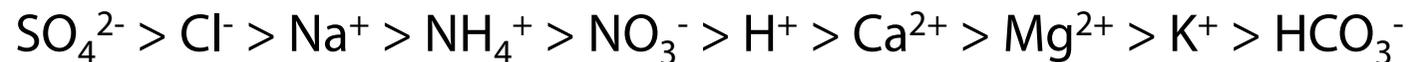
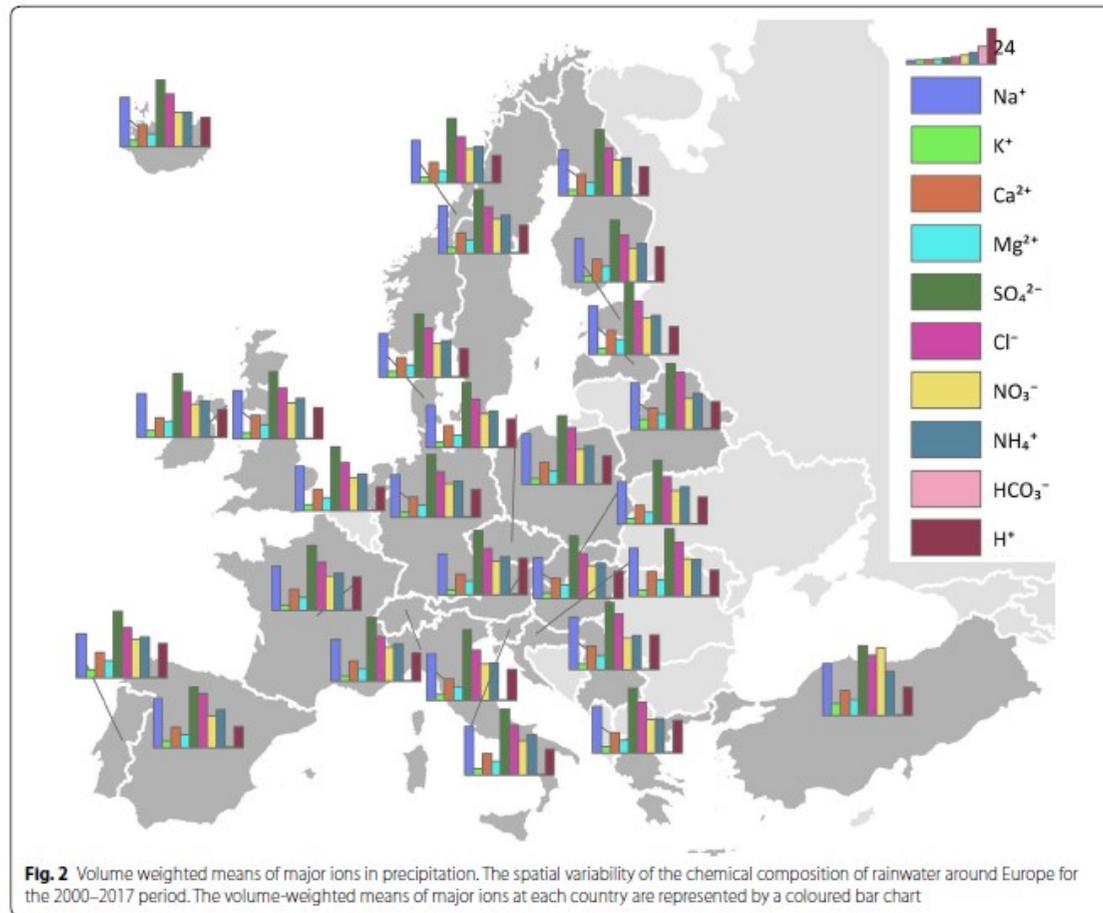
(c) Reduced N

Figure 2.14: Deposition of sulphur and nitrogen [mgS(N)m⁻²] in 2016.

Il ciclo idrologico urbano

Precipitazioni in Europa

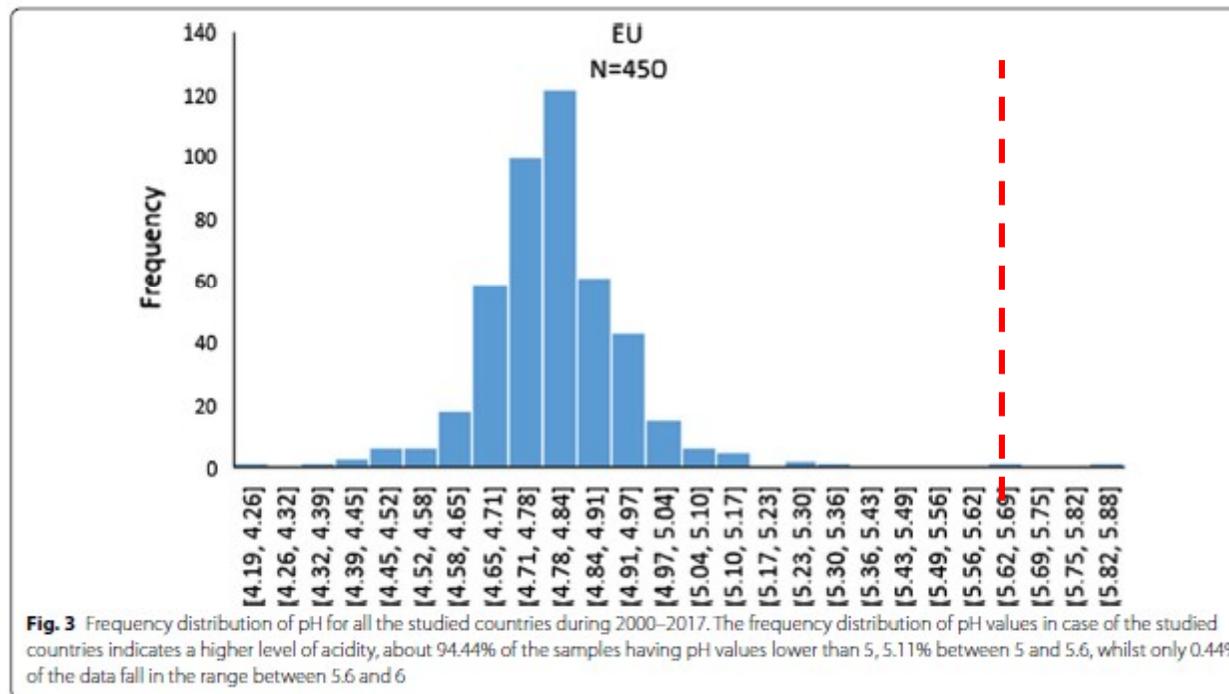
Composizione media delle precipitazioni in Europa nel periodo 2000-2017



Il ciclo idrologico urbano

Precipitazioni in Europa

Valori medi di pH delle precipitazioni in Europa nel periodo 2000-2017



Acidi forti: HCl, HBr, HI, HNO₃, H₂SO₄, HClO₄, acidi organici

Il ciclo idrologico urbano

Precipitazioni in Europa

$$EF_{\text{seawater}} = [X/Na^+]_{\text{rainwater}}/[X/Na^+]_{\text{seawater}},$$

$$EF_{\text{crust}} = [X/Ca^{2+}]_{\text{rainwater}}/[X/Ca^{2+}]_{\text{crust}},$$

La composizione chimica dell'acqua di pioggia è influenzata principalmente da sorgenti antropogeniche, spray marino, attività vulcanica, materiale biologico e polvere terrestre da weathering.

Table 1 Enrichment factors for sea salt and soil components relative to rainwater

	EF _{seawater}					EF _{crust}				
	Cl ⁻ / Na ⁺	K ⁺ / Na ⁺	Ca ²⁺ / Na ⁺	Mg ²⁺ / Na ⁺	SO ₄ ²⁻ / Na ⁺	Cl ⁻ / Ca ²⁺	K ⁺ / Ca ²⁺	Na ⁺ / Ca ²⁺	Mg ²⁺ / Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻ / Ca ²⁺
Austria	1.29	5.79	14.85	1.77	18.06	738.01	0.46	3.33	1.23	172.22
Belarus	1.11	10.81	11.54	1.55	11.68	1090.18	1.13	4.84	1.58	199.88
Croatia	1.02	5.87	12.17	1.51	11.67	722.55	0.50	3.52	1.20	148.49
Czech Rep.	1.04	6.25	12.12	1.33	13.66	764.52	0.53	3.52	1.03	170.94
Denmark	1.08	6.66	11.06	1.33	13.49	858.23	0.62	3.87	1.12	183.65
Estonia	0.94	6.09	12.17	1.66	12.07	741.85	0.55	3.73	1.37	162.47
Finland	0.91	5.86	11.20	1.29	12.11	727.14	0.54	3.78	1.08	164.61
France	0.95	5.93	11.62	1.37	12.48	740.59	0.53	3.69	1.11	164.43
Germany	0.93	6.13	11.64	1.37	12.52	716.60	0.54	3.64	1.10	163.60
Greece	1.00	7.33	11.14	1.34	14.20	802.12	0.66	3.98	1.13	190.45
Hungary	0.94	6.40	12.00	1.45	13.02	714.80	0.55	3.55	1.17	167.17
Iceland	0.90	6.56	11.33	1.27	12.05	754.74	0.64	3.92	1.08	162.83
Ireland	0.91	7.65	10.57	1.75	12.08	769.16	0.71	3.98	1.50	174.15
Italy	0.94	6.35	11.41	1.40	12.44	778.61	0.61	4.01	1.19	175.54
Latvia	0.96	6.32	12.34	1.53	12.74	716.91	0.54	3.55	1.14	160.32
Norway	0.94	6.53	11.74	1.32	12.88	726.41	0.58	3.65	1.07	167.90
Poland	0.95	5.75	11.01	1.27	11.96	763.16	0.53	3.76	1.08	164.90
Portugal	0.99	9.04	14.26	1.89	12.58	682.75	0.67	3.23	1.27	144.30
Serbia	0.94	5.68	10.88	1.25	11.13	784.42	0.54	3.92	1.09	157.94
Slovakia	0.97	6.27	11.05	1.35	13.02	797.72	0.59	3.88	1.15	180.18
Slovenia	0.88	6.03	10.73	1.33	11.43	747.90	0.58	4.00	1.17	161.96
Spain	1.01	6.67	10.25	1.23	10.69	853.01	0.66	4.18	1.12	157.65
Sweden	0.86	5.81	12.59	1.42	12.96	714.06	0.55	4.03	1.15	165.51
Switzerland	0.94	5.82	11.81	1.33	12.90	711.91	0.51	3.59	1.06	166.21
Netherlands	0.92	6.37	11.32	1.34	11.96	727.58	0.57	3.70	1.10	161.74
Turkey	0.99	13.55	12.02	1.50	11.72	773.77	1.24	3.70	1.18	151.19
UK	0.91	5.69	11.87	1.33	12.00	715.31	0.51	3.68	1.08	155.88

Marine and crustal enrichment factors (EFs) were applied to identify and examine the sources and contributions of major ions in rainwater

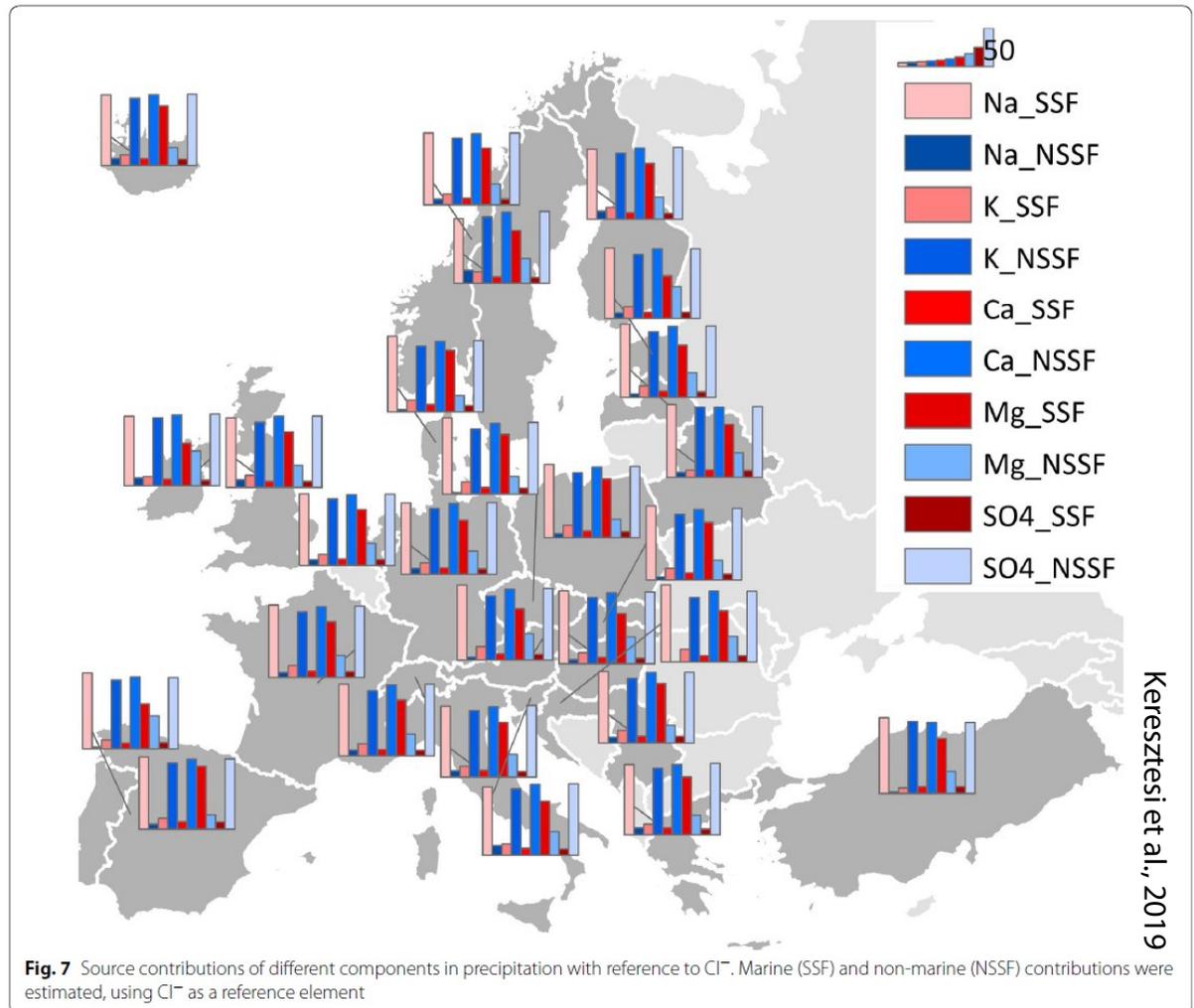
Il ciclo idrologico urbano

Precipitazioni in Europa

Il contributo relativo da sali marini (SSF) e da altre sorgenti (NSSF) può essere definito usando Cl⁻ come tracciante del contributo marino

$$\% \text{SSF} = \frac{100 * (\text{Cl})_{\text{rain}} * \left(\frac{X}{\text{Cl}}\right)_{\text{sea}}}{(X)_{\text{rain}}},$$

$$\% \text{NSSF} = 100 - \text{SSF},$$



Il ciclo idrologico urbano

Precipitazioni in Europa

SO₄, NO₃: attività industriali e traffico

NH₄, K: combustione di biomassa, incendi, attività agricole (fertilizzanti)

Mg, Ca: sorgenti crostali, cave e cementifici

Na, Cl: contributi marini

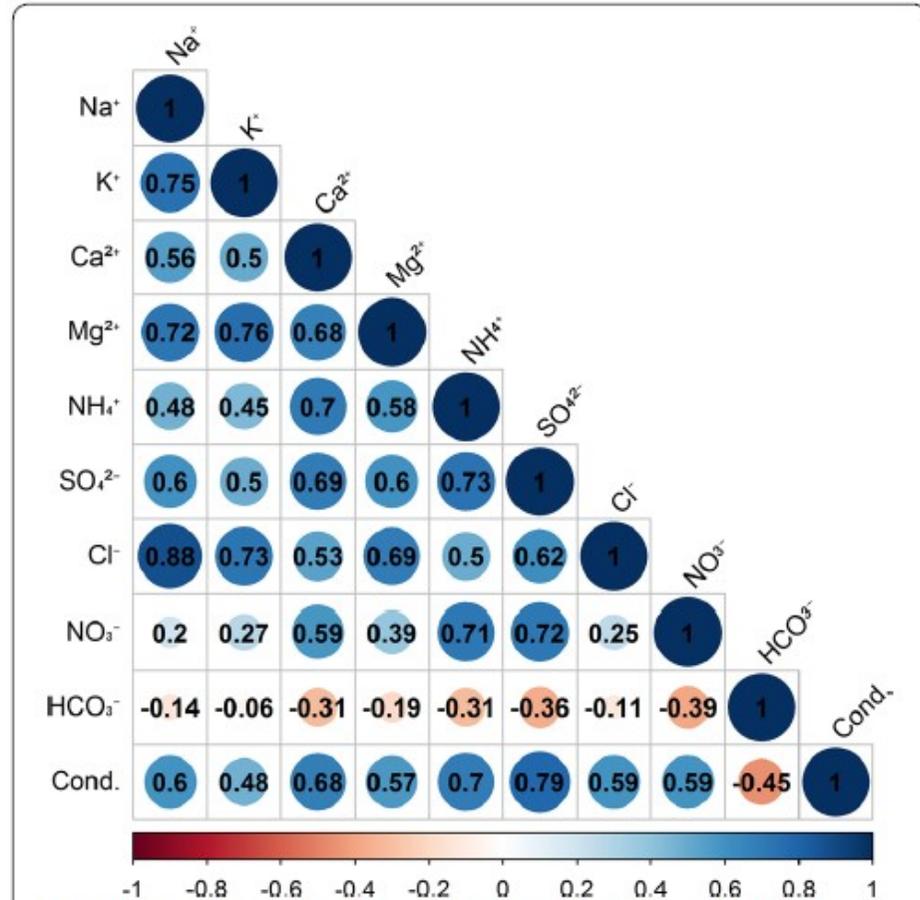
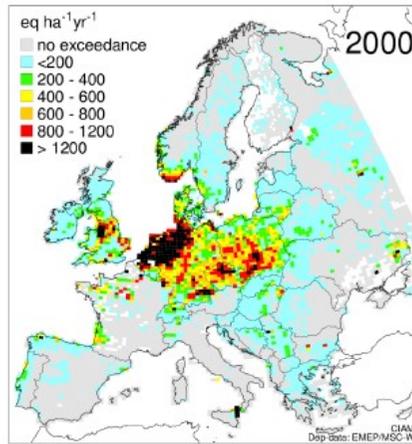


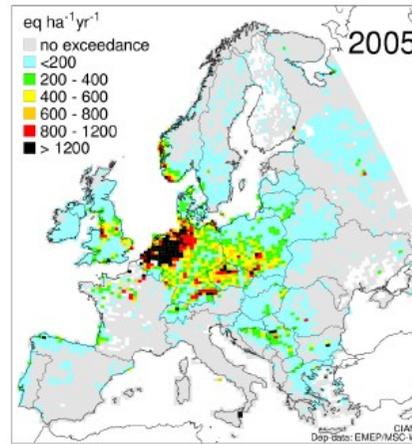
Fig. 8 Spearman correlation coefficients for ionic constituents in precipitation for all the studied countries. To determine the origin of major anions and cations in rainwater collected at the studied regions, and to apportion the sources and potential linkages, the Spearman rank correlation analysis was performed for each country and for the entire database, considering a correlation significant, if $R > 0.50$ at 95% confidence level

Il ciclo idrologico urbano

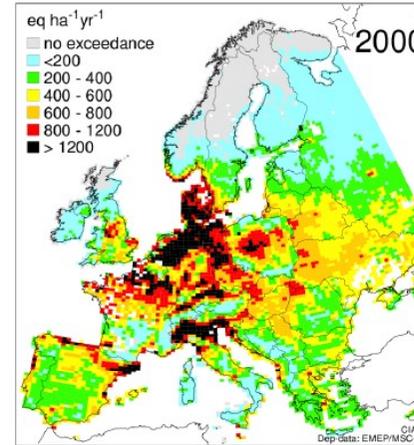
Precipitazioni in Europa



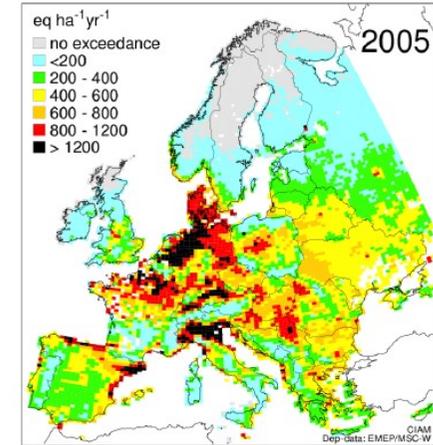
(a) Acidification, 2000



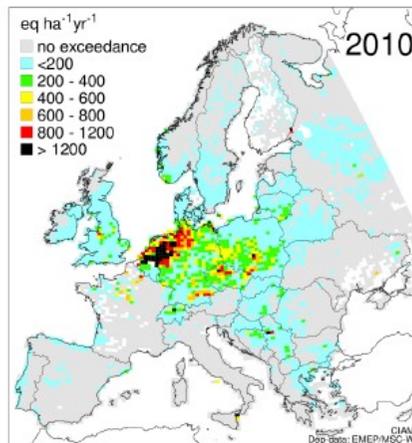
(b) Acidification, 2005



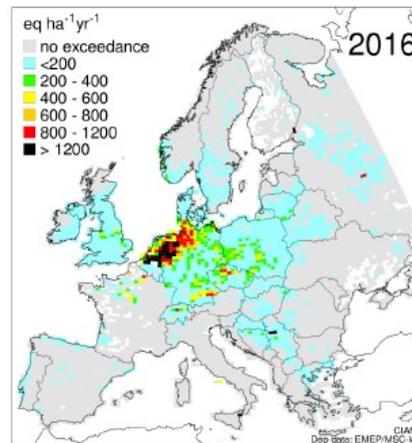
(a) Eutrophication, 2000



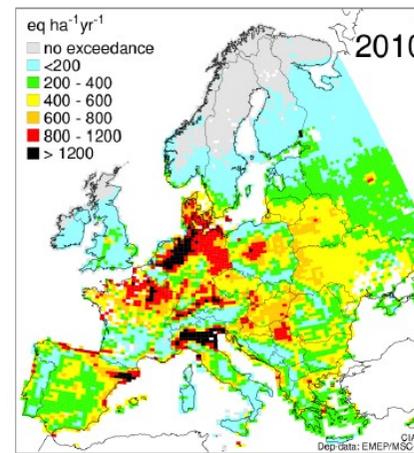
(b) Eutrophication, 2005



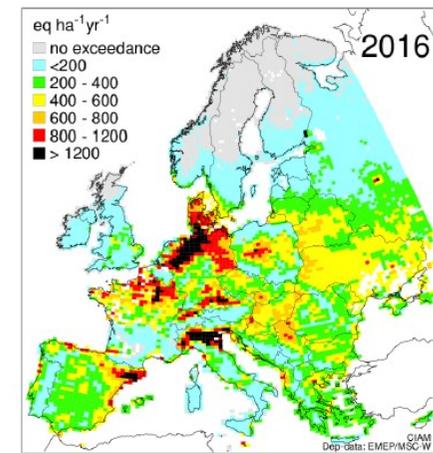
(c) Acidification, 2010



(d) Acidification, 2016



(c) Eutrophication, 2010



(d) Eutrophication, 2016

Il ciclo idrologico urbano

Precipitazioni in Europa

Priority metals (WFD):

- Cd: usi urbani/industriali, fertilizzanti agricoli
- Pb: usi urbani/industriali
- Hg: usi urbani/industriali
- Ni: usi industriali

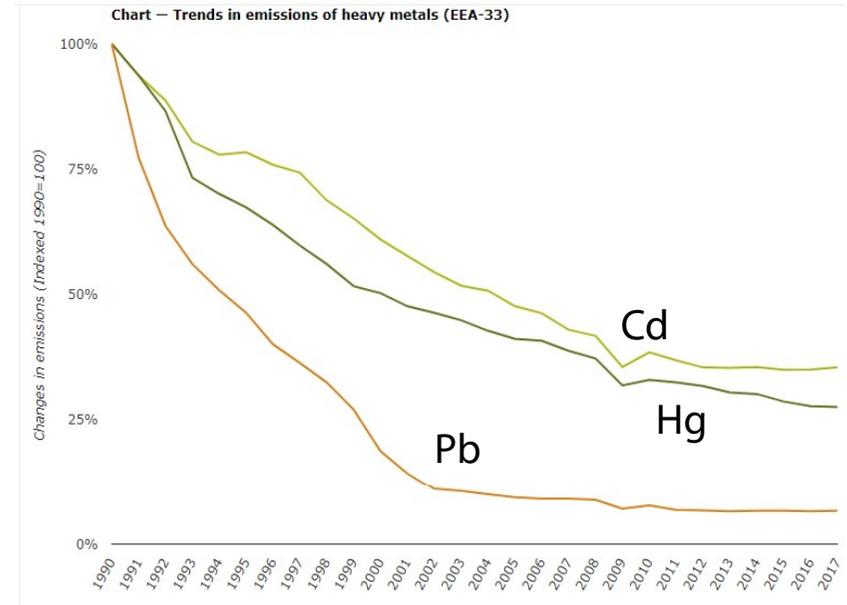
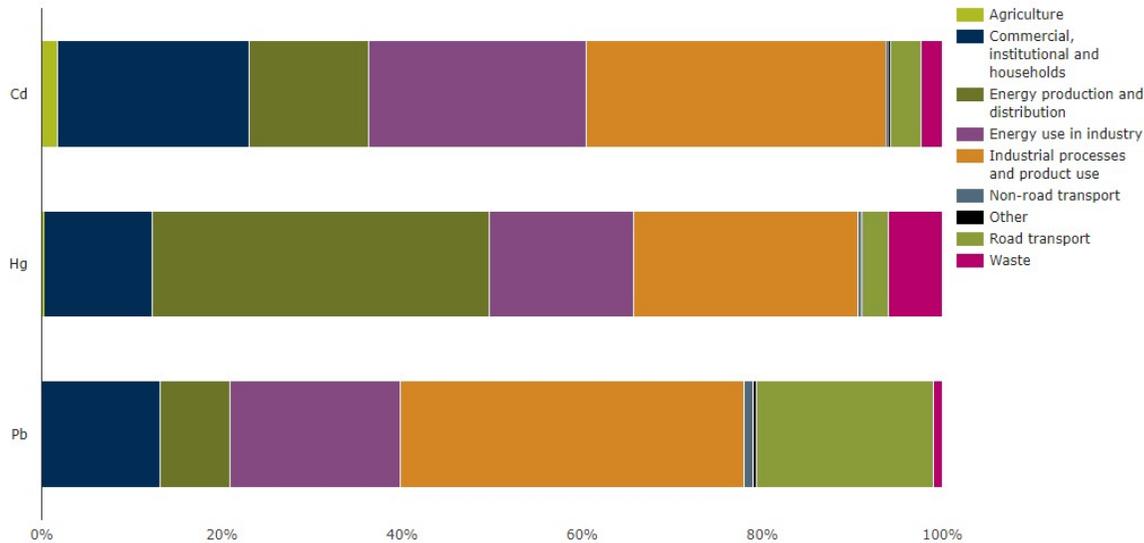
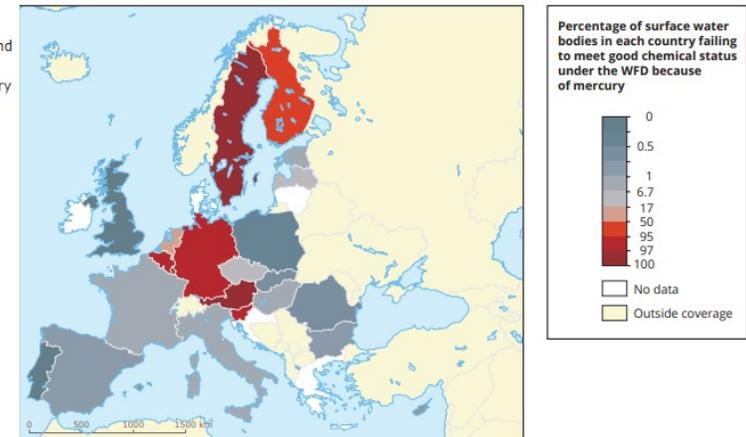


Chart – Sector split of emissions of selected heavy metals (EEA-33)



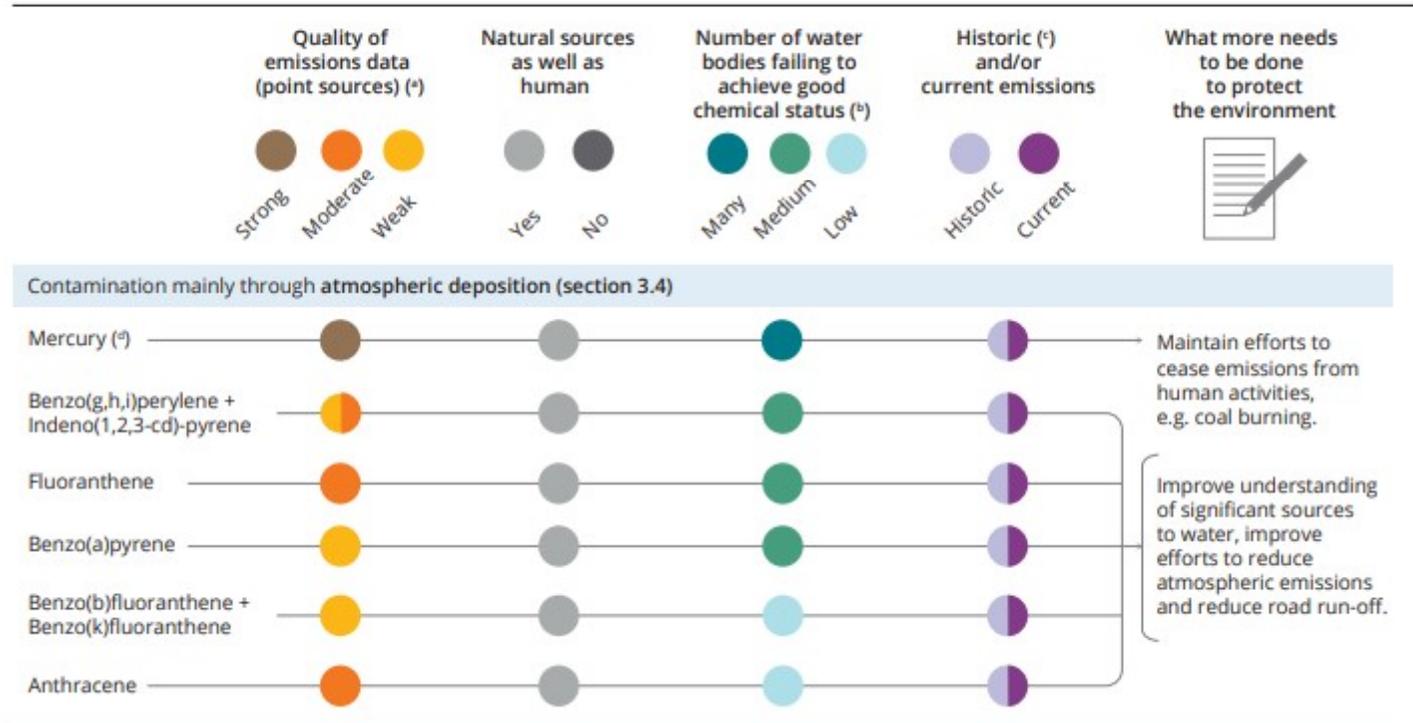
Map 3.1 Impact of mercury on chemical status of surface water bodies



Il ciclo idrologico urbano

Precipitazioni in Europa

Table 5.3 Effectiveness of controls to prevent chemicals reaching the aquatic environment from point sources



Il ciclo idrologico urbano

Evaporazione ed evapotraspirazione

- le più alte temperature in città determinano tassi di evaporazione maggiori del 5-20% rispetto alle aree circostanti.
- la riduzione di aree verdi comporta una minore evapotraspirazione



Il ciclo idrologico urbano

Infiltrazione

- aumento dell'impermeabilizzazione
- compattazione del suolo
- presenza di sistemi di drenaggio artificiali

} Minore infiltrazione

- Ridotta umidità del suolo
- Ridotta ricarica delle acque sotterranee
- Ridotto flusso di base dei corsi d'acqua
- Maggiore runoff superficiale



Il ciclo idrologico urbano

Infiltrazione

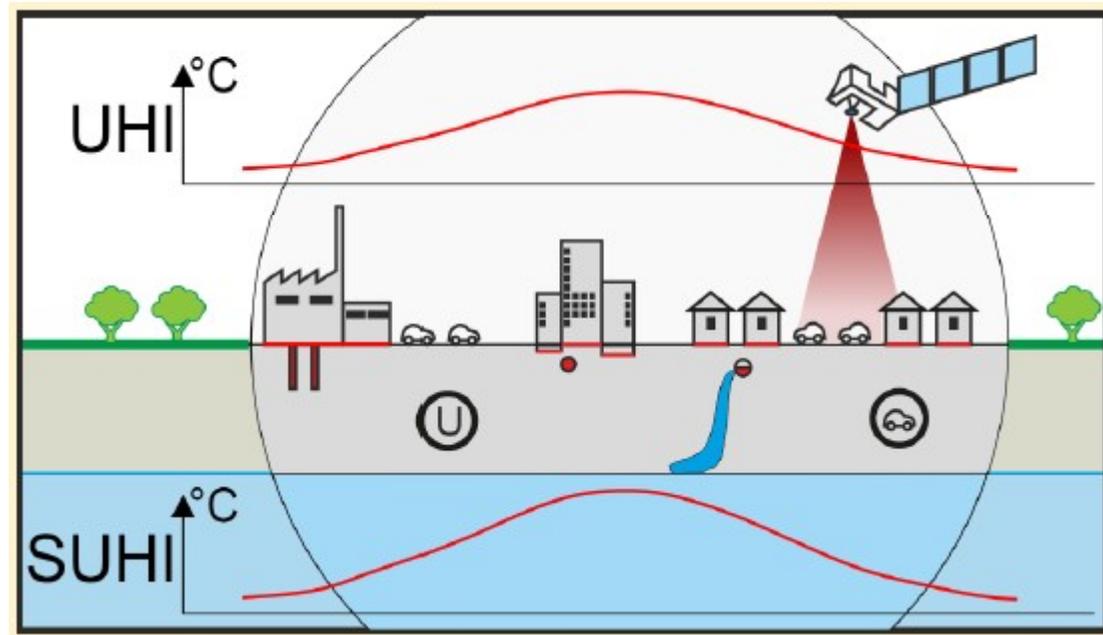
Effetti su acque sotterranee:

- Abbassamento/innalzamento livello di falda
- Deterioramento della qualità chimica
 - scarichi industriali (metalli pesanti, composti organici, materiali radioattivi)
 - precipitazioni urbane (metalli pesanti, composti organici, nitrati, cloruro)
 - acque reflue (N, P, Na, composti organici clorurati, pesticidi), ecc.
- Anomalia termica

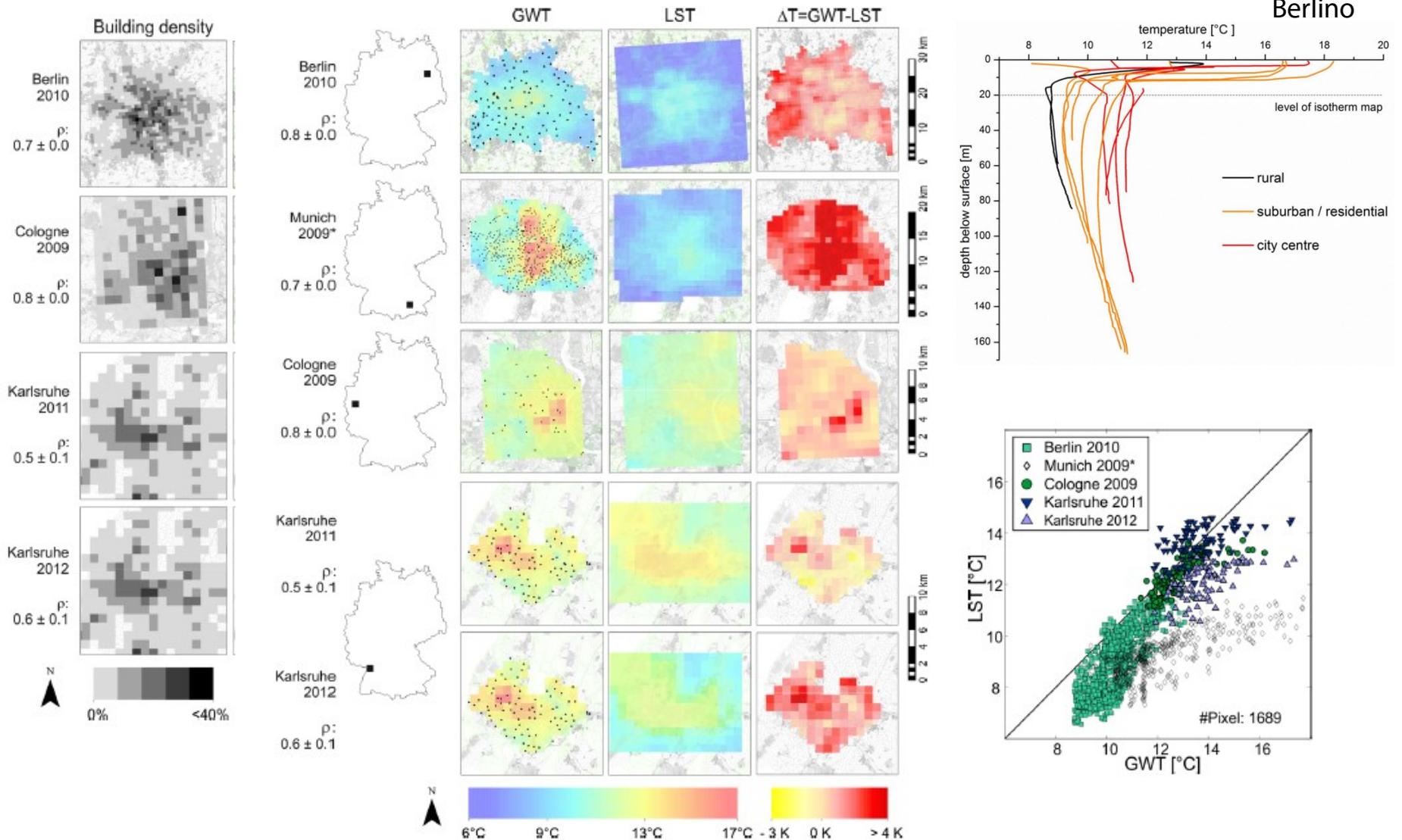
Anomalia termica delle acque sotterranee

Urban Heat Island effect

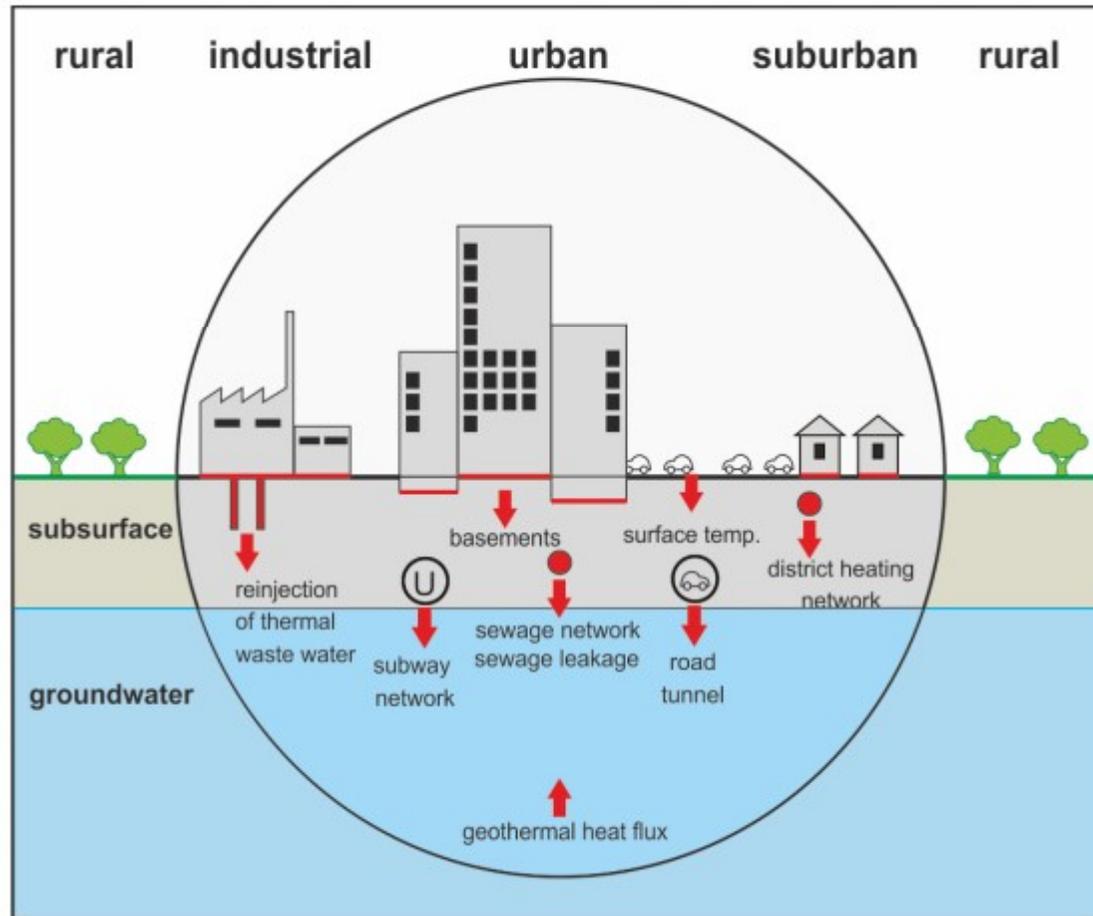
Subsurface Urban Heat Island effect



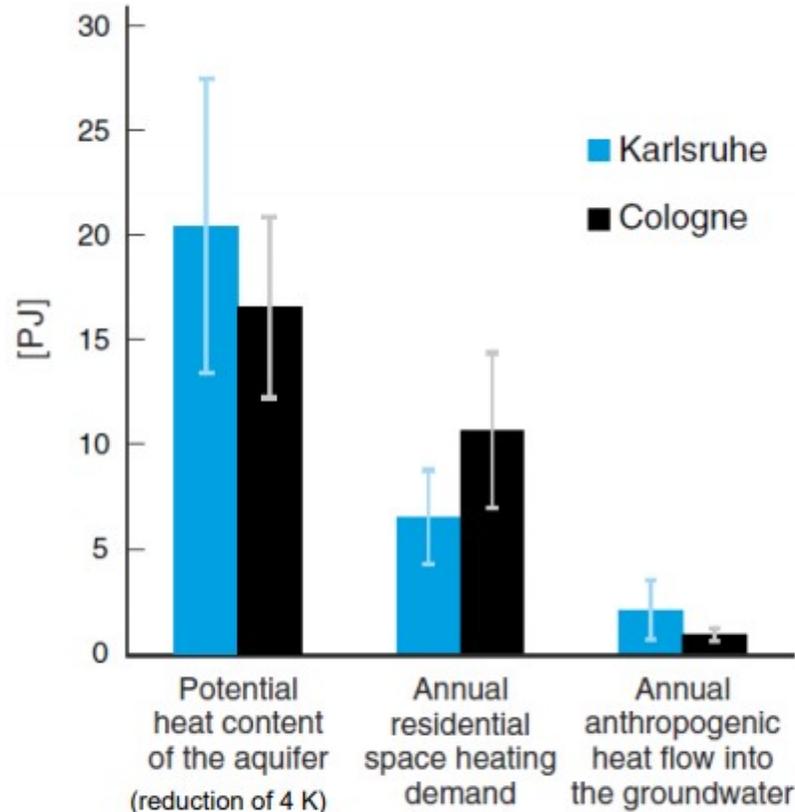
Anomalia termica delle acque sotterranee



Anomalia termica delle acque sotterranee



Anomalia termica delle acque sotterranee

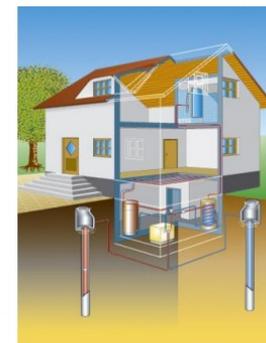


→ 32% of the annual space heating demand in Karlsruhe could be sustainably supplied by the subsurface urban heat island, in Cologne only 9%;

→ In Karlsruhe about 30.000 households could be sustainably supplied with heating energy;

→ About 80.000 tons of CO₂ could be annually saved.

Anthropogenic heat flow in Karlsruhe ~ 2,2 PJ
 Anthropogenic heat flow in Cologne ~ 1,0 PJ
 Geothermal heat flow ~ 0,2 PJ



Groundwater heat pumps (GWHP) system

Sfruttamento geotermico

Il ciclo idrologico urbano

Ruscellamento superficiale

- Aumento del volume del deflusso superficiale
- Aumento della velocità del deflusso superficiale
- Minor tempo di ritardo rispetto alla precipitazione

➤ Cambiamento del regime idrologico

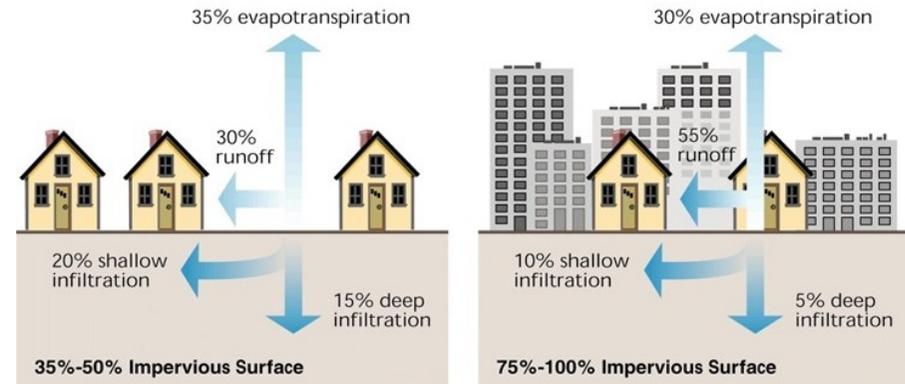
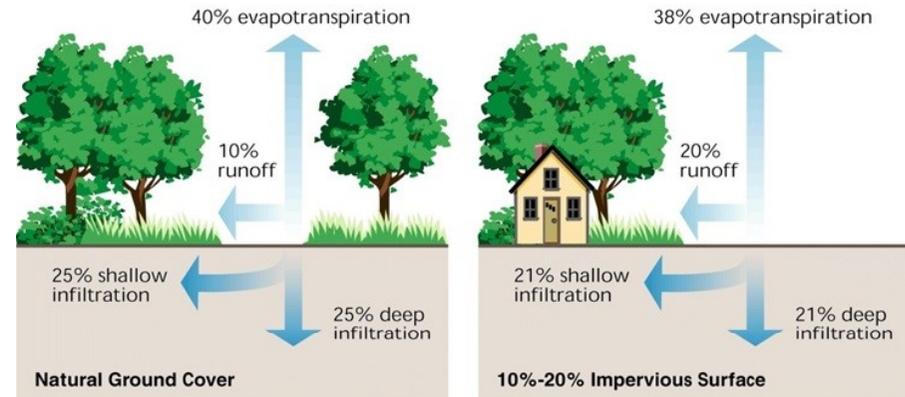
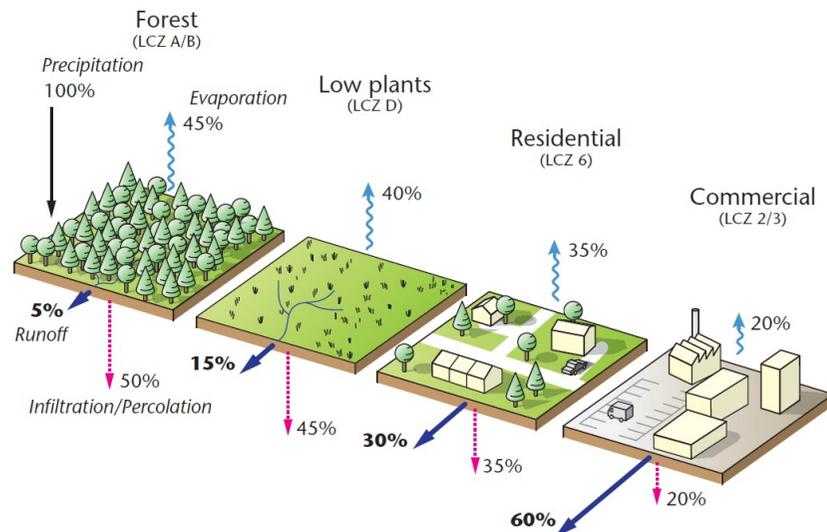


Il ciclo idrologico urbano

Ruscellamento superficiale

Effetti dell'urbanizzazione sull'idrologia:

- Maggior runoff superficiale
- Idrografia più rapida

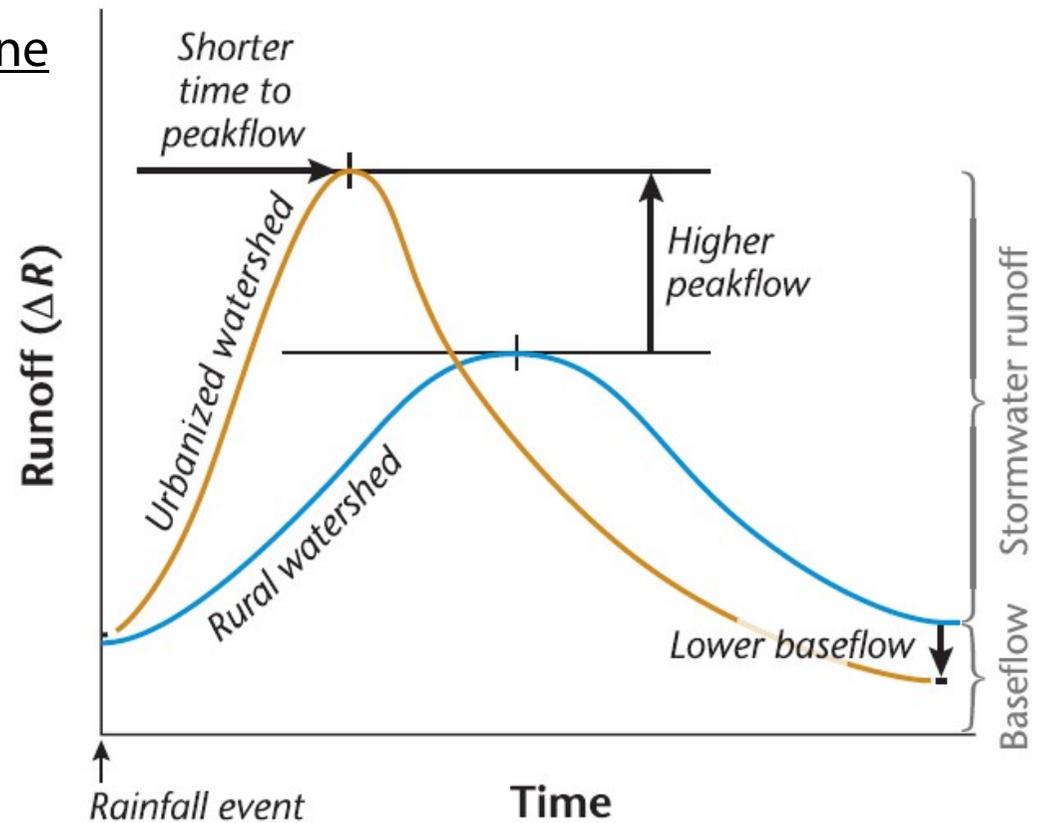


Il ciclo idrologico urbano

Ruscellamento superficiale

Effetti dell'urbanizzazione sull'idrografia:

- Minor tempo di ritardo
- Maggior deflusso
- Flusso di base minore



Il ciclo idrologico urbano

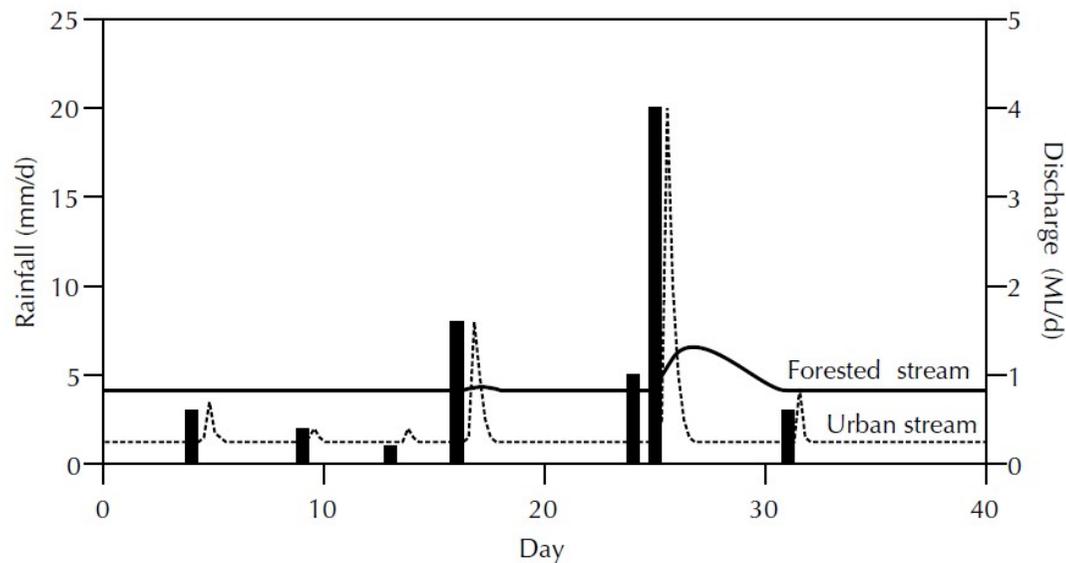
Ruscellamento superficiale



- Maggior ruscellamento superficiale
- L'acqua di pioggia raggiunge il fiume molto velocemente



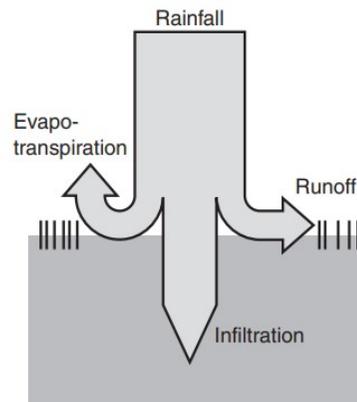
- Minor flusso di base



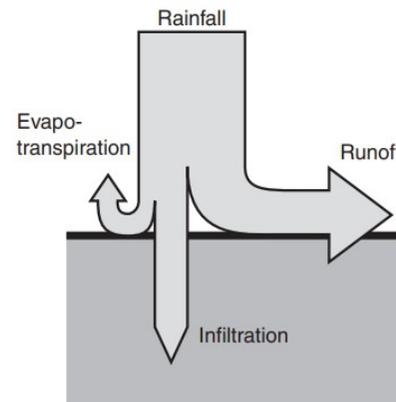
Il ciclo idrologico urbano

Ruscellamento superficiale

Effetto dell'urbanizzazione sul destino dell'acqua piovana:

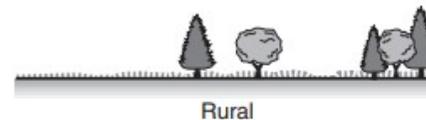


(a) Pre-urbanisation



(b) Post-urbanisation

Effetto dell'urbanizzazione sul picco di ruscellamento:



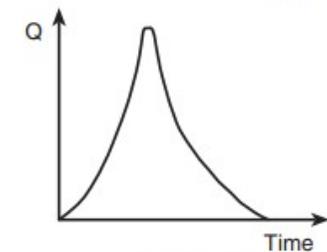
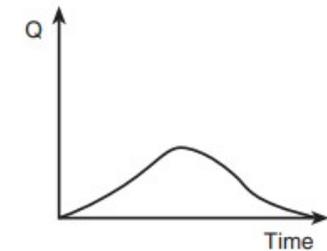
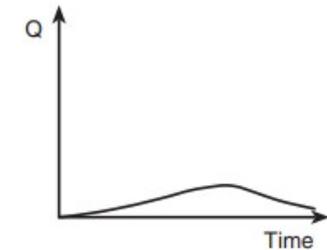
Rural



Semi-urban



City

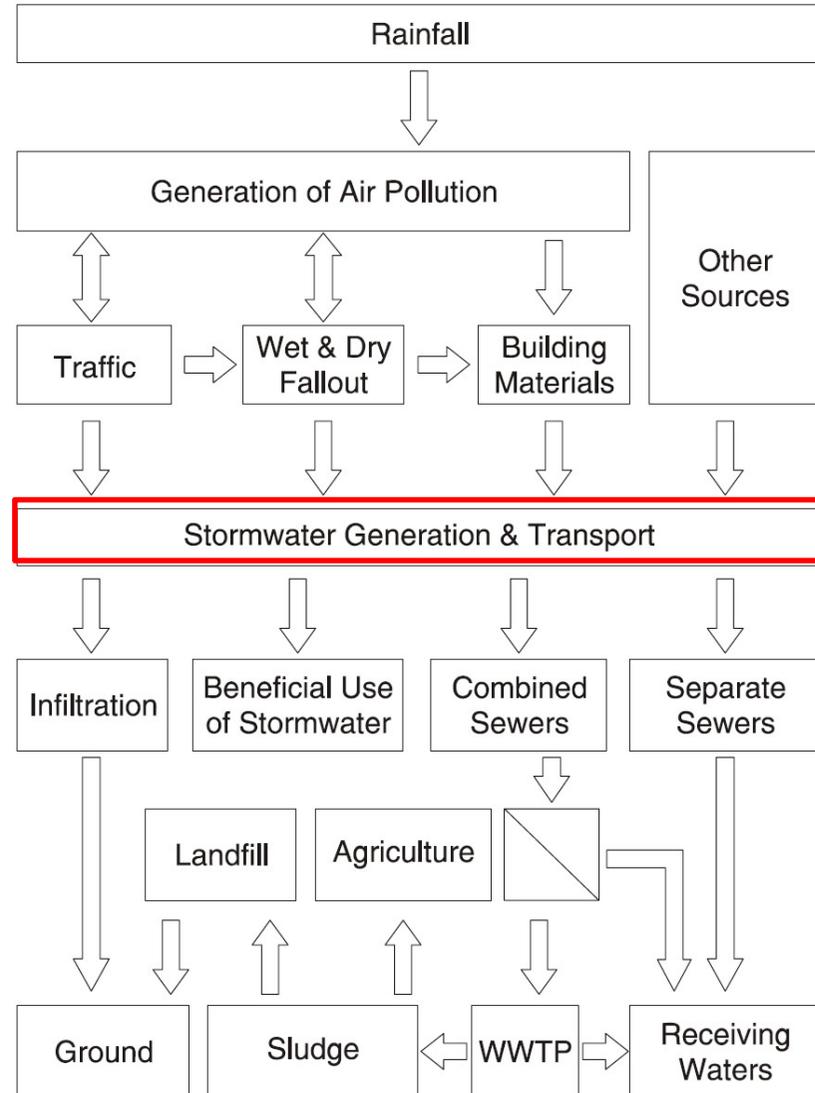


Q = rate of runoff



Il ciclo idrologico urbano

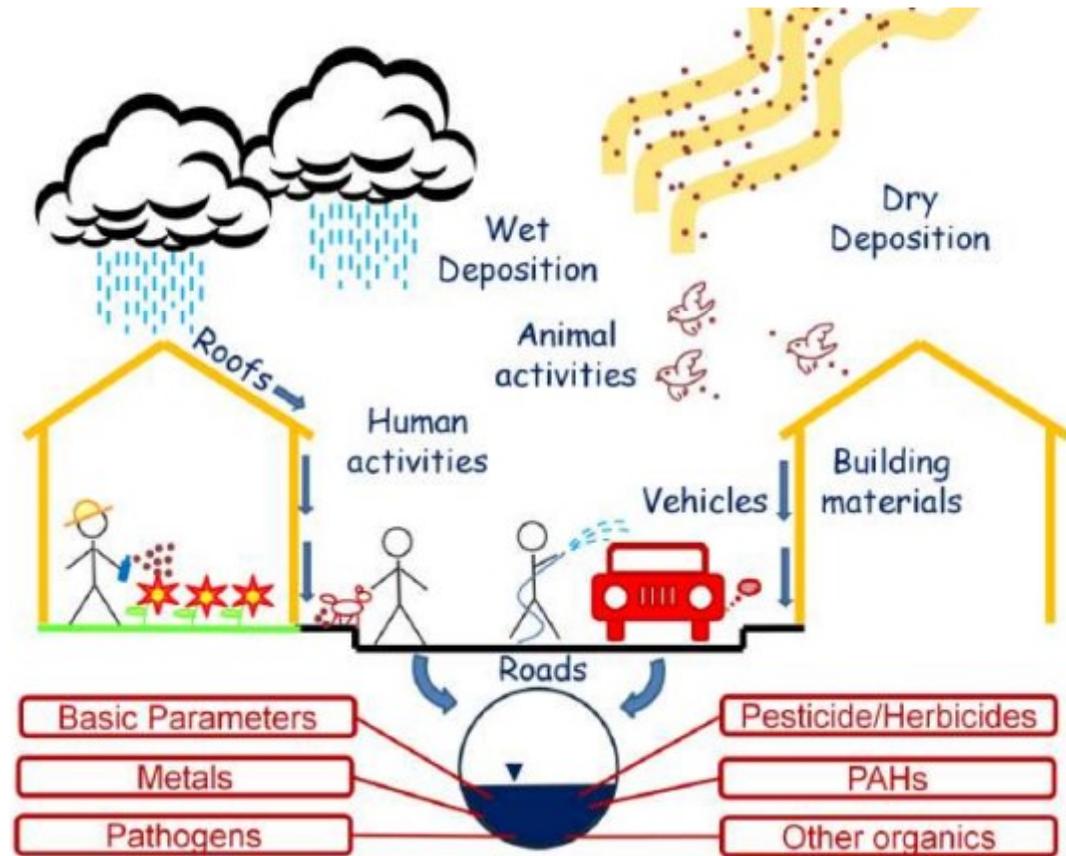
Ruscamento superficiale



Il ciclo idrologico urbano

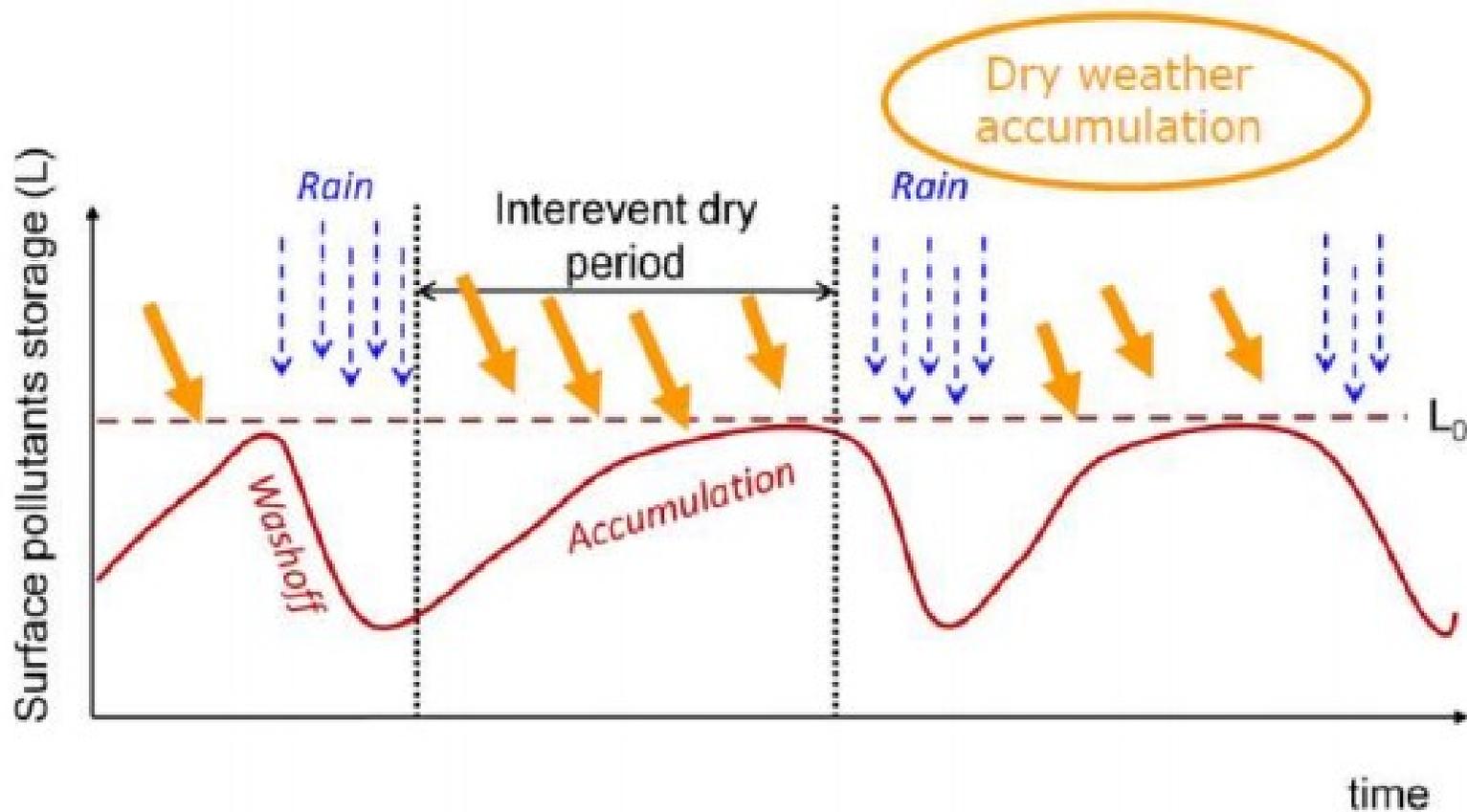
Ruscellamento superficiale

- fonti multiple
- diversi tipi di inquinanti
- emissioni diffuse (difficili da evitare)
- basse concentrazioni, alte portate
- fognatura mista e scolmatori
- acque di prima pioggia



Il ciclo idrologico urbano

Ruscellamento superficiale



Il ciclo idrologico urbano

Ruscellamento superficiale

Overview of Effects Relevant for Urban Wet Weather Pollution

Type of Effect	Subdivision and Comments
Physical habitat changes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flooding in urban and rural areas 2. Erosion caused by overland flow and peak flows in channels and rivers 3. Sediment deposition in the collection and transport systems and in the receiving waters
Dissolved oxygen depletion	Effects on the biological communities
Eutrophication	Effects of both nutrients (N and P) and organic matter as substrates for excessive biological growth and activity
Toxic pollutant impacts	Effects of both heavy metals and organic micropollutants
Public health risks	<ol style="list-style-type: none"> 1. Direct impacts by pathogenic microorganisms and viruses 2. Indirect impacts via contaminated food, both animals (fish) and crops grown on irrigated land
Aesthetic deterioration and public perception	Typically caused by the discharge of gross solids and sediments

List of selected stormwater priority pollutants (indicator parameters)

Type	CAS number	Abbreviation	Name
Basic parameters	–	BOD	Biochemical oxygen demand
	–	COD	Chemical oxygen demand
	–	SS	Suspended solids
	–	N	Nitrogen
	–	P	Phosphorus
	–	pH	pH
Metals	7440-66-6	Zn	Zinc
	7440-43-9	Cd	Cadmium
	11104-59-9	Cr(VI)	Chromium as Chromate
	7440-50-8	Cu	Copper
	7440-02-0	Ni	Nickel
	7439-92-1	Pb	Lead
PAH	7440-06-4	Pt	Platinum
	50-32-8	BaP	Benzo[a]pyrene
	91-20-3		Naphthalene
	129-00-0		Pyrene
Herbicides	5915-41-3		Terbutylazine
	40487-42-1		Pendimethalin
	13684-63-4		Phenmedipham
	1071-83-6		Glyphosate
Miscellaneous	25154-52-3,		
	104-40-5,	NPEO	Nonylphenol ethoxylates and degradation products
	27986-36-3		e.g. nonylphenol
	1916-45-9 etc.		Pentachlorophenol
	87-86-5	PCP	Di(2-ethylhexyl) phthalate
	117-81-7	DEHP	2,4,4'-Trichlorobiphenyl (Polychlorinated biphenyl 28)
	7012-37-5	PCB 28	Methyl <i>tert</i> -butyl ether
	1634-04-4	MTBE	

Il ciclo idrologico urbano

Ruscellamento superficiale

Table 3.4 Quality of urban runoff and combined sewer overflows: stormwater worldwide data (Duncan, 1999), U.S. NURP stormwater data (U.S. EPA, 1983) and European CSO data (Marsalek et al., 1993).

Chemical constituent	Units	Urban stormwater	
		Mean of Duncan's dataset (1999)	U.S. NURP Median site (U.S. EPA, 1983)
Total suspended solids (TSS)	mg/L	150	100
Total phosphorus	mg/L	0.35	0.33
Total nitrogen	mg/L	2.6	-
Chemical Oxygen Demand, COD	mg/L	80	65
Biochemical Oxygen Demand, BOD	mg/L	14	9
Oil and grease	mg/L	8.7	-
Total lead (Pb)	mg/L	0.140	0.144
Total zinc (Zn)	mg/L	0.240	0.160
Total copper (Cu)	mg/L	0.050	0.034
Faecal coliforms	FCU/100 mL	8,000	-

Il ciclo idrologico urbano

Ruscellamento superficiale



Il ciclo idrologico urbano

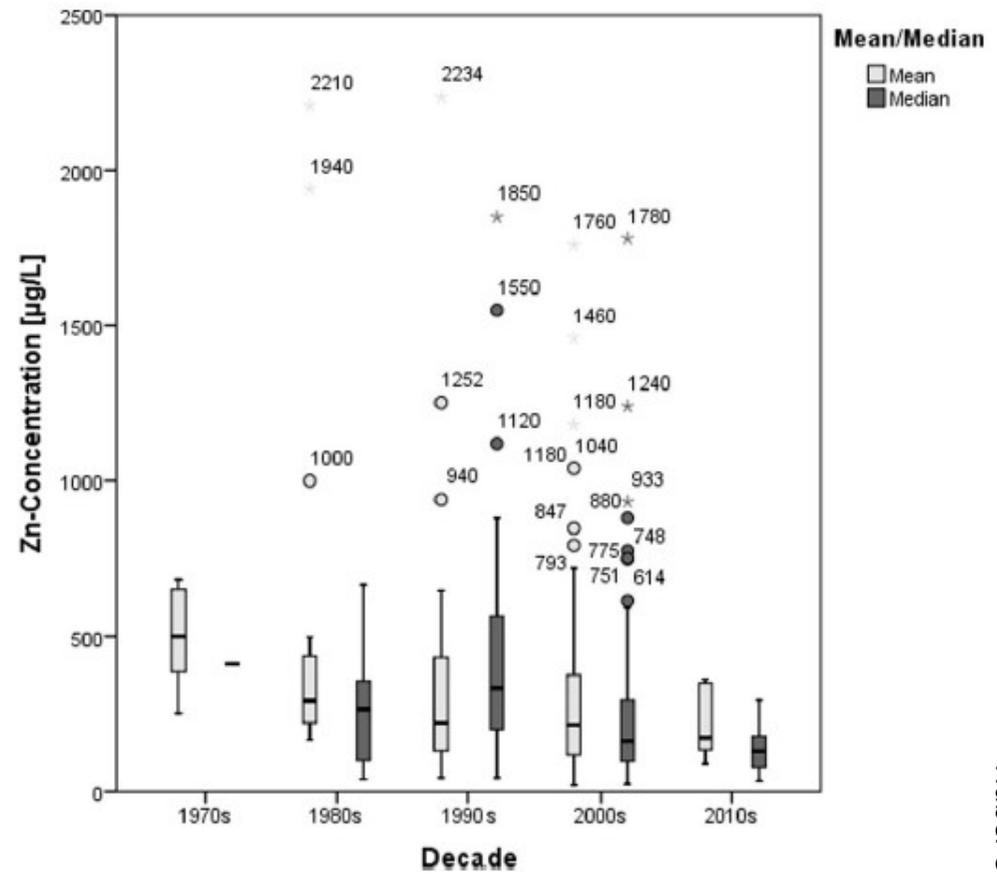
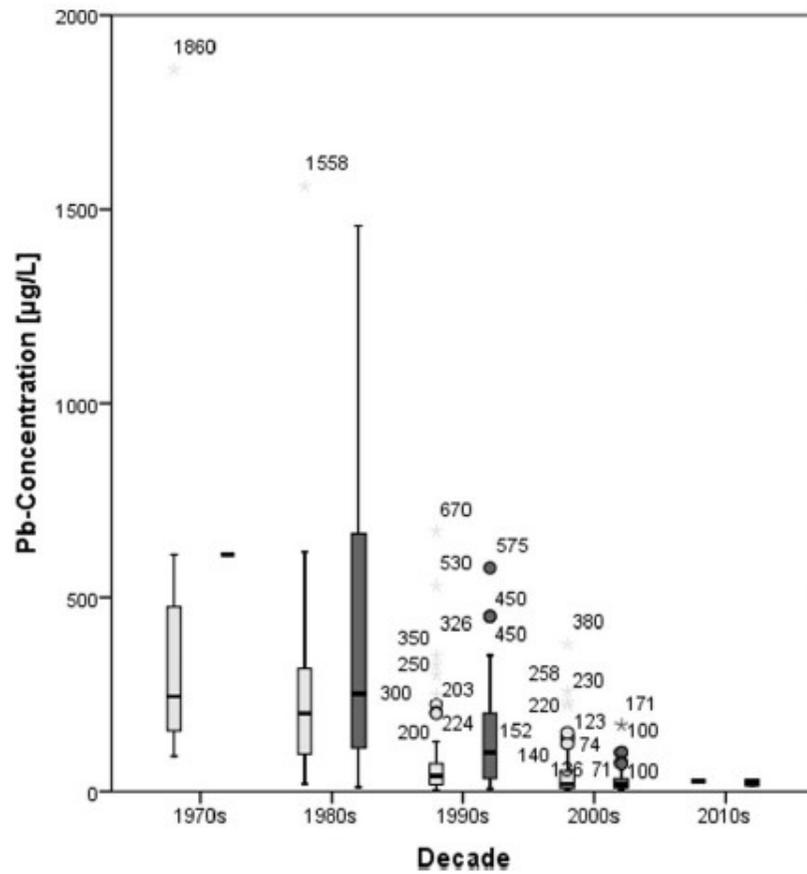
Ruscellamento superficiale

- Le aree di traffico (strade, autostrade, parcheggi) rappresentano il 10-15% dell'area totale di una città e fino al 46% dell'area totale in contesti industriali e commerciali.
- Contaminanti in runoff da aree di traffico includono inquinanti organici (IPA, COD, BOD, TOC, ecc) , metalli pesanti (Zn, Cu, Pb), sali (cloruri antighiaccio).
- Metalli in runoff da tetti e strade rappresentano fino a 80% del carico totale nei sistemi fognari combinati.



Il ciclo idrologico urbano

Ruscellamento superficiale



Il ciclo idrologico urbano

Ruscellamento superficiale

- La partizione dei metalli pesanti tra fase disciolta e fase particolata è fortemente influenzata da pH dell'acqua di dilavamento, dal tipo di superficie, dalla solubilità dei materiali, ecc.



Asfalto

Cemento

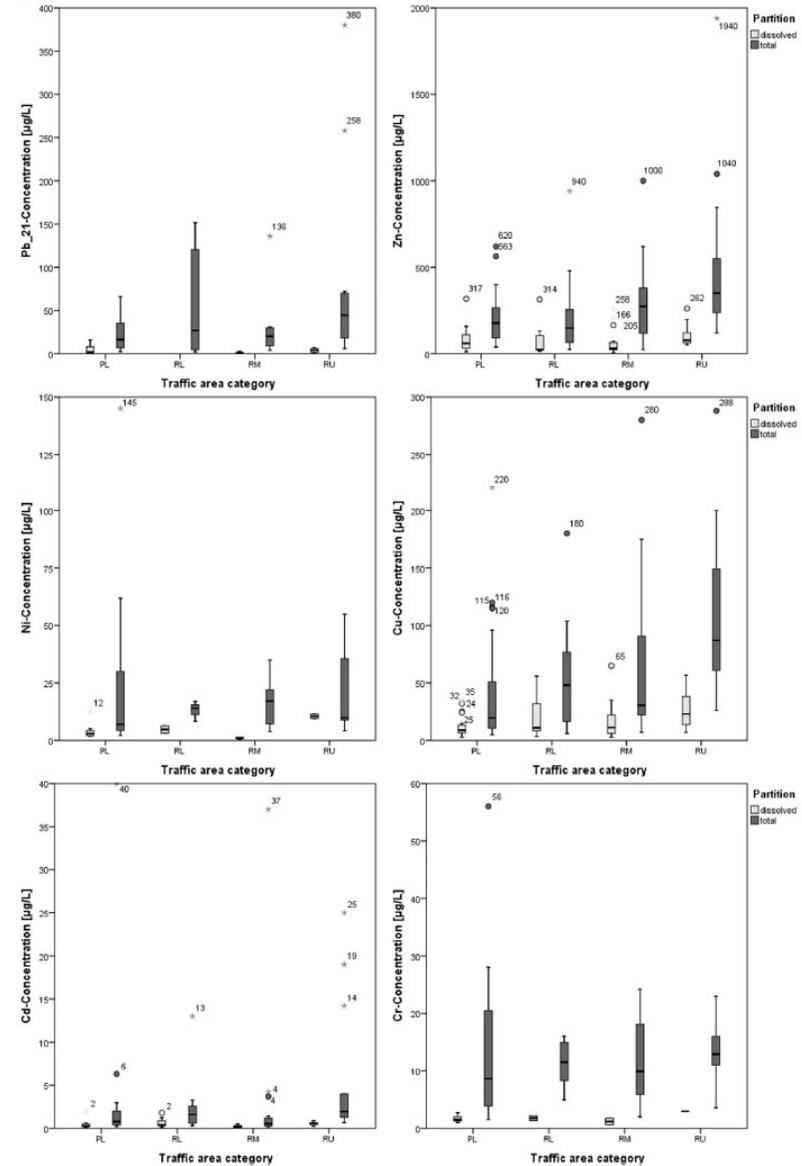


Fig. 5. Mean metal concentrations (d and t) in parking lot (PL) and road (RL, RM, and RU) runoff.

Il ciclo idrologico urbano



Lodz (Polonia)
711300 abitanti

Rilascio da area residenziale 340ha per evento di pioggia di 1 mm in 4 ore: 6.5 kg Zn, 1.85 kg Cu
Scarichi giornalieri medi da impianto di depurazione: 13 kg Zn, 3.7 kg Cu

Concentration of heavy metals in the roof runoff (data from research and references)

Roofing material		Concentration [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$]			
		Zn	Cu	Pb	Cd
Year 2012					
Cooper sheet	range	20–350	1500–4600	4.1–13.4	<0.1–0.1
	mean	140	2960	8.2	0.1
Galvanized sheet	range	660–17200	30–1040	5.8–14.7	0.1–1.5
	mean	6430	480	9.9	0.5
Year 2013					
Cooper sheet	range	248–708	1083–6013	3.4–25.6	<0.1–0.7
	mean	444	3191	10.9	0.3
Galvanized sheet	range	1210–3923	5–26	0.71–15.5	0.1–0.4
	mean	1861	12	8.1	0.2

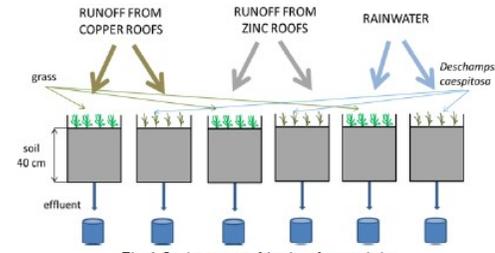


Fig. 1. Lysimeters combination characteristics

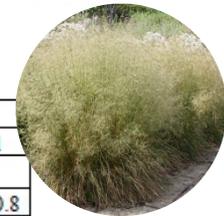


Concentration of heavy metals in the effluent from lysimeters planted with grass

Lysimeters inflow		Concentration [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$]			
		Zn	Cu	Pb	Cd
Year 2012					
Cu	range	30–300	60–680	3.61–27.5	<0.1–1.4
	mean	170	360	20.5	<0.7
Zn	range	110–2280	<0.5–40	9–43.8	0.2–1.9
	mean	600	<12	19.4	0.7
Rainwater	range	50–310	<0.5–20	7.9–15.1	0.1–0.4
	mean	140	<10	11.5	0.2
Year 2013					
Cu	range	44–157	27–39	6.7–28.1	0.1–0.6
	mean	97	31	14.4	0.4
Zn	range	36–295	7–46	3–15.8	<0.1–0.4
	mean	108.10	18	9.0	<0.2

Concentration of heavy metals in the effluent from lysimeters planted with *Deschampsia caespitosa*

Lysimeters inflow		Concentration [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$]			
		Zn	Cu	Pb	Cd
Year 2012					
Cu	range	70–210	50–850	2.5–28.9	0.1–0.8
	mean	140	270	16.46	0.43
Zn	range	80–440	<0.5–270	2.8–18.3	0.1–0.7
	mean	180	<140	11.51	0.5
Rainwater	range	70–120	<0.5–110	4.3–15.3	0.1–0.4
	mean	100	50	9.8	0.2
Year 2013					
Cu	range	23–80	14–101	5.5–20.6	0.1–0.4
	mean	56	35	11.7	0.2
Zn	range	60–131	11–15	3.1–27.5	0.1–0.4
	mean	98	13	12.7	0.2

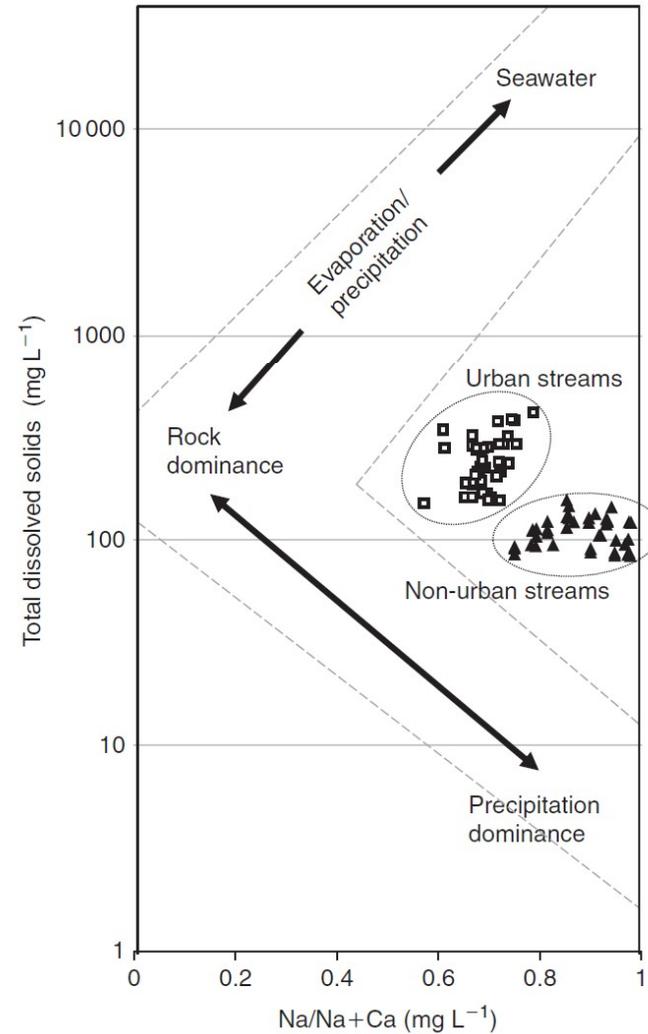


Il ciclo idrologico urbano

Ruscellamento superficiale



*Sydney
(Australia)*



Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio naturale

Tutte le acque drenate dall'area urbana (runoff superficiale, acque reflue) raggiungono elementi del drenaggio naturale, ovvero fiumi, laghi, torrenti.

Per tutelare i sistemi naturali è necessario gestire il drenaggio urbano sia quantitativamente che qualitativamente in modo da limitarne l'impatto sulle risorse d'acqua.



Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio naturale

Il reticolo idrografico naturale viene modificato per aumentare l'efficienza del drenaggio dell'area urbana e per adattarsi ai piani di sviluppo urbanistici.

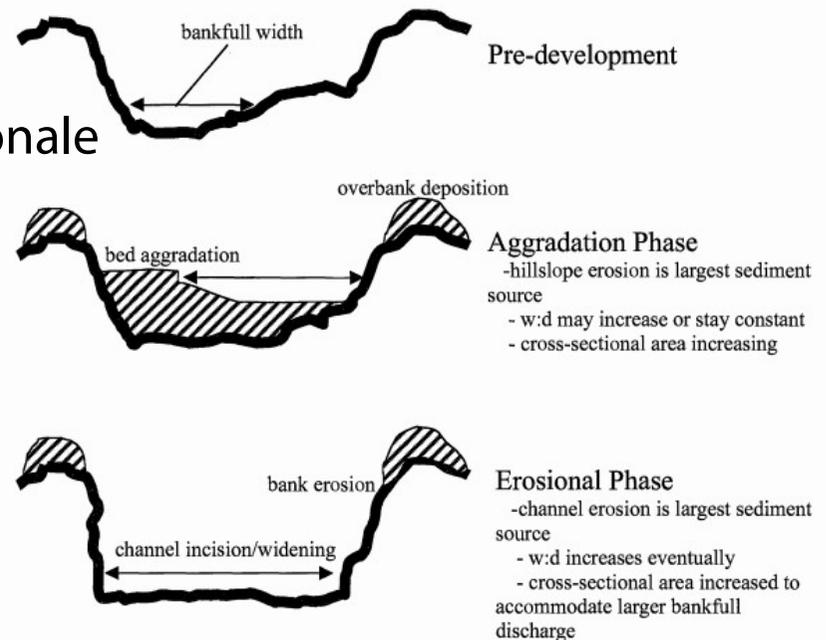


Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio naturale

Effetti sulla geomorfologia fluviale:

- Riduzione nella densità del reticolo idrografico
- Erosione
- Espansione dei canali:
 - Maggiore ampiezza
 - Maggiore profondità
 - Separazione dalla piana alluvionale



Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio urbano

Insieme integrato di opere idrauliche atte a *raccogliere*, *convogliare* e *allontanare* dalle zone urbanizzate le **acque reflue** domestiche ed industriali e le **acque di ruscellamento superficiale** (meteoriche, di lavaggio, ecc), per poi *reimmetterle* nell'ambiente dopo gli opportuni *trattamenti* di depurazione.

Fattori critici:

- espansione aree urbane
- aumento dell'inquinamento da deposizione atmosferica e del traffico veicolare
- qualità dell'acqua nei corpi idrici recettori
- portate meteoriche



Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio urbano

I reflui convogliati nel sistema di drenaggio urbano possono essere classificati in:

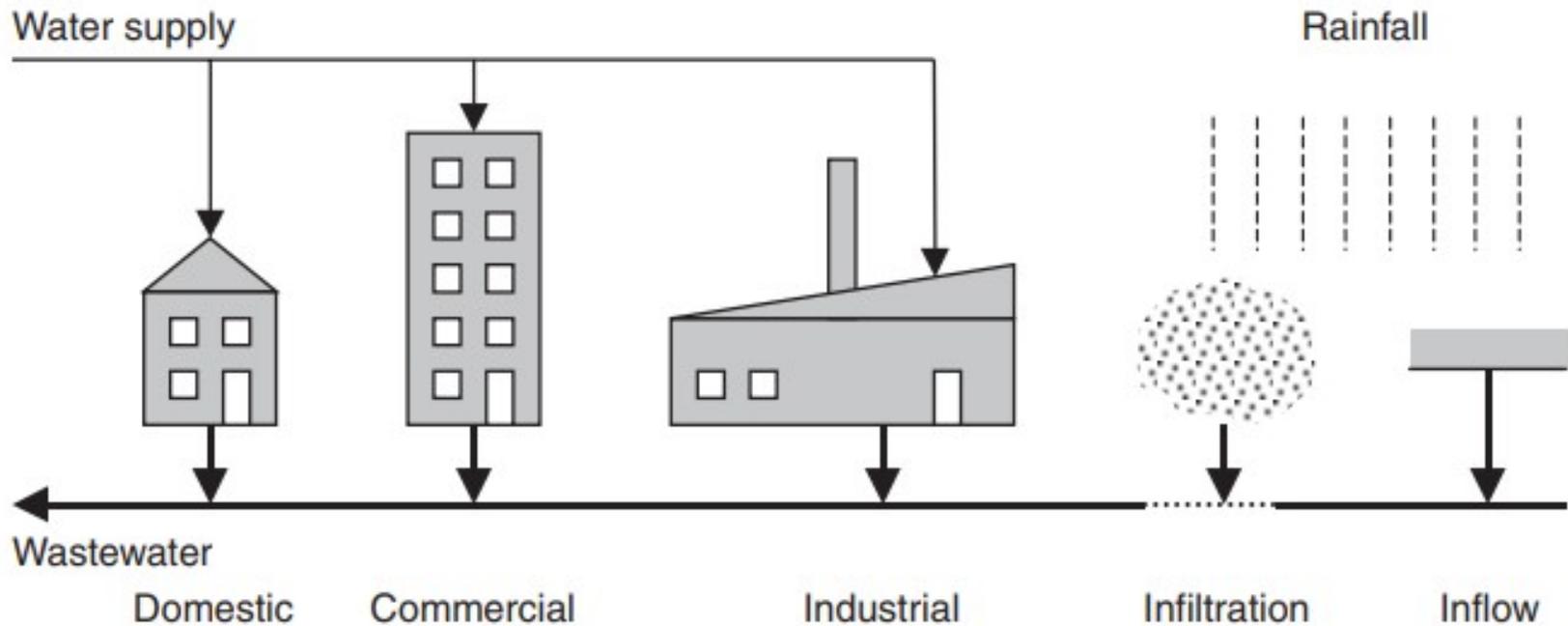
- **Acque nere** (o **luride**): scarichi delle utenze domestiche, delle utenze e servizi pubblici, delle attività commerciali, turistiche, artigianali ed industriali. Può essere necessario un pre-trattamento di depurazione prima della immissione nella fognatura.

- **Acque meteoriche** (o **bianche**): di origine meteorica che scorrono lungo tutte le superfici impermeabili del bacino urbano (tetti e coperture, strade). Le *acque di prima pioggia*, dette anche acque bionde, sono particolarmente cariche di inquinanti (particolato e gas atmosferici, dilavamento di strade e superfici urbane).

- **Acque industriali**: provenienti da insediamenti industriali ubicati in prossimità del centro urbano. In genere è necessario un pre-trattamento di depurazione prima della immissione nella fognatura.

Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio urbano



Il ciclo idrologico urbano

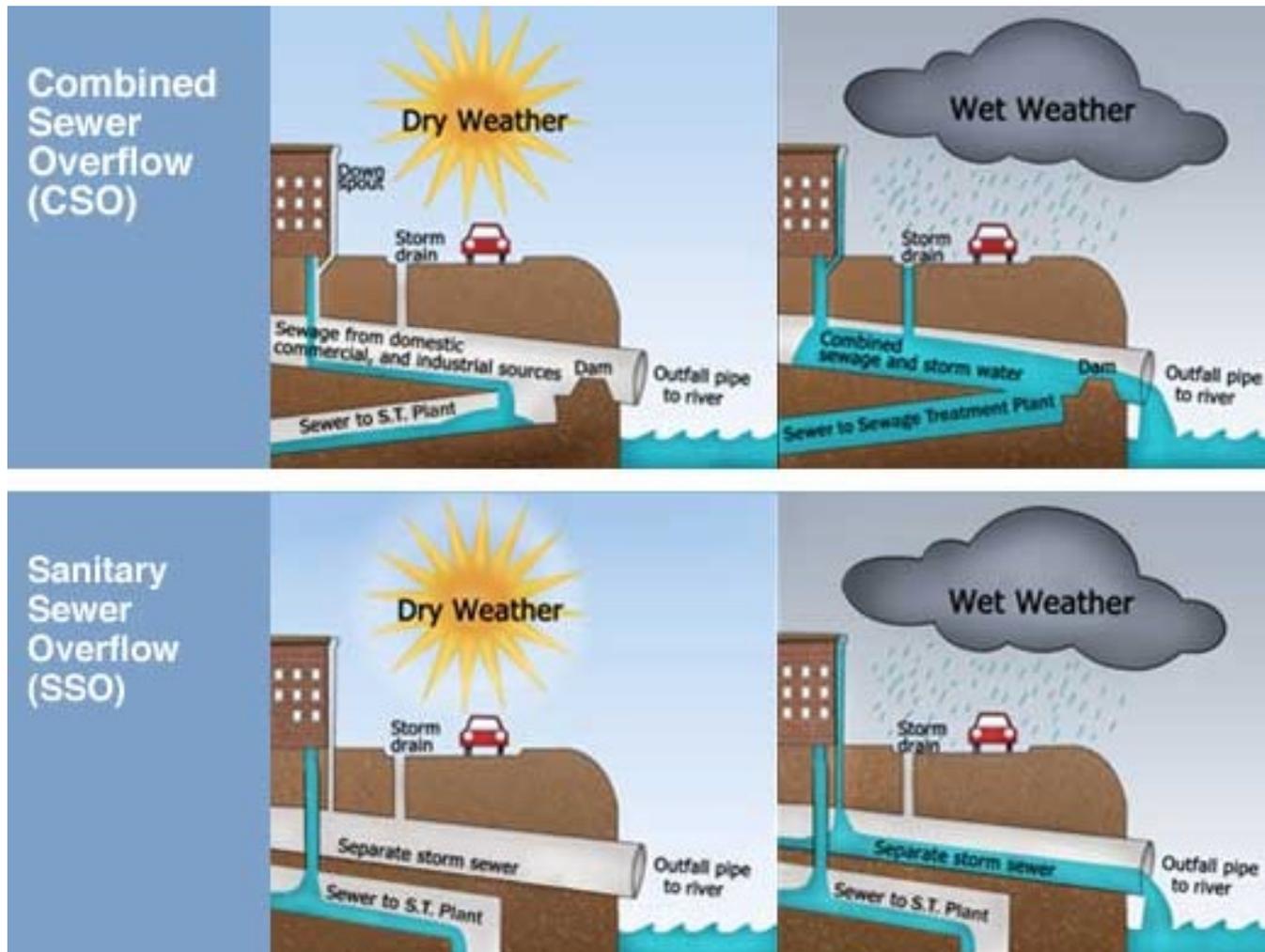
Drenaggio urbano

Una rete di fognatura può essere di due tipologie:

- **Sistema misto (unitario):** costituito da una sola rete di collettori che raccoglie e trasporta sia i reflui domestici che le acque meteoriche. Sono dotati in genere di uno o più *scolmatori* che, in occasione di eventi meteorici di una certa importanza, separano una parte delle acque e le convogliano direttamente al ricettore.
- **Sistema separato:** costituito da due reti separate, una per la raccolta ed il trasporto dei soli reflui domestici al depuratore, l'altra per le acque meteoriche che vengono in genere versate direttamente nel ricettore.

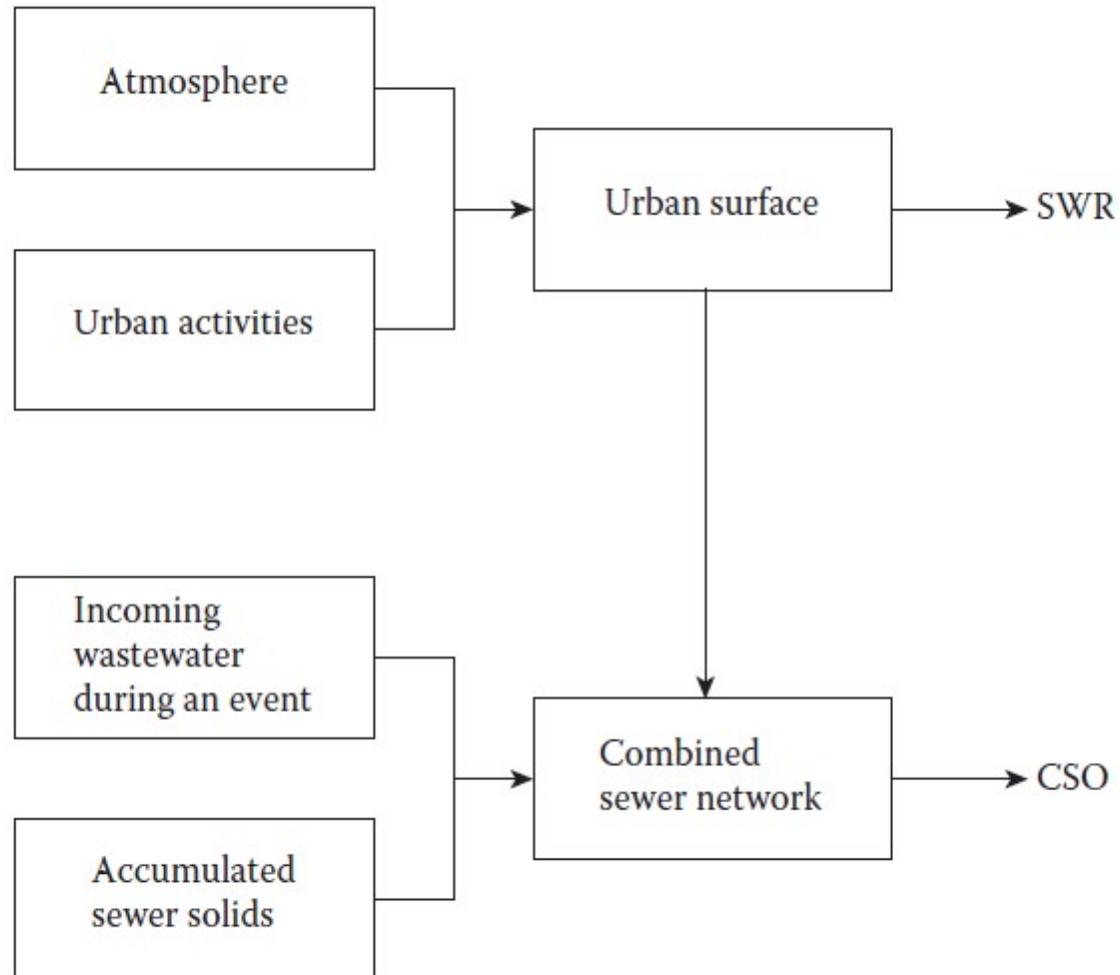
Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio urbano



Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio urbano



Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio urbano

Table 3.4 Quality of urban runoff and combined sewer overflows: stormwater worldwide data (Duncan, 1999), U.S. NURP stormwater data (U.S. EPA, 1983) and European CSO data (Marsalek et al., 1993).

Chemical constituent	Units	Urban stormwater		European CSO data
		Mean of Duncan's dataset (1999)	U.S. NURP Median site (U.S. EPA, 1983)	(Marsalek et al., 1993)
Total suspended solids (TSS)	mg/L	150	100	50-430
Total phosphorus	mg/L	0.35	0.33	2.2-10
Total nitrogen	mg/L	2.6	-	8-12
Chemical Oxygen Demand, COD	mg/L	80	65	150-400
Biochemical Oxygen Demand, BOD	mg/L	14	9	45-90
Oil and grease	mg/L	8.7	-	-
Total lead (Pb)	mg/L	0.140	0.144	0.01-0.10
Total zinc (Zn)	mg/L	0.240	0.160	0.06-0.40
Total copper (Cu)	mg/L	0.050	0.034	-
Faecal coliforms	FCU/100 mL	8,000	-	10 ⁴ -10 ⁷

Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio urbano

Il trasporto di inquinanti attraverso i CSOs durante un evento di pioggia è altamente variabile nel tempo e nello spazio:

- Variabilità durante un evento
- Variabilità tra eventi in uno specifico sito
- Variabilità tra siti

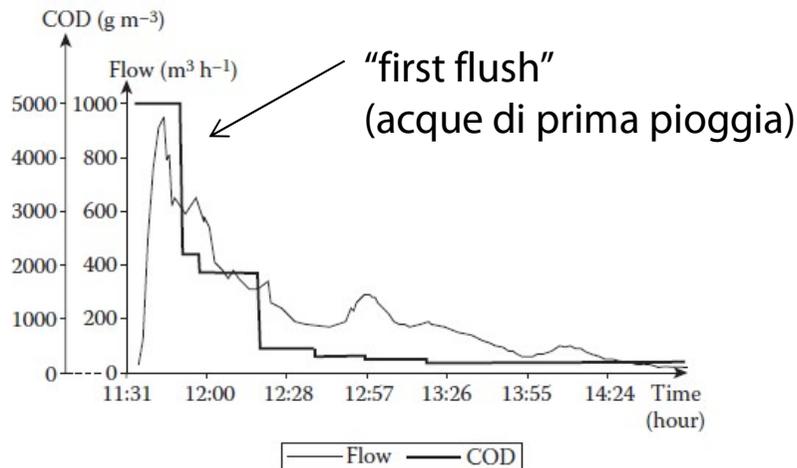


FIGURE 2.11 Variations of flow and COD concentration during a runoff event in a combined sewer pipe. The measurements are performed in a combined sewer pipe. (Modified from Larsen, T., Broch, K., and Andersen, M. R., *Water Science and Technology*, 37, 251–57, 1998.)

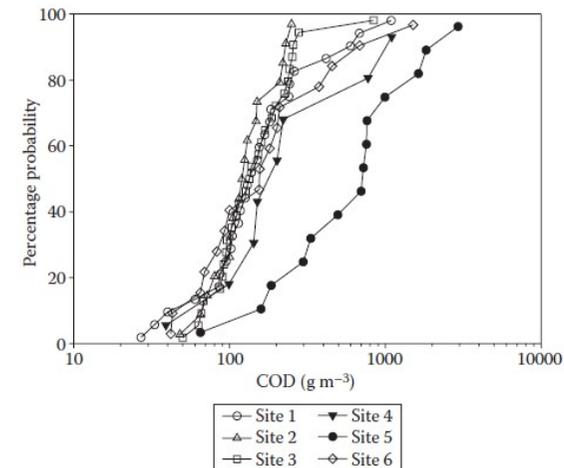


FIGURE 2.15 Variability for COD concentrations originating from runoff events for six combined sewer catchments in Denmark.

Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio urbano

Table 3.5 Typical composition of sewage (after Metcalf and Eddy, 2003)

Parameter	Concentration		
	Minimum	Average	Maximum
Total solids (mg/L)	350	720	1,200
Dissolved solids, total (mg/L)	250	500	850
Fixed solids (mg/L)	145	300	525
Volatile solids (mg/L)	105	200	325
Total suspended solids (mg/L)	100	220	350
Fixed solids (mg/L)	20	55	75
Volatile solids (mg/L)	80	165	275
Settleable solids (mL/L)	5	10	20
Biochemical Oxygen Demand, BOD ₅ (mg/L)	110	220	400
Chemical Oxygen Demand, COD (mg/L)	250	500	1,000
Total Organic Carbon (mg C/L)	80	160	290
Total nitrogen (mg N/L)	20	40	85
Organic nitrogen (mg N/L)	8	15	35
Free ammonia (mg N/L)	12	25	50
Total phosphorus (mg/L)	4	8	15
Grease and oil (mg/L)	20	100	150
Alkalinity (mg CaCO ₃ /L)	510	100	200

Il ciclo idrologico urbano

Drenaggio urbano

Tipologie di scarichi fognari:

1. Scarichi da impianti di trattamento delle acque reflue (continui, basse concentrazioni di contaminanti)
2. Scarichi da sistemi fognari separati (grandi volumi e concentrazioni rilevanti ma intermittenti)
3. Scarichi da sistemi fognari misti (grandi volumi ed elevate concentrazioni ma intermittenti; miscela di acque piovane, reflue domestiche/industriali e depositi da condutture fognarie).

+ perdite da rete fognaria



Il ciclo idrologico urbano

Impatto su ecosistemi acquatici

Overview of Effects Relevant for Urban Wet Weather Pollution

Type of Effect	Subdivision and Comments
Physical habitat changes	<ol style="list-style-type: none">1. Flooding in urban and rural areas2. Erosion caused by overland flow and peak flows in channels and rivers3. Sediment deposition in the collection and transport systems and in the receiving waters
Dissolved oxygen depletion	Effects on the biological communities
Eutrophication	Effects of both nutrients (N and P) and organic matter as substrates for excessive biological growth and activity
Toxic pollutant impacts	Effects of both heavy metals and organic micropollutants
Public health risks	<ol style="list-style-type: none">1. Direct impacts by pathogenic microorganisms and viruses2. Indirect impacts via contaminated food, both animals (fish) and crops grown on irrigated land
Aesthetic deterioration and public perception	Typically caused by the discharge of gross solids and sediments

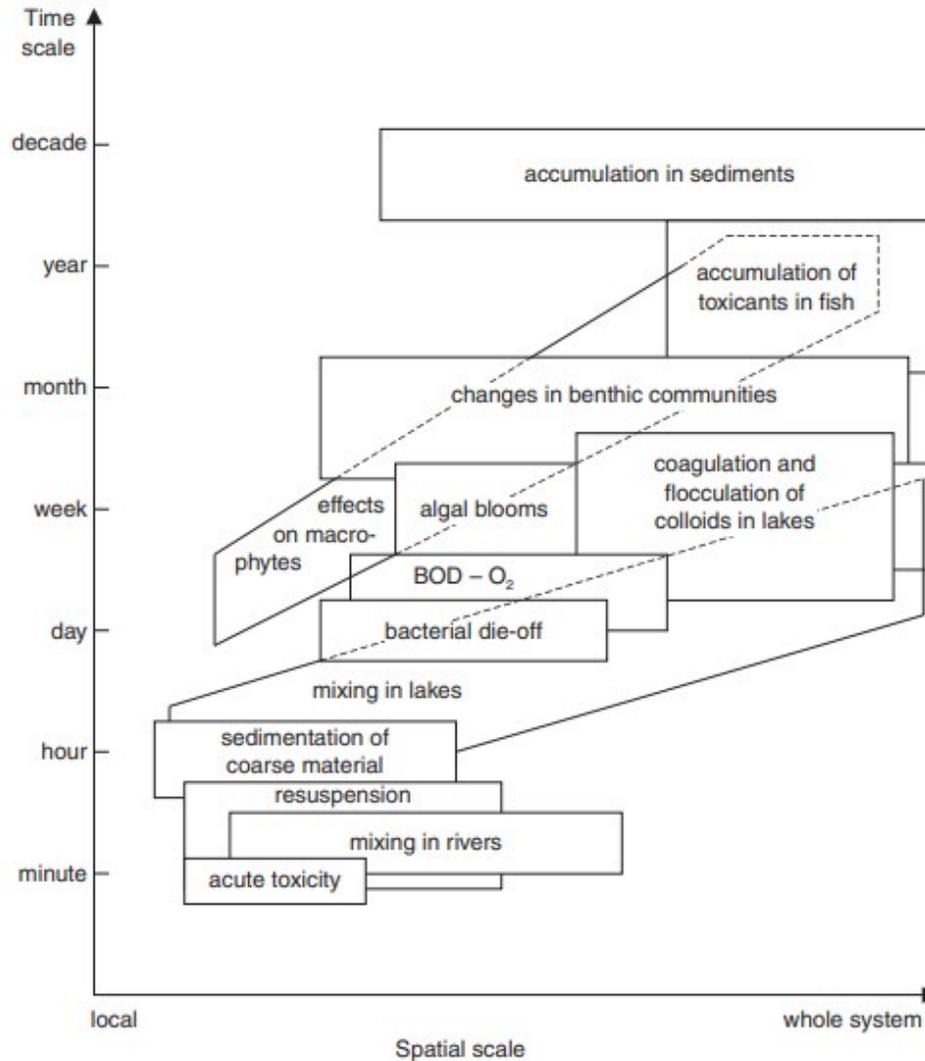
Degradazione dei corpi idrici ricettori:

- carenza di ossigeno
- eccesso di nutrienti
- eccesso di sedimenti, sia sospesi che al fondo
- eccesso di sostanze tossiche



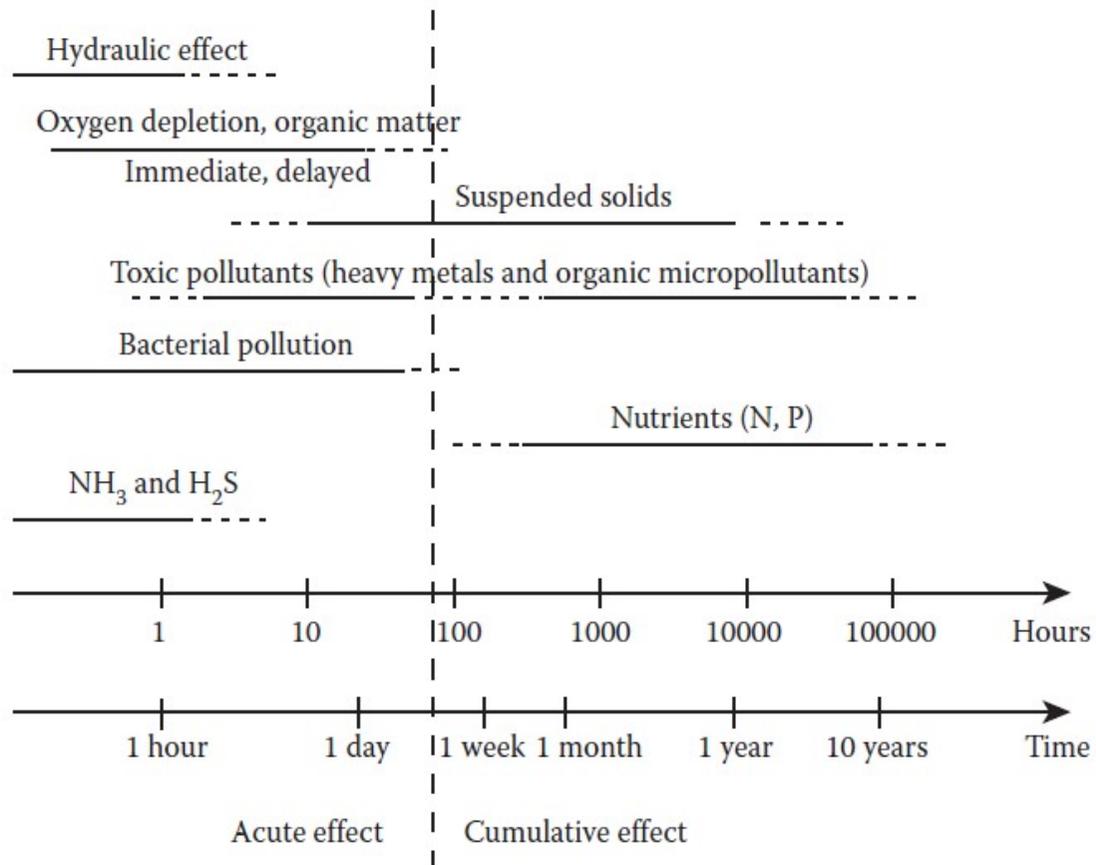
Il ciclo idrologico urbano

Impatto su ecosistemi acquatici



Il ciclo idrologico urbano

Impatto su ecosistemi acquatici



Il ciclo idrologico urbano

Impatto su ecosistemi acquatici

TABLE 1 URBAN IMPACTS ON WATER QUALITY

SOURCE	MECHANISM OF DELIVERY	CONSTITUENTS AFFECTING WATER QUALITY
Atmospheric deposition	Vehicle exhaust, stationary emission sources, regional and global atmospheric transport	H ₂ SO ₄ and HNO ₃ , industrial compounds, trace metals
Industry and landfills	Spills, leaks, improper disposal, persistence through wastewater treatment	Organic compounds, trace metals
Stormwater runoff	Erosion and leached constituents from roads, parking lots, buildings, and green spaces	Organic matter, nutrients, and bacteria; PAHs; trace metals; herbicides and pesticides; industrial compounds
Green spaces (lawns, gardens, golf courses, fairways)	Application of fertilizers, herbicides, and pesticides	Organochlorine compounds (e.g. atrazine), organophosphorus compounds (e.g. dimethoate), nutrients (e.g. N, P, K)
Wastewater	Sewer main leaks and breaks, septic system leaks and failures, irrigation and direct discharge of treated effluent	Dissolved ions (e.g. Ca, Cl, Na, SO ₄); nutrients (e.g. organic matter, N, P); bacteria, parasites, and viruses; organic compounds (e.g., chloroform); pharmaceuticals and personal-care compounds

Categorie di inquinanti:

- nutrienti
- metalli pesanti
- composti organici
- prodotti farmaceutici, interferenti endocrini, microplastiche



Baris et al., 2010

Il ciclo idrologico urbano

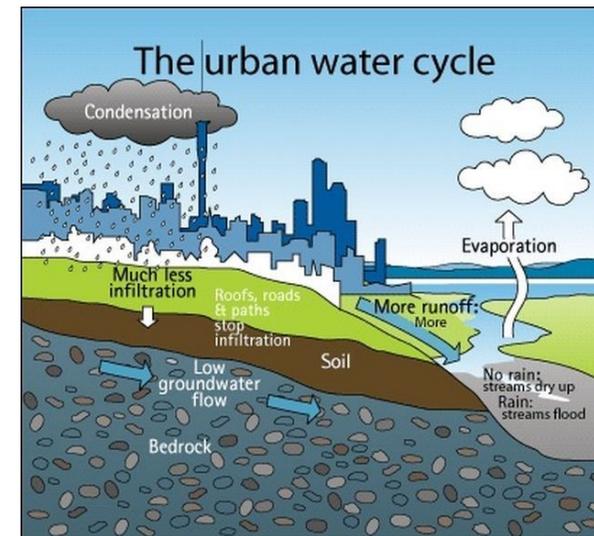
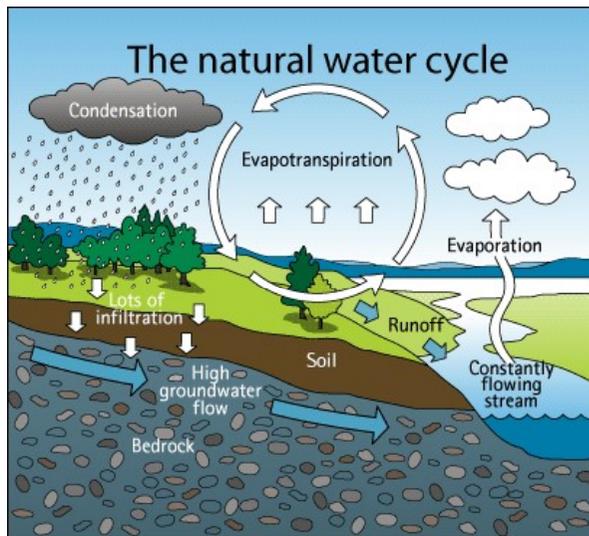
Impatto su ecosistemi acquatici

Categoria	Parametri di riferimento	Fonti probabili	Principali effetti sull'ambiente
Sedimenti	Organici e inorganici, Solidi Sospesi Totali, Torbidità, Solidi disciolti	<ul style="list-style-type: none"> - Siti di attività estrattive, attività edilizie, ecc - Runoff da terreni urbani/agricoli - Scolmatori fognari - Discariche, fosse settiche 	<ul style="list-style-type: none"> - Variazione della torbidità - Alterazioni dell'habitat - Perdite di valore ricreativo ed estetico - Trasporto di contaminanti - Idrologia/navigazione - Erosione delle sponde
Nutrienti	Nitrati, Nitriti, Ammoniaca, Azoto organico, Fosfato, Fosforo totale	<ul style="list-style-type: none"> - Runoff da terreni urbani/agricoli - Discariche, fosse settiche - Depositioni atmosferiche - Erosione 	<ul style="list-style-type: none"> - Variazione della qualità delle acque superficiali e dell'acqua di falda - Sviluppo di fioriture algali - Tossicità da ammoniaca - Tossicità da nitrati

Patogeni	Coliformi totali, Coliformi fecali, Streptococchi, Virus Escherichia coli, Enterococcus	<ul style="list-style-type: none"> - Runoff da terreni urbani/agricoli - Sistemi settici - Scarichi abusivi - Scolmatori fognari - Scarichi da imbarcazioni - Animali domestici /selvatici 	<ul style="list-style-type: none"> - Infezioni intestino/orecchio - Perdita di valore ricreativo ed estetico
Arricchimento in sostanza organica	Biochemical oxygen demand (BOD), Chemical oxygen demand (COD), Total organic carbon (TOC), Ossigeno disciolto	<ul style="list-style-type: none"> - Runoff da terreni urbani/agricoli - Scolmatori fognari - Discariche, fosse settiche 	<ul style="list-style-type: none"> - Riduzione della quantità di ossigeno disciolto nelle acque - Sviluppo di odori molesti - Morie di pesci
Inquinanti tossici	Metalli in traccia, inquinanti organici	<ul style="list-style-type: none"> - Runoff da terreni urbani/agricoli - Pesticidi/erbicidi - Serbatoi interrati - Siti di stoccaggio rifiuti pericolosi - Discariche - Scarichi abusivi di olii 	<ul style="list-style-type: none"> - Bioaccumulo nella catena alimentare e tossicità potenziale nei confronti dell'uomo e di altri organismi
Sali	Cloruro di sodio	<ul style="list-style-type: none"> - Runoff da terreni urbani - Scioglimento della neve 	<ul style="list-style-type: none"> - Impatti sul biota dei corpi riceventi - Contaminazione di acque potabili - Danni ad organismi vegetali

Il ciclo idrologico urbano

Evapotraspirazione, infiltrazione, ricarica delle acque sotterranee

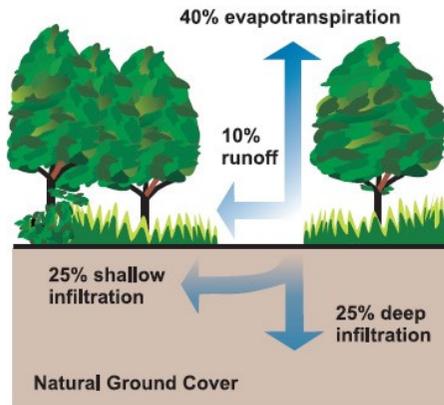


Evaporazione, ruscellamento superficiale

Caratteristiche distintive del ciclo dell'acqua in ambiente urbano:

1. Estese superfici impermeabili
2. Sistema di drenaggio dell'acqua piovana
3. Target alternativi per l'acqua convogliata in eccesso

Il ciclo idrologico urbano



Caratteristiche distintive del ciclo dell'acqua in ambiente urbano:

1. Estese superfici impermeabili
2. Sistema di drenaggio dell'acqua piovana
3. Target alternativi per l'acqua convogliata in eccesso

Il ciclo idrologico urbano

Gli eventi di pioggia lisciviano i componenti accumulati sulle superfici urbane durante i periodi secchi determinando un significativo rilascio di inquinanti nei corpi idrici a cui si aggiungono gli scarichi diretti e indiretti dai sistemi fognari.



URBANIZZAZIONE



**URBAN STREAM
SYNDROME**

Urban stream syndrome

Il termine **urban stream syndrome** si riferisce ad una serie di condizioni legate alla degradazione ecologica dei fiumi in bacini urbani.

Cambiamenti in:

- Idrologia
- Geomorfologia
- Carico di contaminanti
- Ecologia



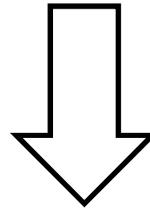
Urban stream syndrome

Effetti su idrologia

- Maggior runoff superficiale
- Idrografia più rapida
- Minor tempo di ritardo
- Maggior deflusso
- Minor flusso di base

Effetti sulla geomorfologia fluviale:

- Riduzione nella densità del reticolo idrografico
- Erosione
- Espansione dei canali:
 - Maggiore ampiezza
 - Maggiore profondità
 - Separazione dalla piana alluvionale



Effetti su chimica ed ecologia fluviale

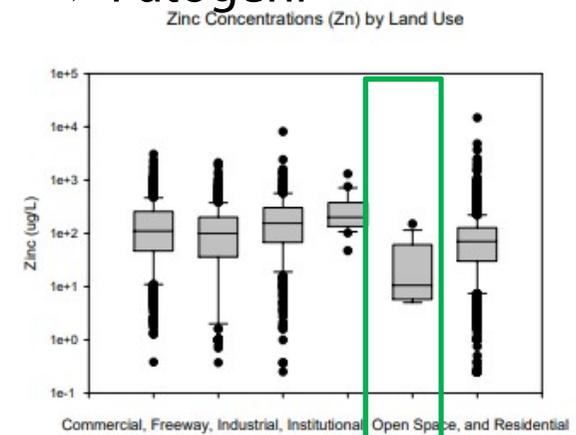
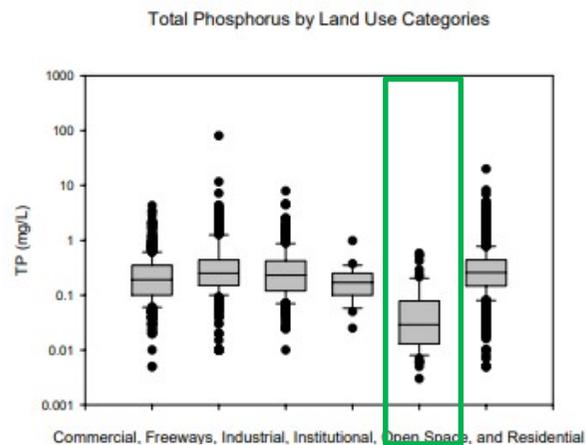
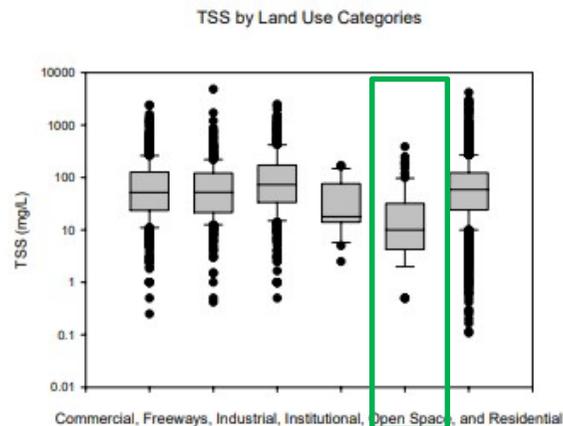
Urban stream syndrome

Effetti sulla chimica fluviale:

Molto variabili e dipendenti da:

- tipo di urbanizzazione (residenziale, commerciale, industriale)
- presenza di impianti di trattamento di acque reflue
- presenza di combined sewer overflows (CSOs)
- sistema di drenaggio delle acque di pioggia

- Nutrienti
- Ioni inorganici
- Metalli
- Contaminanti organici
- Patogeni



Urban stream syndrome

Effetti sulla chimica fluviale:

I processi autodepurativi del sistema fluviale includono:

- *Turbolenza del flusso*: contribuisce a volatilizzazione di composti chimici e aumenta i livelli DO
- *Evaporazione*: può aumentare il pH, la conducibilità e la precipitazione di sali
- *Adsorbimento su sedimenti*: può ridurre le concentrazioni di nutrienti, DOC, metalli e microinquinanti organici
- *Produzione primaria*: può favorire la precipitazione, ridurre i nutrienti per consumo e aumentare DO e DOC
- *Ossidazione di materia organica*: riduce pH, aumenta nutrienti disciolti, riduce DO e DOC e può aumentare concentrazioni di metalli in soluzione per desorbimento

Urban stream syndrome

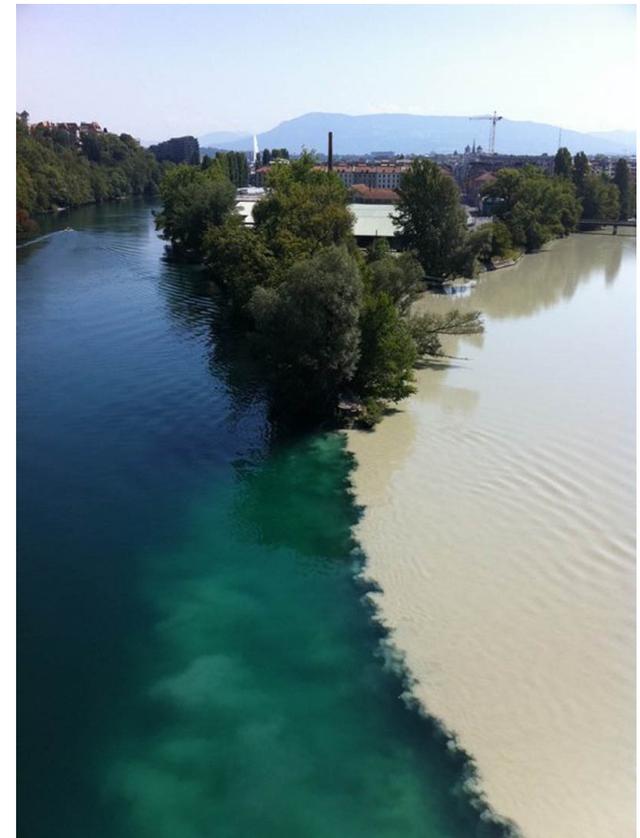
Effetti sulla chimica fluviale:

Solidi sospesi

- ✓ Aumento runoff
- ✓ Rimozione copertura vegetale
- ✓ Aumento erosione



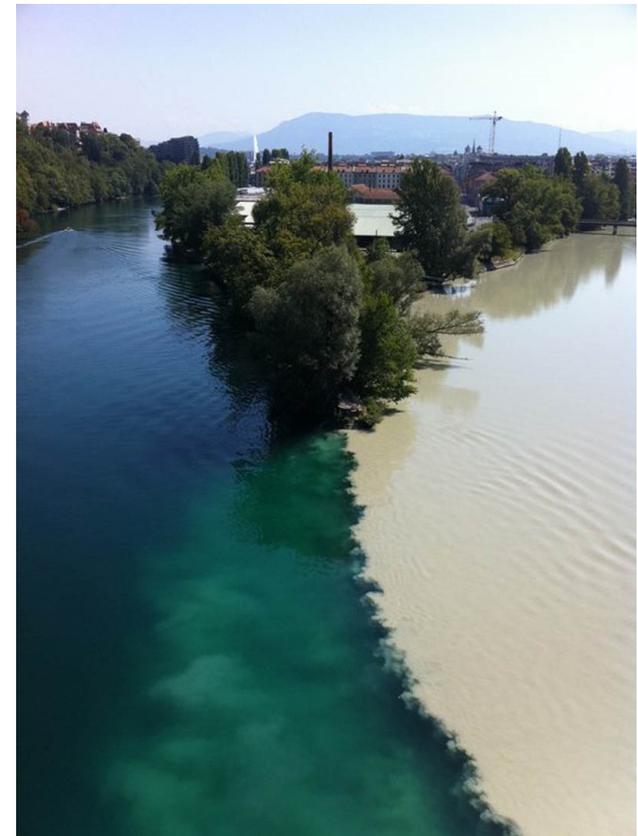
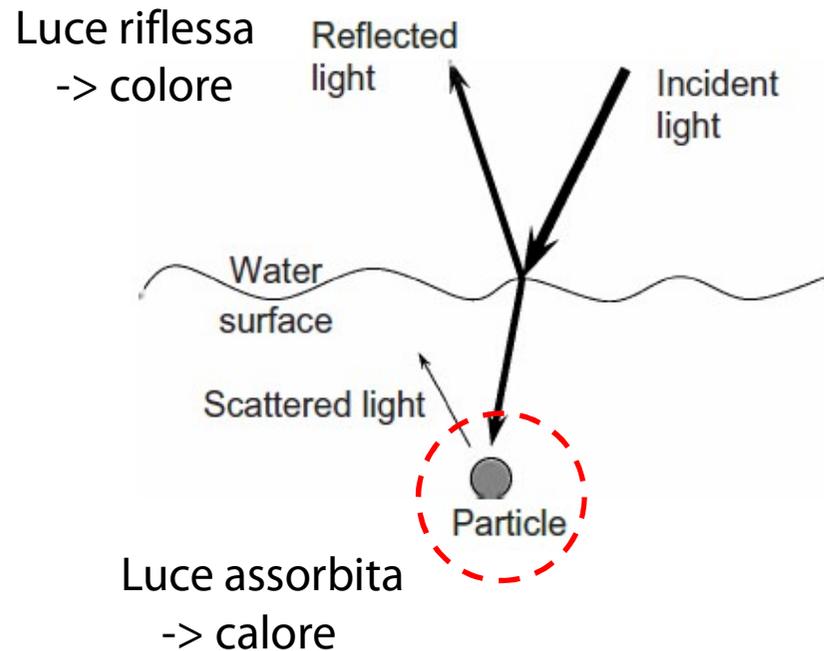
- diminuzione della penetrazione della luce
- blanketing del letto fluviale
- interrimento
- danni a branchie dei pesci e altri tessuti
- riduzione della visibilità
- trasporto di inquinanti



Urban stream syndrome

Effetti sulla chimica fluviale:

Solidi sospesi

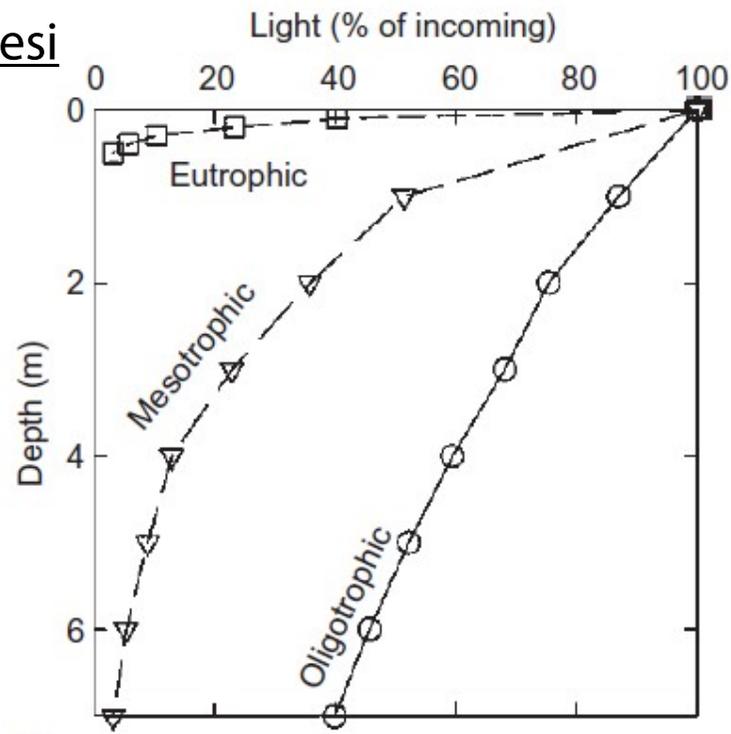


- Attività fotosintetica
- Bilancio di calore

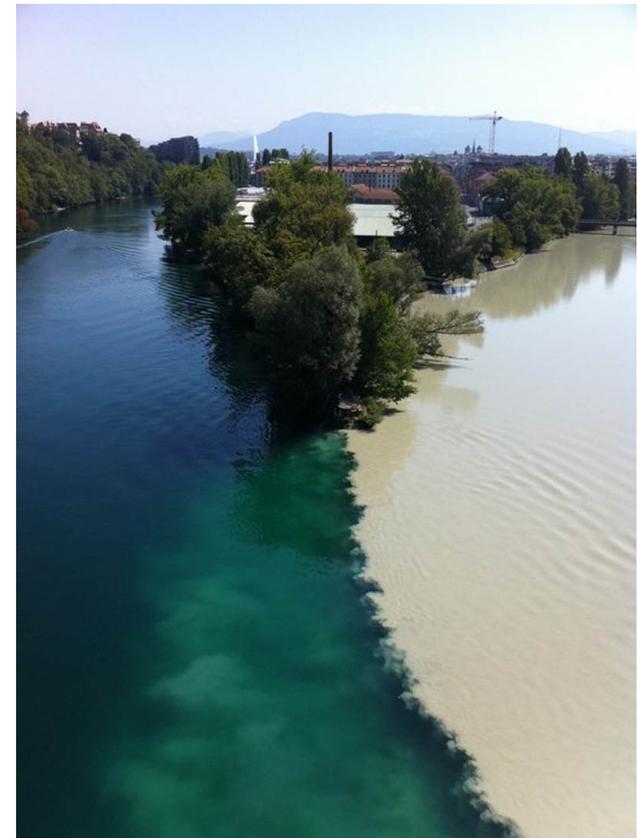
Urban stream syndrome

Effetti sulla chimica fluviale:

Solidi sospesi



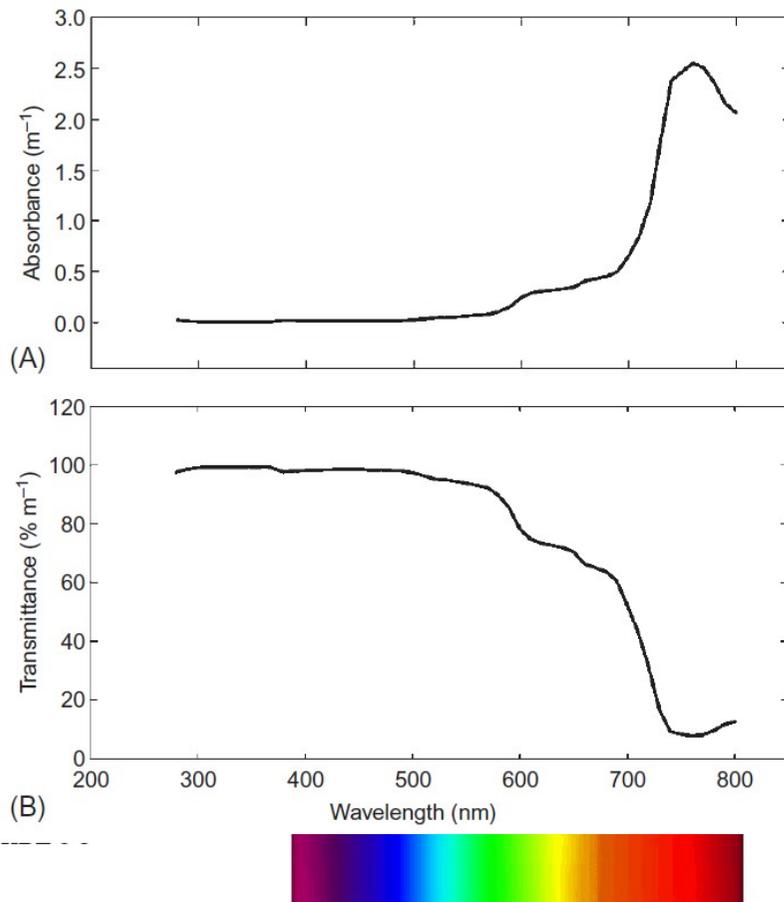
Il tasso di attenuazione della luce nella colonna d'acqua è funzione dei fenomeni di riflessione e assorbimento da parte di acqua, solidi disciolti, e solidi sospesi.



Urban stream syndrome

Effetti sulla chimica fluviale:

Solidi sospesi

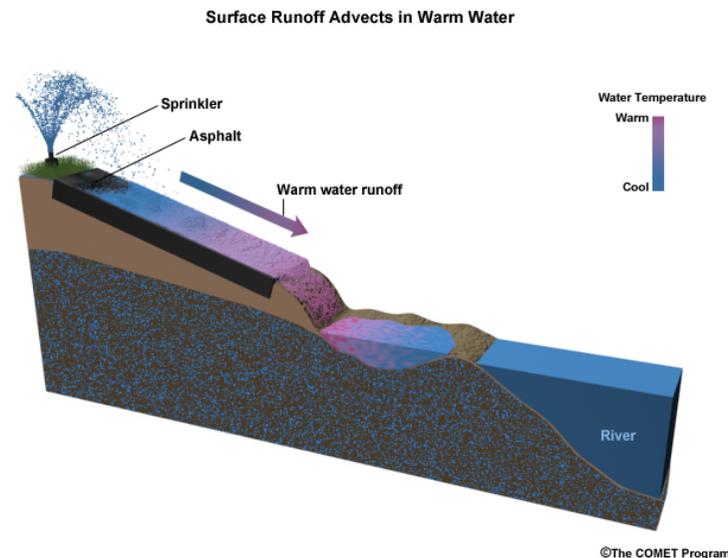


Urban stream syndrome

Effetti sulla chimica fluviale:

Temperatura

- ✓ La differenza di T tra stormwater e acqua fluviale può raggiungere 10°C in estate (elevato irraggiamento, bassa portata fluviale)
- ✓ Calore rilasciato da impianti di trattamento delle acque reflue



Urban stream syndrome

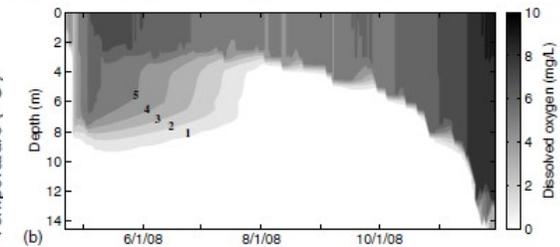
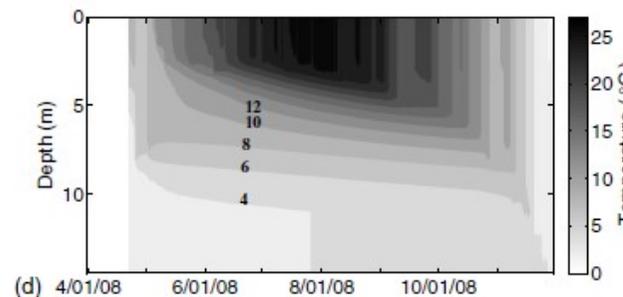
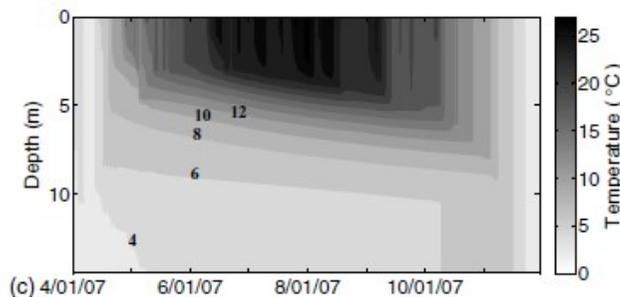
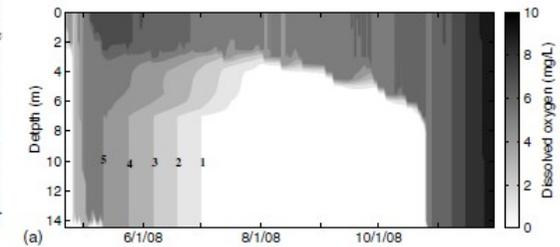
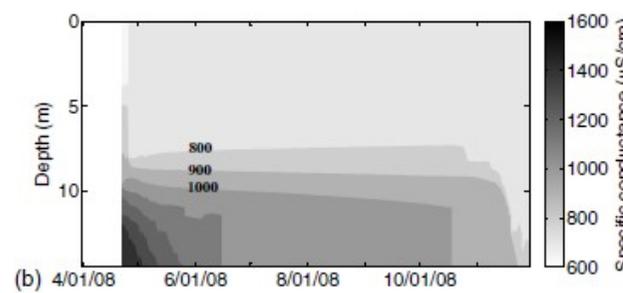
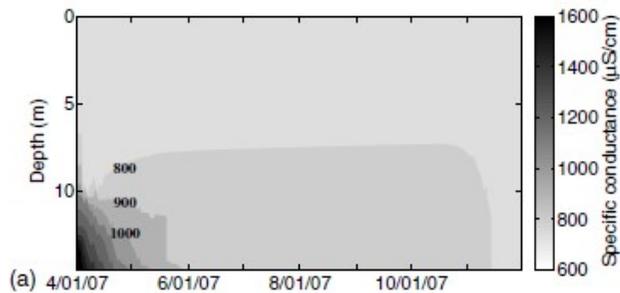
Effetti sulla chimica fluviale:

Densità

- ✓ Scarichi a T relativamente alta
 - ✓ Scarichi ricchi in solidi disciolti
- ⇒
- mixing verticale
 - Ossigenazione



Fig. 1. Urban setting and bathymetry of Tanners Lake; bathymetry obtained from the Minnesota DNR lake finder (MDNR 2009); aerial photography obtained from the Minnesota Geospatial Image Service (MnGIS 2011).

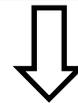


Urban stream syndrome

Effetti sulla chimica fluviale:

Ossigeno disciolto (DO)

✓ Scarichi di sostanze che consumano ossigeno da scarichi fognari (WWTP e CSOs)



- BOD
- COD
- NH₃

Temperature (°C)	DO (mg/l)
0	14.62
5	12.80
10	11.33
15	10.15
20	9.17
25	8.38
30	7.63

Table 3.3 Oxygen requirements of fish species (adapted from Gray, 1999)

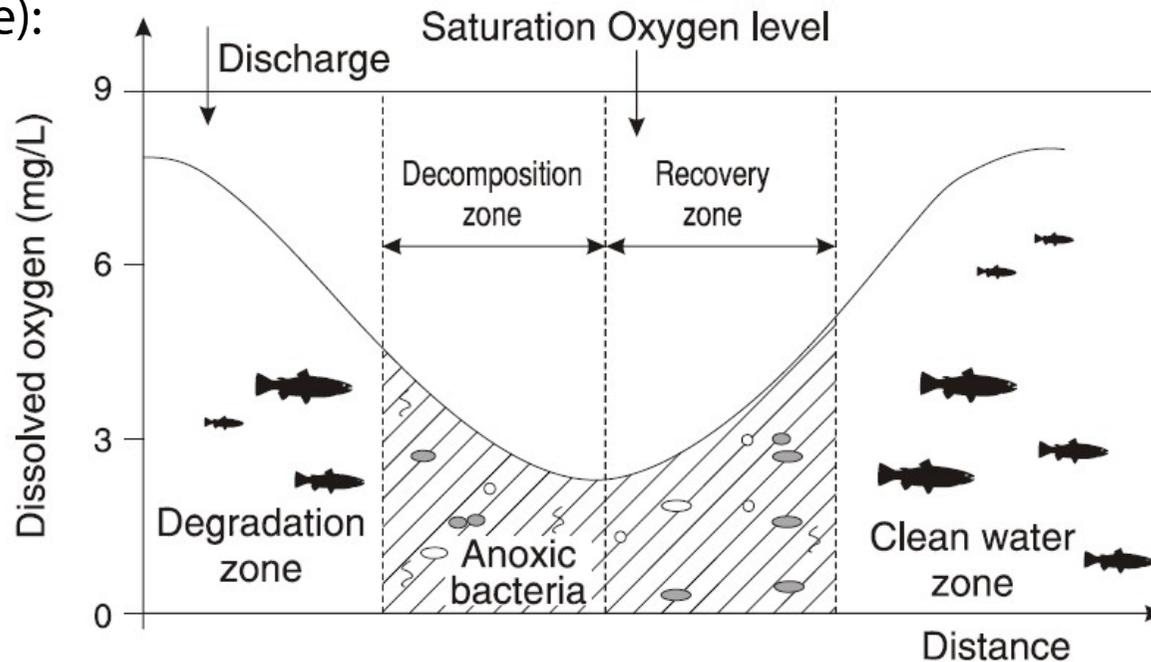
Characteristic species	Minimum DO concentration (mg/l)	Minimum saturation (%)	Comment
Trout, bullhead	7–8	100	Fish require much oxygen
Perch, minnow	6–7	<100	Need more oxygen for active life
Roach, pike, chub	3	60–80	Can live for long periods at this level
Carp, tench, bream	<1	30–40	Can live for short periods at this level

Urban stream syndrome

Effetti sulla chimica fluviale:

Ossigeno disciolto (DO)

La dipendenza della capacità autodepurativa di un fiume (biodegradazione di materia organica tramite ossidazione aerobica) da DO può essere rappresentata con la curva a sacco dell'ossigeno disciolto (sag curve):



Urban stream syndrome

Effetti sulla chimica fluviale:

BOD, COD, TOC

BOD = biological oxygen demand

COD = chemical oxygen demand

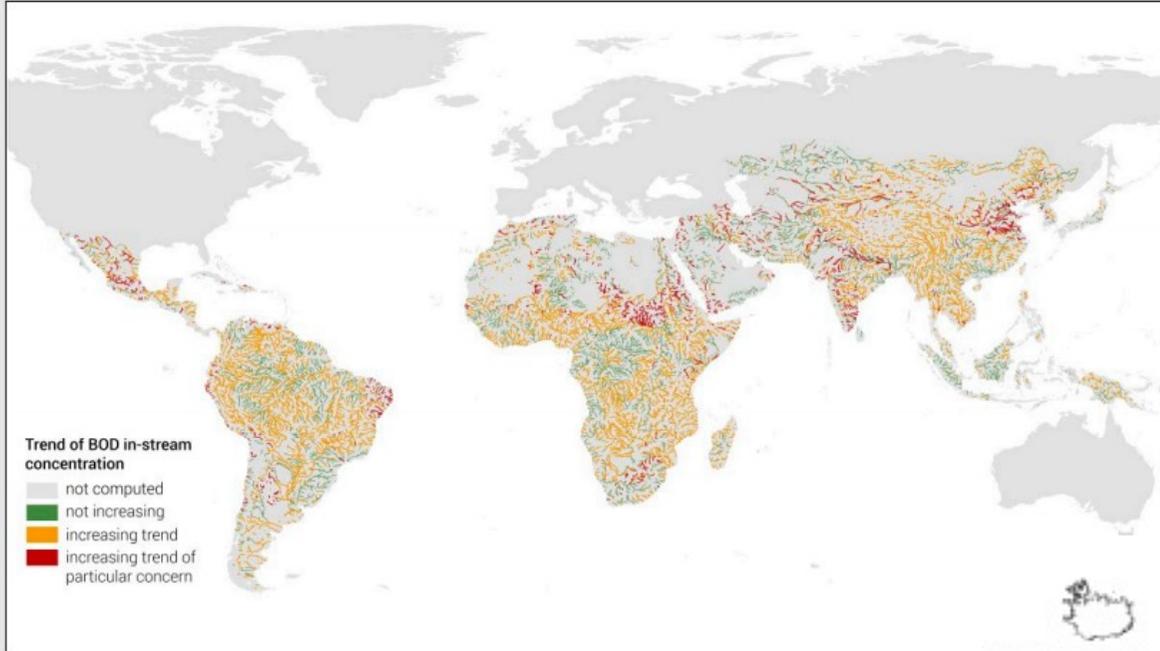
TOD = total oxygen demand

TOC = total organic carbon

Parametri che esprimono la quantità di materia organica presente in un'acqua.

Urban stream syndrome

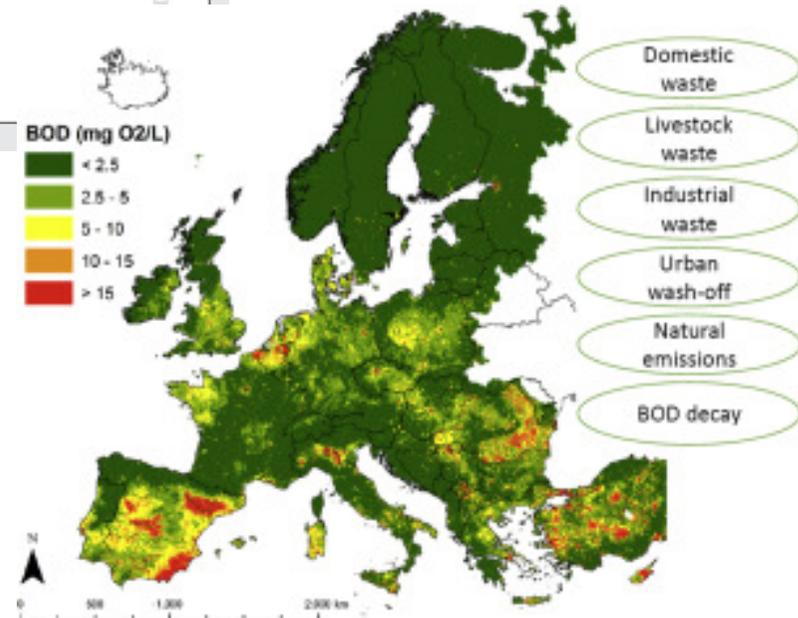
Model output: trend in biochemical oxygen demand (BOD) concentrations in rivers between 1990–1992 and 2008–2010



BOD indica la quantità di ossigeno usata dagli organismi per consumare materia organica ossidabile. È un indicatore di inquinamento organico, correlato alla contaminazione microbiologica.

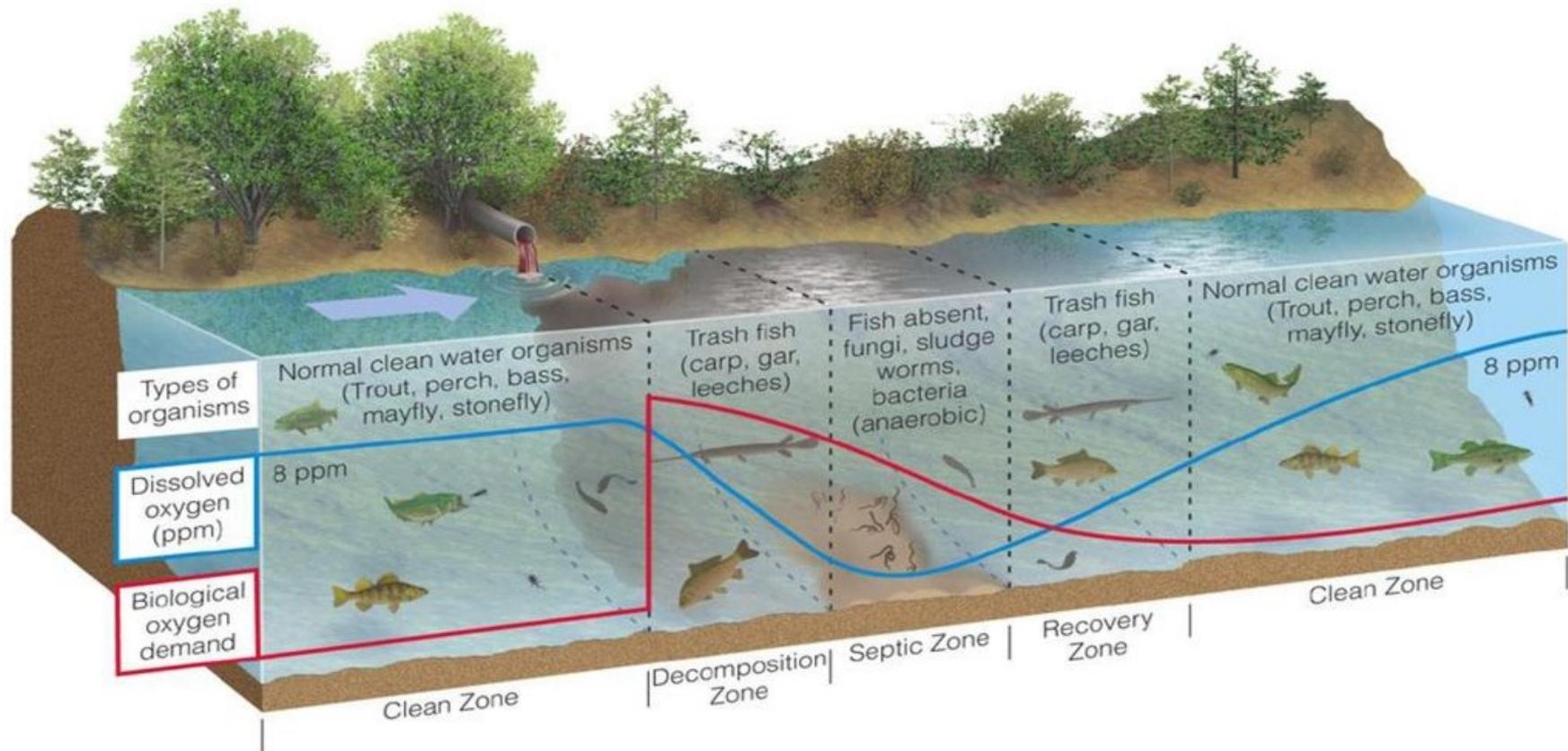
Alte concentrazioni di BOD riducono la disponibilità di ossigeno, degradano habitat acquatici e biodiversità, limitano l'uso dell'acqua.

Emissioni principali da sorgenti antropiche.



Urban stream syndrome

Nel corso del trasporto fluviale, le concentrazioni di BOD diminuiscono per effetto della degradazione microbica (auto-depurazione del fiume) e della diluizione.

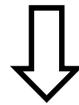


Urban stream syndrome

Effetti sulla chimica fluviale:

Nutrienti ed eutrofizzazione

✓ aggiunta di N e P da parte di scarichi da WWTP, CSOs e stormwater



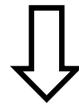
- Crescita di produttori primari (alghe e piante acquatiche)
- Cambiamenti nella struttura della catena trofica
- Cambiamenti nella composizione della comunità algale
- Cambiamenti in habitat e perdita di specie

Urban stream syndrome

Effetti sulla chimica fluviale:

Tossicità

✓ scarichi da WWTP, CSOs e stormwater determinano alte concentrazioni di numerosi inquinanti



- Alterazioni nella catena trofica
- Ridotta biodiversità

✓ Effetti microbiologici: patogeni



Rio Tinto
(Andalusia, Spagna)

Drenaggio acido
da miniere o siti
industriali

Urban stream syndrome

Effetti sull'ecologia fluviale:

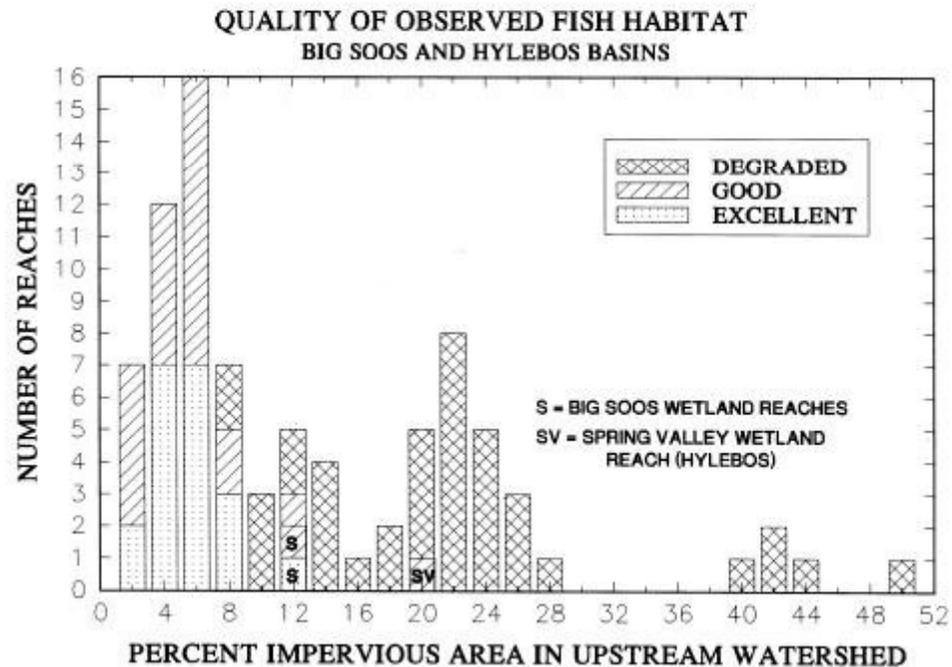
- Gli organismi fluviali rispondono ai cambiamenti nelle condizioni chimico-fisiche:
 - Flusso d'acqua
 - Qualità dell'habitat (es. sedimentazione)
 - Chimica dell'acqua
- Riduzione delle specie native
- Aumento delle specie esotiche (invasive)

Urban stream syndrome

Effetti sull'ecologia fluviale:

- Le popolazioni di pesci spesso decrescono rapidamente per una copertura impermeabile del suolo del 10-15 %

- Le comunità di invertebrati spesso diminuiscono rapidamente per una copertura impermeabile del suolo dell' 1-15 %



Urban stream syndrome



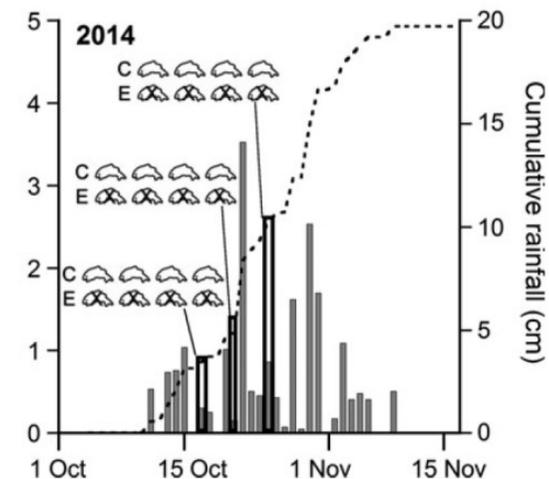
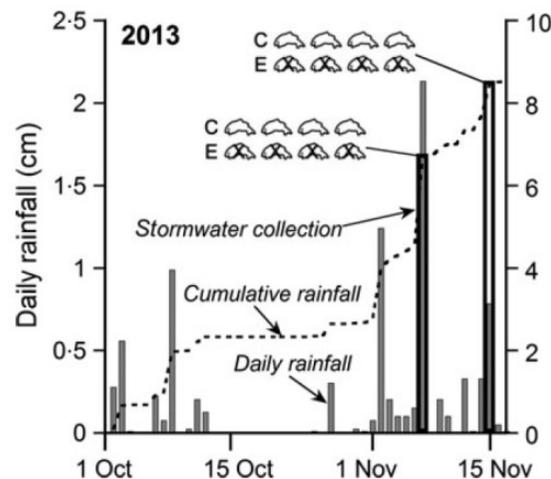
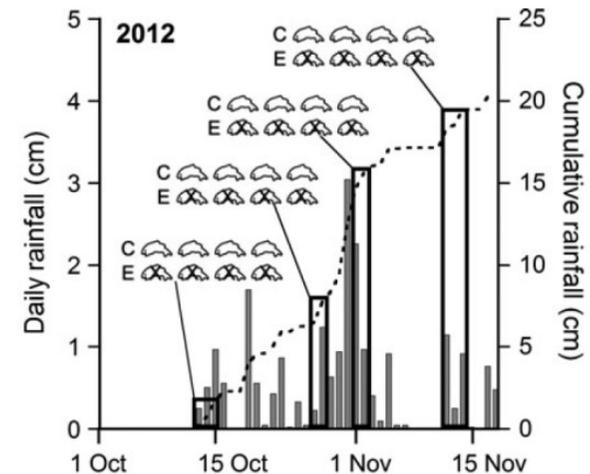
Tossicità delle acque di dilavamento urbano: impatto sui salmoni Coho

- Salmoni esposti a runoff autostradale o ad acqua pulita

- Mortalità associata al runoff non imputabile interamente a metalli e IPA

- Infrastrutture verdi biofiltranti efficaci

C = unexposed controls
 E = stormwater-exposed
 = asymptomatic
 = symptomatic or dead



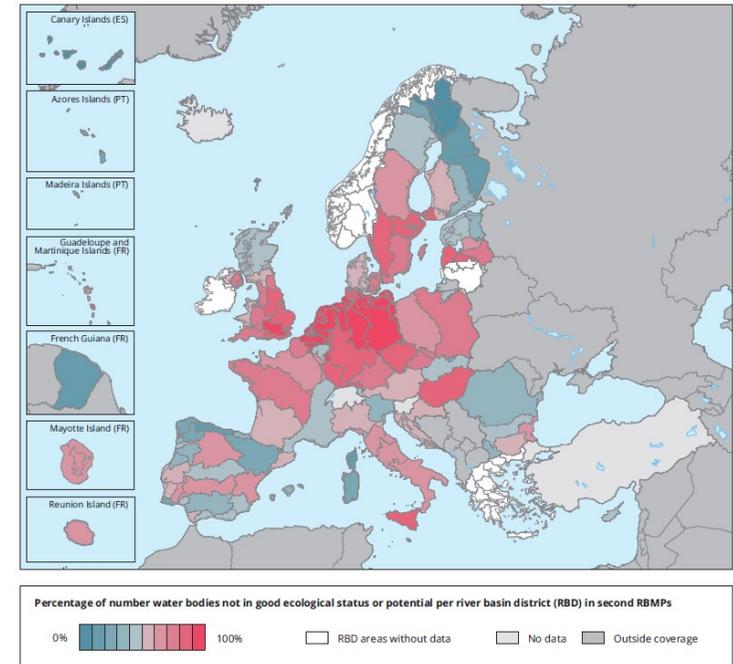
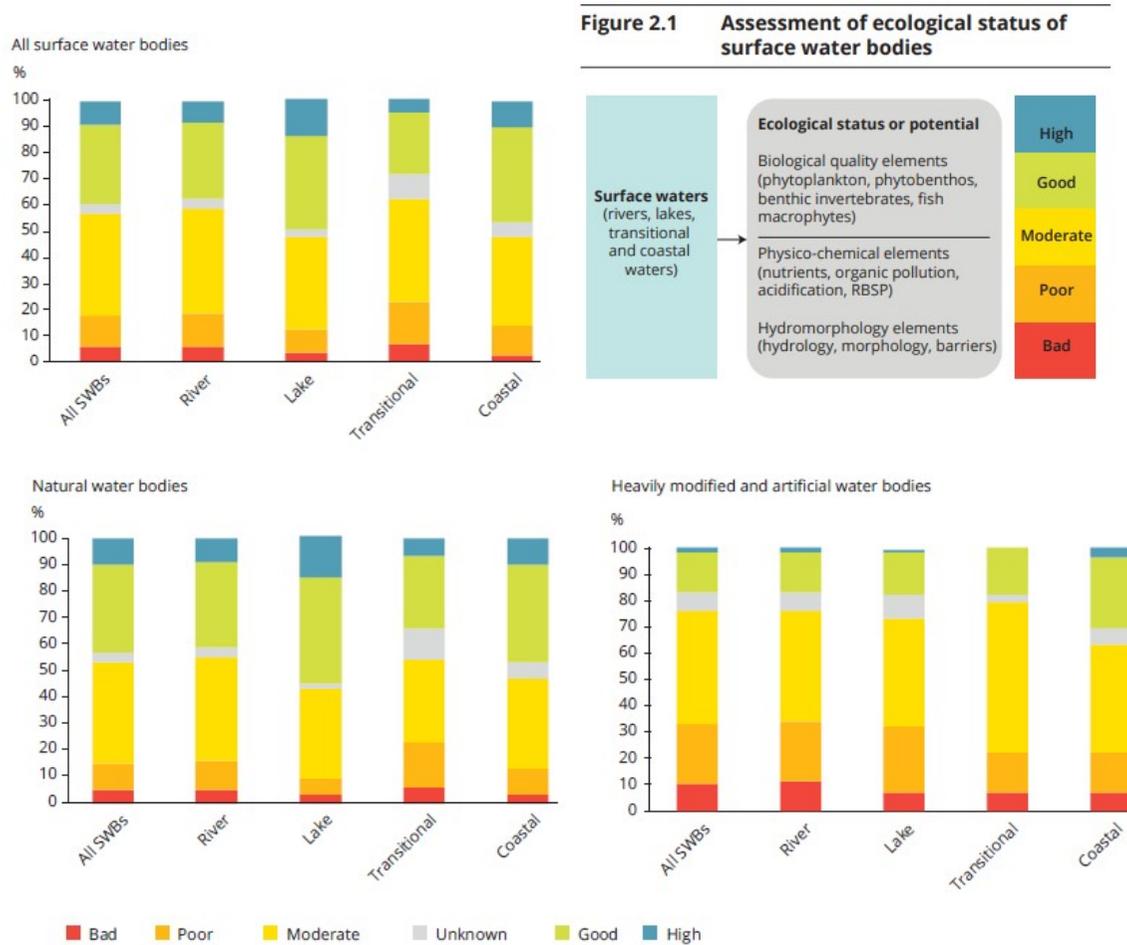
Urban stream syndrome

Sintomi:

- Idrografia più rapida
- Elevate concentrazioni di nutrienti e contaminanti
- Minor numero di corsi d'acqua di piccole dimensioni nel reticolo idrografico
- Morfologia dei canali alterata
- Biodiversità ridotta

Impatto su funzioni ecosistemiche

Urban stream syndrome



Urban stream syndrome

Soluzioni?

- Interventi in alveo per ristabilire la connessione con la piana alluvionale e le funzioni ecologiche del sistema fiume
- Interventi per ridurre il runoff urbano e minimizzare scarichi in acque superficiali

Drenaggio urbano sostenibile

Il **drenaggio urbano sostenibile** si pone l'obiettivo di gestire le acque di pioggia ricadenti in aree urbane in modo da:

- i. riequilibrare il bilancio idrologico e ridurre il carico inquinante dei corpi idrici, passando da uno stadio dopo l'urbanizzazione ad uno stadio prima dell'urbanizzazione;
- ii. permettere alle città di comportarsi come le così dette città spugna (*sponge cities*);
- iii. costruire infrastrutture verdi in grado di sfruttare tutti i benefici forniti dai servizi ecosistemici delle soluzioni naturali (*nature-based solutions*).