IZSAM G.CAPORALE
TERAMO

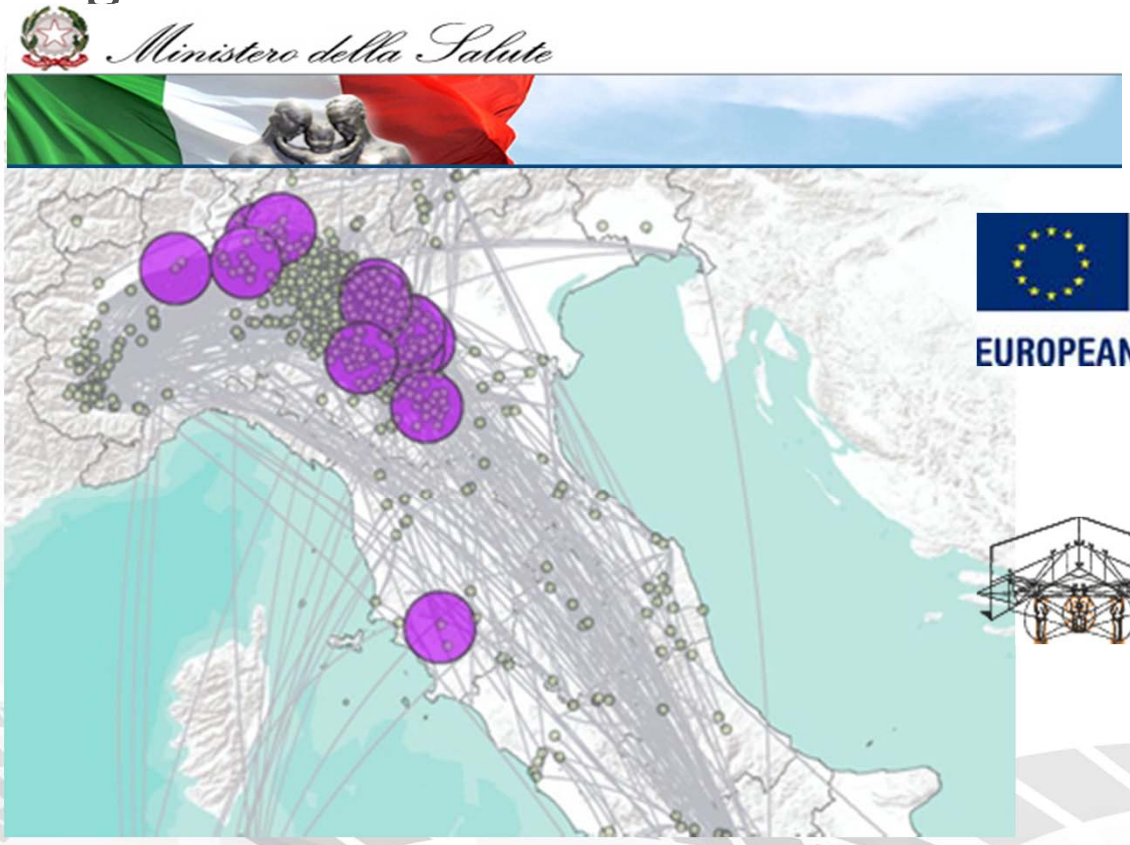
Metodi di analisi delle reti sociali applicati alle movimentazioni di animali per tracciare e prevedere l'andamento di una epidemia

Lara Savini

I risultati della ricerca condotta dall'Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Abruzzo e del Molise 'G. Caporale' ANNO 2012, 23 maggio 2013

Progetto

Strumenti epidemiologici per il rilievo e la gestione dei rischi connessi alla diffusione delle malattie infettive negli allevamenti bovini.

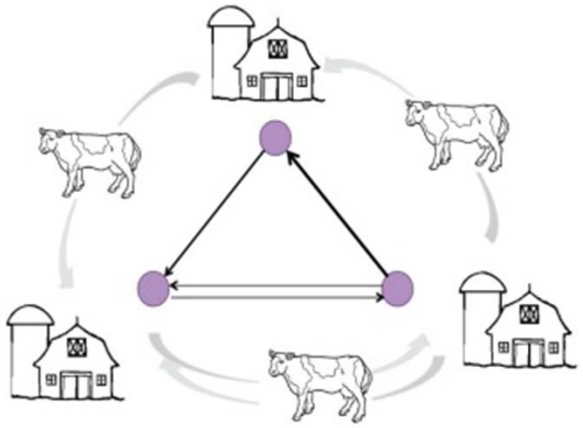


JRC
EUROPEAN COMMISSION

ISI Foundation

Contesto

I movimenti degli animali rappresentano uno dei più importanti fattori di rischio per la trasmissione di malattie, specialmente per le malattie respiratorie o le malattie che si sviluppano negli animali sottoposti ad un forte stress e che si trasmettono per contatto diretto...



Vedi: FMD 2001 in UK. Gibbens at al., 2001

Obiettivi

- definire, quantificare e opportunamente caratterizzare i punti critici per la diffusione delle malattie infettive nell'attuale network delle aziende bovine
- sviluppare e validare un modello previsionale di diffusione delle malattie infettive attraverso il network delle aziende bovine
- predisporre una applicazione web per la ricerca efficace nella banca dati nazionale dei dati di trace-back e trace-forward in caso di sospetto focolaio di malattia infettiva.

Materiali e metodi

USO CONGIUNTO DI SNA E MODELLI EPIDEMIOLOGICI

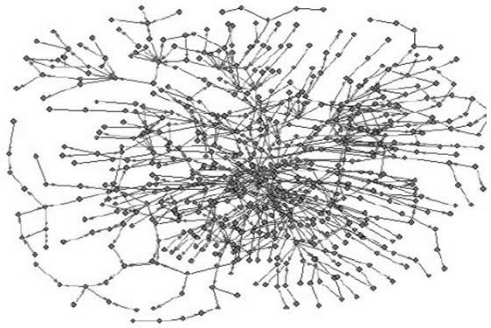
La teoria delle reti permette di rappresentare attraverso nodi connessi da *link* gran parte dei sistemi reali.

Si è scoperto che le proprietà delle reti possono notevolmente influenzare la dinamica di molti processi, che vanno dalla crescita di Internet, ai processi di comunicazione, alla diffusione delle epidemie per citarne solo alcune.

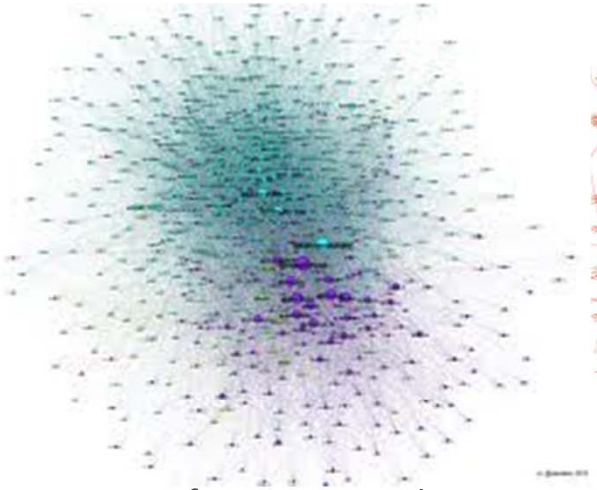
Materiali e metodi

USO CONGIUNTO DI SNA E MODELLI EPIDEMIOLOGICI

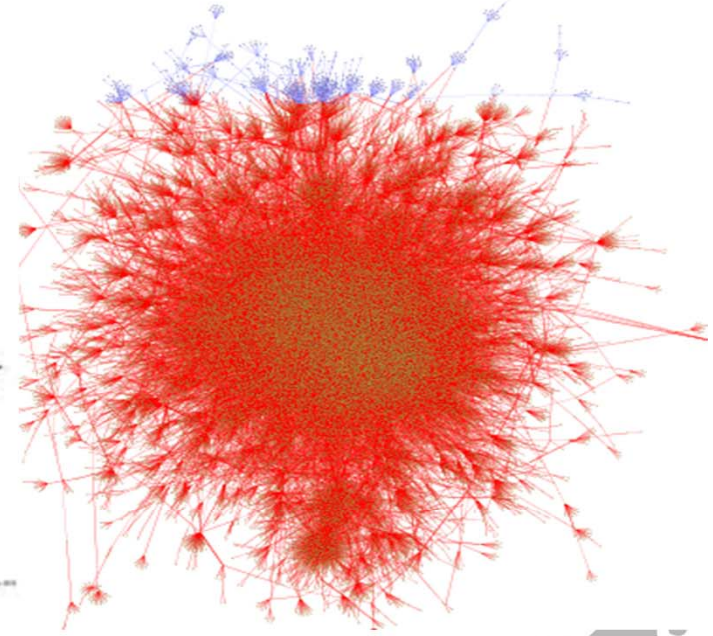
La struttura risultante da reti di diverso tipo (persone, connessioni internet, proteine e flussi commerciali di animali) a volte è simile:



Rete metabolica di E. coli (da Ma e Zeng, 2003)



Questo grafo rappresenta le connessioni tra tutti gli account twitter che hanno parlato di Saviano.



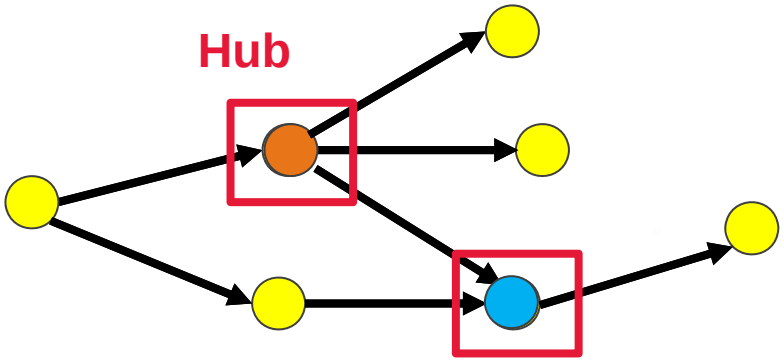
Rete di movimenti dei bovini in Italia nel 2007

Materiali e metodi

USO CONGIUNTO DI SNA E MODELLI EPIDEMIOLOGICI

In assenza di malattia…

- misura di rischio (diffusione)
- misura di vulnerabilità (introduzione)



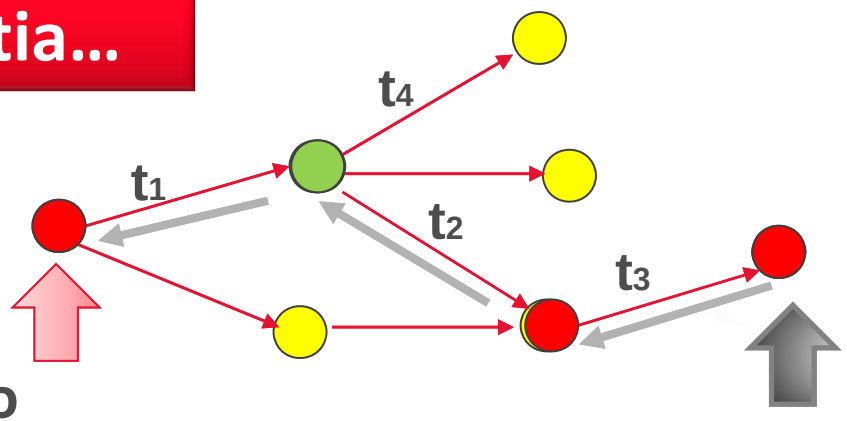
Programmare controlli e sorveglianza

Vedi: Satorass e Vespignani 2001 e 2002

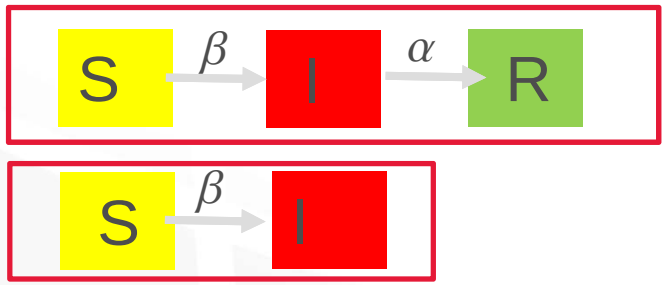
Materiali e metodi

USO CONGIUNTO DI SNA E MODELLI EPIDEMIOLOGICI

In caso di focolaio di malattia…



- **prevedere l'andamento di un epidemia**
- **individuare il focolaio primario**



$$\theta_t \sim Binomial\left(n, \frac{I_t}{N}\right)$$

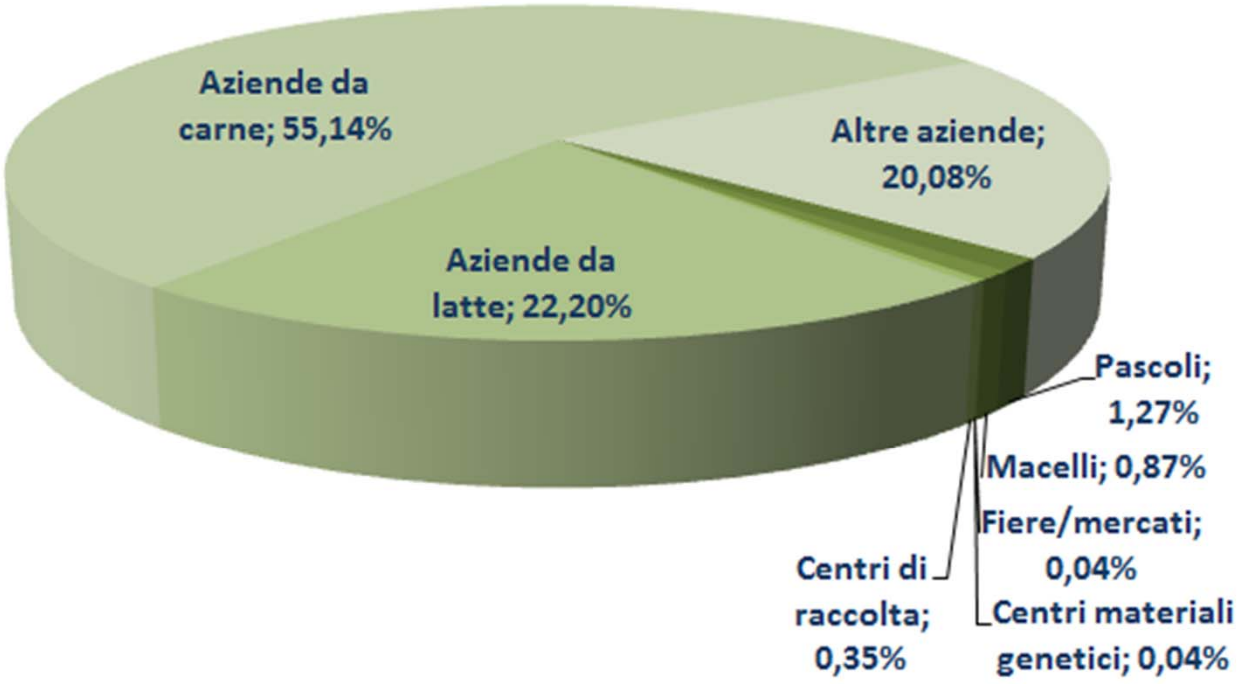
Contenere e gestire

modello di Kermack e McKendrick:Una popolazione di individui può essere suddivisa in I e S - S(t)*c(t) Δ t*I(t)/N(t)+ o(t).

SNA & movimentazioni di animali

STRUTTURE ZOOTECNICHE E MOVIMENTI DI BOVINI IN ITALIA

La BDN per l'anno 2007 ha registrato: 229.599 strutture zootecniche



Vedi: Natale et al 2009

SNA & movimentazioni di animali

STRUTTURE ZOOTECNICHE E MOVIMENTI DI BOVINI IN ITALIA

La BDN per l'anno 2007 ha registrato: 1.592.332 movimenti di gruppi di animali (in totale 7.177.825 movimenti individuali)

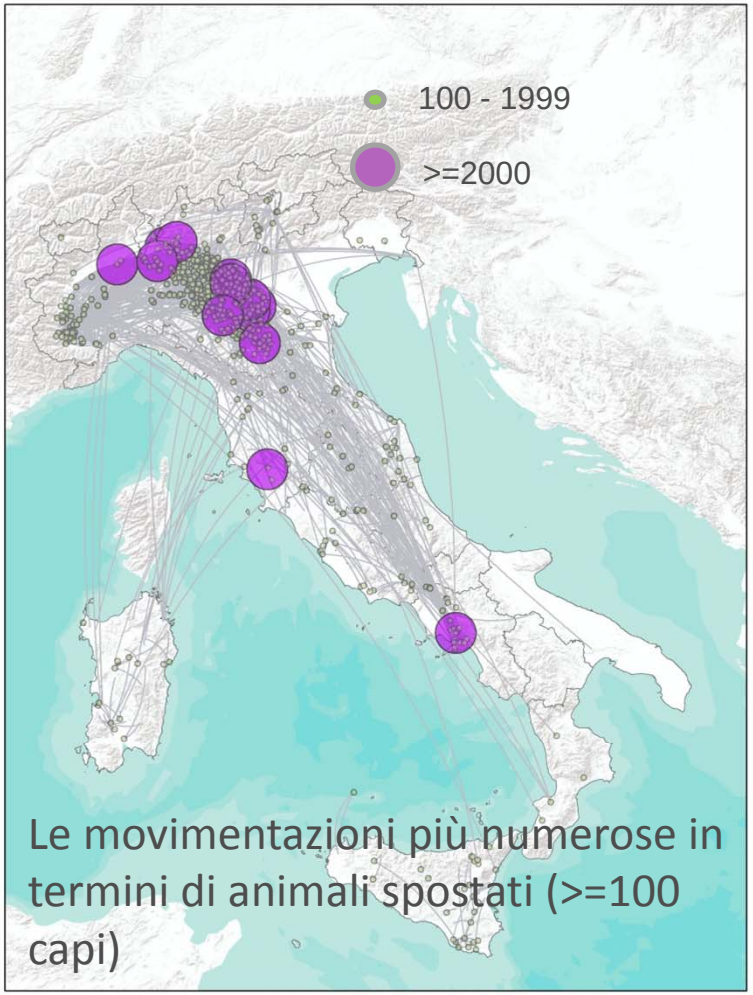
Origine	Destinazione									
	Pascoli	Macelli	Fiere/mercato	Centri materiali genetici	Centri di raccolta	Aziende da latte	Aziende da carne	Altre aziende	Estero	totale
Pascoli	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	0,9%	0,5%	0,0%	2%
Fiere/mercati	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,3%	0,0%	0,0%	1%
Centri materiali genetici	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	1%
Centri di raccolta	0,0%	1,8%	0,1%	0,0%	2,0%	0,4%	5,8%	0,4%	0,6%	11%
Aziende da latte	0,0%	**6,8%**	0,6%	0,1%	4,7%	2,6%	3,5%	0,7%	0,0%	20%
Aziende da carne	1,0%	**28,7%**	0,3%	0,1%	1,0%	0,3%	5,7%	0,7%	0,1%	38%
Altre aziende	0,6%	3,3%	0,2%	0,0%	0,4%	0,5%	1,2%	1,0%	0,0%	7%
Estero	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,2%	**16,7%**	0,4%	0,0%	21%
totale	2,5%	40,8%	1,2%	0,5%	**11,2%**	4,9%	34,3%	3,8%	0,8%	100%

In tabella sono riportati i flussi tra categorie di strutture in termini di percentuali del totale di animali trasportati

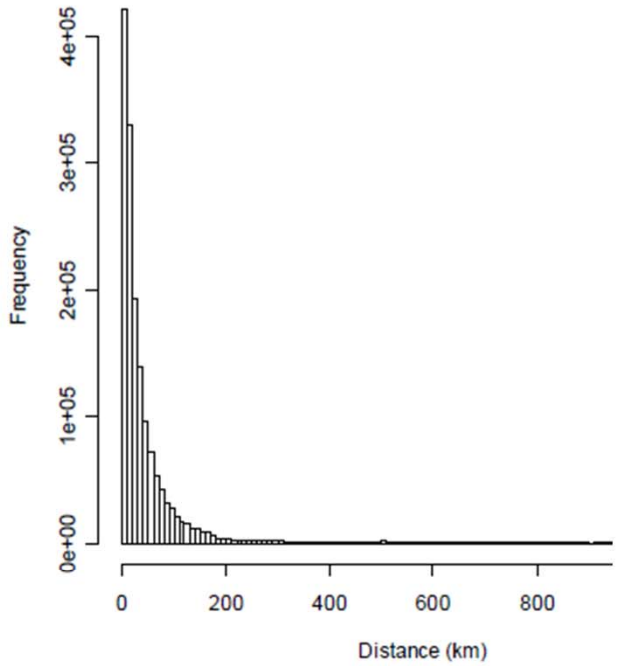
Vedi: Natale et al 2009

SNA & movimentazioni di animali

STRUTTURE ZOOTECNICHE E MOVIMENTI DI BOVINI IN ITALIA



Le movimentazioni più numerose in termini di animali spostati (>=100 capi)



Distribuzione del numero di movimenti per distanza geodedica.

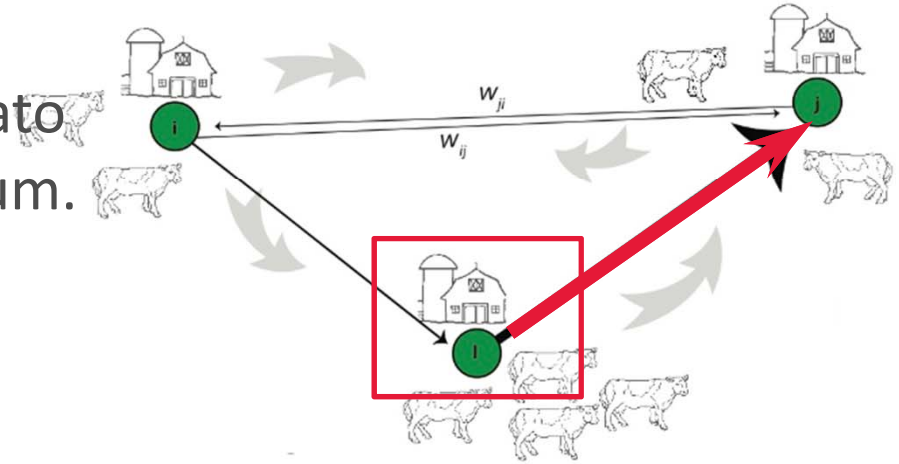
Vedi: Natale et al 2009

SNA & movimentazioni di animali

LA RETE STATICA DEI MOVIMENTI DEI BOVINI IN ITALIA

Abbiamo costruito la rete statica di movimenti a partire dai dati presenti in BDN per l'anno 2007:

- La rete è composta di 135.061 aziende (nodi) e 267.611 movimenti (link)
- Ad ogni link o relazione è stato assegnato un peso pari al num. di animali trasportati.

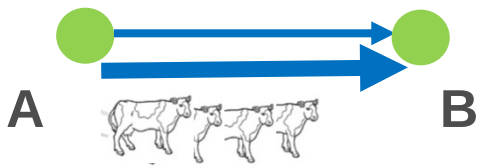


Vedi: Natale et al, 2009; Bajardi et al, 2011

SNA & movimentazioni di animali

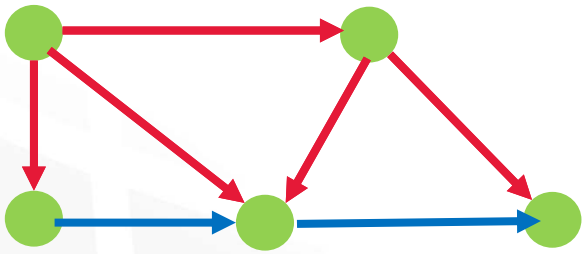
LA RETE STATICA DEI MOVIMENTI DEI BOVINI IN ITALIA

Rete DIRETTA – PESATA - COMPLESSA



DIRETTA

PESATA



COMPLESSA

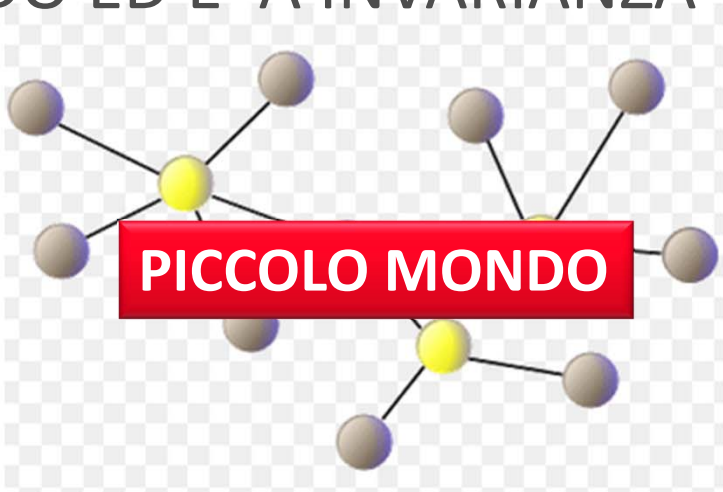
Vedi: Newman, Barabàsi et al. 2006

SNA & movimentazioni di animali

LA RETE STATICA DEI MOVIMENTI DEI BOVINI IN ITALIA

HA PROPRIETA' DI PICCOLO MONDO ED E' A INVARIANZA DI SCALA

1. Ridotto numero di passaggi tra una qualsiasi coppia di nodi
2. Presenza di cluster



	Clustering coefficient	Average path length
Random network	0.0000316	13.73974
Animal movements network	**0.0043**	**7.8188**
Rewired lattice	0.006	16.23
Regular lattice	0.5	22510

Vedi: Natale et al. 2009; Watts e Strogatz,1998

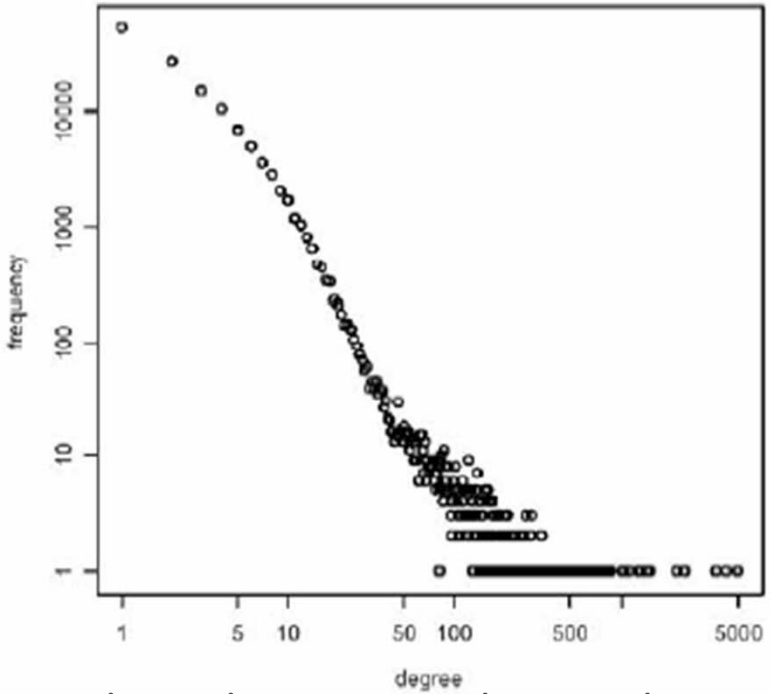
SNA & movimentazioni di animali

LA RETE STATICA DEI MOVIMENTI DEI BOVINI IN ITALIA

HA PROPRIETA' DI PICCOLO MONDO E INVARIANZA DI SCALA

INVARIANZA DI SCALA

Presenza di hub



Nella rete dei movimenti dei bovini (anno 2007) la distribuzione delle frequenze dei valori di **degree** segue una **legge di potenza** con esponente 2.26 ± 0.05

Vedi: Natale et al. 2009; Barabasi et al. 1999

SNA & movimentazioni di animali

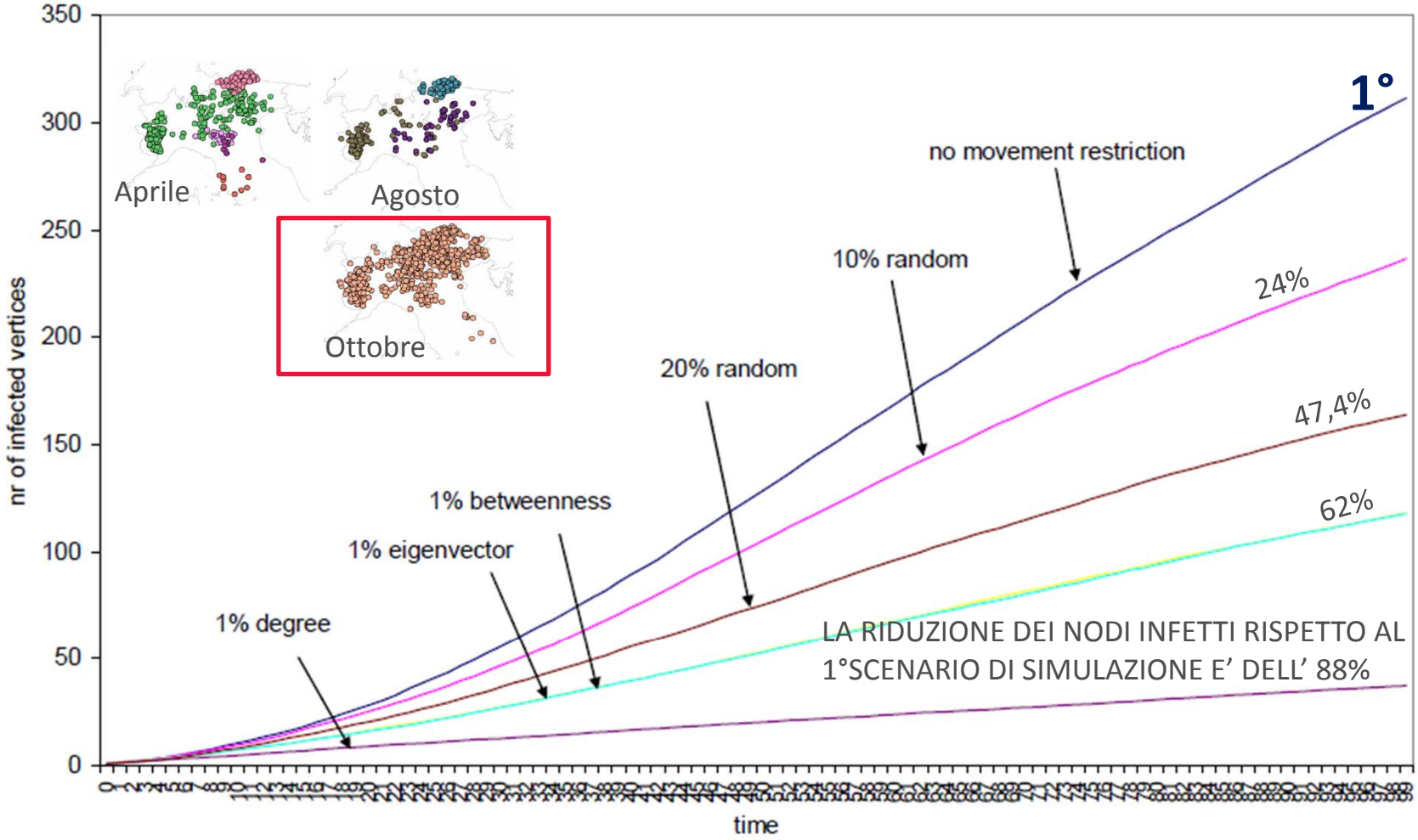
LA RETE STATICA DEI MOVIMENTI DEI BOVINI IN ITALIA

HA PROPRIETA' DI PICCOLO MONDO E INVARIANZA DI SCALA

Satorass e Vespignani nel 2003 dimostrano che in uno **Scale Free network** un gran numero di individui ha la possibilità di infettarsi in un numero finito di passaggi. Non importa che il nodo infettato abbia un basso valore di degree è sufficiente che sia a pochi link di distanza da un **Hub**

SNA & movimentazioni di animali

MISURE DI CENTRALITA' DELLA RETE E DIFFUSIONE EPIDEMICA



Numero di aziende infette per step temporale e 5 differenti scenari di simulazione.

Vedi: Natale et al., 2009; Satorass e Vespignani (2002)

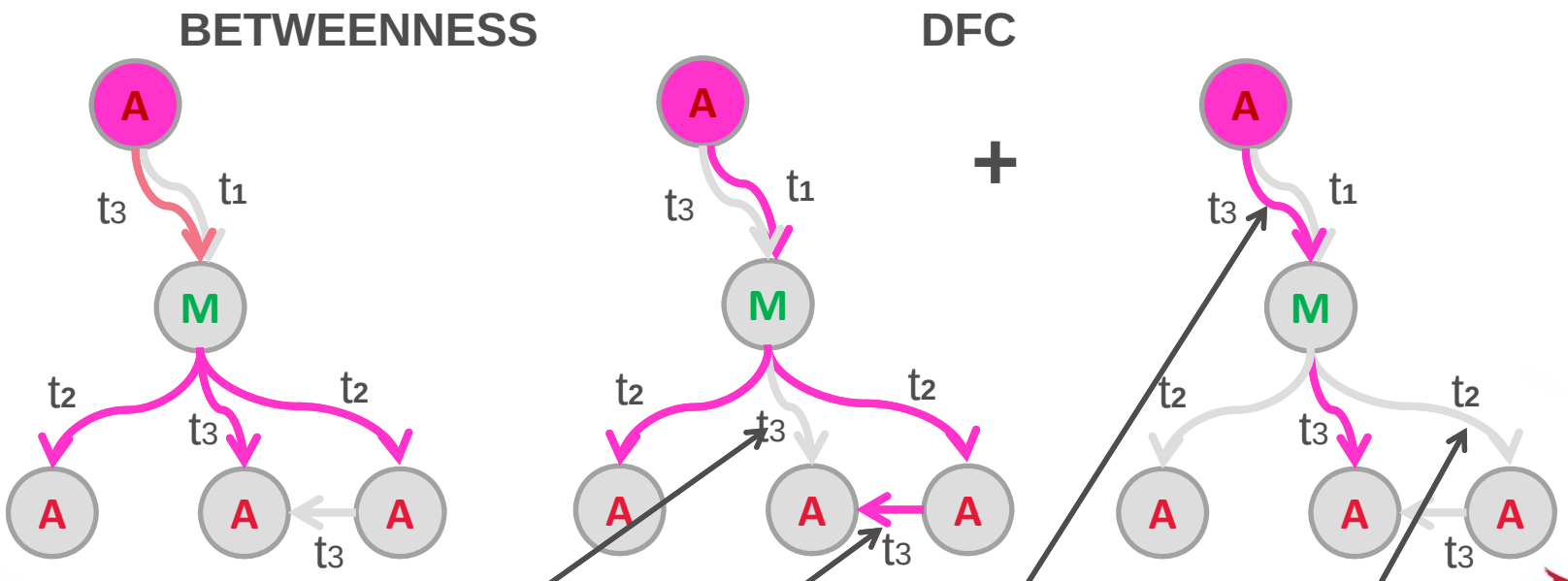
SNA & movimentazioni di animali

LA DISEASE FLOW CENTRALITY

- È una misura i centralità che considera la dinamica temporale che caratterizza una rete reale di flussi commerciali di animali.
- È un metodo di calcolo basato su un algoritmo di attraversamento della rete che riflette più realisticamente un processo epidemico.
- Non dipende dai parametri caratteristici di una malattia.

SNA & movimentazioni di animali

LA DISEASE FLOW CENTRALITY



Sono considerati tutti i path possibili

Non sono considerati solo i path più corti

La fiera/mercato non preserva l'infezione come una popolazione stabile

Non sono considerati i path temporalmente non validi

Vedi: Natale et al. 2011

SNA & movimentazioni di animali

LA DISEASE FLOW CENTRALITY

ID	Tipo di struttura	DFC	Betweenness	Out degre	In degree
59655	Centri di raccolta	101476146	7592971	215	2500
73929	Altre aziende	609889409	400573	75	79
177	Fiere/mercato	48179111	8410178	133	564
30567	Aziende da latte	46853207	11138817	64	264
45327	Aziende da latte	44799584	1234901	112	147
59631	Aziende da carne	44174380	1622632	9	10
173691	Centri di raccolta	31360217	17939747	152	1769
189	Fiere/mercato	30717751	12619719	24	1102
12790	Aziende da latte	26028603	111739	10	1
89083	Altre aziende	20354523	575616	37	220
211688	Altre aziende	14343992	2801	1	2
57894	Aziende da latte	14056882	618908	102	131
13324	Aziende da latte	13155248	476991	10	6
21045	Centri di raccolta	13092463	4729504	41	172
166168	Aziende da carne	13079296	1346552	66	89

Le misure di centralità delle 15 aziende con più alti valori di DFC (rete di gennaio 2009)

Il 42% dei nodi con valori molto alti di DFC hanno un valore di degree di 2 e betweenness di 4

SNA & movimentazioni di animali

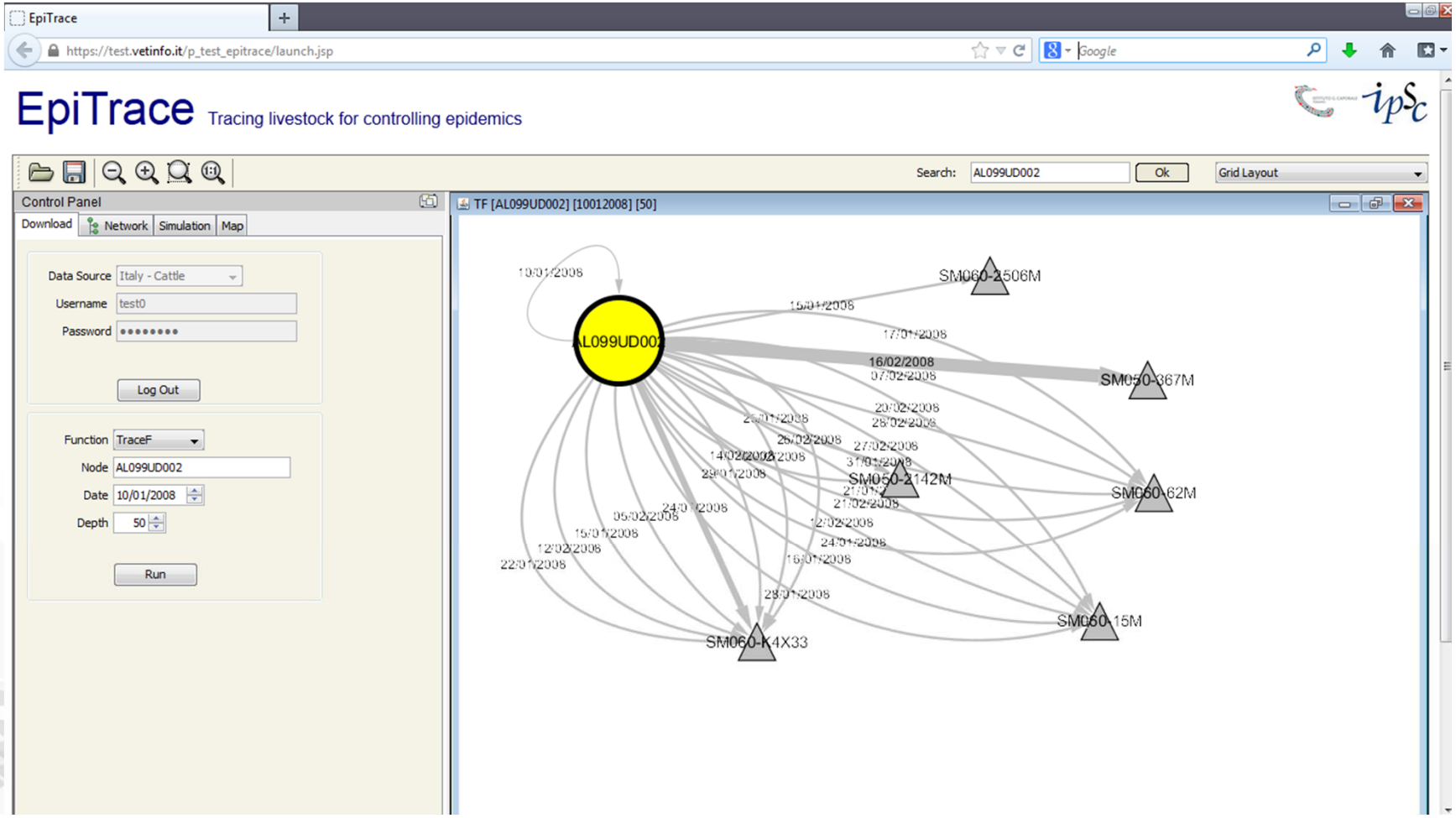
L'APPLICATIVO EPITRACE

- per interrogare in tempo reale i dati della BDN e visualizzarli e esplorarli in forma di reti (rintraccio in avanti o indietro nel tempo)
- per eseguire un modello epidemiologico SIR di meta-popolazione basato su una rete e identificare un'origine o destinazione più probabile per una malattia
- per esguire il calcolo della DFC e simulare un flusso epidemico su una rete dinamica

SNA & movimentazioni di animali

L'APPLICATIVO EPITRACE

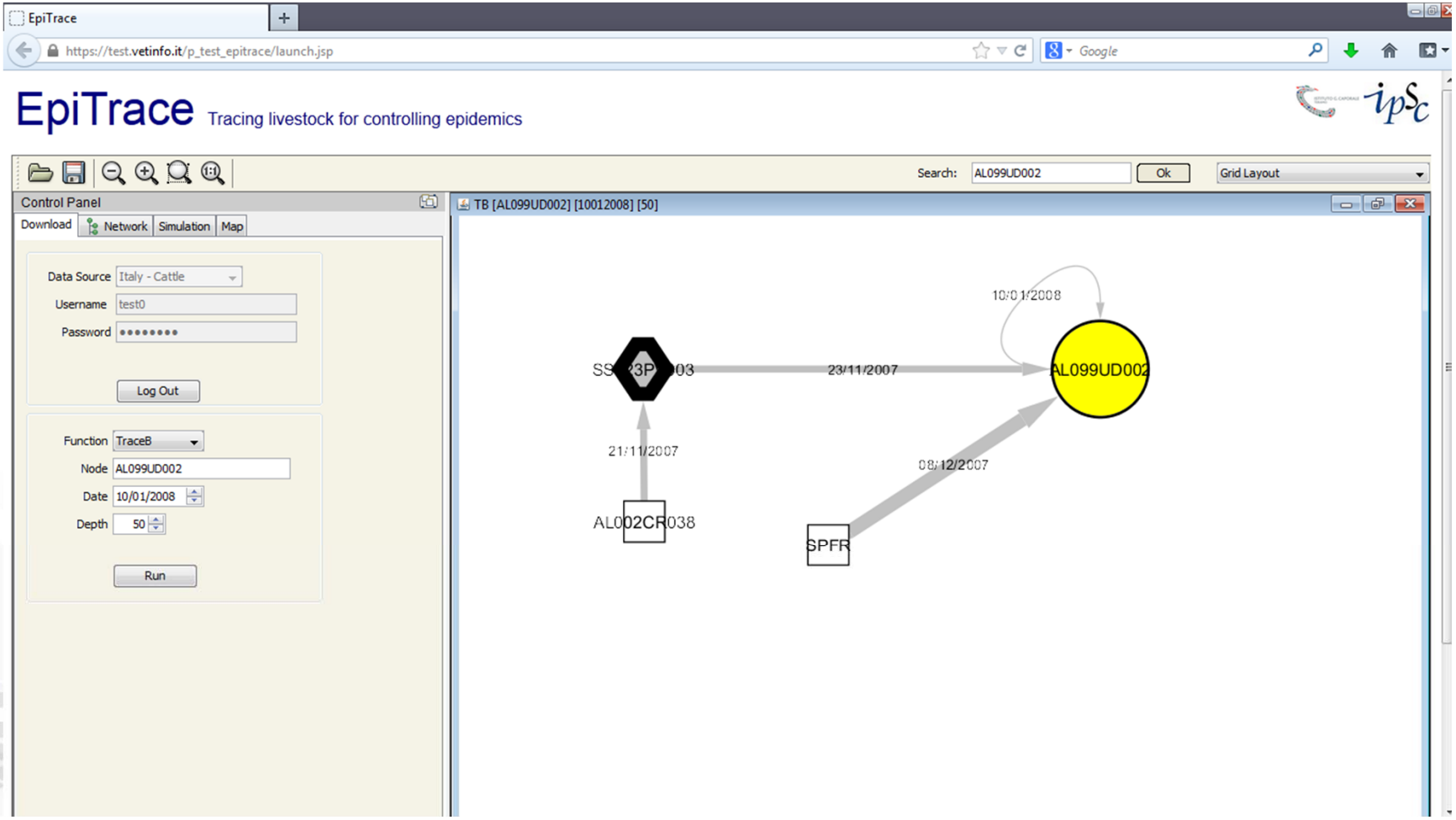
Esempio di un rintraccio in avanti



SNA & movimentazioni di animali

L'APPLICATIVO EPITRACE

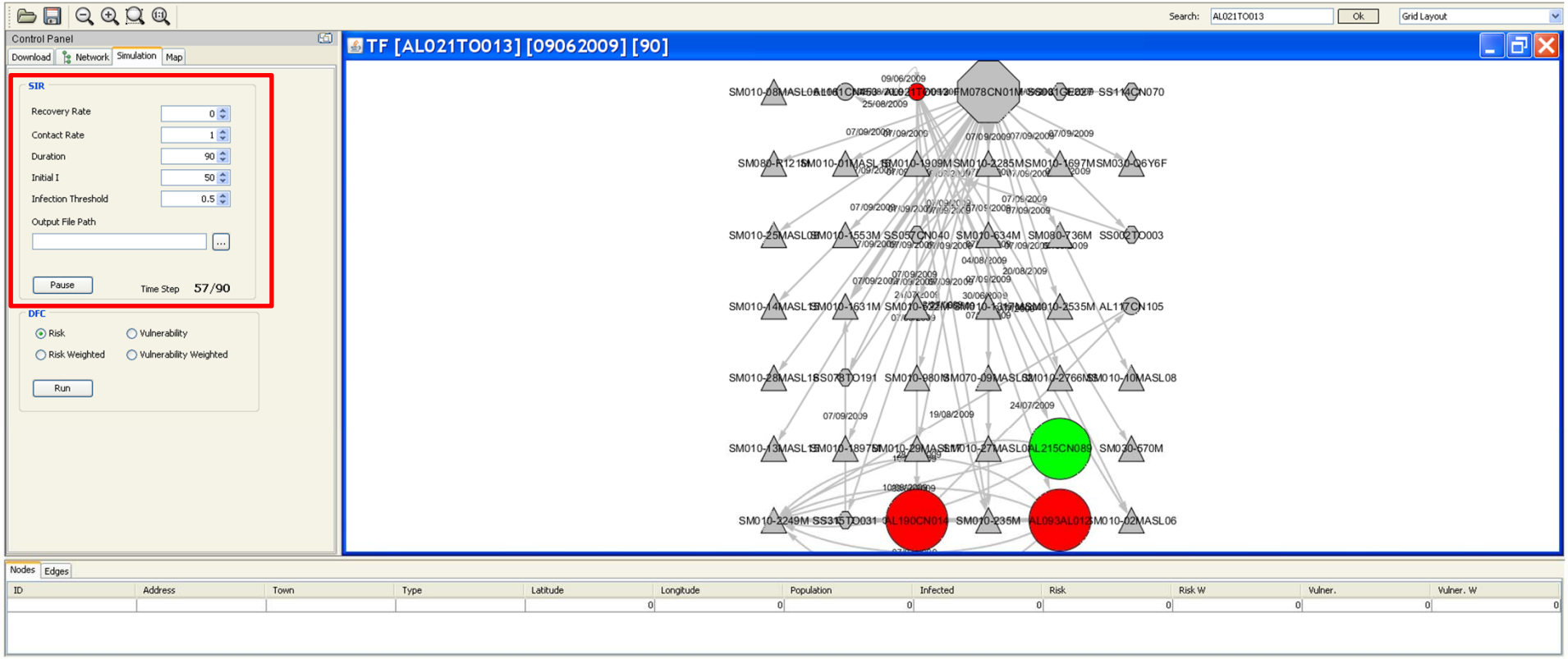
Esempio di un rintraccio in dietro



SNA & movimentazioni di animali

L'APPLICATIVO EPITRACE

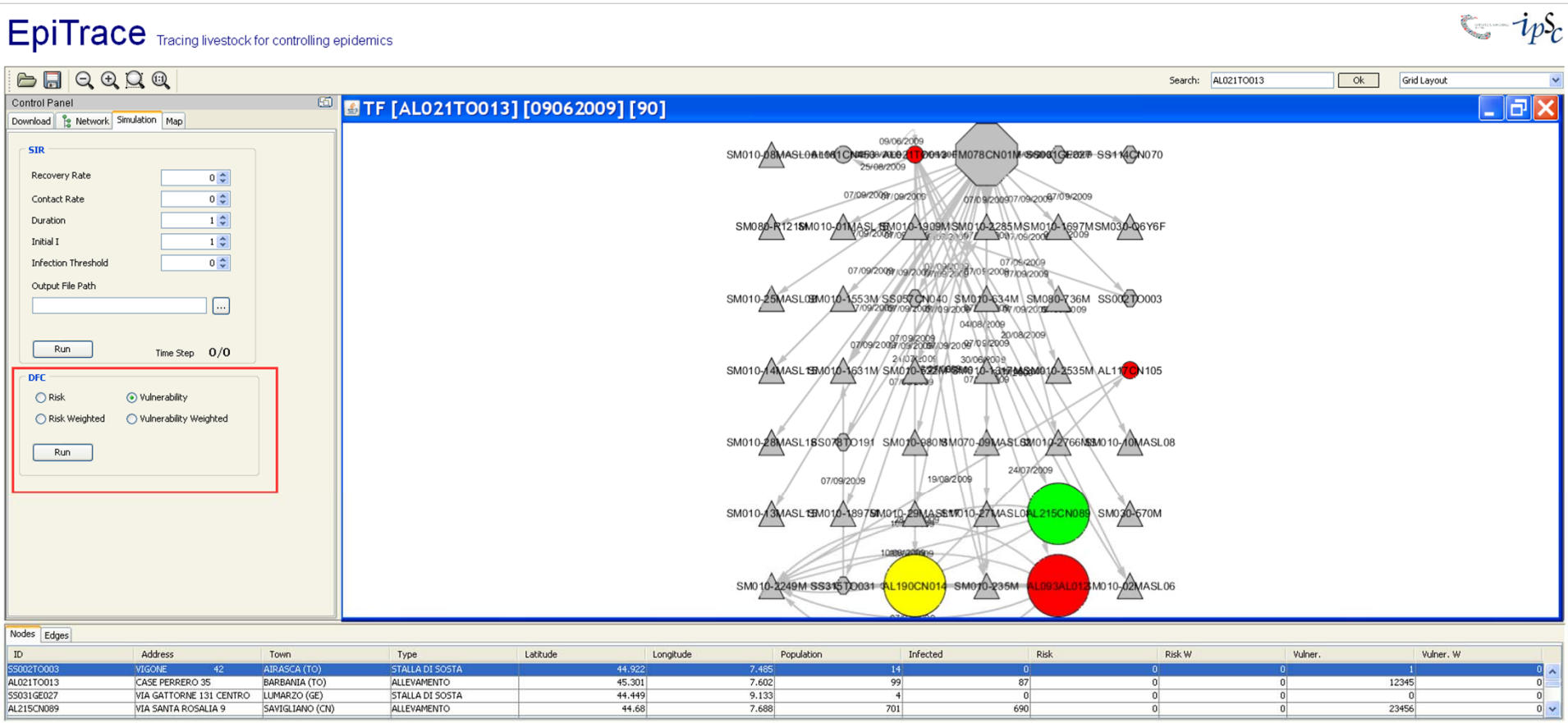
Modello epidemiologico SIR



SNA & movimentazioni di animali

L'APPLICATIVO EPITRACE

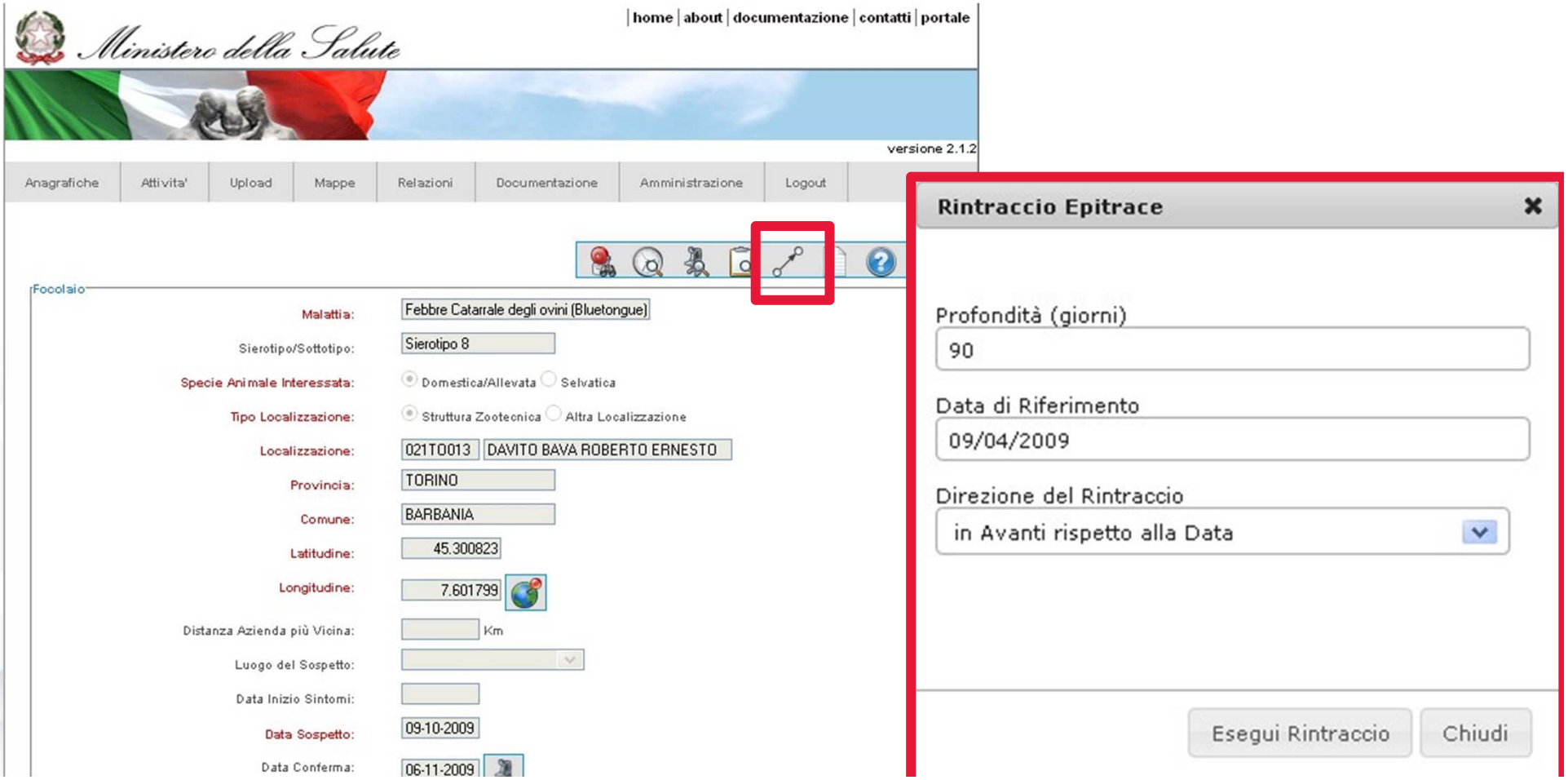
Disease Flow Centrality



SNA & movimentazioni di animali

L'APPLICATIVO EPITRACE

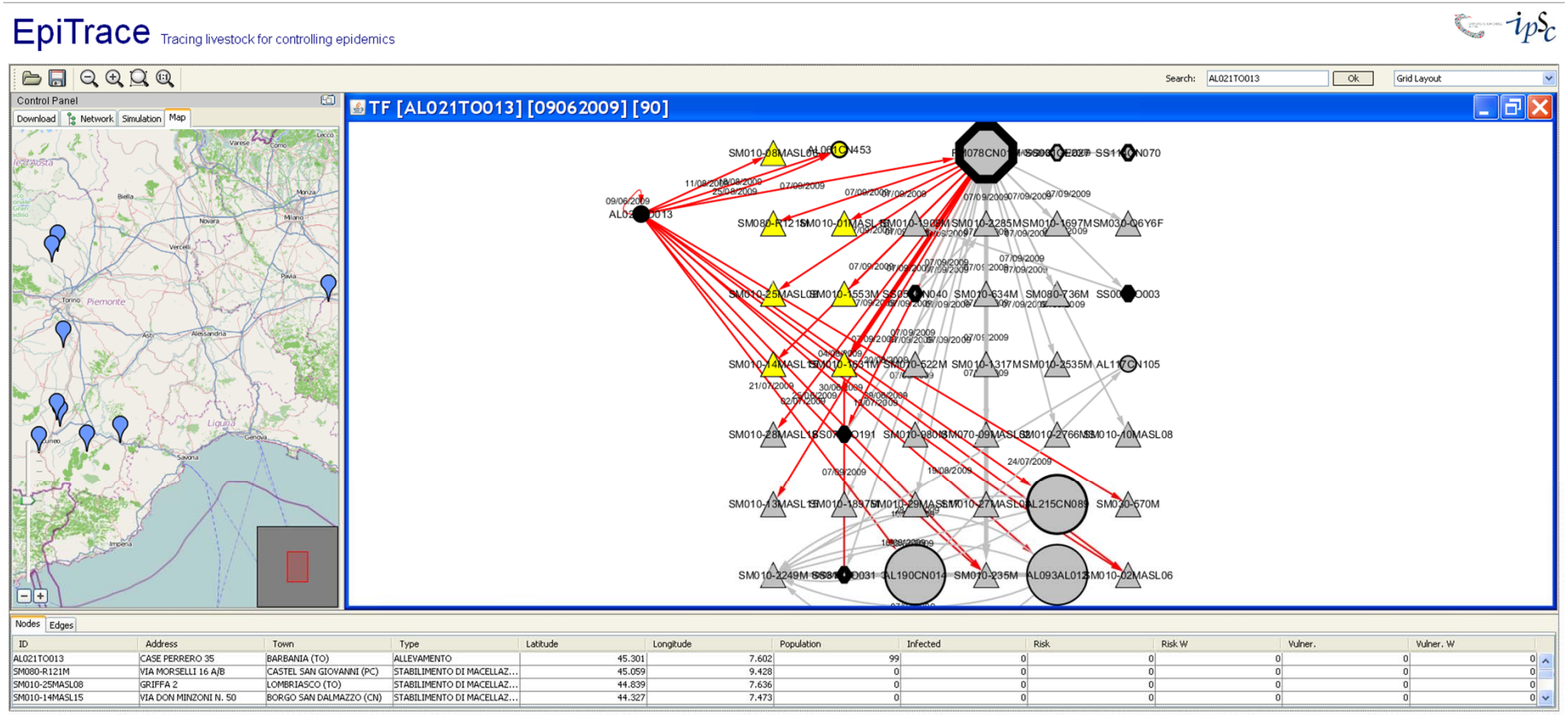
Integrazione di **Epitrace in SIMAN**



SNA & movimentazioni di animali

L'APPLICATIVO EPITRACE

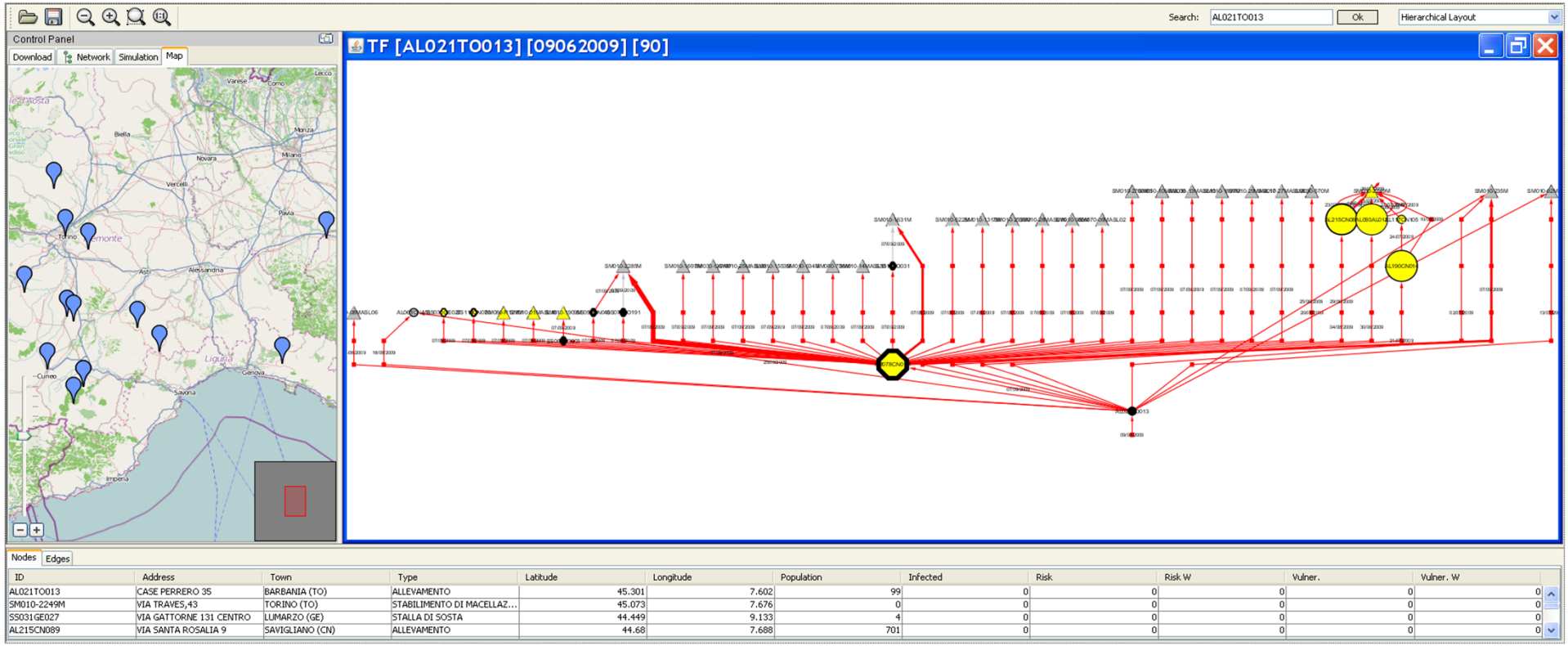
Integrazione di **Epitrace in SIMAN**



SNA & movimentazioni di animali

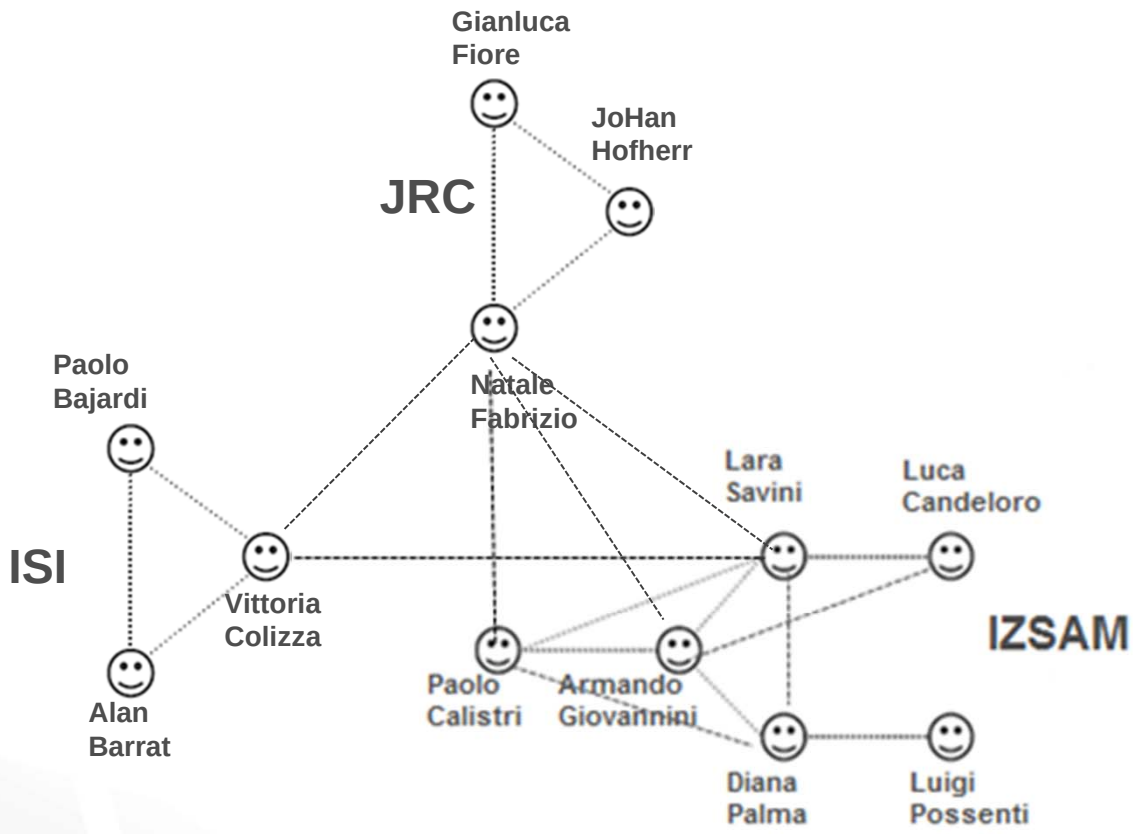
L'APPLICATIVO EPITRACE

Integrazione di **Epitrace in SIMAN**



RINGRAZIAMENTI

Rete di collaborazioni



CONCLUSIONE

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!