



## CITTA' RESILIENTI

**l'adattamento dei sistemi urbani al cambiamento climatico**

[www.ecodynamics.unisi.it](http://www.ecodynamics.unisi.it)



**Impronta Ecologica e altri indicatori ecodinamici**

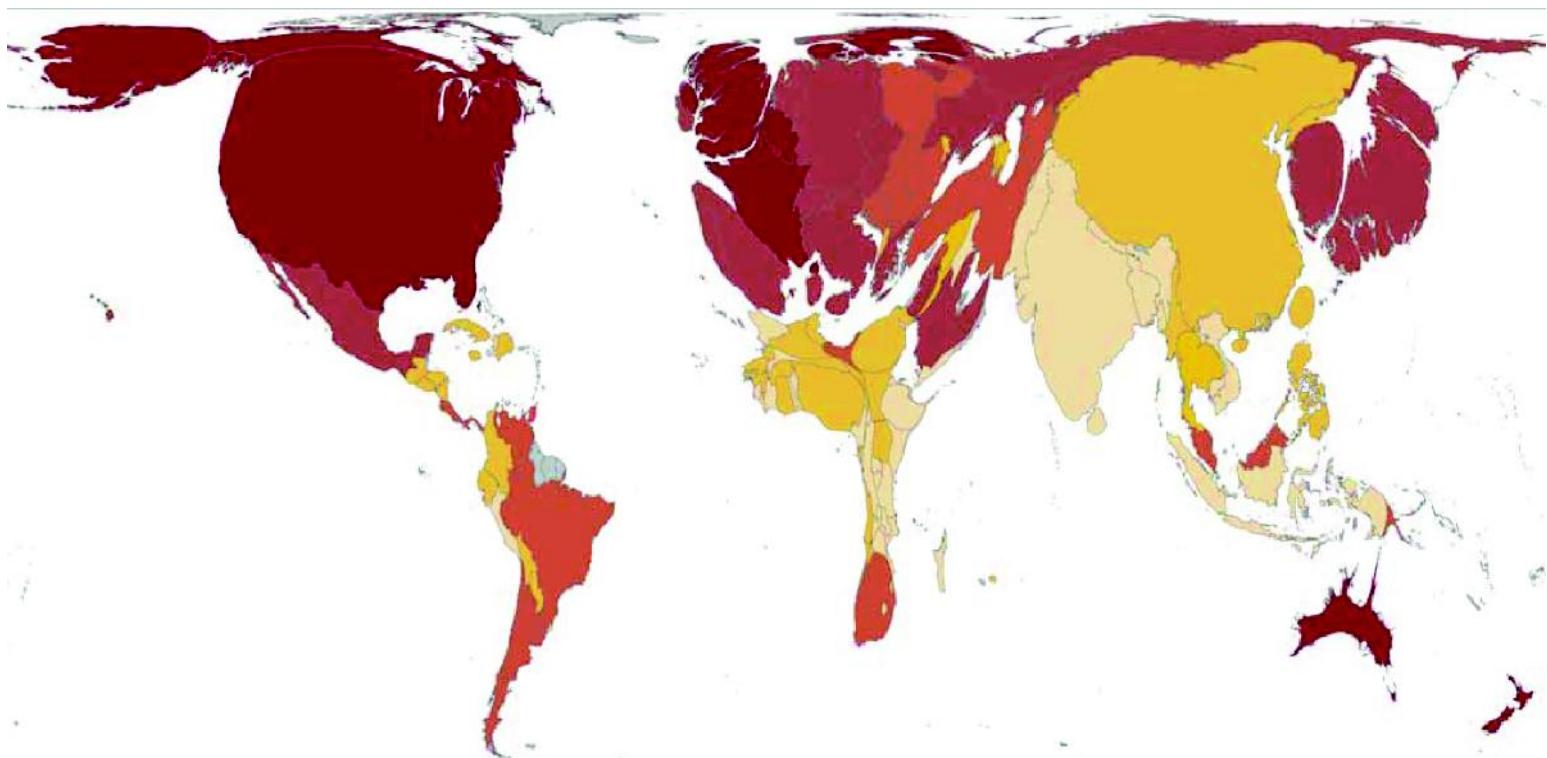
*Riccardo M. Pulselli, Valentina Niccolucci*

May 20 2011 – Firenze – Terra Futura

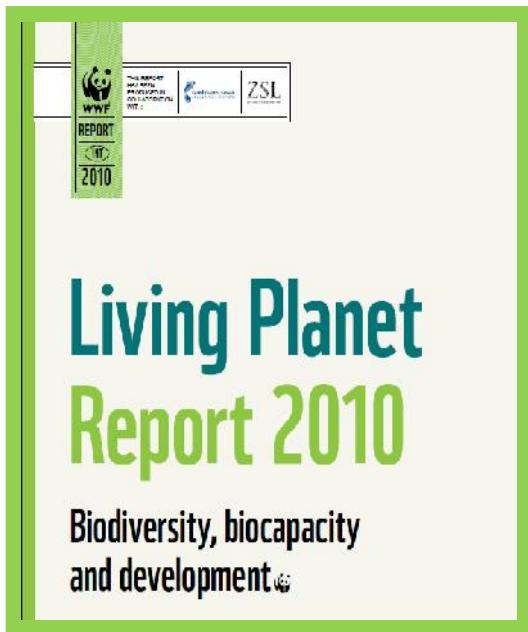
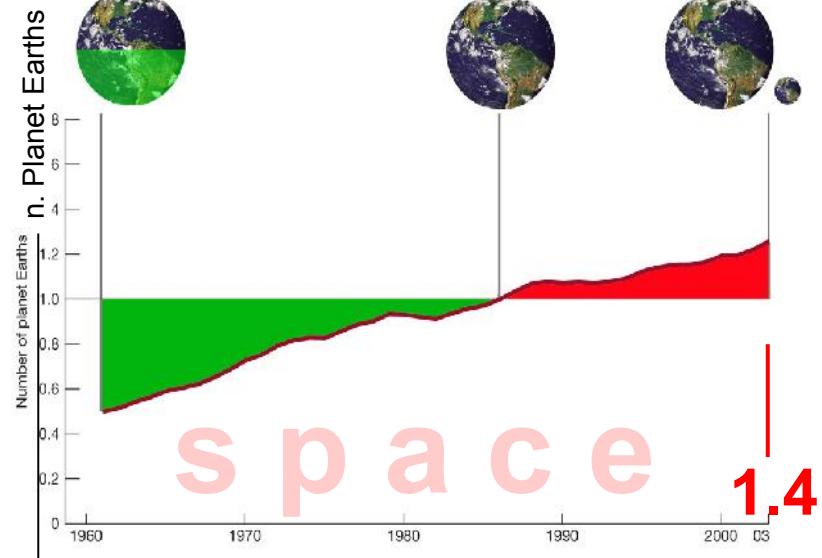


✓

Planisfero di Idrisi



Mappa dell'impronta ecologica dei paesi del mondo – Living Planet Report 2006.



t i m e



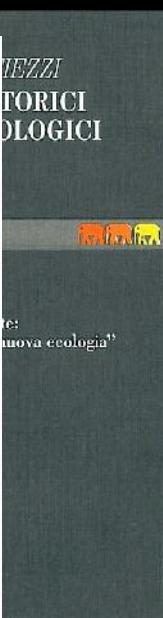
1,1 gha procapite  
Biocapacità

3,9 gha  
procapite  
Terra importata

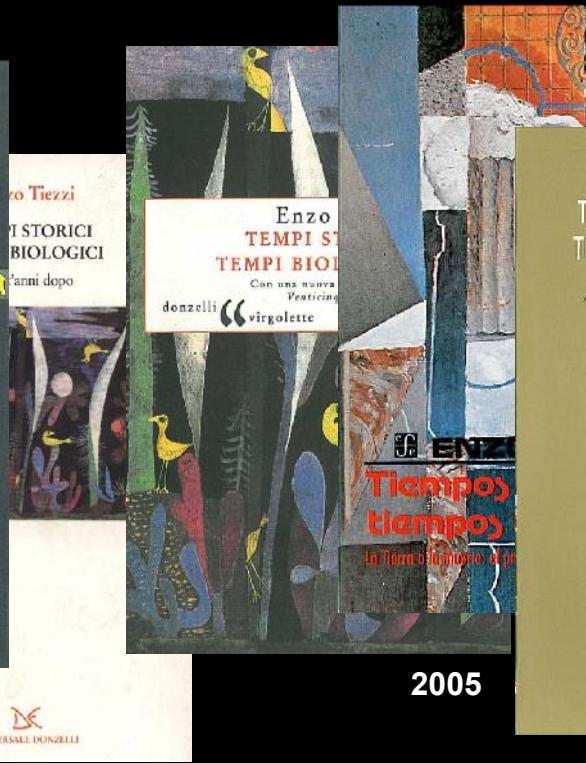
5,0 gha  
procapite  
Impronta ecologica



1984



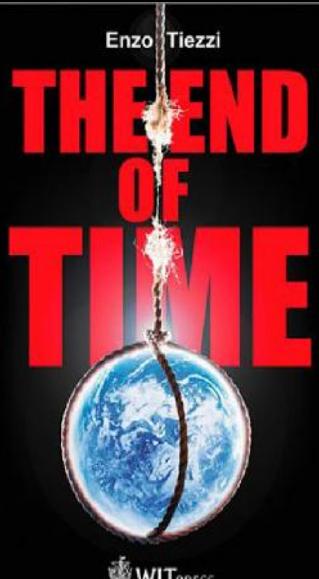
1992



1988

**TEMPOS  
TEMPOS**

A terra ou a  
dan



2003

1990

2001



$$EF_{product} = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^n EQF_i * EF_{i,j}$$

i = 1...6 tipi di terreno (cropland, grazing land, fishing grounds, forest area, built-up land & carbon uptake land)

j = 1...n input necessari alle fasi di produzione

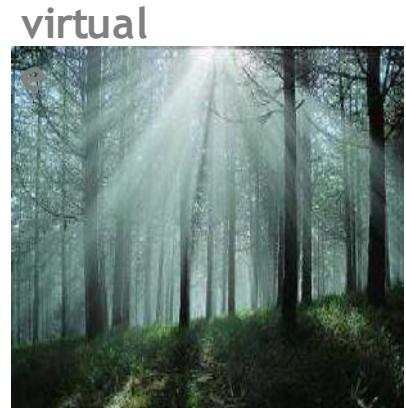
EQFi = fattore d'equivalenza per l'i-esimo terreno



=



+



**I<sub>E</sub> pane=26,3  
gm<sup>2</sup>**

**6,5  
gm<sup>2</sup>**

**25  
%**

**19,8  
gm<sup>2</sup>**

**75  
%**

$$WF_{\text{prod}}[p] = \frac{\sum_{s=1}^k WF_{\text{proc}}[s]}{P[p]}$$



**WFproc [s] = consumo di acqua necessaria a produrre a monte l'input dello step S**

**P = quantità del prodotto p**

**WFprod = WFblu+WFverde+WFgrigia**

**BLU:** acqua usata dalle risorse idriche blu globali (fiumi, laghi e falde); **VERDE:** acqua evaporata dalle risorse idriche globali verdi (acqua immagazzinata nel suolo e nelle piante); **GRIGIA:** acqua inquinata a causa del processo produttivo

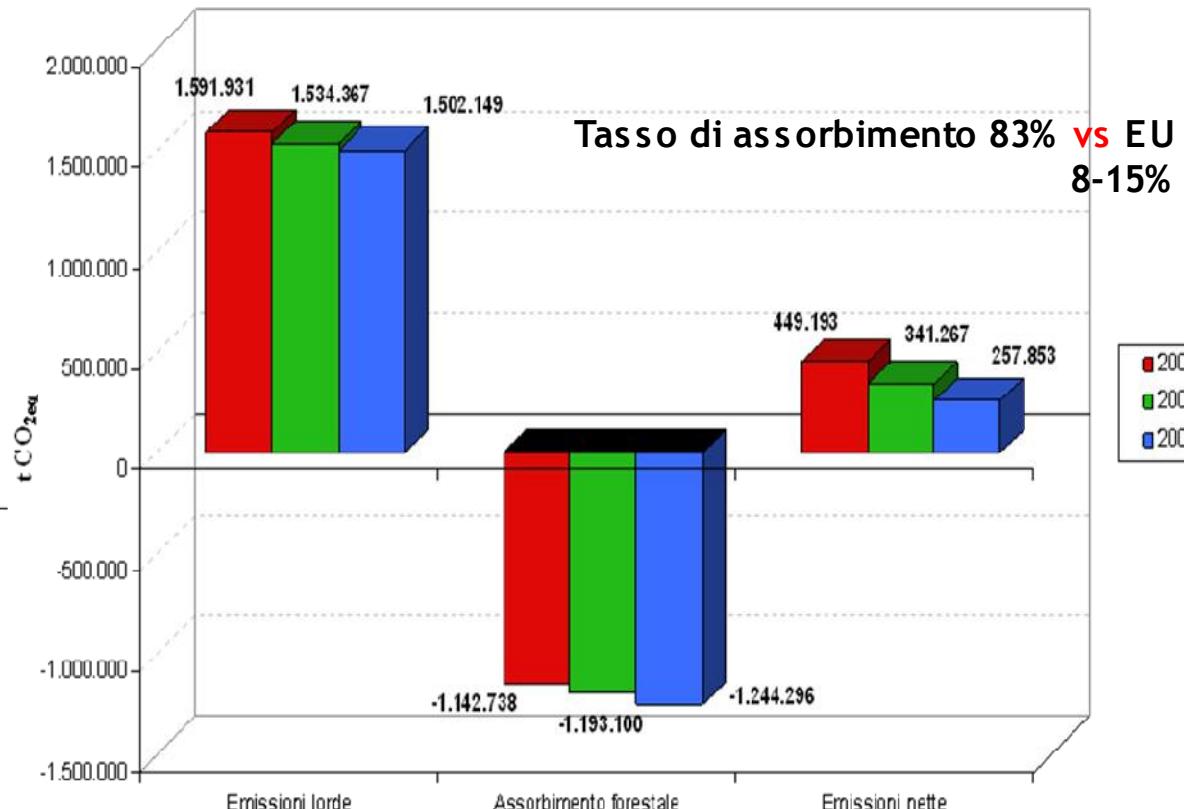


$$CF_{product} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n GWP_i * Q_{i,j}$$



GWP = global warming potential di ogni emissione di gas i considerata

Q = quantità di ogni emissione di gas i per ogni input j considerato



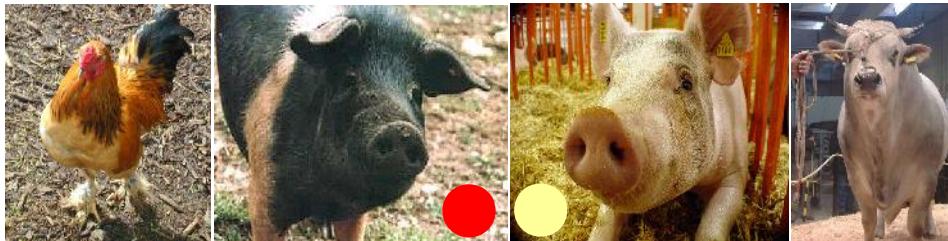
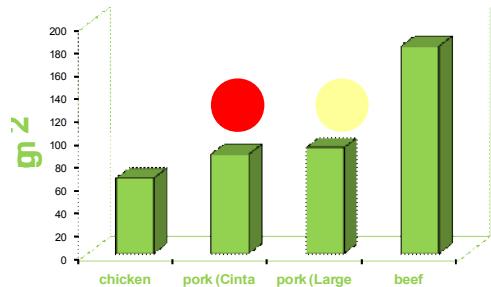


Fig.3 Ecological Footprint of different meats



Water Footprint of different meats

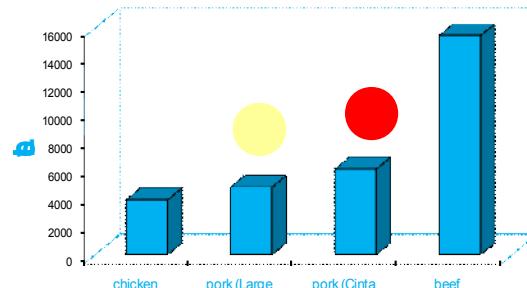
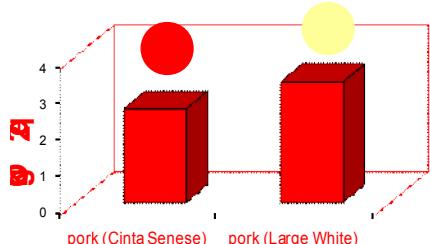


Fig.3 Carbon Footprint



**CARBON FOOTPRINT (kg CO<sub>2</sub>eq / 1,5 litri)**

**$3.37 \times 10^{-1}$  vs  $1.35 \times 10^{-3}$**

**$\frac{3}{3}$  ECOLOGICAL FOOTPRINT (gm<sup>2</sup> / 1,5 litri)**

**0.5 vs 0.003**

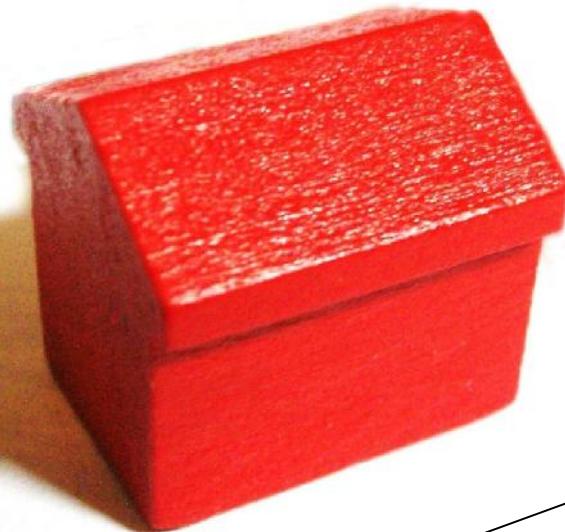
**WATER FOOTPRINT (L / 1,5 litri)**

**$3.43^*$  vs 3.63**

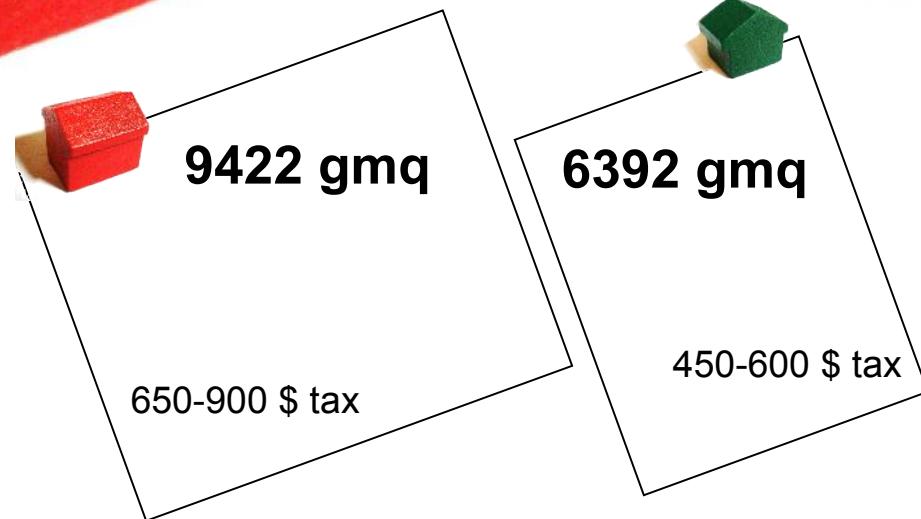
\* arriva a 6.92 L se includiamo anche la frazione di cooling water



## EF 4-STORY BUILDING

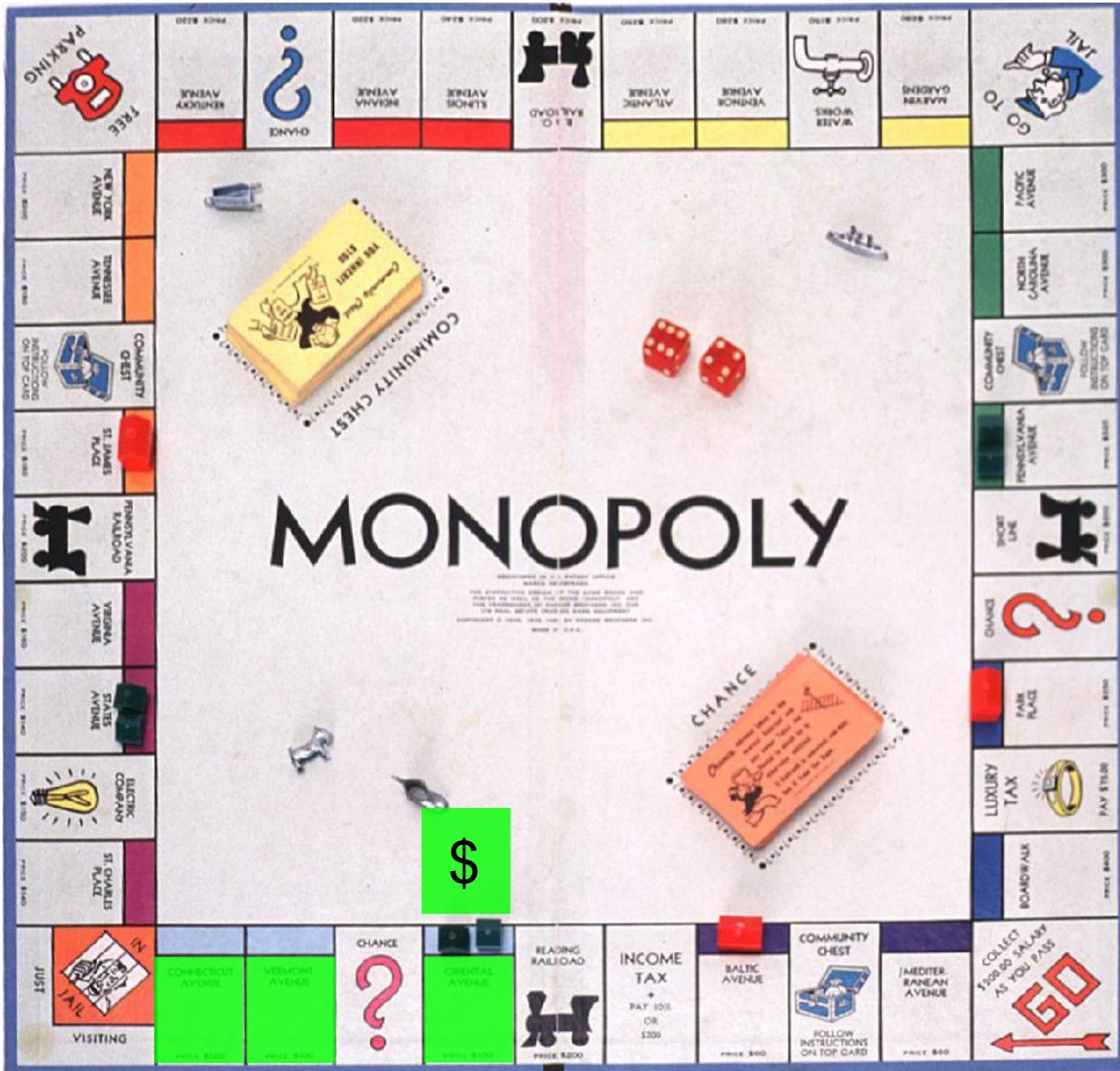


## EF DETACHED HOUSE



Bastianoni S, Galli A, Pulselli R M, Niccolucci V. Environmental and economic evaluation of natural capital appropriation through building construction. *Ambio* 36(7) 2007 559-565.

Assessment of construction + maintenance processes (life span 75yrs) - based on embodied energy



Even the most moderate UN scenarios would require humanity to use twice the capacity of planet Earth by 2030. This is physically impossible. Those who are recognizing this reality and are preparing themselves will be the winners of the 21st Century.

# Are you ready?



A chi è rivolto il-forum?

Il Footprint Forum è aperto a tutti i membri delle organizzazioni affiliate al Global Footprint Network, agli studenti agli amministratori, specialisti di politica e altri professionisti operanti nel campo della sostenibilità, ai perfunzionari extraterritoriali ed ai leader e a dirigenti sia internazionali che nazionali che mostrino interesse per la conoscenza della sua impostazione ecologica e per la gestione calcolata dell'Impresa Ecologica.

CON IL PATROCINIO DI

Apulia e per il Progetto Ambientale e servizi Teclis

Coordinamento Agenti 21 Locali Italiane

Comunità Montana Amata Val d'Otta

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Nata Universtario Colle Val d'Elsa

Regione Toscana

Scuola di Dottorato di Ricerca in Scienze Chiaravalliane

Università degli Studi di Siena

Società di Dottorato di Ricerca in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e la Terra

Università degli Studi di Siena

Società Chimica Italiana

(Divisione: Chiaravalliane e dei Beni Culturali)

Società Italiana di Ecologia

Università degli Studi di Siena

COMITATO ORGANIZZATORE

Maria Wiedermann

Global Footprint Network

Simone Battistoni

Università degli Studi-Siena

CONFERENCE COORDINATOR

Carlo Virgili

Montedison

conferencenetwork@footprintforum.org

STAFF

Nina Jolani, Broking Gatenwood, Susan Burke

Global Footprint Network

www.footprintnetwork.org

Valentina Nicotra, Mara Bosi, Alessandro Galli  
Dip. di Scienze Tecnologiche, Chiaravalliane e dei Beni Culturali  
Università degli Studi di Siena  
via A. Minozzi, 2 - 53100 Siena

tel. 0577-212344; 077-212438; fax 3577-132.004  
e-mail: vnicotra@unisi.it



Global Footprint Network  
Advancing the Science of Sustainability



Università degli Studi di Siena  
Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche e del Biosistema

## FOOTPRINT FORUM learn - share - connect

14 - 17 Giugno 2006  
Colle Val d'Elsa e Siena

### Programma Preliminare

Mercoledì 14 e Giovedì 15 Giugno (Colle Val d'Elsa)

Forum riservato ai partner del Global Footprint Network

Il forum prevede una serie di convegni preliminari, riservati ai partner del Global Footprint Network e rivolti all'approfondimento delle strategie e delle finalità dell'Impresa Ecologica ed agli sviluppi futuri degli standard metacologici ed certificazioni.

Arrivo i lavori nel Congresso il prof. Sivass Fouad direttore dell'Università di Siena.

Venerdì 16 Giugno (Siena)

Conferenza pubblica sull'Impresa Ecologica

La conferenza pubblica si svolgerà presso il complesso iniziale del Santa Maria della Scala, nel centro storico di Siena e prevede la presenza di importanti ospiti ed esperti mondiali, tra cui Martin Wiedermann (Direttore del Global Footprint Network), Enzo Tezzani (Coordinatore della Scuola di Dottorato di Ricerca in Scienze Chiaravalliane dell'università di Siena), Jacqueline McGlade (Oxford Ecological Economics Research Group, Agence de l'Environnement Protection Authority dello stato di Victoria, Australia) e un delegato del Coordinamento Agenti 21 Locali Italiani. L'ingresso alla conferenza è gratuito. E prevista la traduzione simultanea.

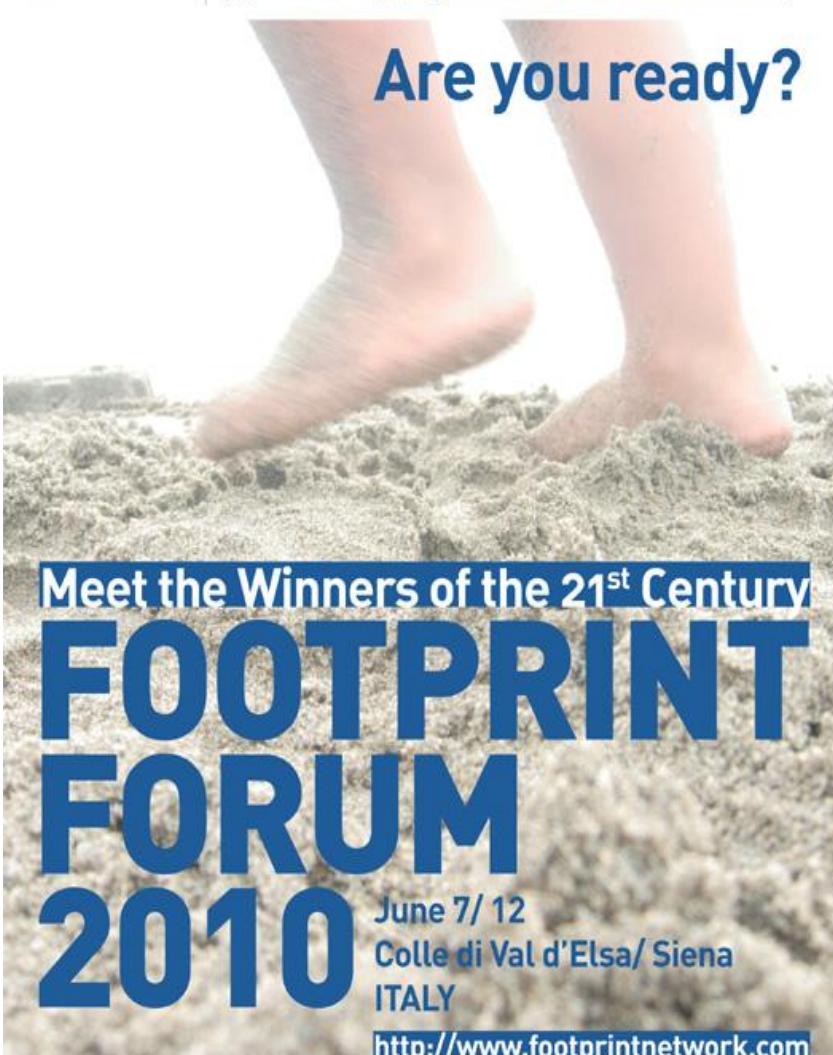
Sabato 17 Giugno (Colle Val d'Elsa)

CORSO INTRODUTTIVO ALL'IMPRESA ECOLOGICA

CORSO INTEGRALE DELLA DURATA DI UN GIORNO SULLA CONOSCENZA SCIENTIFICA DI BASE, SUI PRINCIPI METODOLGICI, SUGLI STRUMENTI E SULLE STRATEGIE DI COMUNICAZIONE DELL'IMPRESA ECOLOGICA. LA QUOTA DI ISCRIZIONE È DI 400 euro a persona, per gli studenti e per i mentori in azienda o istituzioni partner la quota è di 200 euro a persona. Gli sponsor delle diverse posizioni usufruiranno di 100 posti gratuiti.

[www.footprintforum.org](http://www.footprintforum.org)

evento realizzato con il contributo di:



con la collaborazione di





Prefazione di Paolo Portoghesi



Riccardo M. Pulselli e Enzo Tiezzi  
**CITTÀ FUORI DAL CAOS**  
La sostenibilità dei sistemi urbani

DONZELLI EDITORE

Riccardo M. Pulselli  
and Enzo Tiezzi

# City out of Chaos

Urban Self-organization  
and Sustainability



**WIT** PRESS

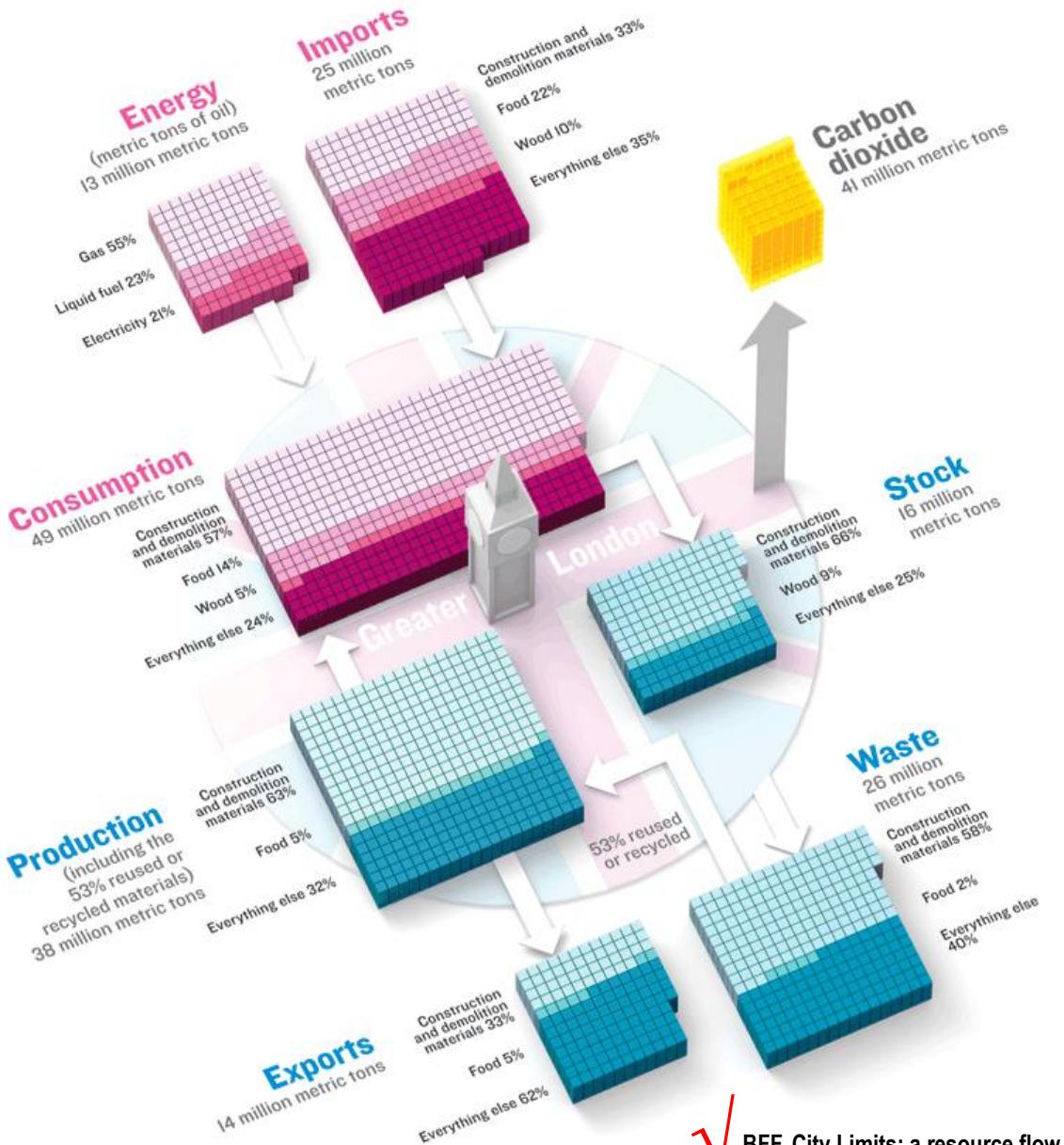
*The most simple example of dissipative structures that we can evoke by analogy is the city.*

*A city is different from the countryside that surrounds it; the roots of its individuation lie in the relations it entertains with the adjacent countryside: if the countryside was eliminated, the city would disappear.*

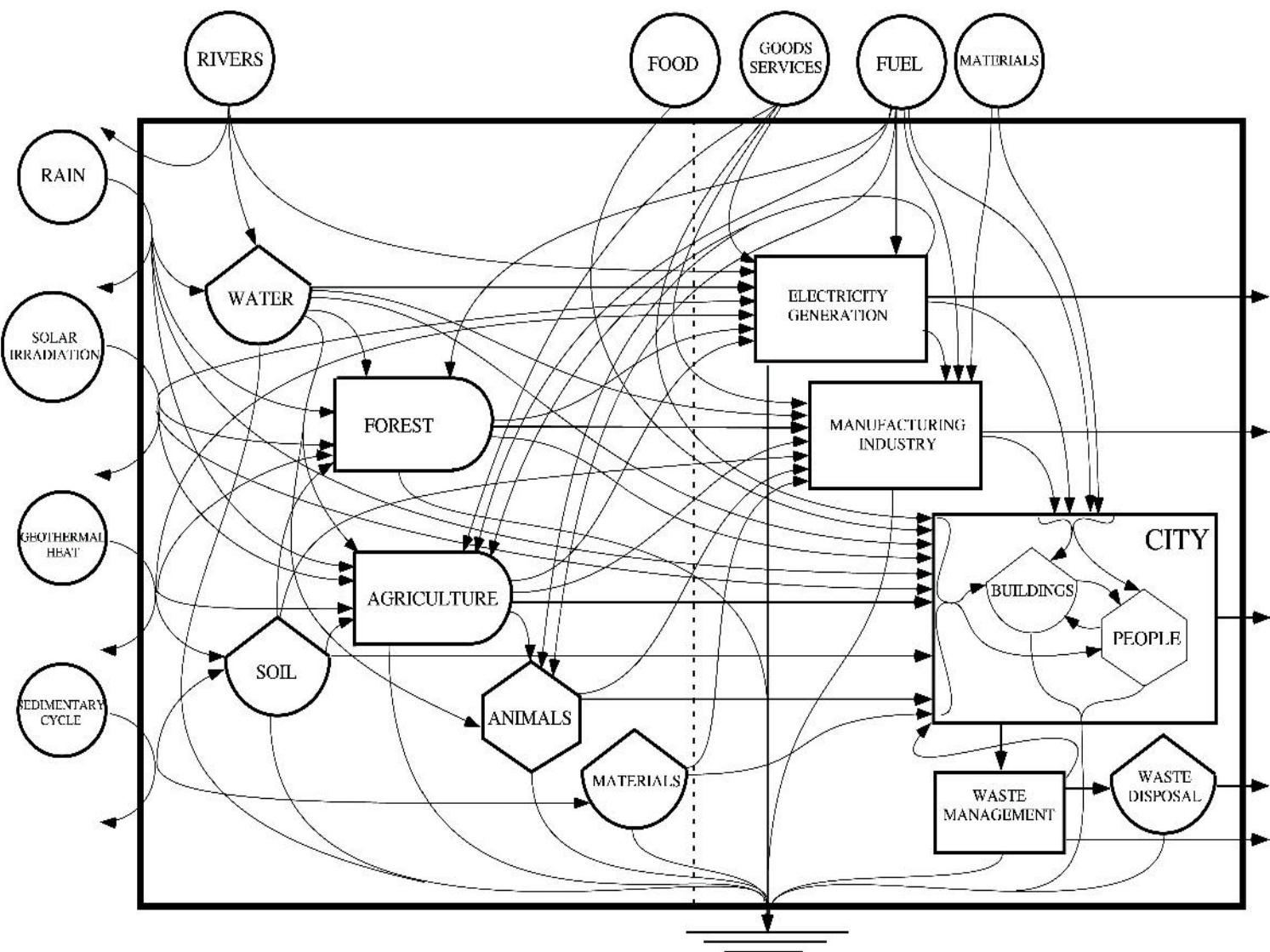




Ambrogio Lorenzetti – Effetti del Buon Governo 1340

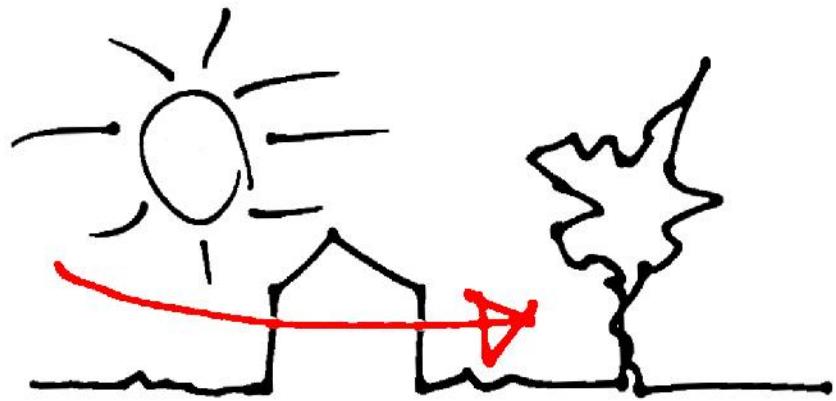


BFF, City Limits: a resource flow and ecological footprint analysis of Greater London. Best Foot Forward Ltd, London 2009



✓ Energy System Diagram of an urban system

ODUM'S MACROSCOPE



*“the quantitative understanding of the relationships  
between **human-dominated systems** and  
the **biosphere**  
is the realm  
of energy analysis”*

H.T. Odum 1971











TERAMO

Gran Sasso  
NATURAL PARK

L'AQUILA

Sirente Velino  
NATURAL PARKBUS  
SI

PERETO-CARSOLI

AVEZZANO

SULMONA

Naz. d'Abruzzo  
NATURAL PARK

GIULIANOVA

CHIETI

PESCARA

ORTONA

VASTO

VAL DI SANGRO

LANCIANO

La Maiella  
NATURAL PARK10,788 km<sup>2</sup>

0 0.5 1 10 30 50

UNIT 10<sup>20</sup> seJ yr<sup>-1</sup>

1,305,531 inhabs

4 provinces

315 municipalities

Renewable R (2%)

Non-renewables N (29%)

Local L (31%)

Energy inflows F1 (17%)

External inflows F2 (52%)

External F (69%)

7.45 x 10<sup>22</sup>

sej/year





Riccardo Maria Pulselli

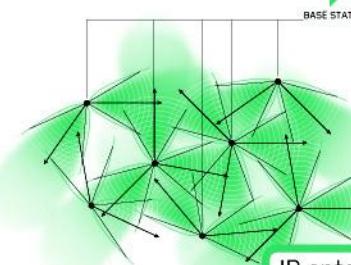
Come esplorare la cinetica dei sistemi urbani

# La città in movimento



La rete terrestre di telecomunicazione mobile è costituita dalle base-stations in cui sono posizionate le antenne.

Per ogni antenna è nota la posizione e la direzione-orientamento.



	FY3651_01	FY3651_02	FY3651_03	FY3651_04	FY3651_05	FY3651_06	FY3651_07	FY3651_08	FY3651_09	FY3651_10	FY3651_11	FY3651_12	FY3651_13	FY3651_14
hour	550m	550m	550m	2200m	3800m	4050m	4400m	4850m	5300m	6050m	6800m	7150m	7700m	NN_4948XXXX
00:00_01:00														NN_4948XXXX
01:00_02:00														NN_4948XXXX
02:00_03:00														NN_4948XXXX
03:00_04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NN_4948XXXX
04:00_05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NN_4948XXXX
05:00_06:00	0	2	1	166										NN_4948XXXX
06:00_07:00	0	0	33	478	136	270	63	73	83	26	0	0	0	NN_4948XXXX
07:00_08:00	3	135	1198	4562	1493	2408	1189	542	832	355	37	117	13	NN_4948XXXX
08:00_09:00	15	512	3025	9114	5068	7550	4619	2266	1906	517	386	202	23	NN_4948XXXX
09:02_09:50_10:00	5	641	5754	15321	8411	12733	5077	4522	5259	649	299	69	39	NN_4948XXXX
08:02_10:00_11:00	16	1276	6832	12660	8707	13430	7118	4252	2987	956	378	52	20	NN_4948XXXX
08:02_11:00_12:00	12	587	7802	15638	7960	14296	9142	3627	835	707	665	52	47	NN_4948XXXX
08:02_12:00_13:00	100	1824	5772	16223	9886	16277	4509	2440	1554	1575	303	39	0	NN_4948XXXX
08:02_13:00_14:00	51	842	5350	9874	4279	6731	5957	4298	3098	545	543	135	34	NN_4948XXXX
08:02_14:00_15:00	94	816	6124	11501	7022	9313	6972	3537	3015	1199	532	258	18	NN_4948XXXX
08:02_15:00_16:00	10	1006	15630	12185	7451	13386	7185	4534	3364	496	1079	640	91	NN_4948XXXX
08:02_16:00_17:00	49	758	6871	13229	5232	12000	6827	4359	9524	1404	903	241	100	NN_4948XXXX
08:02_17:00_18:00	13	1225	10110	17027	5973	11856	4876	3990	4400	912	512	377	113	NN_4948XXXX
08:02_18:00_19:00					1133	12583	6888	7679	10101	1155	302	967	47	NN_4948XXXX
08:02_19:00_20:00					064	11836	6724	6890	5674	965	318	363	85	NN_4948XXXX
08:02_20:00_21:00					0	8398	3650	1974	5099	1802	327	756	50	NN_4948XXXX
08:02_21:00_22:00					0	2066	1835	3582	2565	578	19	61	133	NN_4948XXXX
08:02_22:00_23:00					0	739	4364	4028	3093	2534	233	550	229	NN_4948XXXX
08:02_23:00_24:00					10	113	1483	2471	2434	1062	1341	4808	1206	NN_4948XXXX
08:02_00:00_01:00					6	441	2576	1895	4116	3354	244	13	350	NN_4948XXXX
08:02_01:00_02:00					28	1150	1877	1016	54	237	32	0	0	NN_4948XXXX
08:02_02:00_03:00					0	33	898	484	24	15	48	0	0	NN_4948XXXX
08:02_03:00_04:00					0	18	672	427	0	0	0	0	0	NN_4948XXXX
08:02_04:00_05:00					0	84	239	91	1	194	0	23	0	NN_4948XXXX
08:02_05:00_06:00					0	424	401	35	97	0	0	0	0	NN_4948XXXX
08:02_06:00_07:00					0	188	1498	757	349	188	0	0	0	NN_4948XXXX
08:02_07:00_08:00					11	569	5081	6753	2763	1764	311	35	13	NN_4948XXXX
08:02_08:00_09:00					42	1550	13429	10209	7732	5702	895	233	92	NN_4948XXXX
08:02_09:00_10:00					9	1785	15535	13728	10321	7139	1347	696	6	NN_4948XXXX
08:02_10:00_11:00					25	1361	14989	14043	16779	5575	487	409	136	NN_4948XXXX
08:02_11:00_12:00					74	2555	16474	13492	7840	527	1370	129	0	NN_4948XXXX
08:02_12:00_13:00					29	2144	16259	17000	15829	7032	1272	1158	58	NN_4948XXXX
08:02_13:00_14:00					77	1826	14525	15437	13143	7779	1125	266	15	NN_4948XXXX
08:02_14:00_15:00							1903	16795	10340	10978	3665	957	438	NN_4948XXXX
08:02_15:00_16:00							1903	18701	14177	10798	8260	645	402	NN_4948XXXX
08:02_16:00_17:00							3529	20298	23192	17009	7985	2433	299	NN_4948XXXX
08:02_17:00_18:00							60	3051	19558	27380	16943	6397	991	NN_4948XXXX
08:02_18:00_19:00							37	3756	19081	19939	18042	11821	2311	NN_4948XXXX
08:02_19:00_20:00							67	3308	26125	24178	22030	12295	2198	NN_4948XXXX
08:02_20:00_21:00							65	2196	15830	12431	23414	10171	2957	NN_4948XXXX
08:02_21:00_22:00							21	651	1653	1452	13143	7779	1125	NN_4948XXXX
08:02_22:00_23:00							75	1598	17000	15829	7032	1272	1158	NN_4948XXXX
08:02_23:00_00:00							0	312	1903	16795	10340	10978	3665	NN_4948XXXX
08:02_00:00_01:00							255	3563	21	100	0	0	0	NN_4948XXXX
08:02_01:00_02:00							33	744	4	0	0	0	0	NN_4948XXXX
08:02_02:00_03:00							240	566	2	95	101	0	0	NN_4948XXXX
08:02_03:00_04:00							16	66	28	22	59	0	0	NN_4948XXXX
08:02_04:00_05:00							0	153	234	122	0	0	0	NN_4948XXXX
08:02_05:00_06:00							0	54	234	0	0	0	0	NN_4948XXXX
08:02_06:00_07:00							67	853	249	166	0	0	0	NN_4948XXXX
								1653	84	0	0	0	0	NN_4948XXXX
								4638	360	5	0	0	0	NN_4948XXXX
								8958	477	6	0	0	0	NN_4948XXXX
								3149	155	0	0	0	0	NN_4948XXXX
								3613	113	0	0	0	0	NN_4948XXXX
								3787	338	0	0	7	0	NN_4948XXXX
								5248	301	0	0	0	0	NN_4948XXXX
								4194	133	0	0	0	0	NN_4948XXXX
								3973	152	11	0	0	0	NN_4948XXXX
								5529	1424	19	0	0	0	NN_4948XXXX
								5576	527	4	21	0	0	NN_4948XXXX
								0	58941	25905	8217	1572	30	NN_4948XXXX
								4200	57735	21339	4464	287	0	NN_4948XXXX
								0	0	0	0	0	0	NN_4948XXXX
								2194	30205	13332	2927	0	7	NN_4948XXXX
								979	17613	10942	61	10	0	NN_4948XXXX
								1149	12603	11018	882	0	0	NN_4948XXXX
								1110	8973	3127	660	0	0	NN_4948XXXX
								1168	11572	335	42	0	0	NN_4948XXXX

intervallo orario di rilevamento

ID cella

distanze successive

di 550m dall'antenna

ID antenna

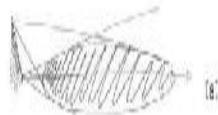
ID sito/base station

dato rilevato/ numero di chiamate

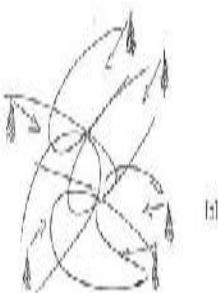
L'attività delle antenne (numero di chiamate) è rilevata ad intervalli orari in celle disposte a distanze successive di 550m lungo la direzione di propagazione del segnale.

## Della rete al pixel

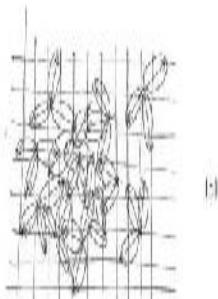
Ogni singola strada riceve così relativi ad una sorta di «ruota» di connettività, denominata cella (a). Coordinate e direzione delle ampiezze permettono di riflettere la struttura della rete di relazioni tra le celle su territorio e le dimensioni espansive e delle singole celle (b). L'elaborazione dei dati di traffico da e verso, mentre si è nelle varie celle, si ricava dall'intensità di traffico associato a singole unità spaziali individuate da un griglia di intensità (c). La rappresentazione delle celle nella griglia permette di visualizzare l'intensità di traffico per singolo pixel e因而生成配置图 (d)。



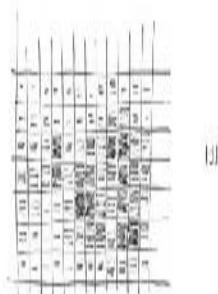
(a)



(b)



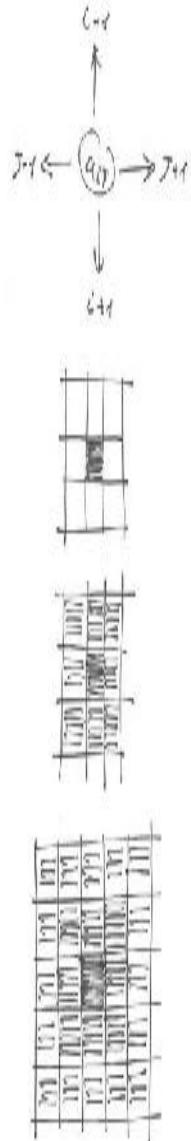
(c)



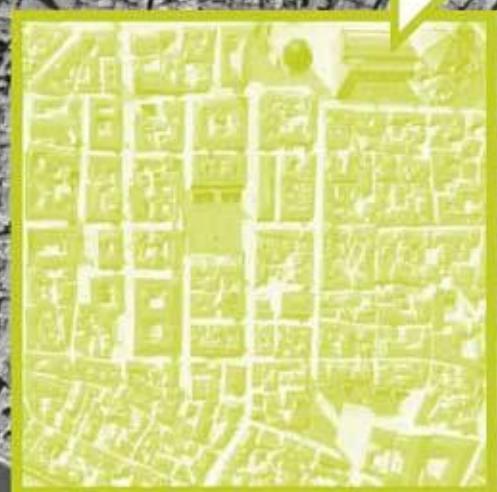
(d)

Matrice di connettività dedicata all'intero della matrice  $A_{(n)} \times [1, 70] \times [1, 30]$ . Questa permette di determinare i valori puri delle associazioni connettive singole celle, rispetto alle loro posizioni all'interno della griglia. In questo modo è possibile generare valori di attività sia a spazio che in tempo.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

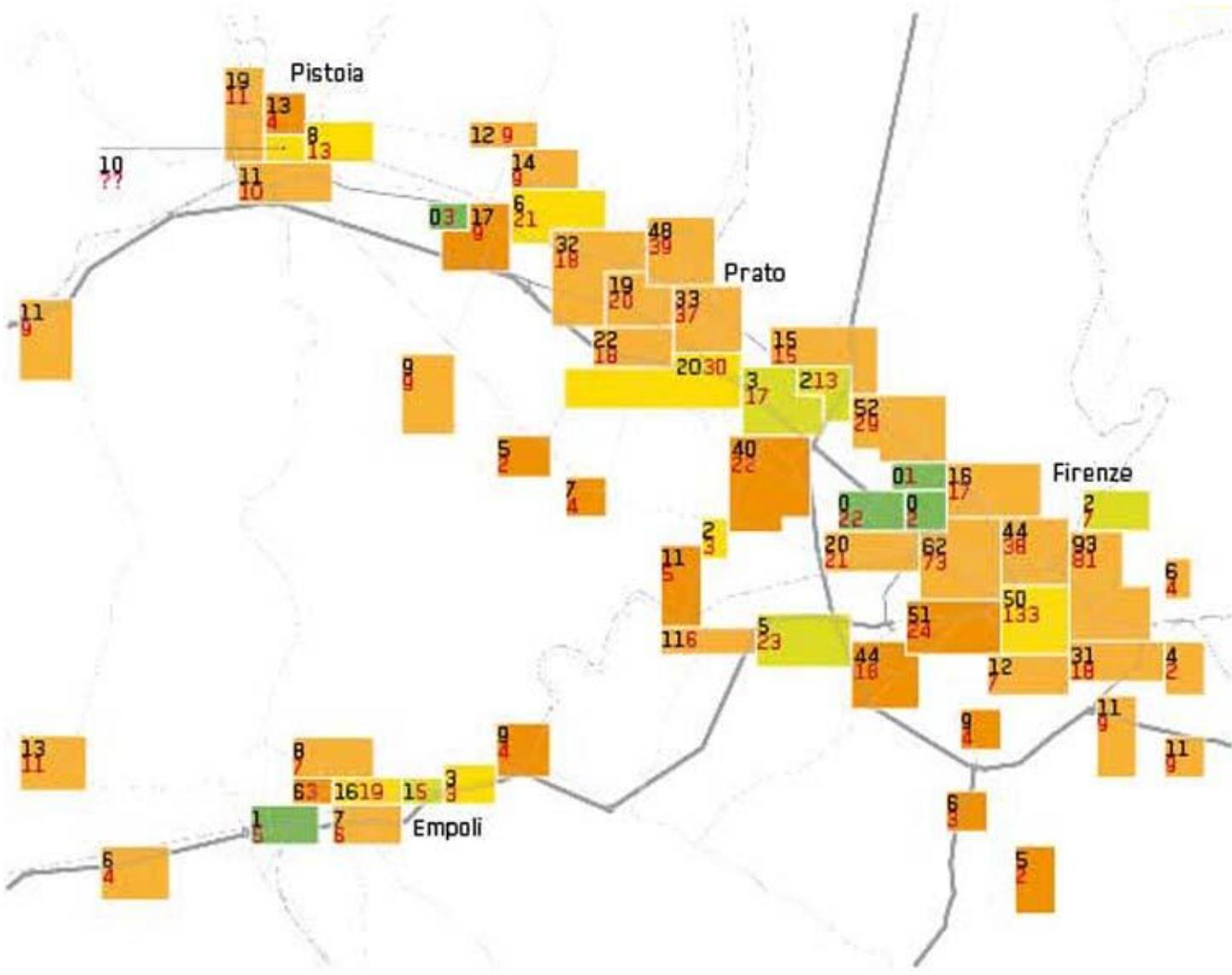


Il pixel è l'unità spaziale minima di riferimento per l'elaborazione delle informazioni: i dati di attività rilevati per ogni cella sono riportati su base cartografica attraverso i pixels di dimensione 500x500 m.



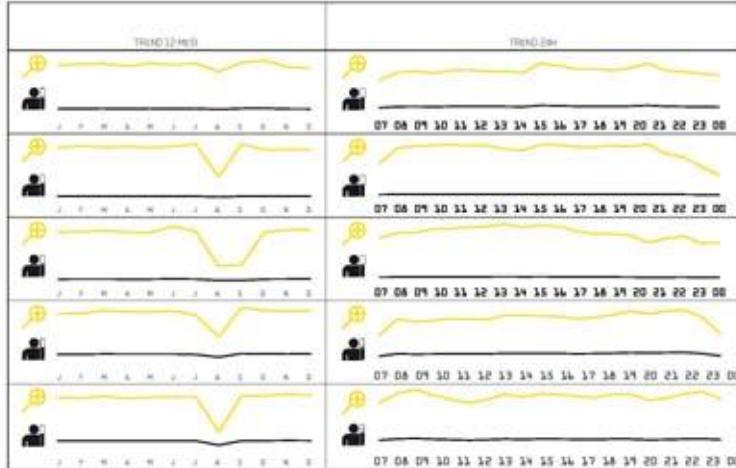
← 500m →



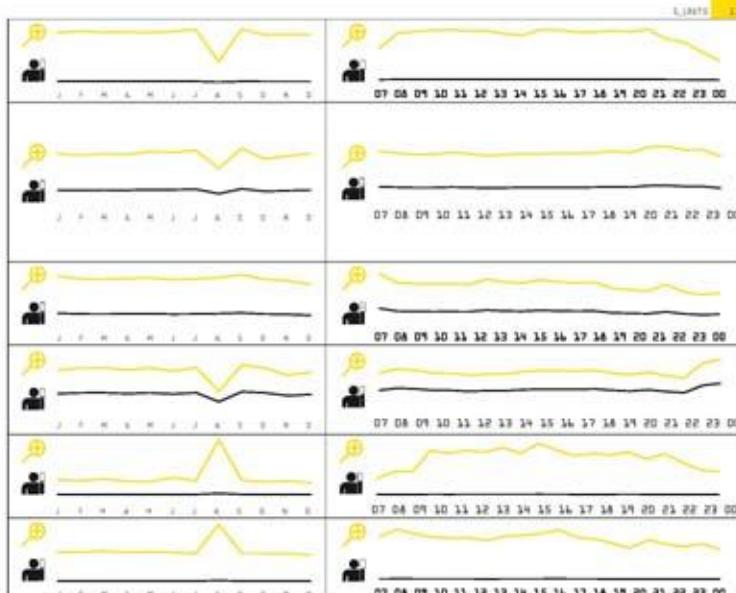


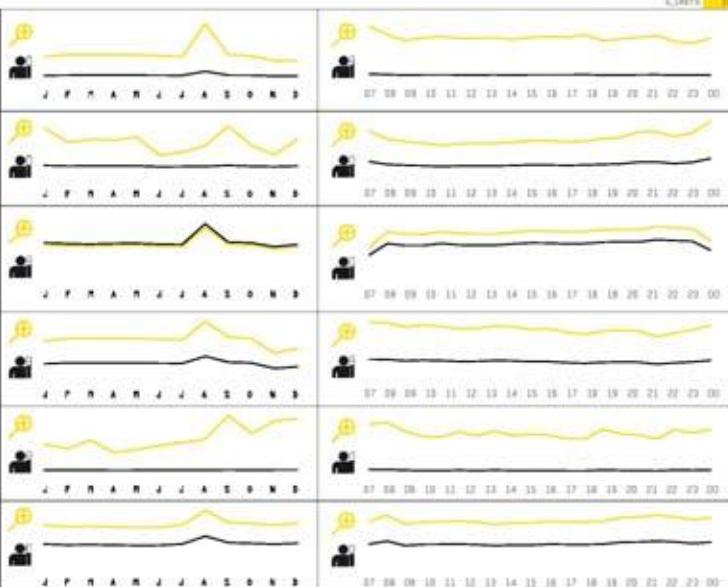
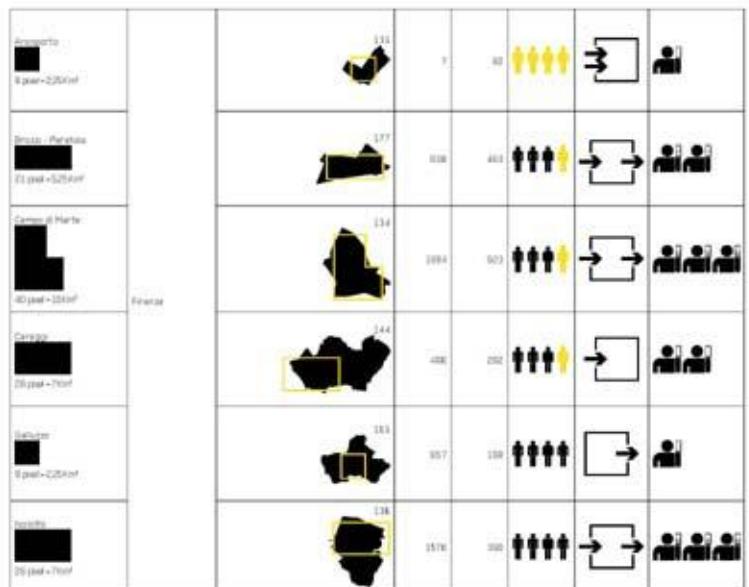
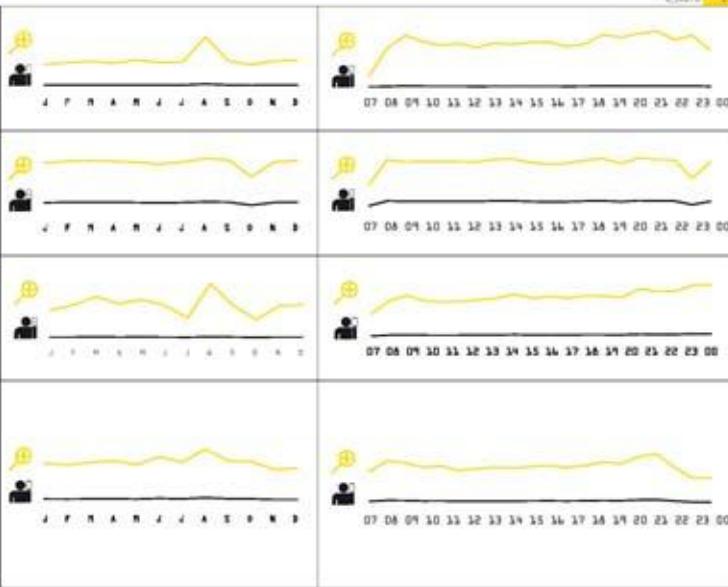
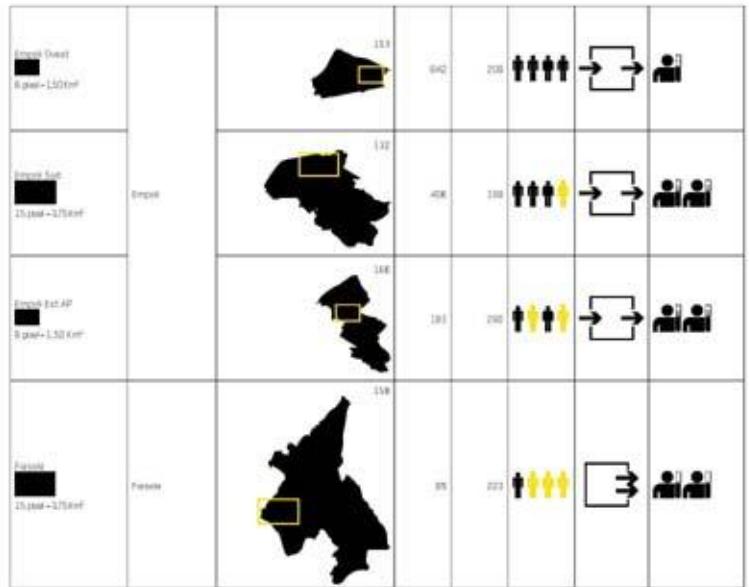
Tavella delle Unità spaziali aggregate

Spatial Unit ■ Level >0,25 km <sup>2</sup>	Municipality	SLC172014	POP ■	INCIPIT ■	INOUT ■	IN/OUT FLOW ■	ACTIVITY MOBILE 24h ■
Aghjera 711100 >5,25 km <sup>2</sup>	Aghjera		108	690	212	2	
Anticata RP 811100 >1,03 km <sup>2</sup>			38	230	11	2	
Anticata 811100 >0,25 km <sup>2</sup>			2018	433	11	2	
Bagnu a Ripoli 121100 >3,07 km <sup>2</sup>	Bagnu a Ripoli		278	38	11	2	
Graziana 101100 >4,00 km <sup>2</sup>			318	213	11	2	

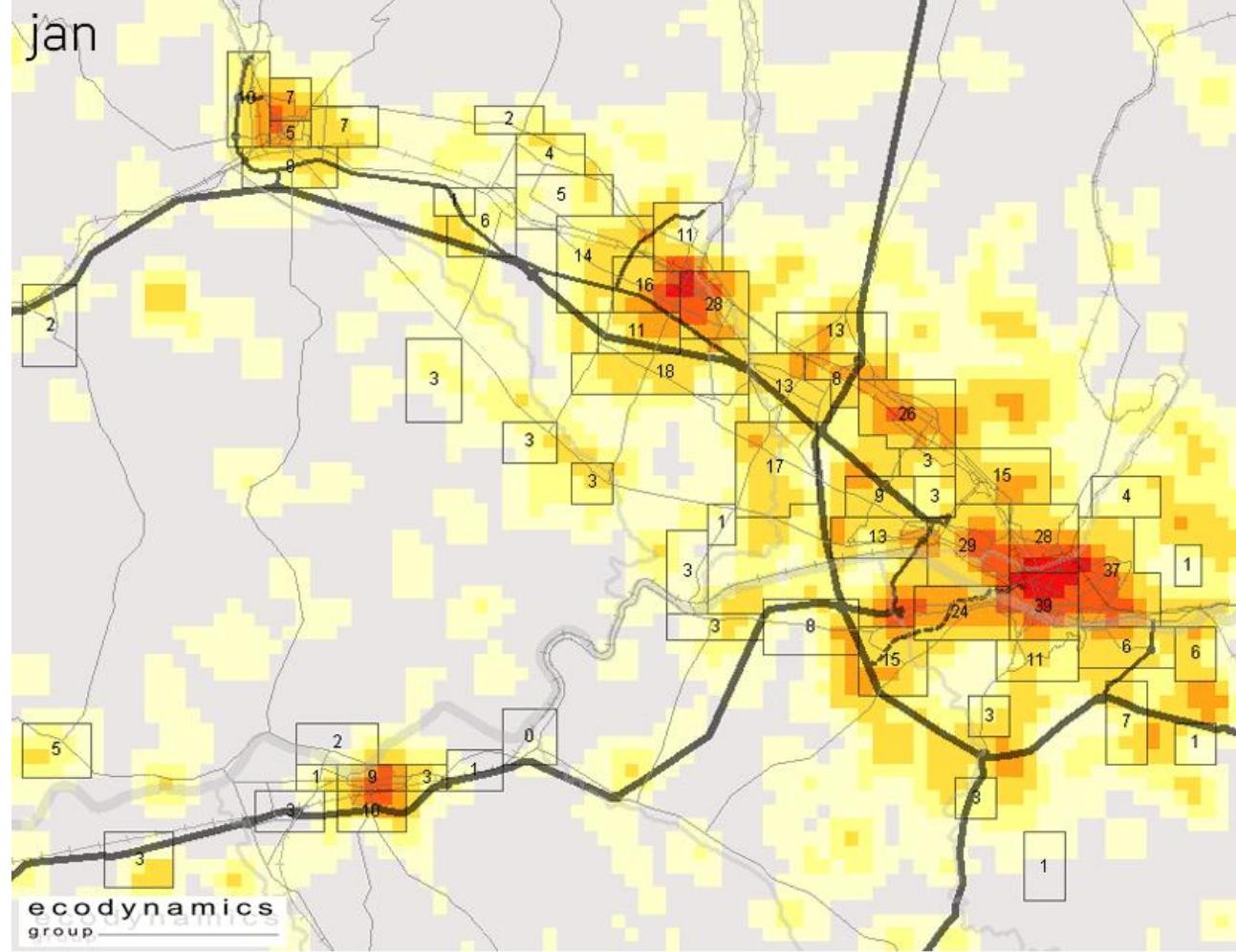


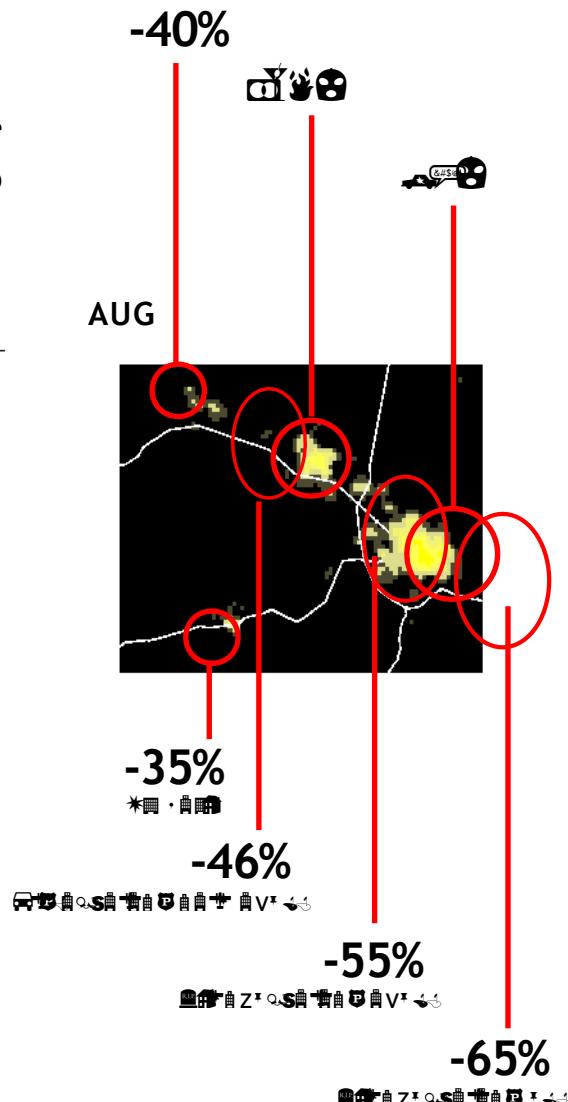
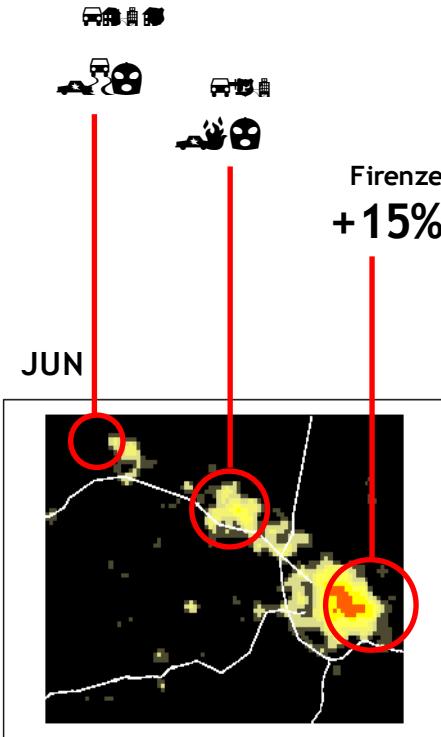
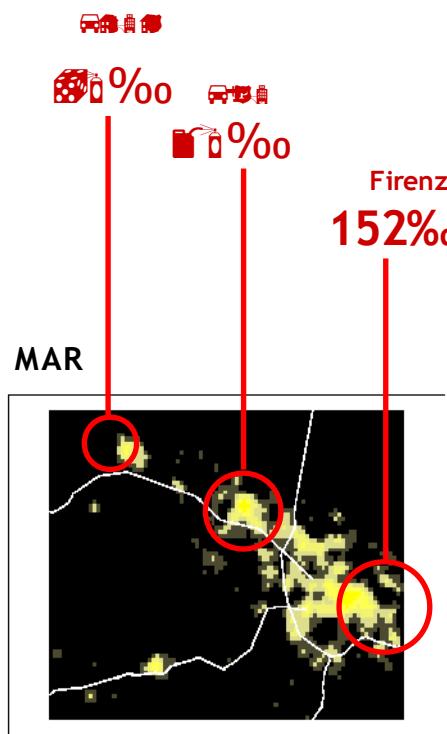
Campidano RP 121100 >3,07 km <sup>2</sup>	Calenzana	137	148	534	111	2	
Campidano 251100 >7,97 km <sup>2</sup>			461	243	11	2	
Graziani RP 201100 >5,11 km <sup>2</sup>	Campidano	114	96	303	111	2	
Graziani 401100 >10 km <sup>2</sup>			666	247	11	2	
Montelba 101100 >0,01 km <sup>2</sup>	Capraia Isola	158	652	138	111	2	
Montelba RP 121100 >3,07 km <sup>2</sup>	Montelba-Fiorineto	130	130	128	111	2	

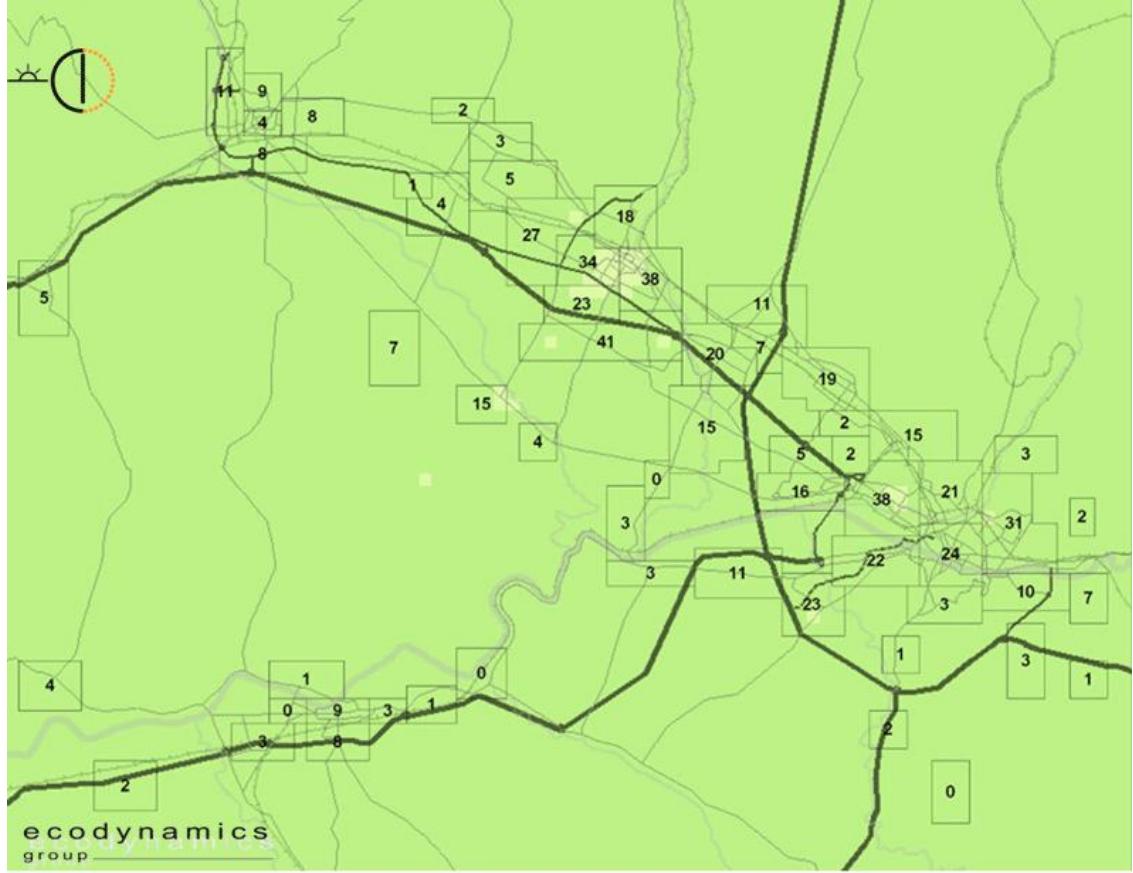




jan



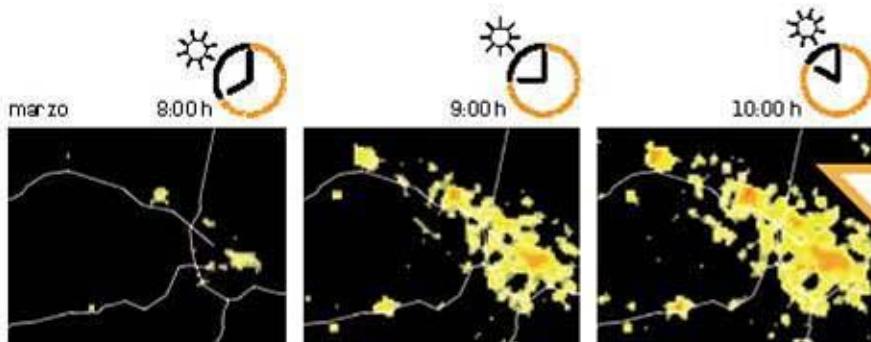




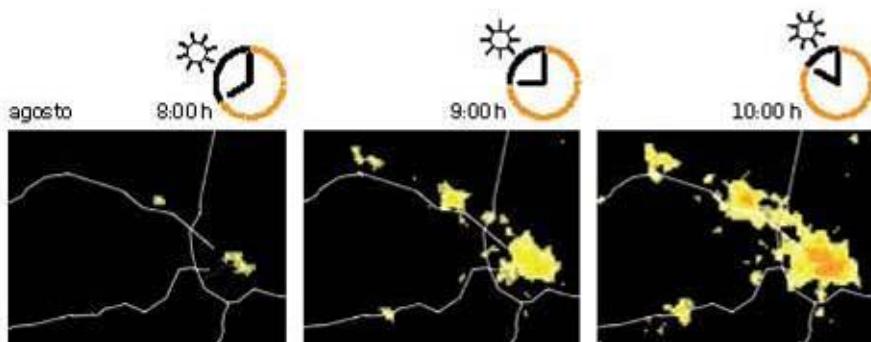
21 19 8 16 15 2 8 4 5 9 53 46 67 80 36 76 29 40 13 22 32 9 37 4 5 74 43 30 41 48 6 61 19 5 3 14



# SWITCH ON

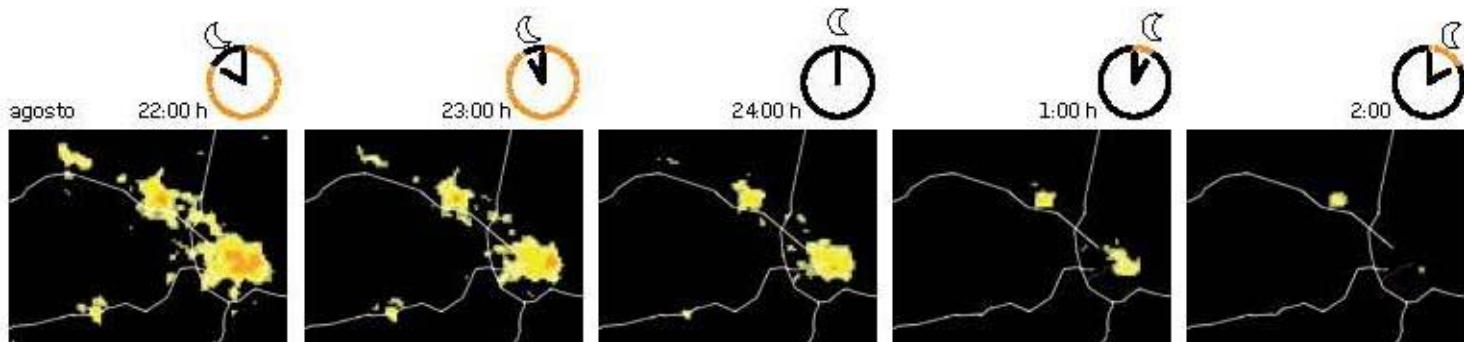
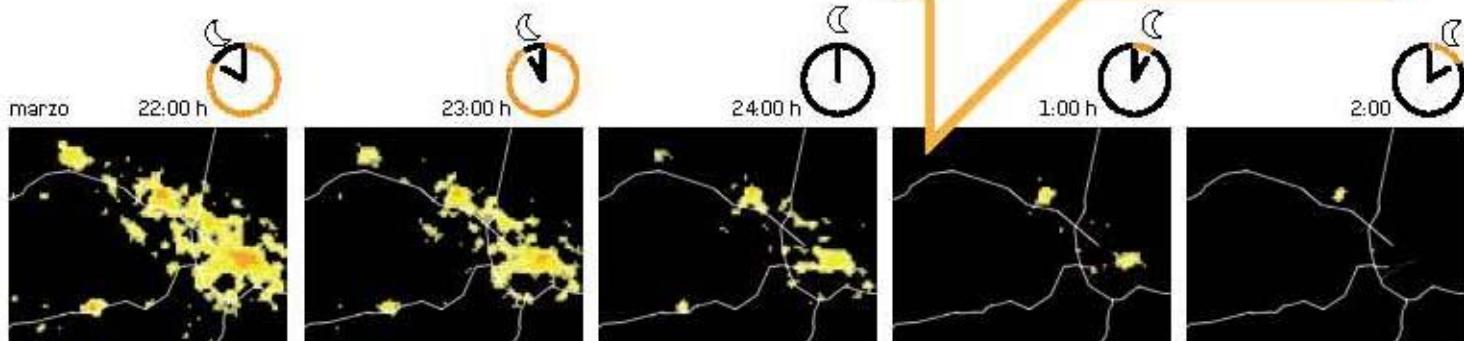


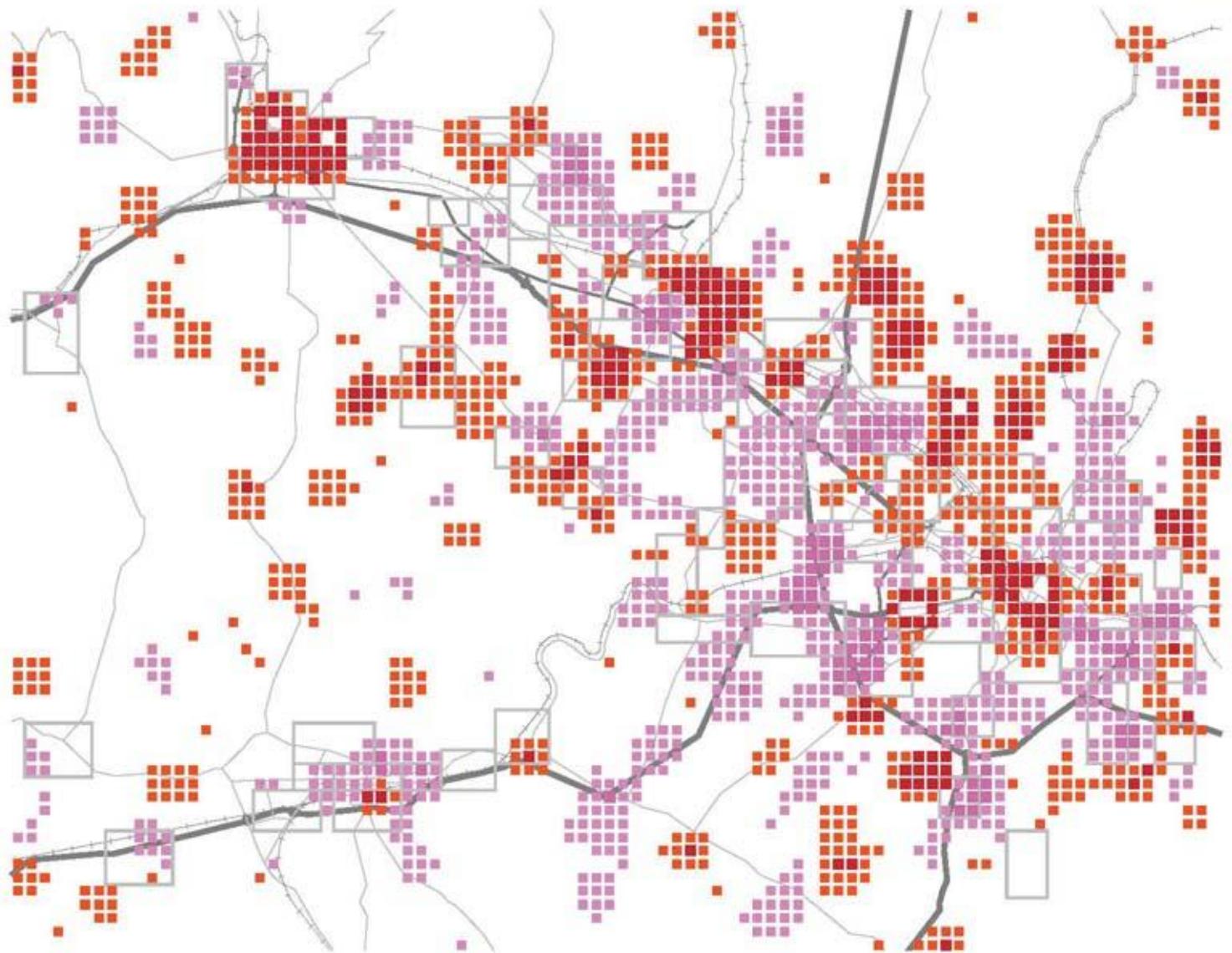
È mostrata l'accelerazione di attività nelle prime ore del giorno. Dal confronto si osserva una dinamica posticipata e una configurazione generale più compatta nei mesi estivi rispetto ad una dinamica anticipata e una configurazione più estesa, ad includere i luoghi del lavoro e le periferie urbane, nei mesi invernali.



## SWITCH OFF

È mostrato il rallentamento di attività nelle tarda serata. Dal confronto si osserva una dinamica posticipata fino a notte inoltrata e più concentrata nei centri con servizi ricreativi nei mesi estivi.







18:00 h



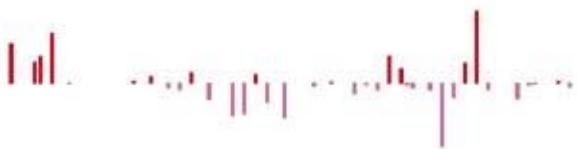
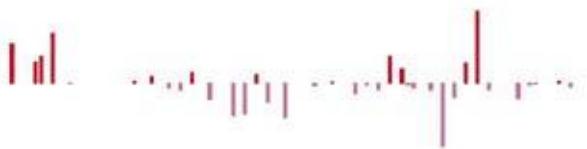
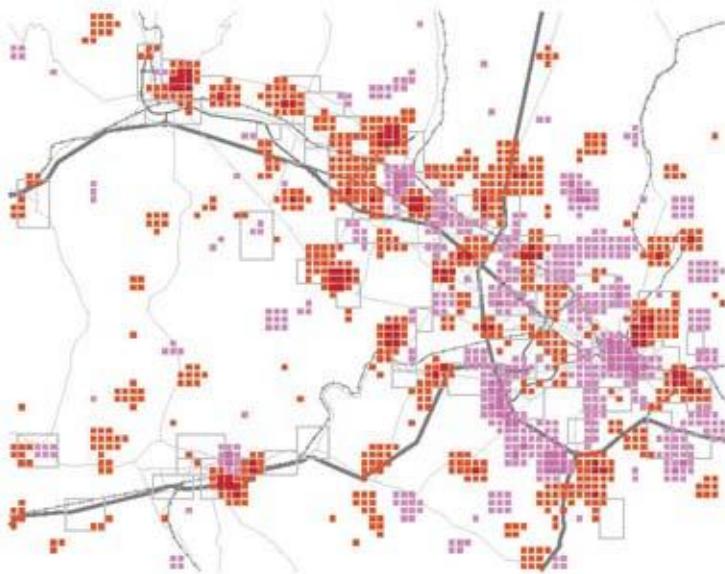
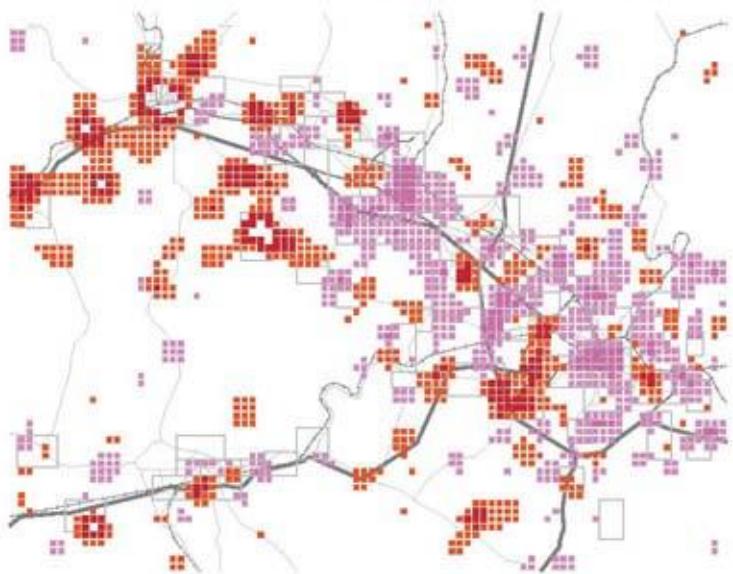
19:00 h



19:00 h



20:00 h







ecodynamics  
group



Negli ultimi anni si è andato sempre più sviluppando lo studio dei sistemi real-time, cioè sistemi in cui l'evoluzione temporale gioca un ruolo primario. [...] Sarebbe interessante sviluppare logiche che, da una parte, esprimano dei vincoli reali "eterni", per esempio le tre dimensioni, e, dall'altra si confrontino col significato reale di evoluzione e quindi con l'importanza degli eventi e delle loro successioni.

Enzo Tiezzi

**RICCARDO M. PULSELLI** - [pulselli@unisi.it](mailto:pulselli@unisi.it)

**VALENTINA NICCOLUCCI** - [niccolucci@unisi.it](mailto:niccolucci@unisi.it)