

POLITECNICO DI MILANO

FACOLTÀ DI INGEGNERIA DEI SISTEMI

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



STRUTTURE DEI RAPPORTI PREFERENZIALI
NELLE RETI DEL COMMERCIO INTERNAZIONALE:
UN'ANALISI SETTORIALE

Relatore: Prof.ssa Lucia Tajoli
Correlatore: Prof. Carlo Piccardi

Tesi di Laurea di:
Isabella Cingolani
matr. 749177

Anno Accademico 2010-2011

POLITECNICO DI MILANO

FACOLTÀ DI INGEGNERIA DEI SISTEMI

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



STRUTTURE DEI RAPPORTI PREFERENZIALI
NELLE RETI DEL COMMERCIO INTERNAZIONALE:
UN'ANALISI SETTORIALE

Relatore: Prof.ssa Lucia Tajoli

Correlatore: Prof. Carlo Piccardi

Tesi di Laurea di:
Isabella Cingolani
matr. 749177

Anno Accademico 2010-2011

Alla mia famiglia.

Alle mie amiche Chiara, Giovanna e Laura.

Ringrazio il Prof. Carlo Piccardi e la Prof.ssa Lucia Tajoli.

Indice

1	Introduzione	7
2	Reti complesse e analisi di comunità	13
2.1	La teoria delle reti complesse	13
2.1.1	Introduzione	13
2.1.2	Definizioni e notazione	15
2.1.3	La topologia delle reti	21
2.2	Analisi di comunità	25
2.2.1	Approccio <i>lumped Markov chains (LMC)</i>	28
2.2.2	Pseudo-comunità	36
2.3	Altri strumenti applicati	42
2.3.1	Individuazione della <i>backbone</i> di una rete <i>multi-scale</i>	42
3	La <i>network analysis</i> applicata al commercio internazionale	47
3.1	Gli alberi e il <i>blockmodelling algorithm</i>	49
3.2	Gli sviluppi più recenti	55
3.2.1	Le nuove misure dell'integrazione economica e della regionalizzazione	57
3.2.2	L'analisi di comunità	62
3.2.3	L'importanza di un'analisi settoriale	66
3.2.4	Commenti	67
4	Teorie ed evidenza empirica per un'interpretazione delle comunità	71
4.1	La parabola di Paul Samuelson: un mondo senza "distanze"	73
4.2	Quanto contano le "distanze"?	76
5	Analisi empirica	83
5.1	Obiettivi	83
5.2	Dati	83
5.3	Metodologia	86

5.4	Analisi delle proprietà delle reti settoriali	88
5.4.1	Dimensione della SCC	88
5.4.2	Densità delle reti	91
5.4.3	Il peso dei link	92
5.4.4	Il grado dei paesi	94
5.4.5	La <i>strength</i> dei paesi	97
5.4.6	Coefficiente di <i>clustering</i> locale e globale	100
5.5	Analisi di comunità	109
5.5.1	Identificazione e valutazione delle comunità	112
5.5.2	Una vista d'insieme	130
6	Conclusioni	137
	Bibliografia	143

Elenco delle figure

2.1	Rappresentazione grafica di una rete non diretta, diretta e pesata non diretta	17
2.2	Assortatività e disassortatività delle reti	19
2.3	Rappresentazione di una rete con una struttura in comunità	25
2.4	Rete esempio	31
2.5	Il metodo LMC: dalla rete al diagramma delle u_{cc}	35
2.6	Rete a stella pura.	37
2.7	Pseudo-comunità	38
2.8	La classificazione delle sotto-reti	39
2.9	Esempio di diagramma delle probabilità di persistenza	41
3.1	La rappresentazione dei rapporti di scambio tra i principali gruppi di paesi nel 1928	50
3.2	Rappresentazione metrica con Pajek di una struttura <i>core-periphery</i>	52
4.1	Commercio intra-settoriale e inter-settoriale	75
4.2	Quota delle importazioni intra-regionali sul totale delle importazioni per regione geografica, 1965-2005	81
4.3	Quota esportazioni intra-PTA sul totale mondiale dello scambio di merci nel 1990 e nel 2008	81
4.4	Quota delle esportazioni intra-settoriali rispetto alle esportazioni mondiali per i settori manifatturieri, 1990-2009	82
5.1	Esempio di distribuzione cumulata del peso dei link	90
5.2	Esempio di distribuzione cumulata di grado	96
5.3	Esempio di distribuzione cumulata della <i>strength</i>	98
5.4	Concentrazione del valore dei link, del grado e della <i>strength</i> dei paesi	104
5.5	Correlazione tra grado totale e grado totale dei paesi vicini	105
5.6	Correlazione tra <i>strength</i> totale e <i>strength</i> totale dei paesi vicini	106

5.7	Correlazione tra coefficiente di <i>clustering</i> locale e grado	107
5.8	Correlazione tra coefficiente di <i>clustering</i> locale e <i>strength</i>	108
5.9	L'individuazione e la classificazione delle comunità e pseudo - comunità: un esempio	110
5.10	La classificazione delle sotto-reti	111
5.11	Partizione della rete CHEMICALS	114
5.12	Partizione della rete ELECTRICAL MACH.	114
5.13	Partizione della rete PAPER.	115
5.14	Partizione della rete NO-FERROUS METALS.	116
5.15	Partizione della rete OFFICE & DATA.	116
5.16	La meta-rete del settore CHEMICALS.	118
5.17	La meta-rete del settore OFFICE & DATA.	118
5.18	Individuazione delle comunità e pseudo-comunità significative per il settore ELECTRICAL MACH	120
5.19	Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore ELECTRICAL MACH.	121
5.20	Individuazione delle comunità e pseudo-comunità significative per il settore PAPER	122
5.21	Le comunità forti (in alto) e deboli (in basso) del settore PAPER	124
5.22	Individuazione delle comunità e pseudo-comunità significative per il settore NO-FERROUS METALS	126
5.23	La comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore NO-FERROUS METALS	127
5.24	Individuazione delle comunità e pseudo-comunità significative per il settore TLC&SOUND	128
5.25	La comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore TLC & SOUND	129
5.26	Le pseudo-comunità del settore LEATHER	131

Elenco delle tabelle

5.1	Descrizione settori analizzati	85
5.2	SCC e densità delle reti	89
5.3	Indicatori relativi al peso dei link	93
5.4	Indicatori relativi al grado dei paesi	95
5.5	Indicatori relativi alla <i>strength</i> dei paesi	97
5.6	Coefficiente di <i>clustering</i> globale delle reti	102
5.7	Indicatori delle comunità e pseudo-comunità del settore ELEC- TRICAL MACH	119
5.8	Indicatori delle comunità e pseudo-comunità del settore PAPER .	125
5.9	Indicatori delle comunità e pseudo-comunità del settore NO - FER- ROUS METALS	125
5.10	Indicatori delle comunità e pseudo-comunità del settore TLC & SOUND	130
5.11	Indicatori delle pseudo-comunità del settore LEATHER	131

Abstract

In un momento storico dove l'integrazione dei paesi attraverso lo scambio di merci, servizi e capitali sembra essere ai suoi massimi livelli, l'evidenza di una proliferazione di accordi commerciali preferenziali, spesso stabiliti a livello regionale, sembra in contraddizione con l'idea di integrazione economica, che nell'immaginario di molti è definita su scala globale.

La comprensione della struttura e della dinamica dei rapporti tra i paesi non può prescindere dall'adozione di una prospettiva sistemica. La *network analysis*, utilizzata nel presente lavoro, mediante la rappresentazione del sistema degli scambi come una rete, offre gli strumenti utili alla comprensione e alla misura di fenomeni come la globalizzazione e la regionalizzazione degli scambi tra i paesi.

Lo scopo di questo lavoro è capire in che misura i paesi scambiano preferenzialmente su scala "regionale" piuttosto che globale, conducendo per 23 reti settoriali un'analisi di comunità, ovvero cercando di stabilire se esistono gruppi di paesi che definiscono confini più ristretti rispetto alla scala dell'intero sistema, all'interno dei quali i paesi che ne fanno parte scambiano in misura significativamente maggiore rispetto a quanto facciano con il resto del sistema.

I risultati ottenuti mostrano come alcune reti settoriali si caratterizzano per la presenza di comunità che definiscono i confini del mercato di esportazione per i paesi che ne fanno parte e questo vale per i beni semplici come per i beni complessi. In generale è emerso come i paesi tendano a concentrare la propria preferenza su pochi paesi, spesso vicini geograficamente, con passati rapporti di dominio politico ed economico o tra cui esistono accordi commerciali preferenziali. Vi è evidenza che i paesi, nel concentrare la propria preferenza su un numero limitato di paesi con cui intrattenere uno scambio, definiscono un sistema che è lontano dall'essere perfettamente integrato; si osserva come esso sia sostanzialmente organizzato secondo una struttura gerarchica poco connessa, al cui vertice vi sono paesi molto forti economicamente.

Capitolo 1

Introduzione

La globalizzazione è forse il fenomeno che più di altri nell'ultimo decennio ha riscosso interesse e attenzione da parte dell'opinione pubblica, degli organi di informazione e delle istituzioni nazionali e sovranazionali. Le ragioni di questo interesse sono numerose come lo sono gli aspetti sociali ed economici coinvolti nel processo di "integrazione" dei paesi.

Una serie di accordi di natura politica ed economica tra i paesi hanno caratterizzato gli anni subito dopo la Seconda Guerra Mondiale nella consapevolezza dei governi nazionali che una maggiore integrazione economica avrebbe favorito non solo il benessere delle nazioni ma avrebbe altresì costituito il deterrente più significativo per il mantenimento della pace tra queste.

In campo economico la globalizzazione ha a che fare con l'apertura dei paesi a scambiare merci oltre i confini nazionali e a investire capitale all'estero. Il comune sentimento di una sempre maggiore integrazione internazionale è la conseguenza di diffuse politiche economiche di liberalizzazione dei mercati dei beni e dei capitali oltre che del raggiungimento di estesi accordi commerciali multilaterali (GATT/WTO) e della riduzione dei costi di trasporto e di comunicazione.

Il commercio internazionale riveste sicuramente un ruolo di primaria importanza come canale diretto di integrazione dei paesi: è attraverso il commercio internazionale infatti che i paesi hanno accesso a una maggiore varietà di beni prodotti all'estero a un costo minore, oppure è attraverso l'accesso a mercati più ampi che i paesi sostengono e favoriscono la propria occupazione interna e vedono le proprie imprese diventare più competitive. Molte altre considerazioni nascono poi dal constatare come il commercio internazionale di merci e l'integrazione che attraverso di esso si realizza sia in molti casi il risultato di politiche di liberalizzazione dei mercati dei capitali che integrano le economie finanziariamente oltre che "materialmente".

Che forma assume nella realtà la struttura della globalizzazione degli scambi, conseguenza di diffuse politiche economiche di liberalizzazione, della riduzione dei costi di scambio e della firma congiunta di accordi commerciali preferenziali? Come misurare e stabilire gli effettivi *confini* dell'integrazione economica tra i paesi? Quanto la "regionalizzazione" degli scambi è nei fatti significativa? In che misura cioè gli scambi dei paesi si realizzano *preferenzialmente* entro confini più ristretti rispetto a quelli globali? E quali sono le ragioni che portano all'eventuale esistenza di *significant* strutture di scambio locali "separate" allo scambio su scala globale?

Il "multilateralismo" è, per chi ha sostenuto e sostiene che l'integrazione non discriminatoria di tutti i paesi - in un mondo ideale dove il commercio è libero ed equo tra tutti - la via per il raggiungimento di un maggiore benessere economico per il mondo oltre che per ogni singolo paese. Ma come afferma Frankel in un libro pubblicato nel 1997, non è il multilateralismo su scala globale ad essere prioritario sull'agenda delle politiche commerciali dei paesi ma è piuttosto il "regionalismo" ad essere "di moda": è sempre più su scala continentale o regionale che i paesi decidono di stabilire accordi commerciali *preferenziali*, restringendo la scelta dei propri *partner* di scambio su un limitato gruppo di paesi ad essi "vicini" secondo qualche definizione di distanza (non necessariamente geografica in senso stretto). Questa affermazione trova piena conferma nell'ultimo *World Trade Report*, pubblicato dal WTO nel 2011, a distanza di più di un decennio da quando gli studiosi del commercio internazionale hanno sollevato la questione dell'importanza di analizzare i blocchi regionali di scambio nel contesto dell'integrazione economica.

Non è del tutto condivisa dai teorici del commercio internazionale l'opinione che la firma di accordi commerciali regionali e la prevedibile ma non necessaria regionalizzazione degli scambi remi contro gli sforzi già sostenuti dai paesi per raggiungere accordi multilaterali di scala globale (si pensi al principio non discriminatorio che va sotto il nome di *most-favored nation*) in linea con le teorie neoclassiche che sostengono l'equa liberalizzazione del commercio tra i paesi: c'è chi crede che le forme di integrazione regionale soffochino la possibilità di ottenere accordi commerciali multilaterali su scala più globale, coinvolgendo un ridotto numero di paesi nelle negoziazioni, altri che invece sostengono che le forme di integrazione locale, realizzate tramite accordi multilaterali o bilaterali tra i paesi delle comunità che si vengono a creare, costituiscano un volano per un'integrazione estesa all'intero sistema. Ovviamente alla base di questo dibattito c'è interesse nel capire come i paesi dirigono o dirigerebbero le proprie scelte di scambio (in termini intensivi ed

estensivi) in conseguenza degli accordi raggiunti e in che modo queste impattino sul pieno raggiungimento dei vantaggi dallo scambio.

Attraverso l'applicazione delle metodologie proprie della *network analysis*, questo lavoro si propone di indagare sulla reale struttura del sistema di rapporti di scambio merceologico tra i paesi per rivelare l'eventuale esistenza di *comunità* ovvero gruppi di paesi che scambiano merci *preferenzialmente* al loro interno in misura *significativamente* maggiore rispetto a quanto gli stessi membri delle comunità scambiano con il resto del sistema.

L'importanza dello stabilire l'esistenza di *comunità* sta nelle implicazioni economiche che tale evidenza comporterebbe: cosa significherebbe infatti per un paese essere parte di una comunità nello scambio dei beni? Innanzitutto una comunità definirebbe i "confini" e i parametri specifici (p.e. produttività relativa, prezzo internazionale) entro cui si realizza la concorrenza tra le imprese facenti capo ai paesi membri di questa; farebbe in modo che la dinamica delle crisi economiche (p.e. lato domanda e/o lato offerta) rimanga isolata all'interno della comunità qualora fosse proprio da essa ad avere origine; permetterebbe di stabilire se e in che misura i costi di scambio abbiano contribuito alla formazione di tale comunità (costi di trasporto, barriere tariffarie, barriere d'informazione e ostacoli di natura infrastrutturale). Risulta pertanto interessante determinare se il sistema sia organizzato nel suo complesso in *comunità significative* o se tale proprietà vale solo per alcuni casi isolati.

L'utilizzo delle *reti* e delle metodologie su di esse applicate per rivelarne le caratteristiche topologiche (semplice struttura di connessione) e quantitative, è giustificata e favorita rispetto a più tradizionali metodi d'indagine per misurare e stabilire gli effettivi termini dell'integrazione economica tra i paesi per le seguenti ragioni: la rete con cui si modella il sistema degli scambi internazionali permette di studiare tale sistema non come una generica entità economica cui attribuire un valore indistinto, ma mette nelle condizioni di stabilire facilmente punti di massima concentrazione e divergenza tra i paesi costituenti il sistema; permette di definire contemporaneamente la *posizione* di ciascun paese rispetto a un resto del mondo esplicitato in tutti i suoi agenti economici; consente di far emergere realtà stilizzate per l'intero sistema in modo elegante servendosi di informazioni locali, definite cioè a livello di ciascun paese.

In particolare, la forza del modellizzare gli scambi come reti è avere l'opportunità di approfondire i risultati ottenuti delle analisi condotte per valutare ad esempio l'aumento dell'integrazione economica come aumento dell'apertura agli scambi

dell'intero sistema piuttosto che dell'apertura in ambito regionale, riconducendo tali risultati al ruolo di ciascun paese nel determinarli (in termini estensivi e/o intensivi), ruolo legato a doppio filo alla posizione di ognuno di essi.

La posizione di un paese, intesa ad esempio come numero dei legami di scambio (importazioni e/o esportazioni) e come forza nel valore scambiato con l'intero sistema oppure come combinazione particolare di *partner* (numero e identità) assume una notevole capacità informativa quando di questa, per ogni paese, è possibile fare un confronto immediato con quella relativa a ciascun altro paese. La considerazione simultanea della posizione di tutti i paesi del sistema, così come definita sopra, permette di stabilire come ogni paese contribuisca al commercio internazionale e secondo quale ruolo.

Le reti offrono dunque una prospettiva attraverso cui analizzare in modo approfondito e metodologicamente rigoroso i fenomeni della globalizzazione e della regionalizzazione che sono fenomeni sistemici e non singolari. In generale non è da escludersi come le modalità con cui si realizza e prende forma la struttura degli scambi, nelle scelte particolari dei paesi, possa essere influenzata a monte anche da una variabile come la posizione relativa a ciascuno di essi, oltre che essere la conseguenza di intrinseche caratteristiche dei paesi sempre in rapporto a quelle degli altri e alle condizioni generali sottostanti allo scambio, cui tutti i paesi devono far fronte quando si aprono allo scambio internazionale.

Ma è soprattutto attraverso le metodologie per la ricerca delle comunità applicate alle reti che si realizza a pieno lo studio delle caratteristiche del sistema degli scambi e del grado effettivo di integrazione e regionalizzazione degli scambi. Il termine regionalizzazione è da intendersi in senso esteso e pertanto fa riferimento al fatto che i paesi scelgano i propri *partner* di scambio entro un sotto-insieme del sistema, limitato e ben definito, in contrasto a un possibile scenario in cui la scelta ricada indistintamente, senza alcun elemento di preferenzialità, su tutti i paesi del sistema.

Per tale motivo in questo studio la ricerca delle comunità, così come definite sopra, prescinde completamente da partizioni *a priori* del sistema sulla base di un qualche criterio convenzionale (ad esempio la vicinanza geografica o l'appartenenza a un determinato accordo commerciale preferenziale), ed è definita a partire dalle sole informazioni disponibili sui profili di scambio di ciascun paese con il resto del sistema, esplicitato per tutti i *partners* con cui il paese intrattiene relazioni commerciali. Sulla base di questi dati è dunque possibile stabilire come sono strutturati gli scambi a livello di intero sistema e in che misura la globalizzazione

risulta effettivamente in una integrazione completa tra i paesi - tutti scambiano con tutti in misura simile - o quanto e come da questa ipotesi la rete reale si discosta qualora gli scambi si realizzino sulla base di criteri di preferenzialità, tali per cui la scelta dei propri mercati di esportazione e delle fonti di importazione ricadano su un numero limitato di paesi.

Nei termini delle reti, si definiscono comunità sotto-reti in cui le interazioni *interne* sono relativamente e significativamente più intense rispetto a quelle che si realizzano *tra* le sotto-reti stesse. Lo studio di tali particolari strutture nel campo dell'applicazione degli strumenti della *network analysis* al sistema degli scambi merceologici tra i paesi è stato sino ad oggi poco esplorato soprattutto in virtù del fatto che sono mancati gli strumenti adatti a condurre una corretta analisi per l'individuazione delle comunità da una parte e per valutarne la significatività dall'altra. Si può dire che la principale preoccupazione di chi ha studiato le proprietà dei sistemi di scambio modellizzati come reti, è stata quella di descrivere le caratteristiche topologiche e quantitative di queste, a volte dando scarso rilievo all'interpretazione economica e riconducendo perlopiù i risultati alla tematica dell'integrazione economica generale senza mai andare a definire con attenzione gli effettivi confini di quest'ultima.

Nel presente lavoro, per individuare e valutare la significatività delle comunità, ci si serve di un modello *lumped Markov chains* applicato alla rete i cui i nodi sono le sotto-reti in cui è partizionata la rete (partizione generata attraverso un algoritmo ben definito e coerente con il modello stesso), derivabile da una normale catena di Markov che definisce la dinamica del *random walker*. Più precisamente, il modello permette di stabilire un criterio di significatività per l'individuazione e la selezione delle comunità che si basa sull'idea che una comunità è tanto più significativa quanto più è improbabile che i paesi membri scambino all'esterno della comunità stessa.

.

Nel Capitolo 2 saranno presentati gli strumenti metodologici applicati per condurre l'analisi di comunità, definendo prima di tutto cos'è una rete e gli indicatori topologici e quantitativi per lo studio delle sue caratteristiche e successivamente la metodologia applicata per individuare e valutare le comunità di una rete; nel Capitolo 3 è presentata una rassegna dei principali filoni d'indagine sulle caratteristiche del sistema degli scambi di merci tra i paesi e sull'evoluzione di queste tramite l'applicazione degli strumenti propri della *network analysis*, al fine di avere un termine importante di confronto sui risultati. E' invece nel Capitolo 4 che

saranno presentati i modelli economici per interpretare i risultati e cioè saranno illustrate le ragioni economiche che giustificano l'esistenza di comunità nel sistema degli scambi merceologici settoriali tra i paesi. Come suggerito dai modelli di commercio internazionale, si ipotizza che dall'interazione delle caratteristiche delle economie considerate con le caratteristiche dei beni e insieme a queste degli effetti variabili dei costi di scambio (costi di trasporto, barriere informative e tariffarie), per ogni coppia di paesi e per tipo di bene, si vengano a creare scenari di scambio differenti ma soprattutto vi sono ragioni per credere che la scelta dei *partner* di scambio non sia casuale e che la preferenzialità conseguente sia l'elemento che determina l'eventuale esistenza di comunità. Nel Capitolo 5 sono presentati i risultati ottenuti dall'analisi condotta su 23 reti di scambio settoriali nella convinzione che la struttura e l'organizzazione degli scambi sia legata profondamente al tipo di bene oggetto di scambio tra i paesi. Infine, nel Capitolo 6 sono illustrate le conclusioni, i limiti e le principali prospettive aperte dall'analisi qua condotta.

Capitolo 2

Reti complesse e analisi di comunità

2.1 La teoria delle reti complesse

2.1.1 Introduzione

Molti sistemi di interesse scientifico possono essere rappresentati come reti. Cosa sia una rete è di facile intuizione: basti pensare a noi stessi come unità di una rete di relazioni sociali o ai sistemi biologici che sono il risultato di una rete di reazioni biochimiche. Le reti possono essere oggetti concreti in uno spazio Euclideo, come le reti di trasmissione di energia, Internet, i sistemi stradali o le reti neurali. Possono essere però anche entità definite in modo astratto, come le reti sociali e di collaborazione tra individui.

Storicamente lo studio delle reti è coinciso con quella branca della matematica discreta conosciuta come *teoria dei grafi*. Dalla sua nascita nel 1736, quando il matematico svizzero Leonhard Euler pubblicò la soluzione del problema del ponte di Königsberg, la teoria dei grafi è stata protagonista di numerosi sviluppi e ha fornito risposte a una serie di problemi pratici. In aggiunta agli sviluppi della teoria matematica dei grafi, lo studio delle reti ha visto importanti progressi in contesti specifici, come ad esempio nell'ambito delle scienze sociali. L'analisi delle reti sociali si è sviluppata nei primi anni del 1920 e si focalizza sulle relazioni tra entità sociali, come le comunicazioni e rapporti gerarchici tra i membri di un gruppo, gli scambi tra i paesi o le transazioni economiche tra società.

L'ultimo decennio è stato caratterizzato dalla nascita di un nuovo moto di interesse verso lo studio delle reti complesse, cioè le reti la cui struttura è irregolare, multi-scala e che evolve dinamicamente nel tempo, con lo scopo di studiare non più reti di piccole dimensioni ma sistemi con migliaia o milioni di nodi e con

una rinnovata attenzione alle proprietà delle reti composte da unità dinamiche. Questa esplosione di attività, spinta da due articoli fondamentali, uno di Watts e Strogatz sulle reti *small-world*, apparso su Nature nel 1998 e l'altro di Barabási e Albert sulle reti *scale-free*, apparso un anno dopo su Science, ha visto la comunità dei fisici tra i principali attori ed è stata certamente indotta dalla crescente capacità di elaborazione dei calcolatori e dalla possibilità di studiare le proprietà di basi di dati molto grandi relative a reti reali. Queste includono le reti di trasporto, Internet e il World Wide Web ma anche sistemi di interesse nella biologia e in medicina come le reti neurali o genetiche, reti proteiche e metaboliche.

L'analisi massiccia e comparativa di reti relative ad ambiti differenti ha prodotto una serie di risultati inattesi e rilevanti. La prima questione affrontata è sicuramente di ordine strutturale. La ricerca sulle reti complesse era iniziata con l'obiettivo di definire nuovi concetti e misure per caratterizzare la topologia delle reti reali. Il principale risultato è stato l'identificazione di una serie di principi unificanti e proprietà statistiche comuni alla gran parte delle reti reali considerate.

Una proprietà importante riguarda il grado di un nodo e cioè il numero dei link diretti ad altri nodi. Nelle reti reali, la distribuzione di grado $P(k)$, definita come la probabilità che un nodo scelto a caso abbia grado k o, in modo equivalente, come la frazione dei nodi nel grafo aventi grado k , è distante in modo significativo dalla distribuzione di Poisson attesa per una rete *random* e in molti casi presenta una coda che segue una distribuzione *power law*. In altre parole i nodi sono estremamente disomogenei, esistendo nella rete contemporaneamente nodi con grado molto alto e molto basso. Inoltre le reti reali sono caratterizzate da una correlazione tra il grado dei nodi avendo ad esempio cammini relativamente corti tra ciascuna coppia di nodi. Questi risultati empirici hanno dato vita a una rinascita della modellazione delle reti, in quanto i modelli proposti nella teoria dei grafi tradizionale risultavano molto distanti dalla struttura reale delle reti. Quindi sono stati proposti nuovi modelli per mimare la crescita di una rete e riprodurre le proprietà strutturali osservate nelle topologie reali.

La struttura di una rete è il risultato dell'evoluzione continua delle forze che l'hanno formata e che certamente ne influenzano il funzionamento. Quindi l'attività di ricerca è stata motivata dalla convinzione che la comprensione e la modellazione della struttura di una rete complessa possa portare a una migliore comprensione dei suoi meccanismi evolutivi e a una migliore connotazione del comportamento dinamico e funzionale. E infatti è stato mostrato che l'architettura della connessione tra nodi ha importanti conseguenze sulla robustezza funzionale, sul tipo di risposta a perturbazioni esterne e sui fenomeni di propagazione attraverso la rete.

Ancora più di recente sono emerse nuove linee di ricerca. Una di queste è lo studio delle *reti pesate* cioè reti nelle quali a ciascun link è associato un numero reale, motivato dal fatto che nella gran parte dei casi una topologia complessa è associata a un'ampia eterogeneità nella capacità e intensità delle connessioni. Esempi paradigmatici sono l'esistenza di link forti e deboli tra individui nei sistemi sociali, differenti capacità di trasmissione dei segnali elettrici nelle reti neurali, traffico diseguale su Internet. Ignorare tale diversità nelle interazioni potrebbe significare trascurare una grande quantità di informazioni sulle reti complesse che è invece disponibile e molto utile per la loro caratterizzazione.

A determinare la complessità di una rete si aggiunge la possibilità che la rete si caratterizzi per una *struttura in comunità*. La ricerca si è dedicata molto alla costruzione di algoritmi per valutare l'esistenza di strutture in comunità. Storicamente, la nozione di comunità e le prime formalizzazioni in termini di rete del concetto sono state proposte nelle scienze sociali. In generale, data una rete, una comunità è una sotto-rete i cui nodi sono tra loro densamente connessi. Poiché la coesione strutturale dei nodi della sotto-rete può essere quantificata in diversi modi, ci sono diverse definizioni formali delle strutture in comunità. La definizione più forte richiede che tutte le coppie formate da membri di una comunità siano direttamente connesse tra loro. In realtà questo requisito può essere rilassato introducendo definizioni di comunità differenti, in funzione di altri parametri attraverso cui valutare la significatività di tali strutture. L'importanza di queste ultime è riconducibile alle proprietà che presentano le reti costituite da comunità. Trovare le comunità all'interno di una rete è infatti un potente strumento per la comprensione del funzionamento della rete in una prospettiva dinamica, come anche per identificare la gerarchia delle connessioni all'interno di un'architettura complessa. Non solo, ma stabilire l'esistenza di comunità significative è un motivo per indagare sul perché esista e come si concretizzi quel meccanismo che induce gli agenti di un sistema a scegliere non casualmente con chi stabilire una connessione.

2.1.2 Definizioni e notazione

In matematica il termine grafo (o rete) è usato per descrivere un insieme di elementi chiamati nodi o vertici che sono legati tra loro da interazioni chiamate link o connessioni (Vega-Redondo, 2007). Una rete quindi può essere diretta o non diretta (vedi Fig. 2.1) se ai link è associata o meno una direzione. In modo più formale una rete $G = (\mathbb{N}, \mathbb{L})$ consiste in un insieme di nodi $\mathbb{N} = \{1, 2, \dots, N\}$ e in un insieme dei link $\mathbb{L} \subset N \times N$. In un grafo G di dimensione N , il numero di

link L è almeno 0 e al massimo, quando i nodi sono tutti connessi, $N(N-1)/2$ per una rete non diretta, $N(N-1)$ per una rete diretta. G si definisce *sparsa* se $L \ll N^2$ e *densa* se $L = \mathcal{O}(N^2)$. Un grafo $G_{N,L}$ è detto un N -grafo completo se $L = N(N-1)/2$ per una rete non diretta, $L = N(N-1)$ per una rete diretta ed è denotato da L_N .

Un sottografo $G' = (\mathbb{N}', \mathbb{L}')$ di $G = (\mathbb{N}, \mathbb{L})$ è una rete tale che $\mathbb{N}' \subseteq \mathbb{N}$ e $\mathbb{L}' \subseteq \mathbb{L}$. Se G' contiene tutti i link di G che connettono due nodi in \mathbb{N}' , allora si dice che G è il *sottografo indotto* da \mathbb{N}' e si denota come $G' = G[\mathbb{N}']$. Un sottografo si dice *massimo* rispetto a una certa proprietà se non può essere esteso senza perdere tale proprietà.

Di solito ci si riferisce a un nodo attraverso il suo ordine i nell'insieme \mathbb{N} . In una rete non diretta, ciascun link è definito da una coppia di nodi i e j ed è denotato come (i, j) . Ci si riferisce ai due nodi connessi da un link come *adiacenti* o *vicini*. In una rete diretta, l'ordine dei due nodi è importante in quanto $(i, j) \neq (j, i)$.

Una rete può essere pesata o non pesata (vedi Fig. 2.1), cioè a ogni link $(i, j) \in L$ può essere assegnato o meno un numero reale non negativo w_{ij} che ne rappresenta il peso.

Se la rete è non pesata questa è completamente descritta dalla matrice di adiacenza $A = [a_{ij}]$ di dimensioni $N \times N$ dove

$$a_{ij} = 1 \text{ se esiste } (i, j), \text{ altrimenti } a_{ij} = 0$$

Una rete pesata invece è descritta dalla matrice dei pesi $W = [w_{ij}]$ dove

$$w_{ij} > 0 \text{ se esiste } (i, j), \text{ altrimenti } w_{ij} = 0$$

Un concetto centrale nella teoria delle reti complesse è la raggiungibilità tra due nodi. Di fatto due nodi che non sono vicini possono essere comunque raggiungibili l'uno dall'altro. Un percorso (*walk*) tra il nodo i e il nodo j è una sequenza alternativa di nodi e link (una sequenza di nodi adiacenti) che inizia con i e finisce con j . La lunghezza del percorso è definita come il numero di link nella sequenza. Un cammino (*path*) è definito come un percorso in cui nessun nodo è visitato più di una volta, mentre si definisce distanza geodesica d_{ij} , o cammino più breve, il cammino tra i due nodi i e j che ha lunghezza minore. La lunghezza L_d del cammino più breve medio è definita come

$$L_d = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i,j \in \mathbb{N}, i \neq j} d_{ij} \quad (2.1)$$

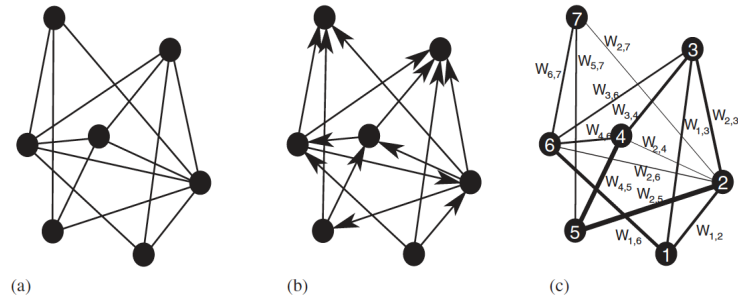


Figura 2.1: **Rappresentazione grafica di una rete non diretta (a), diretta (b) e pesata non diretta (c)** con $N=7$ nodi e $L=14$ link. Nella rete diretta nodi vicini sono connessi da frecce, indicando la direzione di ciascun link. Nella rete pesata, i valori w_{ij} riportati su ogni link sono graficamente rappresentati dallo spessore dei link (da Boccaletti et al. (2006))

Un grafo si dice *connesso* se, per ogni coppia di nodi i e j , c'è un cammino da i a j , altrimenti si dice che la rete non è connessa. Una *componente* della rete è un sottografo indotto massimo connesso, definito anche *Strongly Connected Component* (SCC in seguito). Una componente gigante è una componente la cui dimensione è dello stesso ordine di N .

La densità della rete infine è definita come la frazione di link che connettono gli N nodi della rete rispetto al numero massimo teorico di link in una rete con lo stesso numero di nodi N . La densità più formalmente è definita come $\gamma = L/L_{max}$. Nelle reti dirette $L_{max} = N(N - 1)$ mentre nelle non dirette è pari a $N(N - 1)/2$.

2.1.2.1 Grado del nodo, distribuzione di grado e correlazione

Il grado (o connettività) k_i di un nodo è il numero di link incidenti ed è definito dalla matrice di adiacenza A come:

$$k_i = \sum_{j \in N} a_{ij} \quad (2.2)$$

Se la rete è diretta, il grado del nodo ha due componenti: il numero degli link uscenti $k_i^{out} = \sum_j a_{ij}$ (*out-degree* del nodo) e il numero di link entranti $k_i^{in} = \sum_j a_{ji}$ (*in-degree* del nodo). Il grado totale è infine definito come $k_i = k_i^{in} + k_i^{out}$.

La caratterizzazione topologica di base di una rete può essere ottenuta in termini di distribuzione di grado $P(k)$, definita come la probabilità che un nodo scelto uniformemente a caso abbia grado k o equivalentemente, come la frazione di nodi nella rete che hanno grado k . Nel caso delle reti dirette è necessario considerare le

due distribuzioni $P(k^{in})$ e $P(k^{out})$. L'informazione su come il grado sia distribuito tra i nodi in una rete può essere ottenuta tracciando le curve $P(k)$, $P(k^{in})$ e $P(k^{out})$ o attraverso il calcolo dei momenti della distribuzione. Il momento n -esimo di $P(k)$ è definito come:

$$\langle k^n \rangle = \sum_k k^n P(k) \quad (2.3)$$

Il momento primo è il grado medio di G $\langle k \rangle = \sum_k k P(k) = \frac{1}{N} \sum_i k_i = \frac{2L}{N}$. Il momento secondo misura la fluttuazione della distribuzione di grado.

La distribuzione di grado determina completamente le proprietà statistiche di reti non correlate. Tuttavia in un ampio numero di casi reali le reti sono correlate nel senso che la probabilità che un nodo di grado k sia connesso ad un altro nodo di grado k' dipende da k . In questi casi è necessario introdurre la probabilità condizionata $P(k' | k)$, definita come la probabilità che un link da un nodo di grado k punti a un nodo di grado k' . Sebbene la correlazione del grado sia formalmente caratterizzata da $P(k' | k)$, la valutazione diretta della probabilità condizionata offre risultati estremamente distorti per la gran parte delle reti reali vista la loro dimensione finita N e quindi scarso il numero di dati a disposizione. Questo problema può essere superato definendo il *grado medio dei vicini* del nodo i come:

$$k_{nn,i} = \frac{1}{k_i} \sum_{j \in \mathbb{N}_i} k_j = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^N a_{ij} k_j \quad (2.4)$$

dove la somma è estesa ai nodi appartenenti a \mathbb{N}_i , l'insieme dei vicini di i . Usando la definizione 2.3 è possibile calcolare il grado medio dei vicini dei nodi con grado k , denotando questo con $k_{nn}(k)$. Questa quantità può essere espressa in termini di probabilità condizionata come:

$$k_{nn}(k) = \sum_{k'} k' P(k' | k) \quad (2.5)$$

Se non c'è correlazione di grado, l'Eq. 2.5 dà come risultato $k_{nn}(k) = \langle k^2 \rangle / \langle k \rangle$ e cioè $k_{nn}(k)$ è indipendente da k . Reti correlate sono classificate come *assortative* se $k_{nn}(k)$ è una funzione crescente con k , *disassortative* se $k_{nn}(k)$ è una funzione decrescente con k (vedi Figura 2.2). In altre parole, nelle reti assortative i nodi con grado alto tendono a connettersi a nodi con connettività simile mentre in quella disassortative nodi caratterizzati da un grado basso sono connessi con

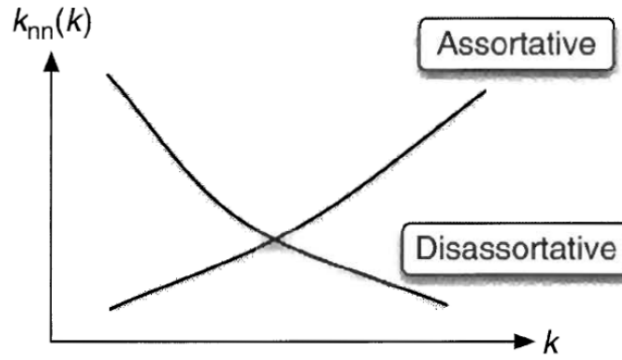


Figura 2.2: Assortatività e disassortatività delle reti (da Barrat et al. (2008))

maggior probabilità a nodi con grado alto e viceversa. La correlazione di grado è spesso quantificata attraverso il valore numerico della pendenza della funzione $k_{nn}(k)$ (se interpolata con una retta) oppure calcolando il coefficiente di correlazione di Pearson tra i gradi dei nodi posti ai due estremi di un link (Newman, 2002).

2.1.2.2 *Strength* del nodo, distribuzione della *strength* e correlazione

La *strength* s_i di un nodo è la somma dei pesi dei link incidenti in un nodo ed è definito per una rete non diretta dalla matrice W come:

$$s_i = \sum_{j \in \mathbb{N}} w_{ij} \quad (2.6)$$

Se la rete è diretta, la *strength* del nodo ha due componenti: il numero degli link pesati uscenti $s_i^{out} = \sum_j w_{ij}$ (*out-strength* del nodo) e il numero di link pesati entranti $s_i^{in} = \sum_j w_{ji}$ (*in-strength* del nodo). La *strength* totale è infine definita come $s_i = s_i^{in} + s_i^{out}$.

La caratterizzazione di base di una rete, come nel caso del grado, può essere ottenuta in termini di distribuzione della *strength* $P(s)$. Nel caso delle reti dirette è necessario considerare due distribuzioni $P(s^{in})$ e $P(s^{out})$. L'informazione su come la *strength* sia distribuita tra i nodi in una rete può essere ottenuta tracciando le curve $P(s)$, $P(s^{in})$ e $P(s^{out})$ o attraverso il calcolo dei momenti della distribuzione.

La *strength* media è definita come $\langle s \rangle = \frac{1}{N} \sum_i s_i$. Se si vuole valutare la correlazione delle *strength* è necessario introdurre la probabilità condizionata $P(s' | s)$,

definita come la probabilità che un link da un nodo di *strength* s punti a un nodo di *strength* s' . Sebbene la correlazione della *strength* sia formalmente caratterizzata da $P(s' | s)$, la valutazione diretta della probabilità condizionata offre risultati estremamente distorti per la gran parte delle reti reali vista la loro dimensione finita N . Questo problema può essere superato definendo la *strength media dei vicini* del nodo i come:

$$s_{nn,i} = \frac{1}{k_i} \sum_{j \in \mathbb{N}_i} s_j = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^N a_{ij} s_j \quad (2.7)$$

dove la somma è estesa ai nodi appartenenti a \mathbb{N}_i , l'insieme dei vicini di i . Usando la definizione 2.7 è possibile calcolare la *strength media dei vicini* dei nodi con *strength* s , denotando questo con $s_{nn}(s)$.

Reti correlate sono classificate come *assortative* se $s_{nn}(s)$ è una funzione crescente con s , *disassortative* se $s_{nn}(s)$ è una funzione decrescente con s . In altre parole, nelle reti assortative i nodi con *strength* alta tendono a connettersi a nodi con *strength* simile mentre in quella disassortative nodi caratterizzati da una *strength* bassa sono connessi con maggiore probabilità a nodi con *strength* alta e viceversa. La correlazione della *strength* è spesso quantificata attraverso il valore numerico della pendenza della funzione $s_{nn}(s)$ o calcolando il coefficiente di correlazione di Pearson tra le *strength* dei nodi posti ai due estremi di un link.

2.1.2.3 Clustering

Il *clustering* conosciuto anche come transittività è una proprietà tipica delle reti sociali dove due individui con un amico in comune hanno buone probabilità di essere a loro volta amici. Per una generica rete non diretta G la transittività sta quindi a indicare la presenza di un alto numero di triangoli. Questa può essere quantificata definendo il *coefficiente di clustering* C , una misura introdotta da Watts e Strogatz (1998) e definita come segue. Prima di tutto introduciamo una quantità c_i (il *coefficiente di clustering locale* del nodo i), che esprime quanto è probabile che $a_{jm} = 1$ per i due vicini j e m del nodo i . Il suo valore è ottenuto contando il numero effettivo di link e_i in G_i (la sotto-rete di G costituita dai vicini del nodo i). G_i può essere non connessa. Il coefficiente di clustering locale è definito come la frazione di e_i rispetto al massimo numero possibile di link in G_i pari a $k_i(k_i-1)/2$:

$$c_i = \frac{e_i}{k_i(k_i-1)/2} \quad \text{dove } 0 \leq c_i \leq 1, \quad (2.8)$$

ponendo convenzionalmente $c_i = 0$ qualora $k_i = 1$ o 0 .

Il coefficiente di clustering della rete è dato dalla media dei c_i estesa a tutti i nodi:

$$C = \langle c \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i \in \mathbb{N}} c_i \quad \text{dove } 0 \leq C \leq 1 \quad (2.9)$$

Il *coefficiente di clustering* misura il livello locale di coesione nell'intorno del nodo i , quella che viene definita la *cliquishness*.

2.1.3 La topologia delle reti

Molti sistemi sia naturali che tecnologici sono costituiti da un ampio numero di unità dinamiche interconnesse. Il primo approccio per catturare le proprietà globali di tali sistemi consiste nel modellarli come reti. Ovviamente questa è un'approssimazione della realtà in quanto implica tradurre attraverso numeri binari (esistenza o meno di legami) forme di interazione che sono il risultato della combinazione di tempo, spazio e molti altri fattori. Tuttavia tale approssimazione, per quanto semplicistica, offre una rappresentazione informativa dell'intero sistema.

Durante gli ultimi decenni è cresciuta la disponibilità di grandi banche dati e contemporaneamente c'è stato anche un forte sviluppo di strumenti potenti per l'analisi dei dati: tutto ciò ha dato un importante impulso all'esplorazione delle proprietà topologiche di molti sistemi reali strutturati a rete. Il principale risultato di tale attività è stato mettere in luce che, nonostante alcune differenze intrinseche, molte reti reali sono caratterizzate dalle stesse proprietà topologiche, come ad esempio la lunghezza relativamente piccola della distanza geodesica, coefficienti di *clustering* alti, distribuzioni di grado a coda pesante, correlazione di grado e la presenza di strutture in comunità. Tutte queste caratteristiche rendono le reti reali radicalmente differenti dai tradizionali modelli studiati in matematica nella teoria dei grafi.

In questa sezione verranno presentate alcune delle proprietà topologiche più significative: l'effetto *small-world* e la distribuzione *power-law* (o *scale free*) che sono entrambe state osservate in recenti lavori come caratterizzanti le reti di scambio internazionale (Serrano e Boguná, 2003; Wilhite, 2001, Serrano et. al, 2007). Per far questo, però, è importante presentare prima il modello che per molto tempo, da quando è stato introdotto, è stato il riferimento per la rappresentazione dei

sistemi a rete. Da questo, successivamente, in tempi piuttosto recenti, sono stati sviluppati modelli che sono in grado di riprodurre alcune caratteristiche osservate nelle reti reali, tra cui la rete degli scambi internazionali. Dal confronto è possibile dedurre più facilmente alcune delle proprietà dei modelli più evoluti.

2.1.3.1 Le reti *random*

La prima importante distinzione in termini di topologia è tra reti strutturate o *random*: se una rete presenta un qualche tipo di regolarità, questa sarà chiamata strutturata; se invece si vuole descrivere una struttura che evolve attraverso un processo di azioni non coordinate, allora ci si riferirà a reti *random*. Nelle reti strutturate ciascun nodo ha tipicamente lo stesso numero di vicini creando *pattern* locali in cui i nodi sono fortemente connessi. Questo tipo di reti presentano coefficienti di *clustering* alti e, rispetto alle reti *random*, hanno una maggiore lunghezza media del cammino che connette due nodi scelti arbitrariamente.

Mentre le reti strutturate sono utili per analizzare sistemi omogenei, non sono adatti per rappresentare fenomeni eterogenei e complessi come le interazioni sociali. Trattando invece delle reti *random*, il modello matematico classico è stato formulato da Erdős e Rényi (1959). Nel loro modello, una rete è costruita connettendo i nodi in modo casuale, partendo da un insieme di nodi e creando un link tra ogni coppia di nodi con una probabilità fissata p . Si può dimostrare come per queste reti la distribuzione di probabilità del grado segua la legge di distribuzione di Poisson. Le proprietà matematiche di una distribuzione di Poisson implicano che molti dei nodi in una rete *random* mostrano lo stesso numero caratteristico di link. Nonostante il fatto che l'assegnazione dei link sia casuale, un tipico grafo *random* tende a essere omogeneo per quanto riguarda il grado dei nodi, il quale si discosta di poco dal valore medio. Inoltre, le lunghezze del cammino tra due nodi sono tipicamente piccole, ma essendo i link indipendenti gli uni dagli altri, le reti *random* mancano completamente di una struttura topologica locale. Per questo motivo il modello di Erdős e Rényi (1959) descrive veramente poche reti reali.

2.1.3.2 La proprietà *small-world*

Un modello appropriato di evoluzione di una rete è stato proposto da Watts e Strogatz (1998). Questo modello porta a definire le cosiddette reti *small-world* che possono essere viste come una via di mezzo tra reti *random* e strutturate. Il

modello di Watts e Strogatz è basato su una procedura di ricablaggio: si inizi con un reticolo regolare ad anello costituito da N nodi, dove ciascun nodo è connesso ai suoi k vicini di destra e k di sinistra (ha quindi grado $2k$). Poi si procede al ricablaggio casuale di ciascun link della rete con una probabilità p : si esaminano tutti gli N nodi della rete e si considerano tutti i link (i, j) che connettono i ai suoi k vicini di destra e con probabilità p si rompe il link che connette i a j e si ridirige verso un nodo scelto a caso. Con $p=1$ si ottiene una rete *random*. Questo processo introduce un numero atteso di pNk link *a lungo raggio*, si vengono cioè a creare link che connettono aree differenti della rete, velocizzando così la “comunicazione” tra nodi altrimenti distanti.

La forma della distribuzione di grado delle reti di Watts e Strogatz assomiglia a quella delle reti *random*: ha un picco pronunciato in corrispondenza di k e decade esponenzialmente per un numero crescente di link. Il modello *small-world* è in grado di riprodurre però due proprietà chiave delle reti reali (Amaral et al., 2000): a) la preservazione dei link locali (*clustering*) e b) la crescita logaritmica (anziché lineare) della distanza media tra ciascuna delle possibili coppie di nodi al crescere del numero dei nodi. Quest’ultima caratteristica è conosciuta come proprietà *small-world* ed è matematicamente caratterizzata da una lunghezza L_d del cammino più breve medio che dipende al massimo logaritmicamente rispetto alla dimensione N della rete (Watts e Strogatz, 1998). Questa proprietà è stata per la prima volta riscontrata in un contesto sociale da Milgram negli anni ’60, in una serie di esperimenti per la stima delle distanze in una rete di relazioni sociali tra individui (Milgram, 1967).

2.1.3.3 La distribuzione *scale-free*

La distribuzione di grado della gran parte delle reti reali presenta una funzione $P(k)$ che segue una legge di potenza (*power-law*) con esponenti che variano da 2 a 3. Esempi provengono da vari campi di applicazione, dalla fisica alla biologia, dalle scienze sociali all’economia (Vega-Redondo, 2007; Newman, 2003).

Ci sono diversi modi per definire matematicamente una distribuzione *power-law*. Ad esempio per variabili aleatorie continue è definita come

$$P(k) = Ck^{-\gamma} \quad \text{per } k \geq k_{min} \quad (2.10)$$

dove $C = (\gamma - 1)k_{min}^{\gamma-1}$ è una costante. Quest’ultima espressione ha senso solo per $\gamma > 1$. La distribuzione *power-law* presenta molte proprietà matematiche

che possono essere utilizzate per far emergere aspetti interessanti delle reti reali analizzate. Molte di queste derivano dalla forma della distribuzione e dal fatto che esistano solo i primi $\gamma - 1$ momenti. In generale il momento n -esimo è definito come:

$$\langle k^n \rangle = \int_{k_{min}}^{\infty} k^n P(k) dk = k_{min}^n \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma - 1 - n} \right) \quad \text{per } \gamma > n + 1 \quad (2.11)$$

Quando $1 < \gamma < 2$, il momento primo è infinito insieme a tutti i momenti superiori al primo. Quando $2 < \gamma < 3$, il momento primo è finito mentre il secondo e i momenti superiori sono infiniti¹. Questo aspetto è rilevante se si considera come per la grande maggioranza delle distribuzioni di probabilità tutti i momenti siano invece finiti.

Le reti che presentano una tale distribuzione di grado sono chiamate *scale-free* poiché le distribuzioni *power-law* hanno la proprietà di avere la stessa forma funzionale a fronte di qualsiasi costante moltiplicativa, cioè su qualsiasi scala (Barabási e Albert, 1999a). Le reti di questo tipo hanno una distribuzione di grado fortemente disomogenea presentano contemporaneamente pochi nodi, i cosiddetti *hubs*, connessi a molti altri nodi e un ampio numero di nodi invece scarsamente connessi. Barabási e Albert (1999a) hanno identificato due importanti meccanismi che sono responsabili dell'emergere di distribuzioni *power-law*: la crescita del numero di nodi della rete e la preferenzialità nel meccanismo di creazione dei link tra nodi.

Quando si analizzano reti reali, può accadere che i dati abbiano un rumore intrinseco piuttosto forte dovuto alla dimensione finita del campione. Quindi quando la dimensione del sistema è piccola e la distribuzione $P(k)$ presenta una coda pesante è consigliabile misurare la distribuzione cumulata di grado $P_{cum}(k)$, definita come:

$$P_{cum}(k) = \sum_{k'=k}^{\infty} P(k') \quad (2.12)$$

In questo modo le fluttuazioni statistiche che generalmente si trovano nelle code sono smorzate.

¹Le distribuzioni campionarie presentano momenti superiori al primo finiti.

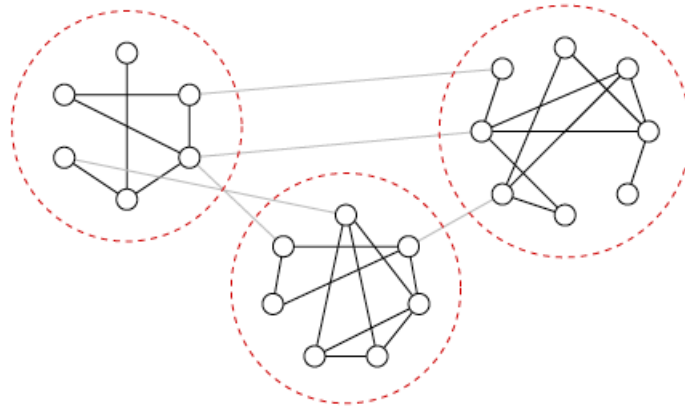


Figura 2.3: Rappresentazione di una rete con struttura in comunità: è resa evidente la differenza tra la densità dei link *tra* le comunità e rispetto alla densità *interna* alle comunità (da Boccaletti et al. (2006))

2.2 Analisi di comunità

I sistemi complessi sono sovente organizzati in “compartimenti” che hanno un loro specifico ruolo e/o funzione. Questi compartimenti nelle reti appaiono come insiemi di nodi con un alta densità interna di link, mentre la densità dei collegamenti tra i sotto-insiemi è comparativamente minore (vedi Figura 2.3). Queste sotto-reti sono chiamate comunità o moduli e sono presenti in un’ampia varietà di sistemi connessi a rete (Girvan e Newman, 2002; Fortunato, 2010).

E’ stato però osservato come non esista una definizione unica di comunità e non c’è accordo tra gli studiosi dei sistemi complessi su come una rete organizzata in comunità debba essere topologicamente strutturata (Lancichinetti e Fortunato, 2009). Ciononostante, rimane l’opinione condivisa che individuare le comunità rende più chiaro come i sistemi complessi siano organizzati e aiuti la comprensione del loro funzionamento.

Pertanto sono stati sviluppati molti metodi per l’individuazione delle comunità nelle reti. Il metodo tradizionale per estrarre una struttura in comunità da una rete è il *clustering gerarchico*. Applicando questo metodo, si assegna una “forza di link” (*connection strength*) alle coppie di nodi nella rete di interesse. In genere questa grandezza è assegnata a ciascuna delle $n(n - 1)/2$ possibili coppie nella rete. Tuttavia, non è ancora chiaro a quali algoritmi ci si possa affidare per le applicazioni: la questione dell’affidabilità è spinosa in quanto richiede una definizione condivisa del concetto di comunità che, al momento, non esiste.

Nonostante ciò la comunità scientifica non ha mai messo in discussione un sem-

plice modello di rete, il modello denominato *l-partizione impiantata* (Condon e Karp, 2001) che è spesso utilizzato in letteratura in varie versioni. In questo modello si “impianta” una partizione, consistente in un certo numero di insiemi di nodi. Ciascun nodo ha una probabilità p_{in} di essere connesso ai nodi del suo gruppo e una probabilità p_{out} di essere connesso ai nodi degli altri gruppi. Finché $p_{in} > p_{out}$ i gruppi sono comunità, in caso contrario quando $p_{in} \leq p_{out}$ la rete è essenzialmente *random*, senza una struttura in comunità. La versione più popolare di questo modello è stata proposta da Girvan e Newman (2002), ed è diventata poi un benchmark per testare gli algoritmi per l’individuazione delle comunità. Tuttavia, il modello di Girvan e Newman presenta due grandi limiti 1) tutti i nodi hanno lo stesso grado atteso e 2) tutte le comunità hanno la stessa dimensione. Queste due sole caratteristiche rendono questo modello distante dalla struttura delle reti reali, che sono invece caratterizzate da una distribuzione eterogenea del grado (Barabási e Albert, 1999; Boccaletti et al., 2006; Newman, 2003) e della dimensione delle comunità (Lancichinetti e Fortunato, 2009). Lancichinetti et al. (2008) introducono una nuova classe di modelli di rete (LFR) da utilizzare come *benchmark* prevedendo una distribuzione *power-law* per il grado dei nodi e la dimensione delle comunità. Molti algoritmi per l’individuazione delle comunità che presentano ottime prestazioni se applicati sul modello semplice di Girvan e Newman, se testati sul nuovo modello *benchmark* LFR mostrano invece tutti i loro limiti.

Sono stati sempre Girvan e Newman (2002; 2004) tra i primi a proporre un algoritmo per l’individuazione delle comunità nei grafi. E’ un algoritmo gerarchico divisivo nel quale i link sono rimossi iterativamente basandosi sul valore della loro *betweenness*, che esprime il numero di cammini geodesici tra nodi che passano attraverso di essi. Nella sua implementazione più diffusa, la procedura di rimozione termina quando la modularità della partizione risultante raggiunge il massimo. La modularità di Newman e Girvan è una funzione che definisce la bontà di una partizione basandosi sulla comparazione della rete reale analizzata rispetto a un modello nullo definito come una classe di reti *random* caratterizzate dalla stessa sequenza di grado $\{k_1, k_2, \dots, k_N\}$. Molti altri algoritmi sono stati ideati partendo dal concetto di modularità introdotto da Newman e Girvan come, ad esempio, quello descritto nel lavoro di Clauset et al. (2004) in cui è proposta una implementazione più veloce del primo metodo: in questo caso l’algoritmo è gerarchico agglomerativo, partendo cioè da un insieme di nodi isolati, vengono di volta in volta aggiunti quei link della rete originale che fanno sì che la modularità aumenti il più possibile. Sempre nello spirito di ottimizzazione della ricerca della

partizione in grado di massimizzare la funzione di modularità sono stati proposti da Blondel et al. (2008) e Radicchi et al. (2004) ulteriori metodi.

Un'interessante proposta viene da Rosvall e Bergstrom (2008), la quale introduce concettualmente al metodo utilizzato in questa tesi. I due autori spostano l'attenzione dal cercare la migliore struttura modulare di una rete al problema di comprimere in modo ottimale l'informazione sulla struttura della rete in modo da poter ricreare una struttura il quanto più possibile vicina alla struttura originale una volta che l'informazione compressa sia decodificata. Adottando un approccio proprio della teoria dell'informazione misurano quanto efficientemente una rete codificata è in grado di rappresentare la rete originale e quanti dettagli sono persi nel processo di semplificazione. Questo obiettivo è raggiunto calcolando il minimo di una funzione che esprime il massimo *trade-off* tra la massima informazione sulla rete originale condizionata da quella compressa (massima fedeltà all'informazione originale) e la massima compressione (la minima informazione possibile "da trasmettere"). L'ottimizzazione della funzione è ottenuta attraverso *simulated annealing* metodo adatto a individuare il minimo globale di una funzione che presenta più minimi locali.

Sono stati qui presentati solo alcuni dei molti metodi proposti per l'identificazione delle comunità di una rete. In generale, la ricerca in merito all'analisi di comunità si è concentrata esclusivamente sul problema di proporre algoritmi in grado di generare partizioni delle reti il più possibile performanti da un punto di vista computazionale. Tenendo presente che i metodi applicati sono euristici e mai esaustivi per la generazione delle partizioni, sono stati proposti di volta in volta nuovi o affinati criteri per la definizione delle comunità e del concetto di *forza* che lega i nodi appartenenti a una stessa comunità, tutto al fine di generare partizioni "il più velocemente possibile" massimizzando un certo parametro, spesso definito a livello globale.

Questa ricerca manca però di due aspetti importanti per poter affermare che una rete si caratterizzi o meno per una struttura in comunità: prima di tutto non è stata ancora proposta una *definizione rigorosa* di comunità e in secondo luogo non è mai associata ad essa, in qualsiasi delle definizioni proposte, un parametro che ne definisca la *significatività*. Solo in Radicchi et al. (2004) viene proposto un metodo che introduce un criterio locale per la generazione di partizioni in grado di offrire allo stesso tempo una misura della significatività dei *cluster* individuati.

Nel lavoro di Radicchi et al. (2004), sempre attraverso un algoritmo gerarchico divisivo, vengono iterativamente rimossi i link in base al loro coefficiente di *clu-*

stering definito come il rapporto tra il numero di triangoli basati su quel link e il massimo numero possibile di triangoli che possono basarsi su quel link. Il coefficiente di *clustering* così definito rappresenta una misura locale il cui calcolo è meno oneroso rispetto alla *betweenness*. Il criterio per far terminare il processo iterativo dipende dalle proprietà delle comunità e non dal valore di una funzione globale come la modularità. Radicchi et al. (2004) considerano due tipi di comunità: le comunità forti e le comunità deboli. Le prime sono gruppi di nodi tali che per ogni singolo nodo il grado interno dei nodi del gruppo supera il grado esterno dei nodi; le seconde sono invece gruppi di nodi tali che complessivamente il grado totale interno dei nodi del gruppo supera il loro grado totale esterno.

Alla luce di queste osservazioni è stato proposto da Piccardi (2011) un metodo che permette in modo rigoroso di definire comunità *significant* e con esse la partizione che presenta il massimo numero di tali comunità. C'è da notare che tale metodo è stato testato su diverse reti *benchmark*, come la già discussa rete LFR, dando degli ottimi risultati in termini di capacità di individuazione della “migliore” partizione.

Questo metodo innovativo, che individua e valuta le comunità di una rete applicando le *lumped Markov chains* (catene di Markov aggregate), sarà utilizzato nel presente lavoro per l'analisi della struttura in comunità delle reti di scambio internazionale settoriali, al fine di individuare e analizzare le caratteristiche e la significatività di strutture comunitarie, laddove emergono, e rapportarle alla tipologia del bene scambiato.

2.2.1 Approccio *lumped Markov chains* (LMC)

Nel lavoro di Piccardi (2011) è proposta una definizione rigorosa di comunità basata su una soglia di significatività. Più precisamente, una volta definito un livello $0 < \alpha < 1$, un *cluster* di nodi è definita una α -comunità se la probabilità che un *random walker* rimanga all'interno della comunità al prossimo passo non è inferiore di α . Questa probabilità è ottenuta da un modello *lumped Markov chain* approssimato applicato al *random walker*, vale a dire una catena di Markov di ordine ridotto nella quale le comunità diventano nodi, facilmente derivabile dalla normale catena di Markov che descrive la dinamica del *random walker*. In modo coerente, una partizione composta da α -comunità è indicata come α -partizione.

Insieme a un metodo efficiente per generare un insieme di buone partizioni candidate, le definizioni date qua sopra forniscono un approccio per trovare le comunità

e allo stesso tempo valutare la loro significatività. E' necessario pertanto fissare per prima cosa un livello di significatività α . Successivamente è generata una famiglia di partizioni e ciascuna partizione è immediatamente controllata per valutare se è formata da α -comunità. In questo modo è possibile individuare subito le α -partizioni e selezionare quella che ha un numero maggiore di α -comunità in quanto in generale si ricercano comunità che sono allo stesso tempo piccole (che scompongono effettivamente la rete) e significative (con una connettività interna maggiore di quella esterna).

La nozione di α -comunità può essere però utile anche vista in un'altra prospettiva. Può accadere che, per un dato livello di significatività α , non siano individuate α -partizioni. Tuttavia, una o poche α -comunità possono esistere. Queste corrispondono a gruppi di nodi fortemente clusterizzati dentro una rete che non possiede una struttura clusterizzata ben definita.

2.2.1.1 Il Modello

Riportando alcune definizioni date nel paragrafo 2.1.2 si considera una rete di $\mathbb{N} = \{1, 2, \dots, N\}$ nodi e \mathbb{L} link; nel caso generale di rete diretta e pesata è definita la matrice $N \times N$ dei pesi $W = [w_{ij}]$ dove $w_{ij} \geq 0$ è il peso del link che va da i a j . La struttura di link della rete è data dalla matrice di adiacenza $A = [a_{ij}]$ dove $a_{ij} = 1$ se $w_{ij} > 0$. Se la rete è non diretta $W=W'$ e $A=A'$, se è non pesata $W=A$. Si assume che la rete sia connessa, cioè che esista almeno un cammino orientato da ogni i a ogni j . Se la rete è diretta, per ogni nodo i si definisce il grado totale come $k_i = k_i^{in} + k_i^{out} = \sum_j a_{ji} + \sum_j a_{ij}$ mentre è $k_i = \sum_j a_{ji} = \sum_j a_{ij}$ se la rete è non diretta. In modo simile, in una rete diretta la *in*-, *out*- e *total-strength* sono date da $s_i^{in} = \sum_j w_{ji}$, $s_i^{out} = \sum_j w_{ij}$ e $s_i = w_i^{in} + w_i^{out}$ e la *strength* totale della rete da $S = \sum_{ij} w_{ij}$. Se la rete è non diretta $s_i = s_i^{in} = s_i^{out} = \sum_j w_{ji} = \sum_j w_{ij}$ e $S = \sum_{ij} w_{ij}/2$.

La catena di Markov $\pi_{t+1} = \pi_t P$ di N -stati, con $\pi_t = (\pi_{1,t}, \pi_{2,t}, \dots, \pi_{N,t})$, è associata alla rete di N -nodi ottenuta normalizzando la matrice W rispetto alle righe, cioè definendo la probabilità di transizione da i a j uguale a

$$p_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sum_j w_{ij}} = \frac{w_{ij}}{s_i^{out}}. \quad (2.13)$$

La quantità p_{ij} è la probabilità che un *random walker* che è nel nodo i salti sul nodo j , e $\pi_{i,t}$ è la probabilità di essere nel nodo i al tempo t . La matrice di transizione $P = [p_{ij}]$ è una matrice di Markov ($0 \leq p_{ij} \leq 1$ per ogni i, j , e $\sum_j p_{ij} =$

1 per ogni i). Inoltre, P è irriducibile poiché la rete è connessa. Questo implica che l'equazione $\pi = \pi P$ ha un'unica soluzione π , che è strettamente positiva ($\pi_i > 0$ per ogni i) e corrisponde alla distribuzione di probabilità dello stato stazionario della catena di Markov. Per le reti non dirette si può facilmente verificare che $\pi = (s_1 s_2 \dots s_N)/(2S)$, mentre per le reti dirette una formula generale non esiste e π deve essere calcolato numericamente.

Indichiamo con \mathbb{P}_q una partizione di \mathbb{N} in q sotto-reti, vale a dire $\mathbb{P}_q = \{\mathbb{C}_1, \mathbb{C}_2, \dots, \mathbb{C}_q\}$ con $\cup_c \mathbb{C}_c = \mathbb{N}$ e $\mathbb{C}_c \cap \mathbb{C}_d = \emptyset$ per ogni c e d . Tipicamente, ma non in senso rigoroso, la sotto-rete \mathbb{C}_c è chiamata *comunità* se la densità (pesata) dei link interni a \mathbb{C}_c è più grande di quello relativo ai link che legano \mathbb{C}_c al resto della rete. L'analisi di comunità di una rete consiste quindi nel trovare la migliore partizione \mathbb{P} secondo qualche criterio.

Definire una partizione \mathbb{P}_q induce una meta-rete di q -stati, dove le comunità diventano dei meta-nodi. Descrivere rigorosamente la dinamica del random walker su questa scala attraverso una *lumped Markov chain*, tuttavia, non è possibile se non in casi speciali. Tuttavia, può essere definita una catena di Markov di q -stati che descriva correttamente il *random walker* al livello aggregato a condizione che il processo stocastico parta dalla distribuzione stazionaria π . Questa catena è definita da una matrice stocastica $q \times q$

$$U = [\text{diag}(\pi H)]^{-1} H' \text{diag}(\pi) P H \quad (2.14)$$

dove $H = [h_{ic}]$ è una matrice binaria $N \times q$ che codifica la partizione \mathbb{P}_q , in cui l'elemento h_{ic} è 1 se e solo se $i \in \mathbb{C}_c$. La *lumped Markov chain* $\Pi_{t+1} = \Pi_t U$ condivide con l'originale la distribuzione stazionaria, vale a dire $\Pi = \pi H$ soddisfa $\Pi = \Pi U$. Al contrario, partendo da un π_0 arbitrario, la *lumped Markov chain* $\Pi_{t+1} = \Pi_t U$ con distribuzione iniziale $\Pi = \pi_0 H$ fornisce solo un'approssimazione dell'evoluzione di πH . Tuttavia la differenza tra la Π reale e quella approssimata tende a zero se le due catene sono regolari, poiché per definizione esse convergono allo stesso stato stazionario. L'abilità delle *lumped Markov chains* nel descrivere la dinamica del *random walker* solo nello stato stazionario non rappresenta però un limite del metodo come dimostrato da alcuni esempi di applicazione (Piccardi, 2011).

L'elemento u_{cd} di U rappresenta la probabilità che il *random walker* sia al tempo $t+1$ è in uno qualsiasi dei nodi della comunità d , a condizione che al tempo t si trovi nella comunità c . Il termine diagonale u_{cc} sarà quindi identificato come *probabilità di persistenza* della comunità c . Valori grandi di u_{cc} sono attesi per le

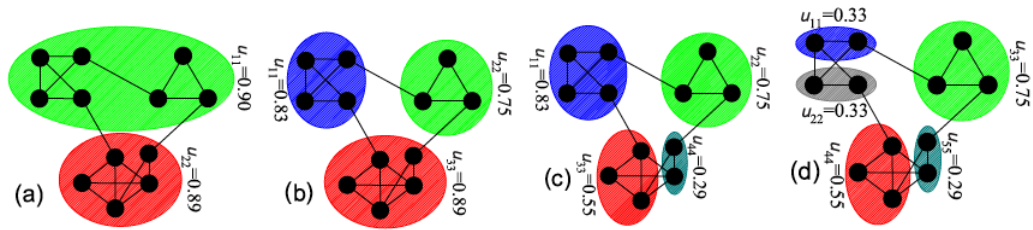


Figura 2.4: Rete esempio

comunità significative. Infatti il tempo atteso di uscita dalla comunità c è pari a $\tau_c = (1 - u_{cc})^{-1}$: spendere molto tempo “passeggiando” dentro la stessa comunità è indicativo che i pesi che puntano all’interno della comunità sono relativamente più grandi rispetto a quelli che sono rivolti all’esterno.

Dato un valore $0 < \alpha < 1$, \mathbb{C}_c è definita α -comunità se $u_{cc} \geq \alpha$. Quindi α agisce come un parametro di selezione delle comunità e le qualifica in modo rigoroso rispetto a una data soglia di significatività. In modo coerente, si definisce \mathbb{P}_q una α -partizione se è composta da α -comunità, vale a dire $u_{cc} \geq \alpha$, per ogni $c=1,2,\dots,q$.

Illustriamo il ruolo delle probabilità di persistenza su un esempio di rete composta da 12 nodi rappresentata in Figura 2.4, che è composta da tre insiemi di nodi tra loro molto connessi, legati tra loro però debolmente. Sono state considerate 4 partizioni, corrispondenti a divisioni sempre più fini della rete e le u_{cc} sono calcolate per ogni comunità. Fino a quando i cluster corrispondono alle comunità *naturali*, o all’unione di esse, le u_{cc} sono grandi (2.4.a e 2.4.b). Ma, nel momento in cui queste vengono divise, la probabilità di persistenza delle comunità si abbassa significativamente. Questo risultato può essere usato in un duplice modo. Da una parte, se si analizza un insieme di partizioni sempre più fini, una caduta improvvisa delle probabilità di persistenza è un segnale che una comunità significativa è stata divisa e la partizione corrispondente può essere così scartata. Dall’altro lato, se è data una singola partizione e deve essere valutata la sua significatività, le u_{cc} quantificano immediatamente la qualità della partizione ma anche di ogni singola comunità.

2.2.1.2 Le probabilità di persistenza per valutare le comunità

Le probabilità di persistenza possono essere utilizzate in primo luogo per valutare la qualità di una data partizione. La partizione può essere il risultato di un qualunque metodo per individuare le comunità (p.e. la massimizzazione del-

la funzione di modularità) o invece derivare da una divisione a priori (e.g. le comunità corrispondenti alla stipulazione di accordi commerciali nel commercio internazionale dei beni). Successivamente sarà presentato un metodo, coerente con il modello proposto, per ottenere le partizioni.

Dall'equazione 2.14 si può ricavare l'espressione esplicita della probabilità di persistenza u_{cc} del cluster \mathbb{C}_c

$$u_{cc} = \frac{\sum_{ij \in \mathbb{C}_c} \pi_i p_{ij}}{\sum_{i \in \mathbb{C}_c} \pi_i} \quad (2.15)$$

Il numeratore $\sum_{ij \in \mathbb{C}_c} \pi_i p_{ij}$ rappresenta la frazione del tempo che il *random walker* spende sui link interni a \mathbb{C}_c . Quindi u_{cc} è la frazione tra quest'ultima e la frazione del tempo speso sui nodi di \mathbb{C}_c . Nel caso della rete non diretta, ricordando che $\pi = (s_1 s_2 \dots s_N)/(2S)$, si ottiene

$$u_{cc} = \frac{\sum_{ij \in \mathbb{C}_c} w_{ij}}{\sum_{i \in \mathbb{C}_c} s_i} = \frac{2W_c}{S_c} \quad (2.16)$$

avendo indicato con W_c il peso totale interno e con S_c la strength totale di \mathbb{C}_c . In questo modo la probabilità di persistenza ha una interpretazione immediata: è la frazione della strength dei nodi di \mathbb{C}_c che rimane dentro \mathbb{C}_c .

Nel caso ancora più particolare delle reti non pesate, esiste una relazione stretta con la nozione di comunità in senso debole data da Radicchi et al. (2004), che definiscono una comunità come un insieme \mathbb{C}_c di nodi i cui link diretti dentro \mathbb{C}_c sono, mediamente sull'insieme di nodi, più di quelli diretti verso il resto della rete. Può essere facilmente verificato che questo corrisponde a $u_{cc} > \alpha = 0.5$. Quindi le probabilità di persistenza generalizzano la nozione di comunità in senso debole in una duplice direzione: per prima cosa, la estendono alla reti dirette e pesate; in secondo luogo, permettono una maggiore flessibilità nell'impostare la significatività delle comunità fissando un livello minimo di accettazione (non necessariamente 0.5) per u_{cc} .

2.2.1.3 Le probabilità di persistenza per individuare le comunità

Le probabilità di persistenza possono altresì essere utilizzate per individuare le comunità, o meglio ottenere partizioni composte da comunità significative. Il punto di partenza è definire il livello desiderato per il parametro di qualità α . Ad esempio nel caso delle reti non dirette e non pesate, il vincolo $u_{cc} > \alpha = 0.5$ per

tutte le c è equivalente a richiedere partizioni composte da “comunità in senso debole”, secondo la definizione data da Radicchi et al. (2004). Ma si può essere più o meno restrittivi, cioè richiedere livelli di significatività inferiori o superiori. In generale, per ogni α , esiste un insieme di α -partizioni. Tipicamente si ricercano comunità in cui scomporre efficacemente una rete. Possiamo quindi formulare il problema dell’individuazione delle comunità in modo rigoroso come segue:

$$\max_{\mathbb{P}_q \in \mathcal{P}} q \quad \text{sotto il vincolo } u_{cc} \geq \alpha, \quad c = 1, 2, \dots, q \quad (2.17)$$

dove \mathcal{P} rappresenta l’insieme di tutte le partizioni. Da notare che l’insieme ammissibile di soluzioni del problema 2.17 non è vuoto per ogni dato α (poiché $\mathbb{P}_1 = \{\mathbb{N}\}$ con $u_{cc} = 1$) e che in generale la soluzione ottima non è unica (se $q = \bar{q}$ corrisponde al massimo in 2.17, possono esserci più $\mathbb{P}_{\bar{q}}$ che sono α -partizioni).

2.2.1.4 Come ricavare le partizioni

Molti metodi sono stati proposti per ottenere partizioni di una rete che siano significative nei termini dell’analisi di comunità. Tutti sono utilizzabili all’interno del modello proposto. Tuttavia Piccardi (2011) applica un metodo per ricavare delle partizioni che è basato su una metodologia di *cluster analysis* coerente con il modello sopra introdotto.

I nodi sono raggruppati in insiemi utilizzando gli strumenti delle *cluster analysis*, dopo aver definito una misura della *similarità/distanza* tra i nodi. Sfruttando le proprietà delle passeggiate aleatorie (*random walks*) è possibile definire misure di similarità appropriate, derivando analiticamente il comportamento globale di un ampio numero M di *walkers* (una *flotta*) che parte da ciascun nodo i . Infatti si considera un grande numero M di ripetizioni di una passeggiata aleatoria che partono da i . Per ogni ripetizione, la probabilità che un *walker* sia in j dopo t passi è $[P^t]_{ij}$. Così, se M passeggiate aleatorie di lunghezza T sono realizzate partendo da i , il numero atteso di visite a j in ogni istante nell’intervallo $1 \leq t \leq T$ è $M \sum_{t=1}^T [P^t]_{ij}$. Calcolando la media rispetto a M , è proposta una misura di *similarità* simmetrica s_{ij} definita da

$$s_{ij} = s_{ji} = \sum_{t=1}^T ([P^t]_{ij} + [P^t]_{ji}). \quad (2.18)$$

E’ definita infine la *distanza* d_{ij} tra due nodi (i, j) come complementare di s_{ij} , normalizzato per ottenere un risultato tra 0 e 1:

$$d_{ij} = d_{ji} = 1 - \frac{s_{ij} - \min s_{ij}}{\max s_{ij} - \min s_{ij}} \quad (2.19)$$

La normalizzazione permette una migliore comparazione tra diversi casi di studio.

La ragione sottostante la definizione di s_{ij} e d_{ij} sta nell'assegnare ai nodi (i, j) una maggiore similarità se una flotta numerosa di *walkers* che partono da i (j) fa un ampio numero di visite a j (i) entro un orizzonte temporale sufficientemente piccolo T . La nozione risultante di comunità come un insieme di nodi 'vicini' sarà quindi la seguente: una comunità è una sotto-rete dove un *random walker* ha un'alta probabilità di circolare per un periodo di tempo piuttosto lungo prima di lasciarlo per raggiungere un altro gruppo. La scelta dell'orizzonte temporale T è potenzialmente critica: se è troppo grande la probabilità di visitare un dato stato diventa indipendente dallo stato iniziale e tende a π , mentre se T è troppo piccolo l'informazione raccolta è insufficiente.

La *cluster analysis* genera diversi dendrogrammi per ogni orizzonte temporale T , la cui scelta non è quindi banale. Ai due estremi, impostare $T=1$ restringe le coppie di nodi che sono candidate a una similarità non nulla alle sole coppie di nodi vicini, mentre valori di T molto più grandi tendono a rendere ciascun nodo simile agli altri. E' stato stabilito che una scelta efficace di T può essere empiricamente ottenuta massimizzando il *coefficiente di correlazione cofenetico* C , che è definito come la correlazione lineare tra le distanze d_{ij} e le distanze cofenetiche c_{ij} . Queste ultime sono il risultato di una cluster analysis gerarchica: per ogni coppia di nodi i, j , la distanza cofenetica c_{ij} è l'altezza del link che unisce i due nodi nel dendrogramma. Infatti, quando i nodi sono raggruppati insieme andando a costruire il dendrogramma (utilizzando il metodo *average linking*), le loro distanze dagli altri nodi (o gruppi di nodi) sono sostituite dalla loro media. L'effetto è piccolo se i nodi che sono raggruppati insieme sono molto vicini. Quindi ci sia aspettano valori simili di d_{ij} e c_{ij} e quindi più alti valori di C . Questo approccio permette di valutare se le distanze d_{ij} inducono a una efficace clusterizzazione della rete.

Infine, sezionando il dendrogramma dall'alto al basso è possibile identificare una sequenza $\mathbb{P}_2, \mathbb{P}_3, \dots$ di partizioni con un numero crescente di comunità candidate. Per ogni \mathbb{P}_q è calcolata la matrice U in accordo all'equazione 2.14, e sono plottati i suoi elementi diagonali formando il *diagramma delle probabilità di persistenza*. Il metodo è visualizzato in Figura 2.5

Il metodo fin qui presentato supera due grandi limiti dei metodi di analisi di comunità: fornisce una *definizione rigorosa* di comunità e definisce un parametro che ne stabilisce la *significatività*, estendibile inoltre al caso più generale di rete (rete diretta e pesata).

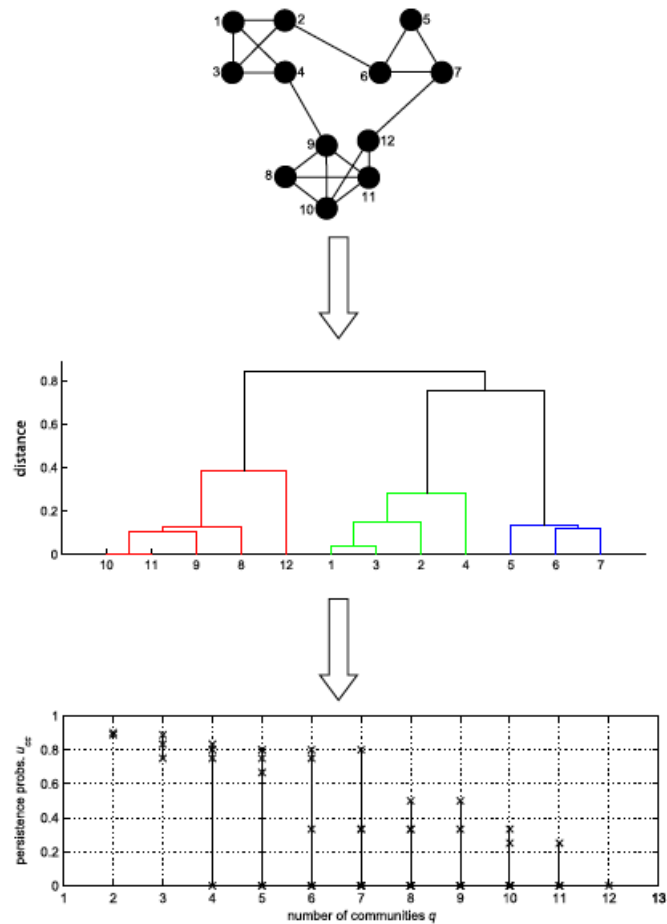


Figura 2.5: **Il metodo LMC: dalla rete al diagramma delle u_{cc} .** Data una rete con $N=12$ nodi e $L=18$ link (in alto), si determinano dal dendrogramma (al centro) costruito sulla base della similarità tra i nodi, le $N=12$ possibili partizioni della rete. Sono dunque calcolate per le q sotto-reti di ciascuna partizione le rispettive probabilità di persistenza u_{cc} , raffigurate (in basso) nel diagramma delle probabilità di persistenza (da Piccardi, 2011).

Uno dei maggiori vantaggi che si possono ottenere applicando questo metodo all'analisi di comunità delle reti è sicuramente il fatto che le probabilità di persistenza hanno la capacità di valutare la qualità delle comunità a prescindere dalla dimensione delle stesse. Infatti la probabilità di persistenza u_{cc} misura la probabilità di rimanere in \mathbb{C}_c posto che il *random walker* si trovi al momento dentro la comunità, senza che la dimensione ne influenzi il risultato. Quella dell'indipendenza della significatività della partizione e delle comunità dalla dimensione dei cluster costituisce una proprietà molto preziosa ai fini dell'analisi di comunità considerata l'importanza della preservazione della multiscalarità delle reti analizzate (che in questo caso possono essere composte da comunità di diverse dimensioni).

2.2.2 Pseudo-comunità

Se da una parte la metodologia sopra descritta permette di *identificare comunità e partizioni significative* nei termini sopra discussi, tenendo conto della complessità delle reti in relazione alle caratteristiche di *multiscalarità*, dall'altro non permette di evidenziare una classe particolare di strutture topologiche che sono emerse dall'osservazione dei cluster in cui sono state scomposte le reti di scambio internazionale analizzate in questo lavoro.

Anticipando già da ora alcuni dei risultati ottenuti dall'analisi delle reti di scambio internazionale settoriali, è emerso come alcuni cluster, pur presentando in alcuni casi una probabilità di persistenza molto bassa, al limite quasi nulla, risultavano particolarmente interessanti da un punto di vista economico, vista la particolare organizzazione dei flussi. Queste sotto-reti presentano infatti una struttura tipo *a stella* o *a stella pura*. Una rete si dice *a stella* se ci sono due gruppi di nodi: i *core* che sono nodi molto connessi, mentre i nodi *periphery* sono scarsamente connessi, generalmente connessi ai nodi *core* e non tra loro. In una *stella pura* il grado dell'unico nodo *core* è $k=N-1$, e il grado degli $N-1$ nodi nella *periphery* è $k=1$. Un esempio di stella pura è riportato in Figura 2.6.

Ad alcune sotto-reti cioè, pur non essendo classificabili come *comunità* - è una comunità una sotto-rete dove un *random walker* ha un'alta probabilità di circolare per un periodo di tempo piuttosto lungo prima di lasciarla per raggiungere un altro gruppo - è possibile tuttavia attribuire una certa rilevanza in quanto gruppi di nodi legati tra loro da un forte rapporto gerarchico.

In queste sotto-reti \mathbb{C}_c si osservano due classi di nodi con le seguenti caratteristiche:

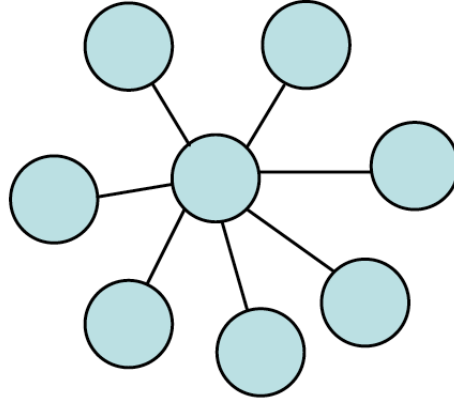


Figura 2.6: Rete a stella pura.

1. per la maggior parte dei nodi $i \in \mathbb{C}_c$ (*periphery*), la frazione di out-strength s_i^{out} diretta internamente a \mathbb{C}_c è molto superiore a quella diretta esternamente.
2. per i restanti nodi di \mathbb{C}_c (*core*) avviene l'opposto: la out-strength s_i^{out} è prioritariamente diretta verso l'esterno di \mathbb{C}_c (in particolare verso nodi *core* appartenenti ad altre sotto-reti).

Un'immagine (Fig. 2.7) può semplificare la comprensione di quelle che saranno qui definite *pseudo-comunità*.

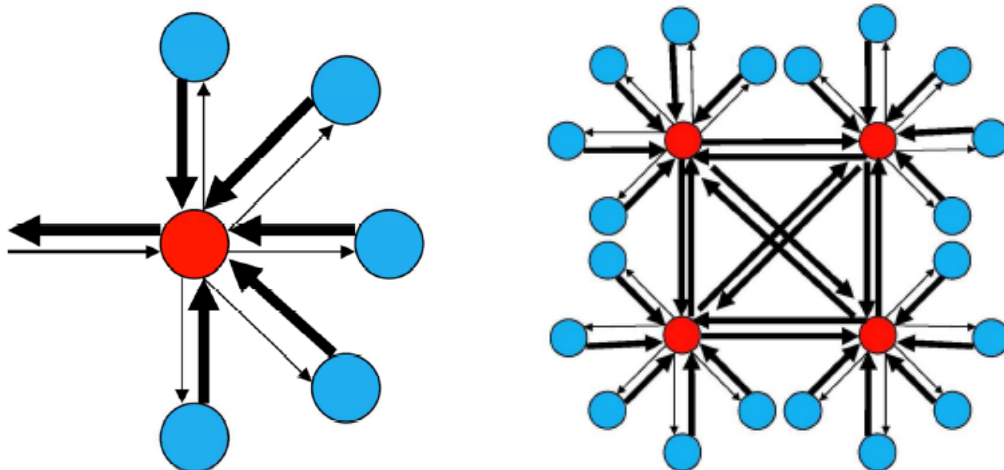
Definiamo quindi pseudo-comunità una sotto-rete \mathbb{C}_c in cui, per la maggior parte dei nodi, la frazione di *out-strength* diretta internamente a \mathbb{C}_c è molto superiore alla frazione diretta esternamente. Per quantificare questo aspetto, è calcolata la media, sui nodi di \mathbb{C}_c , della frazione di *out-strength* diretta internamente, la *strength interna media*:

$$\eta_c = \sum_{i \in \mathbb{C}_c} \frac{1}{N_c} \left(\sum_{j \in \mathbb{C}_c} \frac{w_{ij}}{s_i^{out}} \right) \quad (2.20)$$

dove $N_c = |\mathbb{C}_c|$ è il numero di nodi della sotto-rete \mathbb{C}_c e risulta $0 \leq \eta_c \leq 1$. Per confrontare η_c con la probabilità di persistenza u_{cc} , quest'ultima può essere riscritta nel seguente modo:

$$u_{cc} = \sum_{i \in \mathbb{C}_c} \frac{\pi_i}{\Pi_c} \left(\sum_{j \in \mathbb{C}_c} \frac{w_{ij}}{s_i^{out}} \right) \quad (2.21)$$

dove $\Pi_c = \sum_{i \in \mathbb{C}_c} \pi_i$ è la probabilità di trovare il *random walker* nella sotto-rete \mathbb{C}_c . Se si confrontano le due equazioni 2.20 e 2.21 emerge come l'unica differenza sia



(a) **Esempio di pseudo-comunità:** la *periphery* è connessa strettamente al *core* mentre il *core* non ha link forti con la *periphery* ma ha un link complessivamente molto forte con il resto della rete. Lo spessore delle frecce è indicativo della forza dei link.

(b) I *cores* delle pseudo-comunità sono connessi principalmente ai *cores* delle altre sotto-reti. La forza di tali link non è decisamente superiore a quella che caratterizza i link tra *core* e *periphery* nelle singole pseudo-comunità.

Figura 2.7: Pseudo-comunità

nei pesi utilizzati nel calcolo della media. Nel calcolo di η_c tutti i nodi sono pesati nello stesso modo mentre nel calcolo di u_{cc} la frazione di *out-strength* del nodo i diretta internamente è pesata con la frazione di tempo che il *random walker* spende nel nodo i , che è una misura di centralità del nodo. E' per questo che una pseudo-comunità ha bassa u_{cc} : i nodi in cui è elevata la frazione di *out-strength* diretta internamente sono nodi scarsamente importanti, cioè con basso π_i .

Combinando i due indicatori u_{cc} e η_c si avranno i seguenti possibili risultati in termini di caratterizzazione e valutazione delle sotto-reti:

- **comunità significative:** sia u_{cc} che η_c alta (tipicamente tutti i nodi, centrali o meno, dirigono internamente a \mathbb{C}_c la maggior parte del proprio *out-strength*).
- **pseudo-comunità significative:** per quanto detto sopra, u_{cc} è bassa ma η_c elevata. Sono quindi comunità non significative ma con una struttura topologica interessante.
- **sotto-reti non significative:** se una sotto-rete ha sia u_{cc} che η_c bassa significa che la maggior parte dei nodi dirige verso l'esterno un'importante quota di *out-strength*: \mathbb{C}_c non è pertanto né una comunità significativa né una pseudo-comunità significativa.

A seguito dell'identificazione delle comunità e pseudo-comunità- per queste ultime esiste una criticità che verrà discussa nel prossimo paragrafo- la scelta delle comunità e pseudo-comunità significative si basa sulla fissazione di una soglia per due indicatori di significatività delle sotto-reti, u_{cc} e η_c . Nella Figura 2.8 , è ripor-

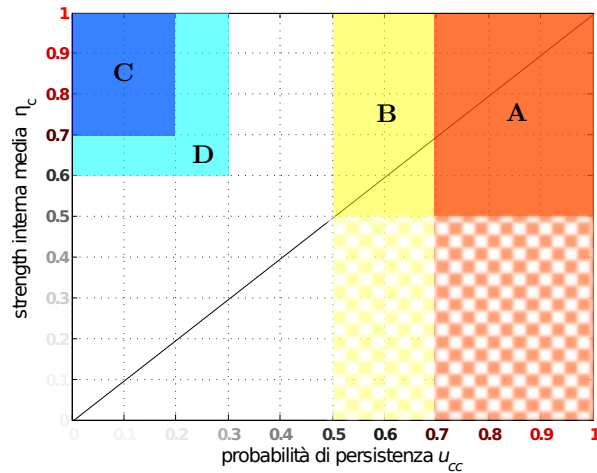


Figura 2.8: **La classificazione delle sotto-reti.** (A) comunità significative forti, (B) comunità significative deboli, (C) pseudo-comunità significative forti, (D) pseudo-comunità significative deboli.

tato uno schema che permette di distinguere le comunità e le pseudo-comunità significative da tutte le altre sotto-reti in cui è partizionata, in base cioè alla combinazione dei valori dei due indicatori ottenuta per ciascuna sotto-rete. Si è scelto di applicare delle soglie che permettessero di selezionare le comunità e le pseudo-comunità valutabili come *fortemente* e *debolmente* significative.

2.2.2.1 Identificazione delle pseudo-comunità

Una ulteriore criticità, come prima accennato, che è conseguenza dell'esistenza di pseudo-comunità nelle reti analizzate, consiste nel non poter semplicemente fissare una soglia di significatività α da cui risolvere il problema 2.17, al fine di trovare la migliore partizione. Infatti, in questo modo si perde in molti casi la possibilità di analizzare partizioni più fini di quelle che invece sono costituite da sole comunità significative (cioè con $u_{cc} \geq \alpha$ per $c=1, 2, \dots, q$). Infatti le reti analizzate in questo studio non presentano strutture modulari ben definite, come avviene invece in altre reti reali, ma piuttosto si caratterizzano per la presenza di poche comunità significative in una rete però caratterizzata da altre strutture rilevanti quali le pseudo-comunità.

La Figura 2.9 mette in evidenza come, a fronte di partizioni sempre più fini la probabilità di persistenza di soli pochi cluster rimanga a livelli significativi mentre

per la maggioranza delle sotto-reti in cui è partizionata la rete, si verifica un vero e proprio crollo delle rispettive u_{cc} .

In alcuni casi saranno singoli nodi, o più spesso sotto-reti più o meno numerose che in \mathbb{P}_{q+1} si dividono dalle comunità cui appartenevano in \mathbb{P}_q , determinando in alcuni casi la rottura della comunità “naturale” in due sotto-reti e il crollo della probabilità di persistenza di entrambe, in altri casi invece una delle due sotto-reti mantiene una probabilità di persistenza significativa mentre quella dell'altra crolla. In quest'ultimo caso si riesce a individuare una sotto-rete significativa più piccola della precedente e tale risultato può essere più interessante che trovare comunità sì significative ma molto numerose e per questo poco interessanti.

Ad esempio, preso il caso della rete del commercio internazionale, una comunità composta da 70 paesi interessa poco all'analista che vuole osservare se esistono gruppi di paesi che commerciano più intensamente rispetto a quanto fanno con il resto del mondo; piuttosto egli sarà interessato a vedere se dentro questo gruppo di 70 paesi, vi sia ad esempio una comunità di 15 paesi che sono tra loro significativamente connessi (u_{cc} alta) anche se tutto il resto dei nodi non è a sua volta raggruppato in comunità altrettanto significative.

In alcuni casi le comunità non significative in \mathbb{P}_{q+1} (con u_{cc} basso) che si dividono da quelle significative in \mathbb{P}_q possono essere anche delle pseudo-comunità. Questo porta a delle considerazioni ulteriori.

All'aumentare del numero di *cluster* in cui è scomposta la rete si può verificare che:

1. le comunità significative diventino sempre meno numerose mantenendo comunque un livello di significatività elevato
2. si separino pseudo-comunità (spesso numerose)
3. si separino sotto-reti non significative (più o meno numerose, al limite composte da un solo nodo)

L'ordine con cui avvengono queste “divisioni” dipende dalla struttura del dendrogramma (vedi paragrafo 2.2.1.4). L'ordine in cui si dividono i nodi dipende dall'ordine in cui coppie di nodi sono stati congiunti e quindi da come sono state ordinate le distanze relative a ciascuna possibile coppia.

Come individuare quindi la partizione in cui è scomposta la rete che corrisponda alla “migliore” suddivisione della rete in comunità e pseudo-comunità?

Sono state tentate diverse strade e sono stati implementati diversi criteri per la selezione della partizione “migliore” cioè la più ricca di informazione, senza

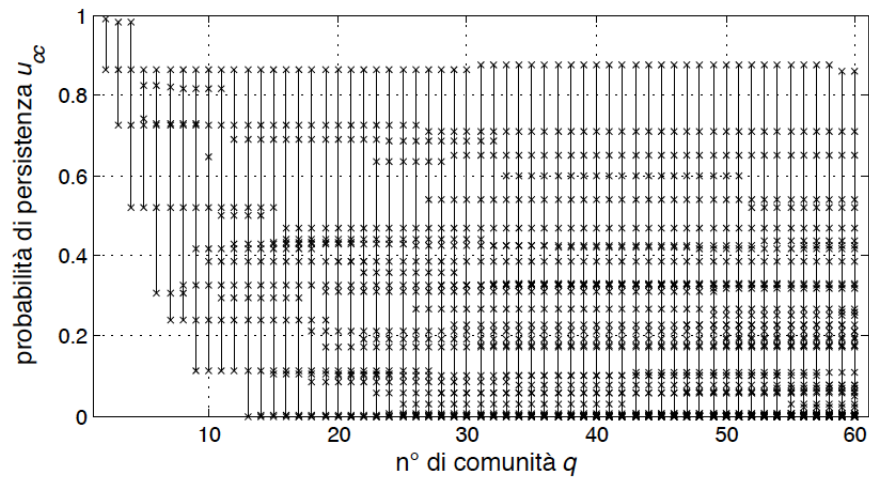


Figura 2.9: Esempio di diagramma delle probabilità di persistenza

arrivare però a una soluzione completamente soddisfacente. Tuttavia, tra tutti i metodi euristici sperimentati sulle reti reali analizzate in questo lavoro, uno è stato individuato come quello più rigoroso e meno soggetto all'arbitrarietà dell'analista.

In generale si osserva come, all'aumentare del numero di sotto-reti, si riduca la significatività delle sotto-reti in termini di probabilità di persistenza. La riduzione della probabilità di persistenza è attribuibile 1) alla riduzione in \mathbb{P}_{q+1} del numero di nodi che compongono le comunità rispetto a \mathbb{P}_q (c'è una correlazione positiva tra dimensione e probabilità di persistenza), 2) alla formazione di comunità non significative, siano esse nella forma di pseudo-comunità o meno. L'altro effetto ovvio della generazione di partizioni sempre più fini consiste nella formazione di comunità di dimensione sempre più piccola: nel passaggio da \mathbb{P}_q a \mathbb{P}_{q+1} una delle sotto-reti \mathbb{P}_q perde uno o più nodi (tra loro connessi in pseudo-comunità o sotto-reti non significative) che va o vanno a costituire la nuova sotto-rete in \mathbb{P}_{q+1} .

Nella scelta della partizione, quindi, devono essere prese in considerazione due elementi cruciali: da una parte la partizione deve contenere il massimo numero possibile di comunità con probabilità di persistenza significativa, cercando di “limare” quanto più possibile le comunità significative di grandi dimensioni ottenute nelle primissime partizioni $\mathbb{P}_2\mathbb{P}_3\mathbb{P}_4\dots$, fino a raggiungere la dimensione minima prima che si rompa la comunità “naturale” (e questo è evidente se la probabilità di persistenza significativa di una di loro crolla improvvisamente). Allo stesso tempo però, se si perseguisse ciecamente questo risultato, si potrebbe arrivare a partizionare una rete in modo eccessivamente fine rispetto al numero di nodi di cui è composta la rete, ottenendo in questo modo molte sotto-reti non signifi-

cative e, soprattutto, costituite da pochi nodi (al limite diadi o triadi), facendo perdere in alcuni casi anche dei nodi alle pseudo-comunità.

Al fine di soddisfare l'esigenza di avere partizioni dove la probabilità di persistenza sia massimizzata, ma con il minimo numero possibile di sotto-reti non significative e poco numerose, sono stati introdotti due indicatori *globali* per ogni partizione q della rete: la media delle probabilità di persistenza delle comunità $\bar{u}_{cc} = \frac{1}{q} \sum_{c=1}^q u_{cc}$ e la media delle probabilità di persistenza pesate per l'inverso di una funzione della dimensione delle sotto-reti. Questa è indicata con $\bar{u}_{cc,p} = \frac{1}{q} \sum_{c=1}^q u_{cc,p}$ dove la probabilità di persistenza pesata della sotto-rete c è $u_{cc,p} = u_{cc}/f(n_c)$ e la funzione della dimensione è² $f(n_c) = n_c(n_c - 1)$.

Nel primo caso si avrà un indicatore decrescente all'aumentare di q , in quanto si riduce la dimensione media delle sotto-reti in cui è scomposta la rete. Nel secondo caso il valore dell'indicatore sarà crescente all'aumentare di q : a partizioni con sotto-reti globalmente molto grandi è associato un indicatore molto basso e viceversa a partizioni con dimensione delle sotto-reti globalmente molto basse si associa un indicatore molto alto. Le partizioni scelte sono quindi quelle in corrispondenza di un "compromesso ottimo" tra probabilità di persistenza globale e dimensione globale.

2.3 Altri strumenti applicati

2.3.1 Individuazione della *backbone* di una rete *multi-scale*

In questa sezione verrà presentato un metodo per ridurre la complessità delle reti che si basa sul concetto dell'estrazione delle connessioni dominanti (*backbone*) di una rete complessa *multi-scale*.

Il problema di estrazione della *backbone* delle reti complesse nasce dal fatto che lo studio di un crescente numero di reti *large-scale* (cioè con numero di nodi e/o di link molto grande) ha evidenziato l'eterogeneità statistica dell'interazione tra i nodi, con distribuzioni di grado e di peso che variano su molti ordini. Questi

²Normalizzare semplicemente per n porta a scegliere partizioni ancora troppo piccole. Inoltre non c'è una relazione lineare tra probabilità di persistenza e la dimensione. Dietro la correlazione tra la probabilità di persistenza e la dimensione delle comunità c'è il fatto che all'aumentare del numero dei nodi aumenta anche il numero dei link preferenziali che lega tali nodi, secondo la legge $n(n-1)$ se tutti i nodi fossero connessi gli uni agli altri in una rete diretta, $n(n-1)/2$ se la rete è non diretta. In generale il *random walker* ha maggiori probabilità di rimanere nella comunità perché sono relativamente di più i link che legano i nodi della comunità.

elementi insieme alla dimensione rilevante della rete in termini di nodi e link che lo connettono, rendono l'estrazione dei link più rilevanti che formano la cosiddetta *backbone* un problema di significativa importanza.

Serrano et al. (2009) propongono un metodo di filtraggio che offre una procedura operativa per l'estrazione dei link rilevanti in reti *multi-scale* (i.e. distribuzione eterogenea del grado dei nodi e del peso dei link), in grado di selezionare i link che rappresentano deviazioni statisticamente significative rispetto a un modello nullo che assegna i pesi ai link. Un importante aspetto di questo metodo è che in grado di preservare le interazioni deboli qualora significative poiché è in grado di operare su tutte le scale definite dalla distribuzione del peso.

La difficoltà principale, che si riscontra nei problemi di estrazione della struttura dominante, risiede nel fatto che si vuole ridurre una rappresentazione dettagliata e definita su una scala molto ampia in un'altra in cui siano preservate le caratteristiche chiave che si vogliono evidenziare. Il trade-off è dunque tra il grado di riduzione cui sottoporre la rete e la quantità di informazioni rilevanti che si vogliono preservare nella nuova rappresentazione. In molti casi, la distribuzione dei pesi dei link $P(w)$ spazia su molti ordini di grandezza. Questa caratteristica implica la mancanza di una scala caratteristica e ogni metodo che si basi ad esempio sul concetto di *soglia* porterebbe a preservare solo quell'informazione che è presente al di sopra o al di sotto della soglia fissata arbitrariamente. In questo modo le reti in cui il peso dei link non è indipendentemente e identicamente distribuito, ma presenta una distribuzione di tipo *power-law*, avrebbero distrutta la natura multi-scala dove i pesi sono localmente correlati al numero di link incidenti sullo stesso nodo e connessi intimamente alla topologia della rete. Quindi, la presenza di fluttuazioni multi-scala richiede tecniche di estrazione che evidenzino le strutture e le gerarchie rilevanti senza favorire ogni tipo di risoluzione della scala e richiede un cambiamento nella prospettiva, da globale a locale, dove la rilevanza di ciascun link è valutata a livello di singolo nodo in termini relativi.

Gli stessi autori avevano già evidenziato, in Serrano et al. (2007), che l'applicazione del metodo di filtraggio qui presentato alla rete di scambi internazionali è in grado di far emergere strutture di interazione sottoponibili a una migliore interpretazione economica. Visto l'obiettivo di questo lavoro - far emergere le strutture fondamentali dei rapporti tra i paesi nel sistema di scambi internazionale - si è reputato opportuno applicare il metodo proposto dal Serrano et al. (2009) al fine di operare una riduzione della complessità della rete per far emergere le strutture dominanti nei rapporti di scambio preferenziale tra i paesi e per

visualizzare le reti nella loro struttura fondamentale al fine anche di una migliore interpretazione economica dei risultati.

Richiamando alcune definizioni presentate nei paragrafi precedenti viene di seguito presentato il metodo di filtraggio proposto da Serrano et al. (2009) applicato nel presente lavoro alle reti di scambio.

Sono definiti i pesi normalizzati dei link che legano il nodo i ai suoi vicini come $p_{ij}^{in} = w_{ji}/s_i^{in}$ se il link corrisponde a un link entrante nel nodo e $p_{ij}^{out} = w_{ij}/s_i^{out}$ se è associato a un link uscente dal nodo, essendo w_{ji}^{in} il peso di un link entrante dal vicino j e w_{ij}^{out} il peso di quello uscente. La questione è a questo punto caratterizzare l'eterogeneità locale. L'obiettivo è preservare i link cui è associato un peso che rappresenti una deviazione statisticamente significativa rispetto al modello statistico nullo che assegna localmente i pesi ai link secondo una certa funzione di disparità, con la condizione che i link entranti e uscenti siano considerati separatamente. Per ciascun nodo i con k^{in} link entranti e k^{out} link uscenti è possibile calcolare le funzioni

$$\Upsilon_i(k^{in}) \equiv k^{in} Y_i(k^{in}) = k^{in} \sum_j (p_{ij}^{in})^2 \quad (2.22)$$

$$\Upsilon_i(k^{out}) \equiv k^{out} Y_i(k^{out}) = k^{out} \sum_j (p_{ij}^{out})^2 \quad (2.23)$$

dove $Y_i(k^{in})$ caratterizza il livello di eterogeneità locale dei pesi entranti mentre $Y_i(k^{out})$ il valore corrispondente ai pesi uscenti. La funzione $Y_i(k)$ è tipicamente utilizzata in molti campi come indicatore standard della concentrazione: nelle scienze economiche (indice di Herfindahl), nella fisica e nella più recente letteratura delle reti complesse è conosciuta come misura di disparità. Sotto l'ipotesi di perfetta omogeneità, quando tutti i link entranti (uscenti) rappresentano la stessa quota della *strength* entrante (uscente) di un nodo, $\Upsilon_i(k^{in})$ ($\Upsilon_i(k^{out})$) è pari a 1, indipendentemente da k^{in} (k^{out}), mentre nel caso di perfetta eterogeneità, quando solo uno dei link entranti (uscenti) ha la totalità della *strength* entrante (uscente) del nodo, questa funzione è pari a k^{in} (k^{out}). Solitamente sulle reti reali è osservato un comportamento intermedio di tipo *power-law*, che indica che i pesi entranti (uscenti) associati a un nodo raggiungono picchi in termini di valore su pochi link mentre la restante parte dei link si divide una piccola frazione della *strength* entrante (uscente). La funzione $\Upsilon_i(k)$ del peso dei link entranti (uscenti) può essere quindi utilizzata come indicatore dell'eterogeneità locale.

Il grado di eterogeneità locale è quindi confrontato con quello di un opportuno modello nullo. L'ipotesi nulla è fatta indipendentemente per l'insieme dei link

-in e -out. Si assume che i pesi normalizzati che corrispondono ai link entranti (uscenti) di un certo nodo con grado k^{in} (k^{out}) siano prodotti da una funzione di densità di probabilità uniforme casuale. Per visualizzare il processo, $k^{in} - 1$ ($k^{out} - 1$) punti sono distribuiti su un intervallo $[0; 1]$ così che risulta diviso in k^{in} (k^{out}) sottointervalli. La loro lunghezza rappresenta il valore atteso per i k^{in} (k^{out}) pesi normalizzati p_{ij}^{in} (p_{ij}^{out}) calcolati secondo l'ipotesi nulla. La densità di probabilità di una di queste variabili è data da

$$p(x)dx = (k - 1)(1 - x)^{k-2}dx \quad (2.24)$$

dove k sta per k^{in} o k^{out} . Questa densità di probabilità, insieme alla distribuzione di probabilità congiunta

$$p(x, y)dxdy = (k - 1)(k - 2)(1 - x - y)^{k-3}\Theta(1 - x - y)dxdy \quad (2.25)$$

dove $\Theta(\cdot)$ definisce la funzione gradino di Heaviside, può esser usata per calcolare le statistiche $\Upsilon_{null}(k^{in})$ e $\Upsilon_{null}(k^{out})$ per il modello nullo. Le medie $\mu(\Upsilon_{null}(k))$ e le deviazioni standard $\sigma^2(\Upsilon_{null}(k))$ risultano pari a

$$\mu(\Upsilon_{null}(k)) = \frac{2k}{k + 1} \quad (2.26)$$

$$\sigma^2(\Upsilon_{null}(k)) = k^2\left(\frac{20 - 4k}{(k + 1)(k + 2)(k + 3)} - \frac{4}{(k + 1)^2}\right) \quad (2.27)$$

Da notare che i due momenti dipendono dal grado in- o out- così che ciascun nodo nella rete con un certo grado k^{in} e k^{out} deve essere confrontato con le corrispondenti funzioni. Data una rete reale o modellizzata, le funzioni $\Upsilon_{ob}(k^{in})$ e $\Upsilon_{ob}(k^{out})$ calcolate per ogni i possono essere confrontate con le stime date dal modello nullo. I valori compatibili con le ipotesi nulle potrebbero essere definiti come quelli che cadono nella regione tra $\mu(\Upsilon_{null}(k)) + a\sigma(\Upsilon_{null}(k))$ e la perfetta omogeneità, così che l'eterogeneità locale sarà riconosciuta solo se i valori osservati cadono fuori quest'intervallo.

$$\Upsilon_{ob}(k) > \mu(\Upsilon_{null}(k)) + a\sigma(\Upsilon_{null}(k)) \quad (2.28)$$

Il parametro a è una costante che determina l'intervallo di confidenza per la valutazione dell'ipotesi nulla. Maggiore è a , meno restrittivo diventa il modello nullo

e meno link con pesi fuori dall'ipotesi di omogeneità dovrebbero essere individuati. Un tipico valore in analogia con le statistiche gaussiane potrebbe essere ad esempio $a=2$. In questo modo è possibile caratterizzare quantitativamente il livello di fluttuazione osservato nella distribuzione dei pesi dei link in entrata e in uscita. In particolare quando le fluttuazioni sono molto ampie, la tecnica di filtraggio qua proposta permette di estrarre la *backbone* dei link rilevanti.

Il filtro procede identificando quali link entranti e uscenti per ciascun nodo devono essere preservati nella rete. Il modello nullo permette di calcolare per ogni link entrante (uscente) di un dato nodo i una corrispondente probabilità α_{ij}^{in} (α_{ij}^{out}) tale che i pesi normalizzati p_{ij}^{in} (p_{ij}^{out}) siano compatibili con le ipotesi nulle. Imponendo un livello di significatività α , per i link entranti (uscenti) con $\alpha_{ij}^{in} < \alpha$ ($\alpha_{ij}^{out} < \alpha$) si rifiuta l'ipotesi nulla e possono essere considerati come eterogeneità significative. Pesi disomogenei statisticamente significativi sono quindi quelli che soddisfano

$$\alpha_{ij}^{in} = 1 - (k^{in} - 1) \int_0^{p_{ij}^{in}} (1 - x)^{k^{out}-2} dx < \alpha \quad (2.29)$$

$$\alpha_{ij}^{out} = 1 - (k^{out} - 1) \int_0^{p_{ij}^{out}} (1 - x)^{k^{out}-2} dx < \alpha \quad (2.30)$$

Partendo da una rete diretta pesata, la rete filtrata è quindi ottenuta preservando tutti quei link entranti e uscenti che superando la soglia per almeno uno dei due nodi connessi dal link e scartando invece i rimanenti link. Nell'analisi proposta in questo lavoro è stato applicato un livello di significatività α pari a 0.01 che, come indicato in Serrano et al. (2007), è stato valutato il miglior trade-off tra livello di riduzione cui sottoporre la rete e la quantità di informazioni rilevanti che si vogliono preservare nella nuova rappresentazione.

Capitolo 3

La *network analysis* applicata al commercio internazionale

Dalla seconda metà del secolo scorso una serie di importanti accordi di natura politica ed economica sono stati raggiunti tra molti paesi del mondo. Gli effetti di questo processo sono culminati nell'attuale fenomeno di globalizzazione, accelerato dai progressi tecnologici dell'ultimo mezzo secolo. Una percezione molto forte che riguarda l'attuale fenomeno della globalizzazione è che le caratteristiche del commercio internazionale siano cambiate nel tempo con un'accelerazione dei cambiamenti rispetto ai decenni precedenti: il commercio cresce più di quanto faccia il *PIL* mondiale; la composizione dei flussi di scambio è anch'essa cambiata, con una maggiore rilevanza nel commercio dei beni utilizzati come input per la produzione, dei beni intermedi e dei servizi, rendendo i paesi sempre più profondamente interconnessi; anche la composizione geografica del commercio è cambiata con il crescere dei paesi emergenti, soprattutto in Asia (WTO, 2008).

In questo scenario il commercio riveste un ruolo cruciale in quanto costituisce uno dei principali canali di interazione tra i paesi. La rilevanza del commercio internazionale va oltre la funzione fondamentale di scambio di beni e servizi essendo il canale diretto di propagazione delle crisi e dello sviluppo economico dei paesi. Quindi sembra naturale analizzare il sistema di scambi mondiali a livello globale, dove ogni paese è importante a prescindere dalla sua grandezza o ricchezza. Considerare come unità d'analisi l'intero sistema di scambi internazionali ad esempio aiuta a spostare l'attenzione della ricerca sulla definizione dei confini effettivi entro cui si realizza la concorrenza tra le imprese che partecipano al commercio internazionale. Aiuta cioè a definire il grado di internazionalizzazione effettivo degli scambi, intendendo affermare con questa espressione l'estensione e l'intensità effettiva dell'integrazione tra i paesi. Nonostante l'estrema complessità

del problema, l'informazione rilevante può essere estratta modellizzando il sistema come una rete, dove i paesi sono rappresentati dai nodi e i flussi di scambio dai link. In questo modo il sistema globale di scambio può essere analizzato sotto il profilo delle proprietà statistiche e topologiche viste nel capitolo precedente.

Come sottolineato da Rauch e Casella(2001), la scelta di quali nodi (paesi) del sistema e la natura dell'interconnessione tra di essi è una questione cruciale se si vuole condurre un'analisi di rete su un sistema sociale quale è quello di scambio tra paesi. Questi due parametri - quali nodi e tipo di legame - sono profondamente legati allo scopo della ricerca che si vuole condurre sul sistema. La scelta e conseguentemente il risultato ottenibile dall'analisi sarà diverso se si osserva una rete di flussi merceologici piuttosto che di relazioni politiche, la totalità dei flussi esistenti o quelli rappresentativi della struttura fondamentale di una rete, oppure se si vuole osservare il comportamento del sistema all'interno di un gruppo specifico di paesi (paesi sviluppati o in via di sviluppo) oppure estendere l'analisi alla totalità della popolazione osservabile qualora la dimensione lo consenta. Inoltre, con riferimento al campo di interesse di questa ricerca, ovvero il commercio internazionale di beni, è importante tener presente che tali scelte siano coerenti con l'aspettativa di ottenere risultati che possano stimolare la discussione in merito alla struttura del commercio internazionale e ai fattori che la determinano.

Sino agli anni '90, molte delle applicazioni dell'analisi di rete al commercio internazionale ha avuto come principale scopo quello di verificare equivalenze strutturali dei paesi nella rete o l'esistenza di asimmetrie nello scambio. La nuova strada della ricerca che è iniziata dal 2000 è legata a doppio filo con il concetto di rete complessa. Questa ondata di lavori studia le proprietà topologiche delle reti di scambio mondiale e sino ad oggi si è dimostrata più interessata a trovare le caratteristiche dell'intero sistema che delle sue possibili partizioni. Chi ha osservato lo scambio tra i paesi facendo proprio un approccio a rete non ha però sempre contribuito alla discussione delle osservazioni che nascono dalla descrizione della struttura dei flussi; è stato fatto cioè un minimo sforzo in termini di interpretazione economica dell'osservato e soprattutto di inquadramento teorico *a priori*. Per quanto riguarda l'ultimo aspetto c'è da notare che l'approccio a rete del commercio tra paesi si discosta di molto dalle teorie tradizionali che cercano di spiegare il commercio tra i paesi partendo da assunzioni sulle ragioni alla base dello scambio tra *due* entità economiche, date talune ipotesi semplificative. Ma un inquadramento teorico della struttura degli scambi dell'*intero sistema*, costituito cioè contemporaneamente da molti paesi, e soprattutto l'elaborazione di un modello che ne voglia auspicabilmente anticipare il risultato reale è difficilmente

realizzabile.

La ragione di tale affermazione è la seguente: ciò che appare di fondamentale rilevanza in un'analisi di rete è il concetto di posizione di un nodo (paese) rispetto al resto del sistema (a tutti gli altri paesi). Nella rete degli scambi la posizione di alcuni paesi in termini di connettività e di *strength* influenza in modo decisivo la struttura degli scambi dell'intero sistema e con essa la posizione degli altri paesi. La posizione entra dunque come una possibile variabile esplicativa della direzione e dell'entità dei flussi di scambio tra i paesi. La complessità derivante dal voler tenere in considerazione tale variabile pertanto rende difficile l'applicabilità in analisi di tipo tradizionale.

La prima sezione di questo capitolo presenta una rassegna dei primi lavori dove lo studio del commercio internazionale è inquadrato in un'analisi di rete e dove emerge chiaramente l'importanza della *posizione* come determinante di fenomeni economici come lo sviluppo delle nazioni. La seconda sarà invece dedicata alla rassegna dei principali contributi all'esplorazione delle *caratteristiche topologiche* delle reti di scambio internazionale con particolare attenzione ai più recenti tentativi di modellizzare la rete degli scambi come *reti dirette e pesate*, cioè in cui ha rilevanza la direzione dello scambio e il valore di quest'ultimo. Sarà poi dato rilievo ai principali lavori in cui si applica l'*analisi di comunità* sulle reti di scambio internazionale di merci secondo diverse prospettive e metodologie e a quelli che applicano le metodologie della *network analysis* a reti di scambio *settoriale*. Infine saranno proposti alcuni commenti di natura economica ai principali risultati ottenuti dalle analisi condotte più recentemente sulla rete degli scambi internazionali.

3.1 Gli alberi e il *blockmodelling* algorithm

L'interesse all'identificazione e alla discussione degli schemi di scambio era già presente in un lavoro della Lega delle Nazioni del 1942, "*The World Trade Network*", e nei due lavori di Hilgerdt (1943) e Woolley (1958). Hilgerdt discute della nascita del sistema multilaterale di scambio tra i paesi e si serve di una rappresentazione del sistema a rete (Fig. 3.1) per poter più facilmente analizzare la struttura di rapporti commerciali in cui la bilancia dei pagamenti dei singoli paesi raggiunge l'equilibrio attraverso rapporti multilaterali di scambio. Woolley invece in linea con quanto fatto da Hilgerdt utilizza uno schema a rete per la rappresentazione dello scambio di merci, servizi, movimenti di capitale e transazioni di oro,

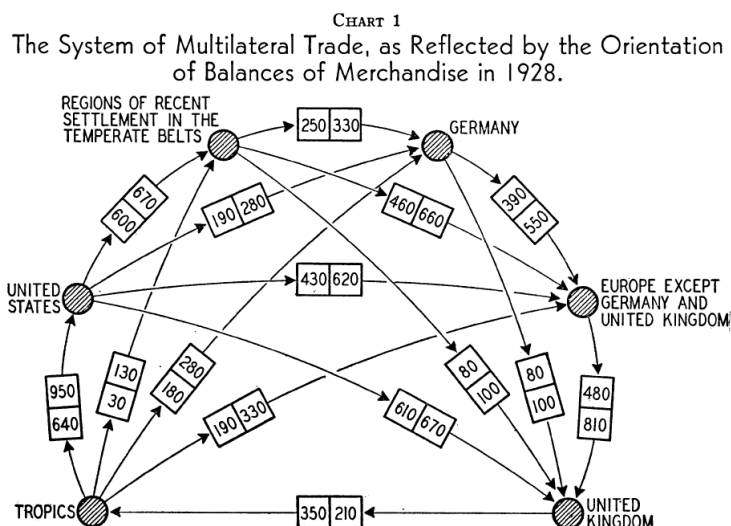


Figura 3.1: La rappresentazione dei rapporti di scambio tra i principali gruppi di paesi nel 1928 (da Hilgerdt (1943))

raggruppando i paesi in cinque aree. Uno dei risultati più interessanti è l'individuazione di quattro gruppi di paesi che si distinguono per partner preferenziale di scambio, Stati Uniti, Europa Continentale, Regno Unito e blocco sovietico. Inoltre Woolley osserva come le relazioni economiche di scambio di merci e servizi tendenzialmente irradiano da e convergono a tre mercati principali (Stati Uniti, Regno Unito, Europa Continentale), come anche la struttura delle transazioni per entrate da investimenti indica che il flusso delle merci e dei servizi è intimamente legato alla disposizione degli investimenti esteri dei principali centri. Se da un lato questi due contributi forniscono utili indicazioni su come interpretare la direzione e l'origine degli scambi, mancano di un approccio analitico rigoroso per condurre un'analisi della struttura del commercio internazionale.

Il primo importante contributo a una concettualizzazione strutturale degli schemi internazionali di interdipendenza economica è stato fornito da Breiger (1981) che con il suo lavoro ha inteso colmare il divario esistente tra le teorie disponibili del commercio internazionale e l'interesse verso lo studio della struttura delle relazioni economiche tra le nazioni. Facendo propria la definizione di struttura sociale proposta da Blau nel 1977 nel lavoro *"Inequality and Heterogeneity: A Primitive Theory of Social Structure"* come uno "spazio non omogeneo di posizioni distinte", Breiger sostiene che le teorie del commercio internazionale siano per molti aspetti *non-strutturali*: dalla teoria ricardiana del vantaggio comparato, le teorie economiche del commercio internazionale possono essere viste come la generalizzazione immediata del caso di due nazioni-due beni; le unità di analisi sono diadiche (coppie di paesi) piuttosto che multiple. Inoltre, spiega l'autore, le

teorie si sono sempre focalizzate nello spiegare le esportazioni e le importazioni aggregate e non è stato mai dato alcun rilievo alla struttura generale con i suoi punti di maggiore concentrazione e divario.

L'enfasi data dallo studio di Breiger al concetto di posizione nasce dalla convinzione di trovare una sovrapposizione tra l'analisi delle strutture di scambio e la teoria *world-system/dependency* elaborata da Wallerstein (1974) che introduce nuovi problemi analitici attraverso cui osservare il commercio internazionale: la struttura dell'economia mondiale e i modi in cui la posizione di particolari stati può cambiare all'interno di tale struttura. Wallerstein afferma che la caratteristica distintiva del sistema economico mondiale risiede nella divisione "singola" del lavoro tale che i vari settori sono dipendenti dallo scambio economico con gli altri, formando una rete che è sostanzialmente interdipendente. Per ragioni analitiche questa rete viene partizionata in tre zone generali o "posizioni", identificate sulla base dello scambio mondiale di beni: i paesi *core* si appropriano del surplus dell'economia mondiale nella sua interezza e in particolare di quei paesi che si trovano nella *periphery* che producono beni intensivi di lavoro, mentre i paesi *semiperiphery* che si trovano tra questi due strati della struttura sono contemporaneamente sfruttatori e sfruttati.

Il lavoro di Breiger (1981) è indirizzato all'esplorazione di diversi metodi analitici per identificare la posizione delle nazioni nel sistema internazionale sulla base dei loro scambi simultanei in più di una tipologia di beni. Il contributo più importante del lavoro di Breiger sta nel fatto di aver utilizzato uno strumento analitico per condurre l'analisi di rete in grado di raggruppare i nodi della rete secondo una misura di similarità che si basa sulla struttura di scambio: quando i paesi hanno strutture locali di scambio simili l'algoritmo li aggrega. Questo metodo prende il nome di *blockmodelling algorithm*. Inoltre l'analisi è condotta non sugli scambi aggregati ma su alcune tipologie di beni in cui è scomposta l'economia mondiale trovando come in alcuni casi vi sia una sovrapposizione strutturale, in direzioni opposte, dei flussi di scambio di beni manufatti e beni primari. Il risultato che ottiene è una struttura gerarchicamente ordinata già identificata sulla rete di scambio internazionale da Snyder e Kick(1979) di tipo *core/semiperiphery/periphery* ma che se corretta introducendo variabili che descrivono la forza economica dei paesi si caratterizza per un presenza contemporanea di più *core* tra loro in competizione.

La struttura *core/semiperiphery/periphery* può essere spiegata servendosi di una rappresentazione metrica della rete di scambio come quella in Figura 3.2 dove i nodi sono ordinati nello stesso modo sulle righe e sulle colonne secondo la posizione nella rete definita da un algoritmo gerarchico divisivo che ordina i paesi

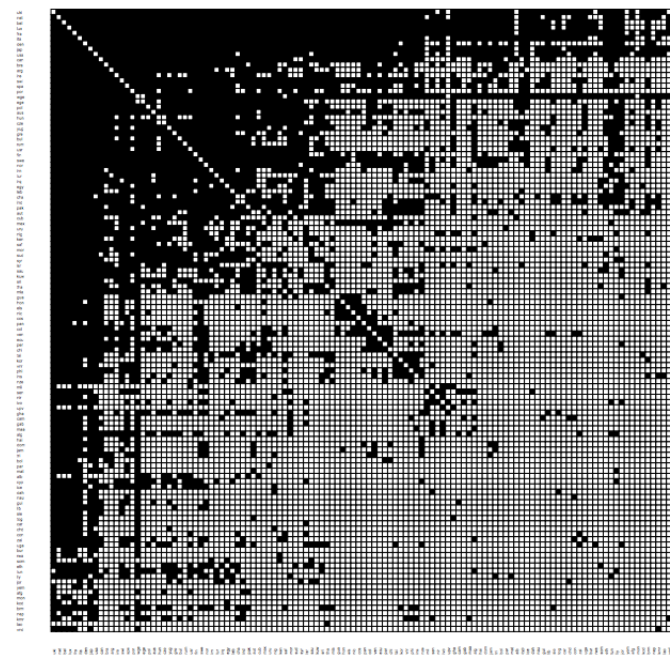


Figura 3.2: Rappresentazione metrica con Pajek di una struttura *core-periphery*.

in base alla somiglianza strutturale: quando i paesi sono simili nella struttura degli scambi l'algoritmo li ordina vicini. Se si legge la matrice da sinistra a destra ogni punto identifica l'esistenza di un rapporto di scambio del paese sulla riga con il paesi sulla colonna. I paesi *core* sono i primi dieci sulle righe e sulle colonne: questi paesi tendenzialmente hanno uno scambio tra loro stessi e con tutto il resto della rete; la *periphery* è costituita da quei paesi che sono dalla metà in giù delle righe e similmente dalla metà a destra delle colonne: si osserva come questi paesi abbiano rapporti di scambio con il *core*, in alcuni casi anche con paesi della *semiperiphery* ma non tra loro; infine la *semiperiphery* è costituita da paesi che commerciano con i paesi *core*, hanno rapporti di scambio tra loro e in pochi casi anche con la *periphery*. Quindi la struttura degli scambi di ciascun paese lo qualifica come *core*, dove si concentrano tutti i flussi di scambio o nelle altre due categorie così come definite sopra. Questa struttura come si vedrà nel seguito è lo specchio di come i paesi del *core*, che sono sempre i paesi più ricchi del mondo, sono quelli che organizzano la struttura del commercio globale, facendo intendere come vi sia una relazione tra le caratteristiche dei paesi e la loro posizione nel contesto dei rapporti economici mondiali e di come la posizione a sua volta possa contribuire a consolidare il vantaggio economico sugli altri paesi.

White et al.(1976) ridefiniscono il concetto di *posizione* e *ruolo* da un punto di vista operativo; applicano infatti il metodo del *blockmodelling* per individuare partizioni (*posizioni*) sulla base di equivalenze strutturali (struttura delle con-

nessioni) tra i nodi e definiscono il concetto di *ruolo* in termini di schema di interazione tra le posizioni. I metodi e i concetti proposti sono una base di discussione dei cambiamenti delle strutture sociali che possono intervenire nelle reti reali: ad esempio si può discutere da essi come cambiamenti della posizione di singoli nodi possano influenzare ed essere influenzati dalla struttura, oppure di come vi sia la possibilità che nonostante gli attori della rete varino la loro capacità di “circolazione” all’interno di essa al variare del periodo considerato o del tipo di interazione, si mantenga un’equivalenza strutturale tra le reti.

Importante anche per le considerazioni in merito alle differenze e alle complementarietà delle reti di scambio settoriali è il lavoro di Nemeth e Smith(1985) che applicano il *blockmodelling algorithm* e scompongono i flussi aggregati di scambio di merci in alcune categorie settoriali, dopo aver condotto un’analisi fattoriale per individuare insiemi di beni simili per struttura di scambio. Individuano cinque categorie di beni: manufatti pesanti e high-tech, manufatti intermedi, beni primari, manufatti leggeri, beni ad uso alimentare e derivati. Già solo questo risultato serve ai due autori per affermare che lo schema di scambio di merci segue l’ipotesi di scambio ineguale tra i paesi suggerita dalle teorie della scuola di Wallerstein, che ribadiscono come siano l’imperialismo e la dipendenza tra i paesi a dar forma all’ordine mondiale. Inoltre l’analisi della strutture di scambio condotta su più settori ha permesso ai due autori di verificare la stabilità della partizione rispetto al bene considerato cui ancora una volta sono associate le categorie *core/semiperiphery/periphery* e l’entità e la natura dei flussi di scambio tra i blocchi individuati, rivelando come i valori netti dello scambio tra i paesi varino al variare del bene oggetto dello scambio. Ad esempio i paesi appartenenti al blocco *core* (Stati Uniti, Canada, Giappone, Germania dell’Ovest, Francia, Italia, Belgio, Paesi Bassi, Regno Unito) intrattengono rapporti di scambio con tutti gli altri blocchi ed esportano manufatti pesanti e high-tech più di quanto importino dai paesi *semiperiphery*, oppure al contrario i manufatti leggeri sono da questi ultimi esportati al *core* più di quanto importino da questo. Il *core* intrattiene con i paesi *periphery* rapporti di scambio ma in valore molto ridotto rispetto allo scambio intra-blocco e con i paesi *semiperiphery*, mentre per quasi tutte le tipologie di beni i paesi *semiperiphery* non hanno legami di scambio con i paesi *periphery*. In generale i beni a più alto valore aggiunto, tecnologicamente più avanzati sono esportati in termini netti più dai paesi *core* al resto del mondo e in misura prevalente all’interno dello stesso *core*, mentre i beni classificabili come intermedi e manufatti leggeri sono esportati al netto di più dai paesi *semiperiphery* e *periphery* al *core*. Gli autori trovano che la posizione che un paese

occupa influenza il suo sviluppo (misurato attraverso il *PIL* pro-capite), poiché la posizione in via generale restringe o promuove le condizioni generalmente associate allo sviluppo nazionale ma che allo stesso tempo la posizione è il risultato di un processo dinamico dove le condizioni iniziali sono determinanti nella costruzione delle posizioni dei paesi. Tali condizioni sono associate alle caratteristiche economiche dei paesi indipendentemente dalla posizione da essi occupata.

Ancora più in profondità vanno Smith e White (1992) che analizzando sempre reti di flussi di scambio settoriali, in linea con quanto fatto da Nemeth e Smith (1985), definiscono altre posizioni/strati intermedi oltre a quelle canoniche *core/semiperiphery/periphery*. Cercano inoltre di ampliare i risultati ottenuti per tre periodi analizzando in dettaglio la composizione degli strati in cui è scomposta gerarchicamente la rete e ricondurli alla più recente forma della “divisione del lavoro” che consiste nella frammentazione dei processi e nell’espansione dei mercati su scala globale. In particolare osservano come gli schemi di scambio che si realizzano per i diversi settori scelti, rappresentativi di differenti livelli di trasformazione produttiva e livello di complessità tecnologica, siano riconducibili al progredire del tempo sempre più al “nuovo” paradigma della divisione globale del lavoro e che questa abbia influenzato il movimento di alcuni paesi dagli strati più periferici a quelli meno periferici e più vicini al *core*. Ne sono un esempio alcuni paesi asiatici, che attraverso il processo di industrializzazione trainato dall’esportazione, conseguenza dei massicci investimenti diretti esteri provenienti dai paesi industrializzati appartenenti allo strato *core*, hanno visto la loro posizione nella rete salire verso gli strati più alti del sistema così come è tratteggiato dagli autori.

Il tentativo di individuare partizioni a partire dalla somiglianza delle strutture di connessione, pur non avendo alcuna familiarità con il tipo di analisi condotta in questa tesi, rappresenta sicuramente un termine importante di confronto poiché di questo è condiviso l’approccio sistemico e non parziale o diadico per la spiegazione dei fenomeni economici e oltre a questo, i risultati ottenuti possono essere significativi per l’interpretazione delle strutture delle reti. Quelle che questi autori individuano non sono comunità così come sono intese economicamente e anche da un punto di vista strutturale ma la loro qualificazione come appartenenti a una certa partizione dipende dalla loro particolare struttura di connessione in relazione a quella degli altri paesi.

Vi sono differenze oltre che metodologiche soprattutto concettuali: l’interesse di questa tesi è infatti sulle comunità così come definite nel Capitolo 2, e cioè su gruppi di paesi, qualora esistano, in cui l’intensità degli scambi supera quella con il

resto della rete. Ma poiché la struttura della rete è determinata dalla posizione dei paesi, potrà essere valutato come le differenze tra i paesi che nascono dai diversi profili di connessione possano influenzare il risultato nella ricerca dell'esistenza di gruppi di paesi più intensamente connessi. Ad esempio, se la maggioranza dei paesi (*periphery*) commercia intensamente solo con il gruppo ristretto dei paesi *core* i quali commerciano più intensamente tra loro che con la *periphery*, allora questa condizione porterebbe a ottenere come comunità significativa nel senso qua discusso una sola grande partizione costituita da un numero elevato di paesi. Sarebbe forse questa una comunità? Che differenza c'è tra questa rispetto all'intera rete? Quindi questo tipo di ricerca mette in luce che è importante tener presente della posizione dei nodi e delle differenze intercorrenti tra i paesi sotto questo profilo per valutare correttamente le ragioni dell'esistenza o meno di comunità.

3.2 Gli sviluppi più recenti

Si può dire che dal 2000 ad oggi lo studio dei sistemi complessi attraverso le reti sia stato protagonista di notevoli progressi, grazie al prezioso contributo di studiosi che in un decennio hanno dato vita a un ampio corpo di modelli e conoscenze sulle caratteristiche di molti sistemi reali. Il lavoro di Barabási e Albert (1999b) sulla proprietà *scale-free* (vedi Capitolo 2, paragrafo 2.2.3) delle reti tecnologiche, sociali ed economiche ha messo in luce come la topologia della rete, ovvero le sue caratteristiche strutturali, sia un aspetto dei sistemi complessi che deve essere esplorato a fondo in quanto la schema di connessione tra gli "attori" di un sistema ha un impatto diretto e molto forte sul comportamento del sistema stesso. Ma, come affermano gli stessi autori, la conseguenza diretta dell'avere a che fare con sistemi che presentano tale proprietà è che la comprensione della struttura è inseparabile dalla comprensione della sua evoluzione. Cioè, la proprietà che si osserva di una disomogeneità delle posizioni dei nodi è il frutto di un continuo cambiamento della rete per l'arrivo di nuovi nodi o legami che si "attaccano" al resto della rete secondo un qualche principio di *preferenzialità*. In altre parole per spiegare la topologia di un sistema si ha per prima cosa bisogno di descrivere come si è arrivati ad essa.

I meccanismi che sono alla base dell'evoluzione sono ovviamente il punto d'arrivo dell'analisi della struttura di un sistema e il punto di partenza per la comprensione della sua dinamica. Se dietro alla struttura esistono dei meccanismi di

preferenzialità nella scelta con quale altro nodo creare una relazione, il compito dell'analista sarà individuarli a partire dall'osservazione della topologia e della sua evoluzione. Ad esempio, quali meccanismi sono all'origine delle disparità sociali o economiche che governano i sistemi competitivi? Nei sistemi competitivi, al contrario di quelli collaborativi (Barabási, 2009; Vega Redondo, 2007), le disomogeneità *scale-free* sono la conseguenza dell'organizzazione autonoma dovuta a decisioni locali fatte dai singoli nodi, basata sull'informazione che è sbilanciata verso i vertici più visibili (più ricchi), indifferentemente dalla natura e dall'origine di questa visibilità. Si assume cioè che esista un meccanismo del tipo "rich get richer".

Nel campo dell'economia internazionale alcuni recenti studi hanno contribuito alla comprensione delle caratteristiche topologiche delle reti di scambio secondo schemi di analisi innovativi col fine spesso di ricollegare l'evidenza ottenuta alla discussione di fenomeni quale la globalizzazione e la regionalizzazione che, nonostante la loro rilevanza, mancavano di uno schema di analisi appropriato per la misura del fenomeno e della sua evoluzione. Molto è stato fatto quindi per la misura della globalizzazione degli scambi che costituiscono quindi il terreno più fertile della produzione nell'ambito dell'analisi di rete del commercio internazionale. Tuttavia chi ha contribuito alla comprensione di tale sistema ha dato maggior rilievo agli aspetti quantitativi non integrando sempre l'analisi con discussioni e interpretazioni economiche.

Un ambito della ricerca poco battuto è quello relativo all'analisi di comunità della rete degli scambi internazionali che come si vedrà è ancora vincolato da forti limiti metodologici. Individuare e valutare la significatività di strutture modulari o comunitarie è di fondamentale importanza se si pensa a come una caratteristica strutturale di questo tipo abbia conseguenze dirette sulla dinamica dei processi che si realizzano sulla rete. Ad esempio la diffusione delle crisi economiche e la velocità di propagazione di queste sono strettamente legate all'architettura della rete degli scambi, che tanto più è compatta (densa) e integrata in tutti i suoi elementi tanto più velocemente il processo avrà luogo. Oppure è interessante analizzare le comunità individuate cercando di stabilire quali determinanti hanno favorito la creazione di queste, ricercando tale risposta anche osservando l'evoluzione e i cambiamenti della struttura della rete. Infine l'esistenza o meno di comunità permette di stabilire i confini effettivi entro cui si realizza la concorrenza delle imprese che partecipano al commercio internazionale. L'individuazione delle eventuali comunità e delle possibili determinanti che portano a tale configurazione degli scambi tra i paesi è ciò su cui si concentra questo lavoro cercando anche di

stabilire una connessione con l'evidenza empirica più recente sul fenomeno della regionalizzazione degli scambi.

L'analisi di rete così come è proposta in questo lavoro prende le mosse dai lavori più recenti in termini di metodologie, strumenti e misure: si vuole cioè analizzare la rete degli scambi utilizzando le nuove tecniche della *network analysis*, tralasciando la strada battuta dal *blockmodelling algorithm* e dal paradigma del *world-system/dependency*; Breiger (1981) chiamava un "matrimonio naturale" l'unione tra la teoria *world-system/dependency* e una strategia generale per l'analisi di reti multiple (settoriali). L'affiliazione tra l'analisi di rete e le prospettive del *world-system/dependency* è teorica e metodologica. Teoricamente, ambedue gli orientamenti invocano la priorità di strutture relazionali sugli attributi individuali: i teorici delle reti credono che le caratteristiche delle unità sociali derivino dai processi strutturali o relazionali e i teorici del *world-system/dependency* affermano che lo sviluppo dei paesi dipende largamente dalle relazioni e le posizioni strutturali delle nazioni impegnate dello scambio internazionale. L'affiliazione tra la teoria *world-system/dependency* e l'analisi di rete può essere estesa alle tesi di globalizzazione/regionalizzazione. Infatti, sia le tesi di globalizzazione/regionalizzazione che la teoria *world-system/dependency* condividono la prospettiva che una corretta comprensione delle complessità della società globale non può più essere conseguita attraverso un focus analitico su una singola società.

In questa sezione sarà dato dunque rilievo ai principali risultati della ricerca nell'ambito dell'applicazione delle più recenti metodologie per lo studio delle caratteristiche del sistema degli scambi al fine di avere un quadro di riferimento per confrontare i risultati ottenuti dal presente lavoro sia sulle caratteristiche globali sia e soprattutto sulla struttura in comunità delle reti settoriali.

3.2.1 Le nuove misure dell'integrazione economica e della regionalizzazione

L'interesse verso la misura dell'integrazione economica è trasversale alla gran parte degli studi che applicano l'analisi di rete. La globalizzazione e con essa la regionalizzazione possono essere definiti infatti come specifiche forme di creazione di collegamento tra i paesi. La globalizzazione è spesso stata descritta come un sistema di interdipendenza tra paesi definito dall'ampiezza e dall'intensità delle relazioni. In termini di scambio economico è definibile come l'aumento generalizzato della partecipazione al commercio mondiale. E' stato ripetutamente affermato che le economie nazionali stanno diventando fortemente più integrate

quanto più aumentano i flussi di scambio di merci, di investimento e di capitale finanziario che passano attraverso i confini nazionali e quanto più gli investitori impiegano fondi in luoghi distanti del mondo. Alcuni fattori come la riduzione delle tariffe doganali a seguito dell'adozione diffusa di politiche di liberalizzazione, l'abbattimento dei costi di trasporto e i progressi delle telecomunicazioni hanno certamente contribuito all'integrazione economica dei paesi (Krugman et al., 1995). Dall'altra parte un recente cambiamento nel sistema di scambi internazionali è stata la proliferazione di accordi commerciali preferenziali (*Preferential Trade Agreements*) tra sottoinsiemi di paesi. In quanto molti accordi sono basati su regioni geografiche, questo cambiamento è stato etichettato come regionalismo o regionalizzazione.

L'approccio dell'analisi di rete è particolarmente utile nell'analizzare la struttura dello scambio internazionale poiché il commercio è uno specifico tipo di interazione sociale che connette paesi differenti attraverso uno scambio economico. Rispetto alle tradizionali metodologie statistiche, la *network analysis* permette di esplorare non solo i fenomeni di primo ordine di un dato paese (p.e. il grado di apertura agli scambi) ma anche fenomeni di secondo e terzo ordine o di ordine ancora superiore.

Il primo interessante sforzo di analisi della rete di scambio internazionale attraverso la discussione di alcune caratteristiche topologiche è stato fatto da Kim e Shin (2002) che hanno proposto un'analisi metodologicamente nuova per discutere dell'aumento dell'integrazione globale e dell'emergere del fenomeno della regionalizzazione. Kim e Shin (2002) applicando un approccio di rete sociale a dati "longitudinali" di commercio internazionale mostrano come lo scambio internazionale tra il 1959 e il 1996 è diventato più globalizzato nel senso che ogni paese studiato ha scambiato con un numero maggiore di paesi nel 1996 rispetto al 1959: la rete dello scambio internazionale è diventata così più densa. Il cuore di questa trasformazione è stato lo sviluppo di alcuni paesi dell'Asia che hanno aumentato notevolmente l'estensione e l'intensità dei rapporti commerciali con il resto del mondo. Hanno inoltre trovato come la struttura del commercio sia nel tempo diventata sempre più decentralizzata, un cambiamento che dà supporto alle teorie neoclassiche più che alle teorie *world-system/dependency*. Infatti la riduzione del divario tra i paesi in termini di numero di legami di scambio potrebbe essere una conseguenza delle politiche di liberalizzazione introdotte dal secondo dopoguerra. Dall'altro lato per i due autori era interessante osservare come e se il fenomeno della regionalizzazione fosse cambiato nel tempo e, visti i progressi delle telecomunicazioni e l'abbattimento dei costi di trasporto, in che

misura la distanza rappresentasse una barriera agli scambi. Hanno quindi trovato che la densità intra-regionale è maggiore della densità inter-regionale e che i legami intra-regionali sono più forti di quelli inter-regionali. Inoltre, sia la densità intra-regionale che inter-regionale è aumentata tra il 1956 e il 1996, indicando che la globalizzazione e la regionalizzazione non sono processi contraddittori e che altri fattori oltre ai costi di trasporto entrano in gioco nella scelta dei partner di scambio.

Kali e Reyes(2007) hanno condotto un'analisi esplorativa delle reti di scambio servendosi di molte misure per stabilire la struttura dei rapporti commerciali dei paesi. Importanti considerazioni nascono dall'osservazione che le caratteristiche topologiche della rete (distribuzione di grado, di *strength*, indicatori di centralità e centralizzazione) sono sensibili rispetto a forme di filtraggio a soglia dei link come anche mostrato da Serrano et al. (2007). Infatti i risultati che si ottengono dal considerare o meno tutti i legami esistenti a prescindere dalla loro significatività economica porta a conclusioni diverse. Se è vero che la rete è diventata più densa e omogenea nell'arco di tempo analizzato quando si considerano tutti i legami, questo non è altrettanto vero se si utilizza una soglia di significatività per filtrare i legami: la struttura è più stabile nel tempo e gerarchicamente ordinata, dove è possibile individuare paesi più centrali di altri. Considerando i soli link sopra una certa soglia di significatività trovano evidenza di una struttura *core/periphery* dove i paesi centrali sono i destinatari della gran parte delle esportazioni degli altri paesi della rete. Gli autori trovano inoltre che i paesi commerciano prevalentemente con i paesi più vicini geograficamente.

Un importante contributo in questa direzione d'analisi arriva da De Benedictis e Tajoli (2011) che nell'analizzare l'evoluzione della rete diretta e non pesata di scambio internazionale non si soffermano alla sola discussione degli aspetti quantitativi relativi alle proprietà statistiche e topologiche ma cercano di indirizzare l'analisi verso un'interpretazione economica e di inquadrare in un'ottica di analisi di rete tre questioni cruciali: se, date le misure adottate dai membri che hanno aderito al GATT/WTO, è possibile rintracciare nella struttura della sotto-rete costituita dai membri dell'accordo un carattere di multilateralità, se il commercio è regionalizzato e infine se l'aumento del commercio mondiale è attribuibile e in che misura all'aumento del margine intensivo, di quello estensivo o di entrambi. Gli autori osservano come tra i membri del WTO esista una struttura di scambi più densa e meno centralizzata rispetto alla rete complessiva indicando un maggiore carattere di parità delle posizioni tra i membri. Trovano inoltre che dal punto di vista della densità le sotto-reti costituite da paesi vicini geograficamente

e in alcuni casi anche appartenenti ad accordi commerciali sono più dense rispetto alla rete complessiva ma dal punto di vista del valore scambiato queste rimangono poco significative. Infine i due autori indagano sul ruolo rivestito dal margine intensivo ed estensivo nell'aumento del commercio internazionali registrato nei decenni dal dopoguerra in poi e trovano come il margine intensivo sia quello che ha rivestito il ruolo più significativo nell'aumento del commercio complessivo. Fagiolo et al. (2010) analizzando la rete non diretta pesata trovano invece che il numero di relazioni commerciali è cresciuto nel tempo ma l'intensità media è rimasta stabile. Più in generale, tutte le proprietà della rete mostrano una stazionarietà significativa nel tempo. Questa stabilità implica che l'integrazione economica attraverso il commercio non è aumentata in modo rilevante nell'arco di tempo considerato o perlomeno il cambiamento non ha avuto un impatto sulla struttura della rete.

In merito all'analisi della proprietà topologiche della rete del commercio internazionale la letteratura fornisce molti contributi interessanti a partire da quello di Serrano e Boguná (2003) che analizzano la struttura della rete non pesata di scambi internazionali osservando come questa presenti tutte le caratteristiche di una rete complessa: distribuzione di grado *scale-free*, proprietà *small-world*, elevato coefficiente di *clustering* e correlazione di grado (vedi Capitolo 2, paragrafo 2.2.2 e 2.2.3). Le osservazioni più interessanti nascono dal confronto delle caratteristiche della rete di scambio internazionale con la rete Internet. Le due reti hanno in comune una forte gerarchizzazione (indicata dall'alto coefficiente di *clustering* e dalla disassortatività delle connessioni), una distribuzione *scale-free* del grado (almeno per una parte dei nodi della rete) che nelle reti tecnologiche ad esempio è funzionale alla capacità di trasmettere informazione e infine, il fatto che entrambe le reti siano in qualche misura sistemi competitivi che operano in un mercato quasi libero e in entrambi i casi esistono limitazioni geografiche che aumentano i costi di connessione tali da costituire vincoli al processo di ottimizzazione di ciascun nodo. La loro ricerca suggerisce che l'evoluzione della rete è guidata da fenomeni collettivi e che l'organizzazione autonoma (non collaborativa) gioca un ruolo cruciale nel creare le disomogeneità della rete e la sua struttura gerarchica. A livello di paese, l'attività è guidata dalla competizione, così come avviene per Internet dove i criteri di ottimizzazione sono applicati a decisioni locali fatte dai singoli nodi. Esistono quindi secondo i due autori dei meccanismi sottostanti comuni a tutti i sistemi competitivi caratterizzati da associazioni disassortative.

Infine per quanto riguarda sempre le caratteristiche topologiche delle reti, Fagiolo et al. (2008) e Fagiolo et al. (2010) dimostrano l'importanza del tenere in conside-

razione il valore degli scambi tra paesi nel costruire le reti andando ad analizzare alcune caratteristiche topologiche: grado e *strength* media, grado e *strength* media dei vicini in funzione del grado o della *strength* dei nodi, coefficiente di *clustering* locale in funzione del *grado* e della *strength* dei nodi (vedi paragrafo 2.2.2 per le definizioni). Osservano come i risultati sono diversi se si analizza una rete non pesata piuttosto che pesata, il peso cioè il valore e quindi l'intensità della relazione spiegano in modo differente la struttura della rete. Fagiolo et al. (2010) in particolare evidenziano come la rete pesata non diretta presenta un'elevata densità ma una *strength* media piuttosto bassa: infatti la maggior parte dei paesi intrattiene molte relazioni poco significative; esiste però un ristretto gruppo di paesi che presenta un elevato grado ed elevata *strength* contemporaneamente. Questo implica che esiste una struttura *core-periphery* della rete pesata degli scambi, stabile nel tempo. Questa evidenza è confermata dalla disassortatività della rete: i paesi che intrattengono rapporti commerciali più numerosi e intensi commerciano soprattutto con paesi poco connessi e con bassa *strength*.

Li et al. (2003) hanno studiato il fenomeno della sincronizzazione dei cicli economici nella rete degli scambi internazionali collegandolo alle caratteristiche di complessità della rete commentate nei precedenti lavori. Gli autori partono dall'osservazione che la complessità topologica della rete domina la sua dinamica e la stabilità di pochi grandi nodi determina la sincronizzabilità e la stabilità di reti *scale-free* dinamiche. Il contributo maggiore è stato l'aver stabilito una connessione tra le caratteristiche *scale-free* della rete e la sincronizzazione dei cicli economici tra alcune economie scelte. I paesi che sono più connessi, ma che soprattutto hanno un impatto maggiore in termini di valore complessivo scambiato sono quelli che trasmettono ai paesi più piccoli le dinamiche economiche interne. Gli autori trovano però anche l'evidenza che la sincronizzazione dei cicli economici non si verifica tra alcuni dei paesi più centrali ad esempio tra Stati Uniti e Germania, oppure tra Stati Uniti e Giappone.

Un ulteriore aspetto interessante da tenere in considerazione è che le reti del commercio internazionale presentano il fenomeno del "rich club". Bhattacharya et al. (2008) studiando in modo rigoroso il legame tra *strength* dei paesi e il peso dei link dimostrano come tra loro esista un legame: una frazione rilevante del valore complessivo scambiato è controllato da un ricco e ristretto gruppo costituito da paesi con *strength* più elevata- un "rich club"- che negli anni si sta riducendo in dimensione implicando un aumento della concentrazione del commercio complessivo che viene scambiato tra pochi grandi paesi in termini di *strength*.

Su un fronte d'indagine ancora diverso Fagiolo (2010) indaga su quali siano le determinanti in grado di spiegare le proprietà statistiche della rete di scambi pesata servendosi di un modello gravitazionale e ottenendo risultati in linea con la ricerca empirica dove si utilizza il modello gravitazionale per la stima dei flussi bilaterali di scambio. L'autore studia inoltre una rete pesata dove i pesi rappresentano i residui della struttura principale della rete, ottenuta dalla rete pesata originale da cui sono sottratti i valori stimati attraverso modello di regressione inclusivo delle sole variabili statisticamente significative. Le proprietà statistiche danno conto della complessità della rete di scambio residua mostrando però come al contempo molte delle caratteristiche della rete originale non siano preservate, come ad esempio la correlazione tra *strength* dei nodi e tra *PIL* e *strength*, coefficiente di *clustering* e centralità dei nodi. La rete in questo caso mette in evidenza paesi piccoli (in termini di *PIL* ad esempio) ma orientati allo scambio che indipendentemente dalla posizione geografica giocano il ruolo di *hubs* locali o attraggono grandi e ricchi paesi in uno schema di interconnessione relativamente complesso.

Sulla stessa linea del lavoro precedente ci sono i due lavori di Garlaschelli and Loffredo (2004, 2005) che studiano le caratteristiche topologiche di reti non dirette e non pesate trovando che il modello *fitness dependent* sia quello che meglio sa predire le caratteristiche topologiche della rete di scambio. Tale modello assume che la probabilità che due nodi siano connessi sia funzione di una qualche variabile nascosta (*fitness variable*) associata ad entrambi i nodi, che nel caso delle reti di scambio è il *PIL*, che, in linea con le predizioni del modello gravitazionale, fa sì che sia maggiore la probabilità di avere un legame di scambio tra due paesi che presentano entrambi un elevato *PIL*. Questo risultato implica dunque che oltre alla struttura osservabile vi siano delle cause non evidenti che contribuiscono alla formazione della struttura osservata.

3.2.2 L'analisi di comunità

L'ultima frontiera nello studio delle caratteristiche della struttura degli scambi internazionali è costituita dall'applicazione di algoritmi che permettono di stabilire se la rete presenta caratteristiche di modularità ovvero si caratterizza per la presenza di sotto-reti, denominate comunità, più intensamente connesse al loro interno rispetto all'intensità di connessione delle stesse con il resto della rete. Nel Capitolo 2 è data un'ampia rassegna delle principali metodologie applicabili alle reti complesse a questo fine ed è stato osservato come sia difficile definire in modo

univoco il concetto di comunità, soprattutto da un punto di vista metodologico. I lavori in cui si indaga su questo aspetto della struttura della rete di scambi sono ancora molto pochi, come già sottolineato, e ognuno di essi fa propria una metodologia quasi a sé e segue obiettivi di ricerca differenti. La confrontabilità dei risultati è dunque molto limitata ma in generale i risultati che si ottengono in nessun caso portano a definire la rete di scambi internazionali come modularizzata. Deve essere però tenuto presente che i metodi applicati hanno un potenza analitica limitata come evidenziato da Piccardi e Tajoli(2012).

Il primo contributo è stato fornito da Tzekina et al. (2008) che servendosi dell'analisi di rete come strumento descrittivo per rivelare le strutture e gli schemi nel commercio internazionale, applicano una metodologia "a isole" (*islands*) implementata dal programma Pajek¹ che individua componenti connesse nelle quali i pesi degli archi all'interno delle comunità sono significativamente più elevati di quelli fuori dalla comunità. I flussi di scambio su cui è applicata tale metodologia è costituita dai legami diretti pesati normalizzati con il valore complessivo esportato dei paesi da dove ha origine il flusso di scambio. Si tratta cioè di legami il cui peso è proporzionale al grado di preferenzialità dello scambio. Applicano inoltre un filtraggio a soglia (5%) sui questi link in modo da individuare solo quelle comunità legate da link significativi. L'analisi è fatta su 7 reti per gli anni dal 1950 al 2005, costituite tutte da 186 paesi. Gli autori trovano che nell'arco di tempo analizzato aumenta il numero di paesi che partecipano allo scambio con legami preferenziali significativi (sopra la soglia) e che la struttura a isole evolve secondo una configurazione sempre più multi-centrica e meno centralizzata: ci sono sempre più paesi dove convergono i flussi di scambio preferenziali dagli altri paesi e le comunità individuate attorno ad essi sono sempre meno numerose: permane cioè una struttura gerarchizzata ma sempre meno concentrata su pochi paesi. Ad esempio nel 1950 le uniche due comunità individuate sono quelle al cui centro vi sono Stati Uniti e Regno Unito connessi a molti paesi vicini geograficamente o con rapporti coloniali. Nel 2005 invece le isole individuate sono circa 25. In generale la vicinanza geografica gioca a favore degli scambi tra i paesi nelle comunità individuate. Questa analisi però non porta a dire che la rete si caratterizzi per una struttura modulare. Non sono cioè forniti indicatori in grado di caratterizzare le comunità né da un punto di vista probabilistico e strutturale né da un punto di vista economico.

Un altro interessante lavoro che va nella direzione dell'analisi di comunità è quello proposto da Reyes et al. (2009). Gli autori sono interessati a stabilire in che

¹<http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>

misura vi sia una corrispondenza tra le comunità individuate dall'applicazione di un algoritmo che si basa sulla massimizzazione della funzione di modularità (vedi Capitolo 2, Sezione 2.2), sui dati reali di scambio tra paesi (dal 1970 al 2000) e le comunità definite secondo: una divisione geografica e regionale, l'appartenenza ad accordi commerciali regionali oppure individuate applicando lo stesso algoritmo su valori stimati attraverso modelli gravitazionali che tengono conto della distanza, la grandezza delle economie dei paesi coinvolti nello scambio, lingua comune, confini comuni, caratteristiche storiche e l'appartenenza ad accordi commerciali. I loro risultati mostrano come la formazione di accordi commerciali regionali ha effetti ciclici nel determinare le caratteristiche strutturali della rete. Esistono cioè periodi in cui i flussi bilaterali di scambio e la struttura modulare della rete sono consistenti con quanto predetto dalla formazione di accordi commerciali. Ci sono periodi al contrario in cui ciò non avviene. Sembrerebbe cioè che gli accordi commerciali regionali abbiano un'influenza sulla formazione della struttura della rete nei periodi immediatamente successivi alla formazione dell'accordo. In secondo luogo gli autori osservano come gli effetti della formazione di accordi commerciali possano essere soffocati dalla riduzione dei costi di trasporto e dalle politiche di liberalizzazione dei flussi di capitale.

He e Deem (2010) sviluppano un modello per misurare il grado di modularità della rete degli scambi aggregati per osservarne la variazione nel tempo e porla in relazione ad alcuni *shock* economici verificatisi tra il 1962 e il 2007. I due autori sostengono, sulla base delle teorie fisiche di evoluzione, che i sistemi dinamici, ovvero che evolvono nel tempo, sotto certe condizioni si organizzano in strutture modulari. La modularità è misurata attraverso un coefficiente di correlazione tra la matrice delle distanze tra ogni coppia (i,j) di paesi, calcolate come differenze del flusso di scambio tra (i,j) rispetto al flusso di scambio massimo tra il nodo i e i suoi partner di scambio - la distanza tra i e j sarà tanto maggiore quanto il partner j commercia di meno rispetto al partner preferenziale del nodo i - e la matrice cofenetica risultante dall'applicazione di un metodo di *clustering* gerarchico sulle matrice delle distanze. Valori più alti della correlazione si verificano in corrispondenza di una maggiore modularità (gerarchizzazione) della struttura. Gli autori osservano come a fronte della maggiore integrazione tra i paesi il valore assoluto di tale coefficiente diminuisca ma in corrispondenza di alcune recessioni economiche il valore di tale coefficiente torna a valori relativamente più alti delle fasi di crescita/stabilità precedenti alla crisi. Quindi la struttura modulare secondo gli autori caratterizza sempre di meno la struttura della rete degli scambi ma si può registrare come questa sia influenzata dalla fase economica in atto: se c'è

crescita c'è maggiore integrazione e minore modularità e viceversa la modularità aumenta se il sistema entra in crisi, evento che determina un cambiamento nelle logiche di allocazione delle risorse.

Partendo dall'osservazione che i lavori dove viene utilizzata l'analisi di comunità sulla rete degli scambi internazionali manchino di una valutazione della significatività e robustezza delle partizioni individuate, Piccardi e Tajoli (2012) analizzano l'evoluzione della struttura della rete di scambio diretta pesata dal 1980 al 2008 in termini di comunità attraverso l'applicazione di diverse metodologie per individuare le comunità e verificare la robustezza dei risultati. In particolare sono implementati due metodi per l'individuazione delle comunità: ottimizzazione della modularità e misure di similarità tra i nodi attraverso passeggiate aleatorie (*random walks*) mentre è introdotta la funzione di stabilità per valutare la robustezza delle partizioni. La funzione di stabilità è definita a partire dal concetto che in una rete fortemente modularizzata, un *random walker* che parte da una comunità è probabile che rimanga nella comunità per un tempo piuttosto lungo prima di lasciare la comunità ed entrare in un'altra. Immaginando che il *random walker* emetta un certo segnale ad ogni passo fino a che rimane nella comunità e lo cambi quando entra in un'altra comunità: allora misurare la persistenza del segnale offre un'indicazione della stabilità della struttura di comunità della rete. Gli autori trovano evidenza dell'assenza di comunità significative nella rete diretta e pesata degli scambi aggregati cioè trovano che la rete non presenta caratteristiche di modularità ma al più è scomponibile in grandi sotto-reti. Applicando l'ottimizzazione della modularità trovano che sia nel 1980 che nel 2008 la rete è scomponibile in tre sotto-reti molto grandi e per questo poco interessanti dal punto di vista economico, se l'obiettivo è quello di individuare un insieme di gruppi ristretti che commerciano più intensamente rispetto al resto della rete. Misurando la similarità dei nodi attraverso passeggiate aleatorie e dal confronto con reti *benchmark* fortemente modularizzate emerge come la rete degli scambi internazionali in nessun caso ha una struttura modulare significativa e infine, se si applica la funzione di stabilità alle partizioni individuate attraverso l'ottimizzazione della modularità per le due reti di scambio del 1980 e 2008 e le reti *benchmark*, i due autori trovano evidenza che a differenza delle reti *benchmark*, le funzioni stabilità delle reti reali di scambio decadono molto rapidamente al progredire del tempo (passi del *random walker*) indicando la scarsa significatività della partizione individuata.

3.2.3 L'importanza di un'analisi settoriale

I lavori sopra elencati sono stati sviluppati sulla rete di scambi aggregati. Barrigozzi et al (2010) affermano che focalizzandosi solo sugli scambi aggregati fa perdere di vista che nella realtà gli scambi avvengono su specifiche linee di prodotto e che un paese può importare prodotti che poi impiega come input per la propria produzione o che vanno direttamente al consumo finale. Identificare quindi gruppi di paesi da una prospettiva settoriale può essere rilevante per comprendere meglio quali siano i paesi nel mondo che tendono a commerciare la stessa categoria di beni nel tempo e cercare di far emergere le interdipendenze tra i paesi come flussi input-output e fornitura-domanda. Gli autori analizzano in dettaglio la struttura modulare di 14 settori, tra i più importanti nel commercio di beni, confrontando i risultati ottenuti dall'applicazione di un algoritmo di massimizzazione della modularità sui dati reali di scambio di reti relative a 12 anni (dal 1993 al 2003) con alcune reti *benchmark*: scambi aggregati, divisione regionale e geografica (funzione inversa della distanza tra le città più popolate di ciascun paese) e frequenza assoluta di accordi commerciali- *free*, multilaterali e/o bilaterali. Utilizzano per prima cosa alcuni indicatori standard per confrontare la reti dei singoli settori rispetto alla rete aggregata, osservandone anche l'evoluzione nel tempo: densità, dimensione della SCC (*Strongly Connected Component*). Vi è evidenza per affermare che la rete degli scambi aggregati nasconde molta variabilità nelle strutture di scambio relative ai singoli settori. Se osservate anche dal punto di vista della divisione in comunità si nota come le reti settoriali siano più frammentate di quella aggregata ma che non è possibile tracciare per loro un chiara tendenza temporale di evoluzione e che la concentrazione dei paesi nei singoli gruppi (variazione del numero di paesi per ogni comunità individuata) nel tempo è diminuita a livello aggregato e in larga misura anche settorialmente ma in quest'ultimo caso la dinamica e il livello stesso di concentrazione è sempre diverso da quello osservato a livello aggregato. Infine gli autori trovano evidenza che è la divisione in gruppi geografici ad essere più correlata con la struttura modulare individuata dalla rete reale e non tanto i gruppi che risulterebbero dall'esistenza di accordi commerciali.

Gli stessi autori in un altro lavoro Barrigozzi et al (2010) mostrano come le reti settoriali siano estremamente eterogenee quando si prende in considerazione la distribuzione del peso dei link e che la (quasi) log-normalità della distribuzione dei pesi della rete aggregata è generata come una pura aggregazione di distribuzioni statisticamente diverse. Le reti settoriali mostrano una connettività media e livelli

di *clustering* e centralità differenti dal caso aggregato. Gli autori studiano inoltre gli schemi di connessione delle reti settoriali e trovano che la connettività completa ottenuta a livello aggregato è principalmente dovuta alla presenza contemporanea di molti legami deboli che tengono insieme le reti settoriali mentre i legami forti di scambio sono in corrispondenza di paesi che scambiano contemporaneamente più di un tipo di bene.

Anche De Benedictis e Tajoli (2009) usano gli strumenti dell'analisi di rete per esaminare alcune caratteristiche della struttura dei flussi di scambio in settori diversi. Attraverso gli indici che descrivono le proprietà della rete come la densità, la distribuzione di grado e la centralità mostrano con le reti di scambio presentano differenze di rilievo. In particolare i risultati confermano le loro ipotesi iniziali che beni omogenei e meno complessi danno luogo a reti meno dense. I risultati mostrano inoltre che generalmente beni più complessi sono associati a reti più complesse. La relazione sembra essere positiva ma non lineare. Perciò per i beni complessi e differenziati le forze che spingono i paesi a creare più legami di scambio tendono a prevalere anche se per i beni differenziati la rete di scambio è ben lontana dall'essere completa in quanto i costi giocano sempre un ruolo rilevante. E' possibile notare che lo scambio di beni complessi non è ristretto a un numero limitato di paesi ma al crescere della complessità aumenta il numero di paesi coinvolti nello scambio. Questo risultato è in linea con l'idea che una più elevata complessità e una più elevata specializzazione va insieme a una più fine divisione del lavoro che coinvolge un numero crescente di paesi. Infine gli autori osservano come vi sia una forte correlazione tra complessità dei beni e centralizzazione del grado in- che fornisce indicazione dell'importanza del ruolo per i beni differenziati rivestito da alcuni ben connessi mercati di esportazione.

3.2.4 Commenti

Data l'ampiezza e la varietà dei risultati e la mancanza in molti casi di uno sforzo interpretativo per le implicazioni economiche, questo paragrafo cerca di aggiungere alla rassegna precedente alcuni commenti in una prospettiva più propriamente economica.

La disomogeneità è un elemento trasversale a molte caratteristiche delle reti: dal peso dei link, alla *strength*, al grado dei paesi e in molti casi anche per caratteristiche di ordine superiore (coefficiente di *clustering* e grado medio dei vicini). E' stato già osservato come queste caratteristiche insieme ad altre siano legate al concetto di gerarchizzazione e che in questo la rete abbia delle somiglianze forti con

le reti tecnologiche. Entrambe le reti sono in qualche misura sistemi competitivi che operano in un mercato quasi libero e in entrambi i casi esistono limitazioni geografiche che aumentano i costi di connessione tali da costituire vincoli al processo di ottimizzazione di ciascun nodo.

La disomogeneità è guidata certamente dalle condizioni e dalle caratteristiche di ciascun paese: maggiore è la possibilità di produrre beni a un minor costo maggiore sarà la capacità di aprirsi al mercato internazionale in condizioni di vantaggio rispetto agli altri paesi e maggiore la capacità e la convenienza di questi paesi nel raggiungere paesi sempre più distanti. Il vantaggio dovuto alla maggiore produttività delle imprese appartenenti al paese meglio dotato delle tecnologie più efficienti e dei fattori di produzione farà in modo che si creino differenze tra questi e i paesi meno efficienti. Ovviamente ci si chiede perché tale vantaggio è concentrato su pochi paesi: la risposta non può che derivare da un'analisi dell'evoluzione dello sviluppo dei paesi, poiché è dallo sviluppo dei paesi che deriva la capacità di questi di aprirsi al mercato internazionale con livelli di efficienza tali da superare le barriere allo scambio. Ovviamente ci sono casi in cui è anche la dotazione di risorse primarie a permettere a un paese di commerciare con il resto del sistema a prescindere dal suo grado di sviluppo, ma questo aspetto riguarda quei beni intensivi di risorse mentre per beni manufatti, per la cui produzione è necessario sviluppare la tecnologia, organizzare le attività e sviluppare conoscenze, lo sviluppo del paese e quindi la disponibilità di capitali e di risorse qualificate diventa indispensabile nell'aprirsi al mercato internazionale.

Oppure il livello di sviluppo può influire sulle politiche economiche di un paese in quanto un paese sviluppato sarà più propenso ad abbassare le proprie tariffe rispetto a un paese non sviluppato che dal commercio e dalla tassazione delle merci importate trae un'entrata per lo stato, poiché il primo può sostituire questa voce d'entrata con altre forme di tassazione interna. Quindi il livello di sviluppo potrebbe far sì che i costi dello scambio siano relativamente più bassi per i paesi più sviluppati e perciò creare le condizioni per cui questi siano il mercato di destinazione preferito per gli esportatori.

La disomogeneità della rete può essere anche ricondotta ad altre motivazioni. Innanzitutto, ci si deve chiedere quali siano gli effetti dovuti all'esistenza di multinazionali sulla struttura dei flussi delle merci, quale legame c'è quindi tra gli investimenti diretti esteri e i flussi di merci. E cioè, visti i connotati organizzativi delle imprese che localizzano in tutto il mondo ricercando vantaggi soprattutto di costo per l'esecuzione di alcune attività o di parti intere della produzione di beni, è facile intuire come queste siano il vettore degli scambi dai tanti paesi, spesso a

basso reddito pro-capite, in cui hanno delocalizzato ai paesi dove ci sono i mercati ad alto reddito pro-capite e/o più grandi in dimensione o dove hanno centralizzato altre attività intensive di fattori che i paesi a basso reddito pro-capite non hanno in abbondanza e perciò a condizioni di mercato non vantaggiose.

Quindi considerazioni in merito sia all'organizzazione della produzione e alle caratteristiche dei paesi e il loro sviluppo di cui è nota la disomogeneità a livello mondiale possono essere portate come giustificazioni possibili delle forti differenze intercorrenti nella posizione e nella forza dei paesi nel sistema degli scambi internazionali.

E fin qui si è parlato di come la posizione dei paesi sia disomogenea in conseguenza delle caratteristiche di questi. Può essere vero anche il contrario? Nel corso dell'esposizione dei paragrafi precedenti si è affermato che la posizione dovrebbe entrare nella spiegazione delle determinanti dello scambio tra i paesi. Si è già accennato al fenomeno "rich get richer" intendendo dire con questa frase che dato un certo divario iniziale la posizione contribuisce a renderlo sempre più ampio nell'evolvere del sistema. Se da una parte sono le caratteristiche del paese a determinarne la posizione in un dato momento storico chi può sostenere che non è proprio questa posizione a determinare l'evoluzione futura delle caratteristiche stesse del paese e quindi anche della sua posizione. Questo è quello che evidenziano alcuni autori che sostengono come la posizione promuove o restringe le condizioni dello sviluppo. Se ad esempio un paese può far conto su una fitta schiera di paesi cui destinare i propri prodotti e da cui ricevere prodotti realizzati in condizioni più convenienti, questo paese avrà sempre l'opportunità di sfruttare questa posizione per ottenere produzioni più efficienti (economie di scala interne, beni intermedi a minor costo) e dalla maggiore efficienza ad esempio potrà scaturire una maggiore capacità di investimento in ricerca e sviluppo per nuovi prodotti, sempre più avanzati e da questi generare nuove opportunità industriali, secondo una logica di sviluppo progressivo.

La struttura delle reti di scambio in termini di centralizzazione, *clustering*, modularità possono avere un impatto diretto sulla competizione tra i paesi e sulla formazione del prezzo internazionale di un dato bene, definendo la dimensione del mercato in termini di domanda e offerta così come nel processo di diffusione delle conoscenze e infine sullo sviluppo di un paese. In particolare temi particolarmente rilevanti che possono essere discussi e analizzati sotto la prospettiva offerta dell'analisi di rete sono la diffusione delle conoscenze e delle crisi economiche finanziarie. L'integrazione della rete, o in complemento a questa, la sua divisione in compartimenti ha un impatto diretto sia capacità del sistema di dif-

fusionione a lungo raggio delle conoscenze e delle tecnologie dai paesi che generano innovazione, tramite spill-over, e in secondo luogo sulla capacità del sistema di proteggersi dall'eventualità di crisi economiche. Il mondo sembra andare nella direzione di una maggiore integrazione: c'è sicuramente un fenomeno di aumento della densità della rete anche se i nuovi legami di scambio sono economicamente ancora poco rilevati e allo stesso tempo non si nota una chiara distinzione del sistema in gruppi tali da rendere il sistema parzialmente immune dall'eventualità di crisi economico-finanziarie.

Tuttavia non appare chiaro dagli studi che hanno condotto analisi di comunità sulla rete aggregata o disaggregata quanto sia significativa la modularità delle reti, dati i limiti metodologici degli strumenti applicati (p.e. massimizzazione della funzione di modularità). Osservato come la struttura degli scambi vari in funzione del tipo di bene che si considera, sembra pertanto interessante considerare di nuovo la questione relativa alla regionalizzazione o compartimentazione degli scambi alla luce di nuove metodologie come la LMC (*lumped Markov Chains*) in grado di rivelare e valutare la significatività di una struttura modulare. La regionalizzazione degli scambi, qualora esista per determinate categorie di beni, ha delle conseguenze immediate sulla definizione dei confini di mercato delle imprese che sono aperte alla concorrenza internazionale e quindi sul prezzo internazionale con cui ci si confronta: in presenza di una struttura modulare ben definita il prezzo internazionale teoricamente non è lo stesso per ciascuna comunità ma ciascuna di queste, in funzione delle caratteristiche della comunità stessa - esistenza o meno di asimmetrie tra i paesi conseguenti alle loro caratteristiche, numerosità dei paesi membri, specifiche barriere allo scambio - si confronterà con il relativo prezzo internazionale, rendendo le condizioni dello scambio tra i paesi diverse per ciascuna comunità.

Capitolo 4

Teorie ed evidenza empirica per un'interpretazione delle comunità

Dopo aver cercato di interpretare e discutere economicamente i principali risultati derivanti dall'analisi della rete degli scambi internazionali diventa essenziale per questo lavoro sistematizzare il corpo di teorie economiche utili alla comprensione e concettualizzazione dei risultati empirici di questo lavoro. Ricordando che questa tesi conduce un'analisi sulla rete degli scambi internazionali per rivelare se esiste una struttura in comunità completa o parziale andando a considerare i flussi di scambio di singole categorie settoriali, ci si aspetta che il sistema non sia organizzato secondo un modello ideale come se i paesi scegliessero casualmente i propri partner di scambio e indipendentemente dal bene scambiato ma che vi sia una preferenzialità nella scelta e che vi siano quindi delle determinanti che spingono i paesi a scegliere i propri *partner* entro un sottoinsieme del sistema.

Nella ricerca e nello studio delle teorie del commercio internazionale si è cercato di rispondere alle seguenti domande: 1) quali sono le variabili *endogene* ed *esogene* del sistema che determinano la scelta dei partner di scambio? 2) come influiscono le caratteristiche del bene considerato nel determinare la struttura dello scambio?

Un espediente ritenuto utile ai fini dell'individuazione delle determinanti che spieghino la struttura del sistema di scambi è quello di pensare al commercio come a un sistema di relazioni di scambio che permette di riprodurre l'equilibrio generale di un mondo integrato in un unico "grande" paese dove non esistono le distanze: nell'equilibrio il sistema raggiunge il massimo dell'efficienza nell'allocazione delle risorse che dovrebbe risultare nell'equalizzazione della remunerazione dei fattori, in prezzi unici internazionali per ciascuna merce e quindi in parità di potere di acquisto (PPP - *Purchasing Power Parity*) tra i paesi. La direzione e l'intensità degli scambi per ristabilire tale equilibrio saranno una funzione delle caratteri-

stiche dei paesi (dotazione dei fattori, efficienza tecnologica, produttività delle imprese, dimensione, ricchezza) in interazione con le caratteristiche dei beni che sono scambiati.

Ma nella realtà tale equilibrio non è raggiunto: l'evidenza empirica (Frankel, 1997) ci informa che il mondo, nonostante la maggiore integrazione, osservata anche attraverso la ricerca condotta con l'analisi di rete, è tutto tranne che "equalizzato": il prezzo di uno stesso bene non è mai uguale tra due paesi e i fattori non sono retribuiti in modo equo tra i paesi (Frankel, 1997; Eaton e Kortum, 2002). Quali forze dunque contrastano il raggiungimento di tale equilibrio? Sembra scontato affermarlo ma anche le "distanze" contano nel dar forma al commercio internazionale. In un mondo dunque dove contano le distanze come saranno organizzati gli scambi tra i paesi? Quanto e come la vicinanza (complemento a tutti i tipi di distanza) influenza il sistema degli scambi internazionali e il grado di preferenzialità dei legami di scambio?

Per quanto riguarda l'individuazione delle comunità non sono state generate partizioni a priori sulla base delle caratteristiche dei paesi o di criteri geografici ma quello che si vuole osservare è se endogenamente il sistema si caratterizzi per l'esistenza di comunità, ovvero gruppi di paesi che commerciano più intensamente al loro interno rispetto agli scambi intrattenuti con il resto del sistema. Questa ipotesi nasce in primo luogo dalle considerazioni sugli effetti dei costi di scambio che limitano le possibilità dei paesi nella scelta dei partner con cui intrattenere rapporti commerciali e successivamente per stabilire in che misura il commercio internazionale si caratterizzi per una regionalizzazione degli scambi piuttosto che per la loro globalizzazione dove per regionalizzazione si intende non solo la possibilità che i paesi scambino più con i paesi vicini geograficamente ma che si costituiscano in gruppi di scambio, sulla base di un qualche criterio non definito a priori, che si caratterizzano per una maggiore densità e intensità delle relazioni di scambio rispetto a quanto i membri del gruppo fanno con il resto del sistema.

In questa sezione ci si limiterà a presentare alcuni strumenti utili alla comprensione dello schema di scambio tra i paesi a partire da alcuni modelli teorici senza però mai entrare nel dettaglio di questi. Interessa infatti ai fini dell'analisi empirica che verrà sviluppata successivamente possedere sin da ora alcune chiavi interpretative della struttura dell'intero sistema che, come si può ben immaginare, sarà il risultato della contemporanea presenza di fenomeni economici riconducibili a più di una possibile spiegazione teorica. Non sarà pertanto valutata la significatività delle variabili individuate nello spiegare il comportamento del sistema in quanto lo scopo di questo lavoro consiste in un'analisi esplorativa dell'architettura di

scambio dell'intero sistema tramite l'utilizzo di strumenti non convenzionali nel campo dell'economia internazionale.

4.1 La parabola di Paul Samuelson: un mondo senza “distanze”

Si pensi a un mondo dove tutti i paesi siano unificati in un unico grande paese dove non esista la geografia e dove non esista nessun attrito al movimento di cose, persone e informazioni: se questo mondo è pure fondato sulla divisione del lavoro allora tra le entità economiche (organizzate e non) esisteranno degli scambi di merci e servizi e questi si realizzeranno liberamente. In un mondo come questo, la libertà di circolazione dei fattori produttivi porterà al raggiungimento di un equilibrio generale e di tutti gli elementi che lo determinano: il prezzo dei beni, dei fattori e la piena occupazione di questi tra i settori di produzione, date certe tecnologie (Krugman, 1995).

Se si immagina a questo punto l'arrivo dell'angelo di Samuelson a dividere il mondo - Samuelson per primo introdusse una parabola simile al racconto della Genesi della Torre di Babele per spiegare l'equalizzazione del prezzo dei fattori - distribuendo i fattori di produzione (lavoro e capitale) in modo disomogeneo tra tutti i paesi del mondo, ci si deve anche chiedere come nel mondo diviso possa essere nuovamente raggiunto l'equilibrio generale e di tutti i suoi elementi. Samuelson servendosi della teoria di Heckscher-Ohlin, afferma che il commercio di beni assolve questo compito, ricreando le condizioni per il raggiungimento dell'equilibrio generale. La ragione di questo risiede nel fatto che i paesi aprendosi al commercio di beni e continuando a servirsi delle stesse tecnologie del mondo pre-angelo, si specializzano nella produzione di quei beni che sono intensivi del fattore relativamente più abbondante nel paese esportando al resto del mondo beni che incorporano il servizio dei fattori relativamente più abbondanti. In questo modo si ottiene un triplice effetto, che non sarebbe possibile in caso di chiusura al commercio: la piena occupazione dei fattori, l'equalizzazione del prezzo dei fattori e la formazione di un solo prezzo per ciascun bene tra i paesi. Il mondo in questa che rappresenta l'essenza della teoria del vantaggio comparato non è diviso da distanze geografiche, sociali, istituzionali o politiche: i paesi non hanno coordinate in uno spazio Euclideo e le popolazioni dei paesi sono tutte uguali sotto ogni punto di vista. Tuttavia questa teoria offre un importante strumento per la comprensione e l'interpretazione della posizione di vantaggio di alcuni

paesi rispetto al resto del mondo nella produzione e quindi nello scambio in talune categorie di beni, basato appunto sulle caratteristiche dei paesi in termini di dotazioni relative e assolute (dimensione dei paesi) dei fattori di produzione che sono in interazione con le caratteristiche dei beni scambiati.

La stessa parabola si può utilizzare per spiegare gli effetti della divisione di un mondo dove esiste un settore, poniamo X, caratterizzato da concorrenza monopolistica, dove cioè ci sono molte imprese ognuna delle quali è un piccolo monopolista che produce una varietà del settore differente con una tecnologia che presenta economie di scala; per queste imprese il profitto è nullo a causa del libero ingresso nel settore che porta le imprese a una posizione tale per cui il ricavo è pari alla remunerazione dei fattori. Nel modello del commercio internazionale che si basa su queste assunzioni (Helpman e Krugman, 1985) non è importante specificare come il bene differenziato sia prodotto, cioè se per rispondere all'amore per la varietà dei consumatori (a là Dixit-Stiglitz) o perché ciascun individuo consuma una varietà preferita (a là Lancaster), ma è importante assumere che le varietà siano simmetriche. Ora, se il mondo viene diviso dall'angelo in nazioni, cosa di deve fare per riprodurre l'economia integrata? Come prima, la produzione pre-angelo di ciascun settore deve essere allocata tra i paesi in modo tale da assicurare la piena occupazione dei fattori utilizzando la tecnologia pre-angelo. Ma che significa allocare la produzione di un settore che consiste in molti beni differenziati? Potrebbe significare allocare una certa quota della produzione di ciascuna varietà a ciascun paese. Questo comunque non assicurerebbe la riproduzione dell'economia integrata poiché la produzione di ciascuna varietà avrebbe luogo ad una scala più piccola e per questo meno efficiente. Per riprodurre l'economia iniziale si deve allocare la produzione di ciascuna varietà di X ad un solo paese. E' indeterminato quali varietà saranno prodotte in ciascun paese ma ciò non riveste alcuna importanza se si è assunta la simmetria delle varietà (i paesi sono simili nella dimensione e nelle preferenze dei consumatori).

Lo schema generale di scambio può essere sinteticamente rappresentato come in figura 4.1 dove la lunghezza delle frecce rappresenta il valore del commercio. H (Home) rappresenta l'esportatore netto di X e l'importatore di Y: questo è lo schema del commercio inter-settoriale e può essere visto come la componente dello scambio dovuta al vantaggio comparato. Oltre a questa c'è una componente addizionale dello scambio poiché H e F (Foreign) producono varietà differenti di X: questo scambio bilaterale all'interno del settore X costituisce la componente del commercio internazionale dovuta alle economie di scala. La ragione essenziale del commercio intra-industriale secondo la teoria di Helpman e Krugman (1985)

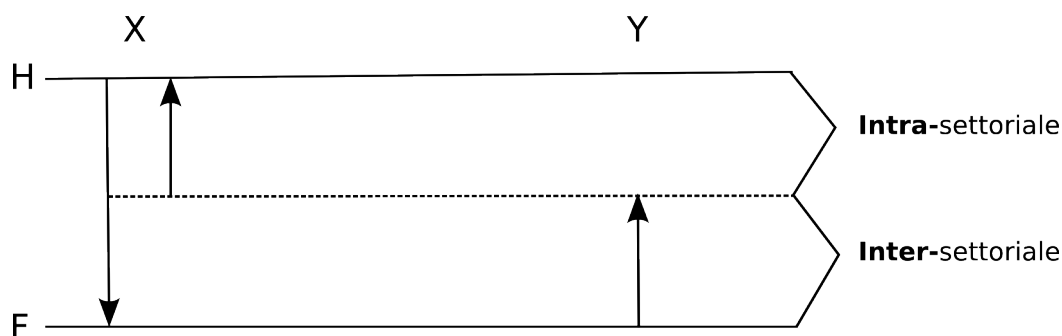


Figura 4.1: Commercio intra-settoriale e inter-settoriale

è l'esistenza di economie di scala: i rendimenti di scala crescenti disincentivano ciascun paese a produrre l'intera gamma delle varietà del settore X, specializzandosi nella produzione di poche varietà destinate non solo al mercato interno ma anche a quello estero, assumendo però che i mercati di destinazione delle esportazioni abbiano caratteristiche simili (preferenze e dimensione) del mercato nazionale. Secondo Davis (1995) invece non sarebbero le economie di scala a determinare lo scambio di varietà in uno stesso settore ma progressi tecnici Hicks-neutrali che rendono i paesi più efficienti nella produzione di alcune varietà. A prescindere dalla differenza delle motivazioni portate a giustificare lo scambio intra-settoriale quello che conta è che a partire dalla fine degli anni '70 è stato profuso un notevole sforzo nel far entrare nei modelli l'evidenza empirica della crescente rilevanza del commercio intra-settoriale (Krugman, 1995) che la teoria del vantaggio comparato non permetteva di spiegare. Tuttavia anche nei modelli relativi al commercio intra-settoriale non è rintracciabile alcun riconoscimento al ruolo dei costi di scambio e della distanza fisica nel dar forma al commercio tra i paesi.

Questi modelli per quanto semplificati in questa sede di discussione sicuramente aiutano l'analista e il lettore a comprendere l'importanza rivestita dalle caratteristiche dei paesi (dotazione dei fattori, efficienza tecnologica, caratteristiche dei mercati) per la definizione dell'architettura dei flussi: dall'interazione di queste con le caratteristiche dei beni - intensità nell'utilizzo dei fattori, differenziabilità e rilevanza delle economie di scala - deriveranno presumibilmente schemi sistemici di scambio differenti (Belassa e Bawens, 1987). Ad esempio ci si aspetta che per beni intensivi di risorse i flussi siano strettamente determinati nell'origine e nella direzione dalla distribuzione fisica delle risorse tra i paesi: i paesi che sono dotati di abbondanti risorse destinate ad altri settori come input primari per la produzione di beni basati su quella risorsa saranno esportatori e i mercati di esportazione saranno quei paesi dove ad esempio è organizzata l'industria per

la trasformazione di tale risorsa. Oppure beni manufatti complessi, differenziati, per la cui produzione si fa uso intensivo di lavoro e si va incontro a rendimenti crescenti, l'origine, la direzione e l'intensità dei flussi dipende dalle caratteristiche dei paesi in termini di mercato del lavoro, efficienza tecnologica, dimensione del mercato interno e similarità delle caratteristiche del mercato interno ed estero che potrebbero i paesi alla specializzazione nella produzione di alcune varietà in cambio di altre. E' quindi rintracciabile già nelle variabili individuate precedentemente parte delle ragioni sottostanti la scelta dei partner di scambio, quindi la direzione e/o la bilateralità dei flussi.

4.2 Quanto contano le "distanze"?

La trattazione delle distanze e dei costi di scambio ad esse associate tra due paesi rappresenta l'ultima frontiera per la teoria del commercio internazionale. E' stato prima attraverso un modello empirico, il *gravity model* o modello gravitazionale, che si è stabilita una connessione tra il volume degli scambi tra due paesi e la loro distanza, molto spesso intesa in un senso più esteso da quello strettamente geografico. Il modello gravitazionale è stato a lungo considerato il brutto anatroccolo dell'economia internazionale perché oscuro e mancante di fondamenti teorici rispettabili. Tuttavia questo modello con il tempo ha goduto sempre più di maggiore considerazione in virtù di tre motivi: 1) il suo successo empirico nel predire flussi bilaterali di scambio, 2) il maggiore supporto teorico derivante per la maggior parte dal modello di Helpman e Krugman (1985), 3) l'interesse tra gli economisti sul tema della relazione tra geografia e scambio in cui si cerca di trattare i paesi o le regioni come fisicamente collocate in un particolare luogo piuttosto che costrutti senza "corpo" (Frankel, 1997).

In breve, il modello gravitazionale, in analogia con la legge gravitazionale universale per i corpi dotati di massa fisica, nella sua forma più semplice, stabilisce che il flusso bilaterale di scambio tra il paese i e il paese j è proporzionale al prodotto tra PIL_i e PIL_j e inversamente proporzionale alla loro distanza geografica. Solitamente sono aggiunte altre variabili esplicative della dimensione dei paesi, come la popolazione o il PIL pro-capite o l'area della terra e oltre a queste anche alcune variabili dummy che rappresentano una misura della prossimità geografica o culturale: confini comuni, lingua comune e l'appartenenza a accordi commerciali preferenziali (regionali e non), passati rapporti coloniali. Sostanzialmente il modello vuole testare se il volume degli scambi è proporzionale alla dimensione

dei paesi, che più sono simili dal punto di vista della grandezza economica (*PIL*) e più è probabile che commercino intensamente tra loro (come predetto da Helpman e Krugman) e che più sono distanti a parità di altre condizioni meno invece scambieranno reciprocamente. Inoltre aggiungendo come variabile indipendente il *PIL* pro-capite quello che si vuole testare è se a parità di altre condizioni più i paesi sono ricchi più commerciano tra loro. Frankel (1997) trova, in accordo ad altri studi empirici, che all'aumentare del prodotto dei *PIL* dei due paesi il commercio bilaterale aumenta meno che proporzionalmente implicando con questo che maggiore è la grandezza economica minore sarà l'apertura allo scambio. La ragione per tale affermazione sta nel fatto che se un paese ha un mercato interno molto grande non ha tanto bisogno del commercio per sostenersi economicamente come invece l'avrebbe un paese più piccolo. Trova altresì che più i paesi sono mutuamente ricchi maggiore è il flusso di scambio tra i due, facendo intendere in questo caso che la similarità dei mercati espressa come somiglianza del reddito medio favorisce lo scambio, in linea anche con l'ipotesi di Linder. Questo modello pone però di fronte ad un'altra importante questione, verificata essere statisticamente significativa oltre che da Frankel (1997) in molti altri studi precedenti e successivi, e cioè che la distanza conta nella definizione dei profili di scambio di ciascun paese.

In generale la distanza tra un paese e il resto del sistema è entrata a pieno titolo nella modellizzazione puramente teorica con i lavori di Eaton e Kortum (2002) e Melitz (2003). Questi modelli sono stati poi estesi ad esempio alla trattazione del commercio *intrafirm* e cioè al commercio mediato dalle multinazionali che organizzano le proprie attività produttive e di supporto in più di un paese (p.e. Egger et al., 2007). Eaton e Kortum (2002) hanno fondato il loro modello su due assunzioni: la geografia, intesa come esistenza di barriere allo scambio, geografiche o politiche, determina il volume di scambi ed è tra le cause delle differenze di prezzo tra i paesi; le tecnologie di cui sono dotati i paesi variano al variare dei paesi e tra i diversi settori determinando così differenze in termini di remunerazione dei fattori e di potere d'acquisto. La scelta dei paesi da servire e del paese da cui importare sono soggette a criteri di selezione sulla base del prezzo (costo) complessivo: in condizioni di equilibrio generale esistono soluzioni (coppie di paesi) uniche dove l'esportatore è colui che potrà servire un mercato estero al minor prezzo complessivo rispetto a tutti gli altri paesi esportatori. L'importanza del considerare la distanza tra i paesi, che riduce lo spazio dello scambio, e contemporaneamente affermare che i paesi si distinguono per efficienza tecnologica mette in luce i limiti delle trattazioni più tradizionali nello spiegare i fenomeni

reali che invece sono fortemente condizionati da questi due aspetti.

L'importanza del considerare i costi di scambio (costi di trasporto, tariffe, barriere informative e costi di ricerca) è stato trattato anche da Melitz (2003). In un contesto modellistico completamente diverso rispetto a Eaton a Kortum - Melitz lavora su un modello con concorrenza monopolistica tra imprese con produttività eterogenea, Eaton e Kortum trattano invece il problema in un contesto di concorrenza perfetta dove i paesi si distinguono per differenze tecnologiche a là Ricardo- Melitz trova che gli stessi costi di scambio riducono lo spazio dove le scelte delle imprese più produttive sono profittevoli andando allo stesso tempo a influenzare sia il margine estensivo (numero di varietà) dello scambio che quello intensivo; cioè i possibili mercati e il volume degli scambi saranno il risultato dell'incontro del livello di produttività delle imprese esposte allo scambio e dei costi che devono essere sostenuti per lo scambio all'aumentare dei quali si riducono da una parte il numero di imprese esportatrici e il volume di esportazione di quelle più produttive e contemporaneamente il numero di fornitori esteri e il volume di esportazione di questi ultimi.

Un ambito d'indagine anch'esso piuttosto nuovo per i teorici dell'economia internazionale è il così detto *new economic geography* che ha avuto corso a partire da un articolo di Krugman del 1991 in cui l'autore modella gli effetti dei costi di scambio sull'organizzazione industriale. Quello che è interessante rilevare di questo studio è l'enunciazione di un nuovo principio che è estendibile al caso dell'economia internazionale: in presenza di costi di trasporto e di economie di scala nella produzione dei beni le economie esterne pecuniarie (ampio mercato del lavoro anche qualificato direttamente disponibile, ampio mercato sia per i beni intermedi che per i prodotti finiti, ecc...) derivanti dall'agglomerazione dell'industria in un unico luogo rappresentano il fattore che induce le imprese del settore, in tutte le fasi della filiera, a non disperdersi. Il fenomeno della concentrazione delle imprese in un settore non è esteso a tutti i beni ma vale soprattutto per quei beni che non sono intensivi nell'utilizzo di risorse (p.e. terra) o che dalla concentrazione non guadagnano alcun vantaggio economico in quanto ad esempio non sfrutterebbero i vantaggi dall'avere tutti i soggetti della filiera produttiva vicini geograficamente perché la filiera è troppo corta (alimentare, bevande) o gli svantaggi dall'allontanarsi da dove sono collocate le risorse sono superiori dei vantaggi. Sono i beni manifatturieri che sono invece più esposti alla ricerca di vantaggi economici dalla concentrazione dell'industria. In ambito del commercio tra i paesi queste considerazioni potrebbero valere sia per spiegare la possibile concentrazione delle imprese di alcuni settori in paesi in cui è preferibile collocar-

si vista l'ampiezza del mercato del lavoro, la possibilità di ottenere economie di scala e l'ampiezza della domanda interna a quel paese o la posizione strategica rispetto al resto degli altri paesi (p.e. Hong Kong, Singapore) (Davis, 1997).

I costi di scambio, in particolare quelli non convenzionali quali barriere informative e costi di ricerca, come osservato da Davis (1997) e Rauch (1999), hanno un impatto diverso a seconda che il bene sia omogeneo (standard e quindi trattabile su mercati organizzati) o differenziato, che invece per essere scambiato sul mercato estero va incontro a costi non convenzionali molto più alti, vista l'impossibilità di essere oggetto della trattazione su un mercato organizzato dove con facilità si incontrano domanda e offerta mondiali. Questa differenza è riscontrabile anche considerando l'*home market effect* che è più evidente per i beni differenziati con economie di scala, che hanno costi di scambio più grandi dei beni omogenei.

Frankel (1997) trova evidenza che la distanza ha molta più significatività nello spiegare il commercio disaggregato per settori piuttosto che quello aggregato e trova in particolare che la distanza ha tanto più effetto nel determinare il volume di scambi per beni soggetti a deperibilità, con basso valore unitario o facenti parte di produzioni dove la gestione dei tempi di fornitura è un aspetto critico. Quindi più che sulle caratteristiche dei paesi interagenti l'entità dello scambio tra due paesi è il risultato soprattutto dell'interazione delle caratteristiche del bene con i costi (e il tempo) di trasporto e di altra natura (p.e. accesso al mercato).

Anderson e van Wincoop (2004), attraverso uno studio empirico di notevole rilievo misurano i costi di scambio, da quelli convenzionali (trasporto e tariffe doganali) a quelli non convenzionali (barriere informative, differenze istituzionali, linguistiche, normative ecc...) e trovano che questi sono considerevoli rispetto al costo di produzione anche in assenza di barriere formali allo scambio e anche tra economie apparentemente integrate. I due autori sottolineano quanto i costi di scambio siano dipendenti in taluni casi direttamente dagli strumenti della politica (tariffe, tariffe equivalenti o barriere associate al sistema dei cambi) mentre in altri siano ampiamente ma indirettamente influenzati dalla politica (investimenti in infrastrutture e trasporti, regolamentazione, ecc...) e come questi due elementi di influenza non siano omogenei tra i beni. Tra le molte evidenze che i due autori fanno emergere attraverso il loro studio quella che preme mettere in luce ai fini di questa tesi è che i costi di scambio presentano un'alta variabilità non solo tra i beni ma anche tra i paesi: le barriere allo scambio ad esempio sono più alte per i paesi in via di sviluppo rispetto a quelli industrializzati, oppure che i beni ad alto valore unitario sono meno penalizzati dai costi di trasporto; povertà istituzionale e infrastrutturale penalizzano lo scambio in modo differente tra i paesi; le barriere

non tariffarie sono molto concentrate: in alcuni settori la percentuale di copertura sulle linee tariffarie è nulla mentre in altri è vicina al 70%. La variabilità riscontrata dai due autori, è facile intuirlo, influenzerà l'architettura complessiva degli scambi, non rendendo tra loro equivalenti i paesi nella scelta del *partner* di scambio.

Per discutere degli effetti dei costi di scambio si prenda ancora in considerazione quello che è stato etichettato come il fenomeno della regionalismo, che deve il suo nome al fatto che sono stati firmati accordi di scambio preferenziali, bilaterali o multilaterali (*PTA-Preferential Trade Agreements*) soprattutto tra paesi vicini geograficamente. Questo fenomeno è oggetto di dibattito tra gli esperti di commercio internazionale sul perché vi sia un crescente interesse da parte dei paesi nello stipulare accordi commerciali preferenziali bilaterali o multilaterali con paesi soprattutto vicini geograficamente e quale sia il suo impatto per il sistema nel suo complesso. C'è infatti chi sostiene che il regionalismo sia nei suoi effetti contro il multilateralismo e chi invece sostiene che il regionalismo favorisca il multilateralismo (per una rassegna delle posizioni vedi Panagariya, 1999). Il World Trade Report del 2011 offre una panoramica completa del fenomeno crescente di formazione di accordi preferenziali tra paesi o gruppi di paesi. Anche se lo scambio è lungi dall'essere per la gran parte realizzato all'interno di comunità individuate su base regionale, non c'è dubbio che vi sia un trend di crescita della rilevanza degli scambi all'interno delle comunità geografiche (Fig.4.2) come anche del peso dello scambio intra-PTA su totale scambiato (Fig.4.3). Inoltre come è possibile vedere dalla Figura 4.4 le statistiche del commercio intra-regionale non sono le stesse se si considerano beni diversi, facendo supporre anche in questo caso che la distanza gioca in favore o sfavore dello scambio a seconda del tipo di bene.

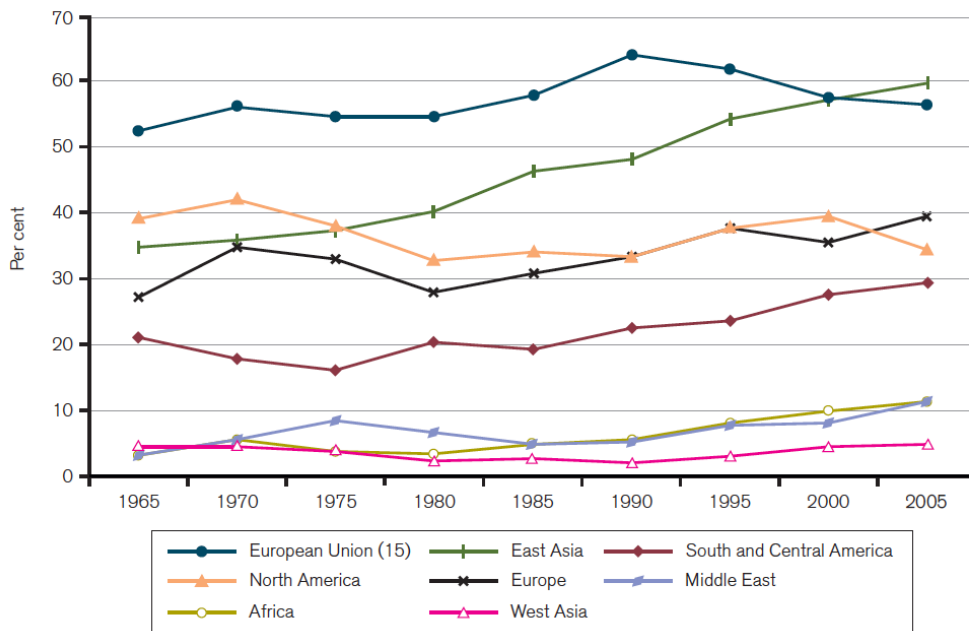


Figura 4.2: Quota delle importazioni intra-regionali sul totale delle importazioni per regione geografica, 1965-2005. Fonte: World Trade Report 2011

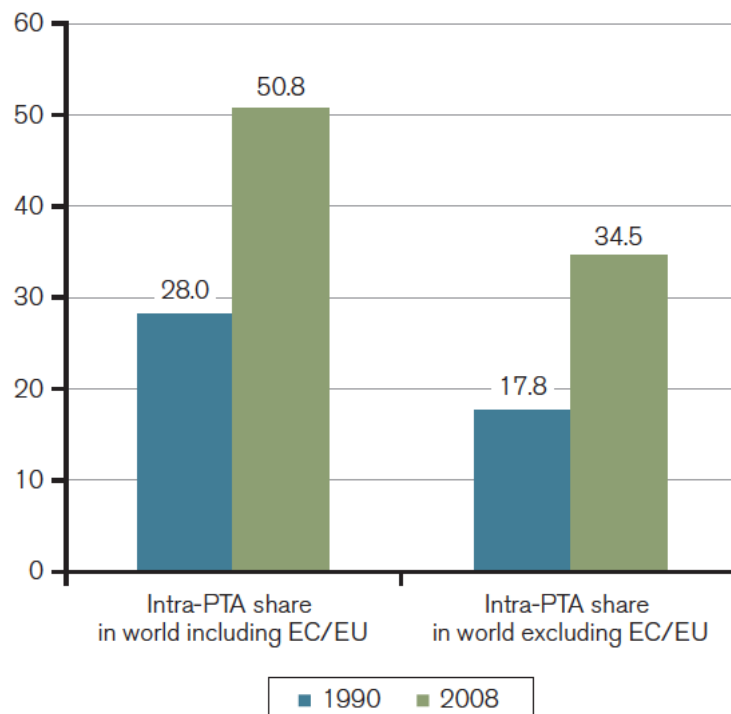


Figura 4.3: Quota esportazioni intra-PTA sul totale mondiale dello scambio di merci nel 1990 e nel 2008. Fonte: World Trade Report, 2011

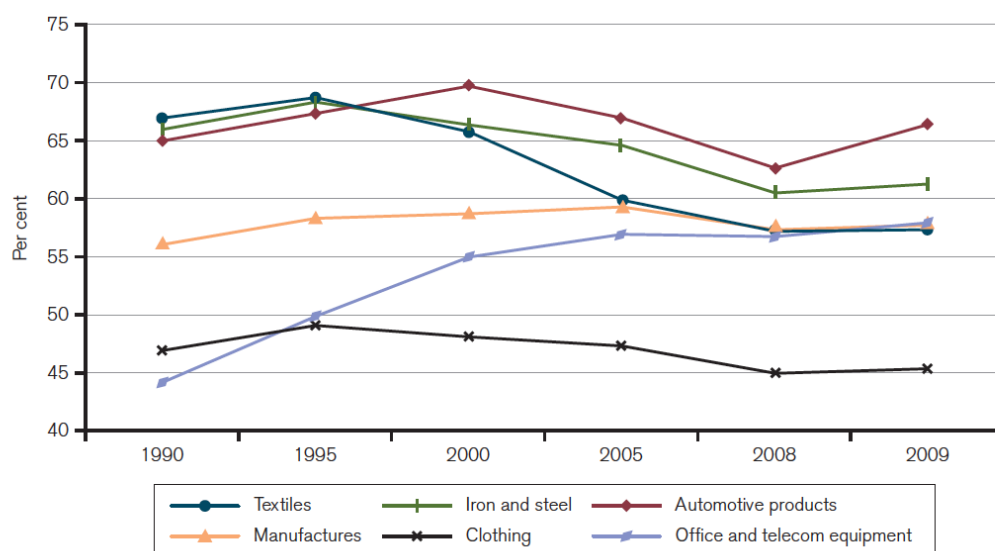


Figura 4.4: Quota delle esportazioni intra-regionali rispetto alle esportazioni mondiali per i settori manifatturieri, 1990-2009. Fonte: World Trade Report, 2011.

Capitolo 5

Analisi empirica

5.1 Obiettivi

La tesi è stata aperta ponendo all'attenzione del lettore alcune questioni: che forma assume nella realtà la struttura della globalizzazione degli scambi; come stabilire gli effettivi *confini* dell'integrazione economica tra i paesi, in che misura cioè gli scambi dei paesi si realizzano *preferenzialmente* entro confini più ristretti rispetto a quelli globali e quali sono le possibili ragioni che portano a tale configurazione.

Pertanto, attraverso l'analisi empirica delle reti *dirette pesate* di scambio internazionale in questo lavoro ci si propone di:

- descrivere le caratteristiche topologiche e quantitative delle reti di scambio internazionale e valutare in che misura dipendono dal settore economico considerato;
- investigare, per ogni rete settoriale, l'eventuale esistenza di una struttura in comunità e valutarne la significatività.

5.2 Dati

Al fine di valutare la significatività delle ipotesi formulate sulla base delle teorie economiche che modellizzano la struttura del commercio internazionale, sono state analizzate dettagliatamente 23 reti di scambio internazionale a partire da quella rappresentativa degli scambi aggregati (TOTAL). I flussi aggregati sono stati poi disaggregati nei vari settori industriali seguendo la classificazione¹

¹<http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?cl=14>

SITC, Revisione 3, prima in 4 reti settoriali al livello di massima aggregazione disponibile FOOD (0), CHEMICALS (5), MANUFACTURES CHIEFLY CLASSIFIED BY MATERIAL (6), MACHINERY AND TRANSPORT EQUIPMENT (7). Successivamente questi ultimi due settori sono stati disaggregati nei rispettivi sottosettori, 18 complessivamente: LEATHER MANUFACTURES (61), RUBBER MANUFACTURES (62), CORK AND WOOD MANUFACTURES (63), PAPER ARTICLES (64), TEXTILE ARTICLES (65), NON-METALLIC MINERAL MANUFACTURES (66), IRON AND STEEL (67), NON-FERROUS METALS (68), MANUFACTURES OF METALS (69), POWER GENERATING MACHINERY (71), SPECIALIZED INDUSTRIAL MACHINERY (72), METALWORKING MACHINERY (73), GENERAL INDUSTRIAL MACHINERY (74), OFFICE AND DATA PROCESSING MACHINERY (75), TELECOMMUNICATION AND SOUND APPARATUS (76), ELECTRICAL MACHINERY (77), ROAD VEHICLES (78), OTHER TRANSPORT EQUIPMENT (79). Nella Tabella 5.1 è fornita una descrizione dettagliata di ogni settore.

La classificazione SITC Rev.3 è stata scelta per due ragioni: è quella che assicura una maggiore disponibilità di dati ed è la classificazione più utilizzata nelle analisi e nelle statistiche di commercio internazionale e nella ricerca scientifica quando si analizzano i flussi di scambio settoriali: ciò permette una migliore comparabilità dei risultati con ricerche precedenti e una maggiore disponibilità di dati sintetici descrittivi dei settori d'interesse.

I dati sono stati ricavati dalla base di dati delle Nazioni Unite UN Comtrade² (United Nations Commodity Trade Statistics Database) che raccoglie le statistiche di esportazioni e importazioni dettagliate per ciascun paese e per settore industriale, a vari livelli di dettaglio. Questa base di dati è considerata la più completa tra le basi di dati disponibili che raccolgono dati sul commercio tra paesi.

L'anno scelto è il 2006, anno in cui l'economia globale si è espansa vigorosamente, crescendo del 5.4% (FMI, 2007). L'analisi qui proposta è dunque finalizzata alla descrizione della struttura della rete di scambio di un solo anno, al termine di un quinquennio di espansione economica globale. Si vuole cioè osservare e analizzare l'architettura degli scambi in un momento storico vicino ma in cui le scelte degli attori economici non siano state influenzate anche da condizioni economiche generali sfavorevoli allo scambio come quelle verificatesi dal 2007 ad oggi.

²<http://comtrade.un.org/>

NOME BREVE (Codice SITC Rev.3)	Descrizione
TOTAL	<i>All Commodities</i>
FOOD (0)	<i>Food and live animals</i>
CHEMICALS (5)	<i>Chemicals and related products, n.e.s.</i>
MNF BY MATERIAL (6)	<i>Manufactured goods classified chiefly by material</i>
MACH&TRANSP (7)	<i>Machinery and transport equipment</i>
LEATHER (61)	<i>Leather, leather manufactures, n.e.s., and dressed furskins</i>
RUBBER (62)	<i>Rubber manufactures, n.e.s.</i>
CORK&WOOD (63)	<i>Cork and wood manufactures (excluding furniture)</i>
PAPER (64)	<i>Paper, paperboard and articles of paper pulp, of paper or of paperboard</i>
TEXTILE (65)	<i>Textile yarn, fabrics, made-up articles, n.e.s., and related products</i>
NO-METAL MIN. MNF (66)	<i>Non-metallic mineral manufactures, n.e.s.</i>
IRON&STEEL (67)	<i>Iron and steel</i>
NO-FERROUS METALS (68)	<i>Non-ferrous metals</i>
MNF OF METAL (69)	<i>Manufactures of metals, n.e.s.</i>
POWER-GEN MACH (71)	<i>Power-generating machinery and equipment</i>
SPECIAL-IND MACH (72)	<i>Machinery specialized for particular industries</i>
METALWORK MACH (73)	<i>Metalworking machinery</i>
GENERAL-IND MACH (74)	<i>General industrial machinery and equipment, n.e.s., and machine parts, n.e.s.</i>
OFFICE&DATA MACH (75)	<i>Office machines and automatic data-processing machines</i>
TLC&SOUND (76)	<i>Telecommunications and sound-recording and reproducing apparatus and equipment</i>
ELECTRICAL MACH (77)	<i>Electrical machinery, apparatus and appliances, n.e.s., and electrical parts thereof (including non-electrical counterparts, n.e.s., of electrical household-type equipment)</i>
ROAD VEHICLES (78)	<i>Road vehicles (including air-cushion vehicles)</i>
OTHER TRANSP (79)	<i>Other transport equipment</i>

Tabella 5.1: Descrizione settori analizzati

I flussi di scambio analizzati sono relativi alle importazioni di 226 paesi dal resto del mondo, registrati secondo il *General Trade System*³. Gli scambi considerati in questo studio includono tre classi di importazioni: a) beni prodotti all'estero, esclusi i beni temporaneamente esportati per essere processati all'esterno, b) beni prodotti all'estero temporaneamente esportati per essere processati all'esterno; c) beni prodotti all'interno del paese rimasti nello stato precedente all'esportazione (*re-import*). I flussi di importazione sono in genere registrati come valori CIF (*Cost, Insurance and Freight*) e includono il valore di transazione dei beni, il valore del servizio effettuato per trasportare i beni ai confini del paese e il costo dei servizi effettuati per esportare il bene dal paese esportatore al paese importatore. Per alcuni paesi (28 dei 226 analizzati), non presenti come *reporter* nella base di dati, è stato necessario ricostruire le informazioni sulle rispettive importazioni servendosi dei flussi di esportazione dagli altri paesi. Per questi casi può esserci dunque una distorsione nel valore dei flussi di scambio che sono registrati come FOB (*Free On Board*) inclusivi cioè del valore di transazione e del costo del servizio di trasporto sino ai confini dei paesi esportatori.

5.3 Metodologia

Per raggiungere gli obiettivi di ricerca di questo lavoro ci si è serviti di specifiche metodologie e strumenti d'analisi: per valutare le caratteristiche topologiche e quantitative delle reti sono stati utilizzati alcuni indicatori globali descrittivi della struttura complessiva, per poi successivamente analizzare nel dettaglio ogni singola rete attraverso la metodologia LMC (*lumped Markov chains*) descritta nel Capitolo 2, volta all'individuazione e valutazione delle comunità delle reti.

Prima di tutto le reti dirette pesate sono state filtrate secondo la metodologia per l'individuazione della *backbone* di una rete, ampiamente descritta nel Capitolo 2. L'effetto dell'applicazione di questo metodo ha un impatto pressoché nullo sulle proprietà statistiche della rete pesata, cioè sulla natura della struttura della connessione pesata. In questo senso la distribuzione del peso dei link e delle *strengths* dei paesi non cambia la sua natura, cioè vengono mantenute le forme funzionali delle distribuzioni e la gran parte (80-90%) del valore complessivo dei legami e di conseguenza delle *strengths* dei paesi, questo a costo però di una

³Il *General Trade System* è uno dei due sistemi di registrazione delle statistiche sul commercio internazionale. Questo sistema è utilizzato quando il territorio statistico di un paese coincide con il suo territorio economico. Conseguentemente sotto questo sistema le importazioni (esportazioni) includono tutti i beni che entrano (escono) nel (dal) territorio economico del paese che registra l'informazione.

perdita di informazione sulla struttura topologica di connessione (solo il 9% dei legami sopravvive al filtraggio). Due sono gli elementi che devono essere tenuti presenti nelle reti *multi-scale* pesate, come quelle discusse in questa tesi: in primo luogo l'informazione sulla struttura della rete è contenuta nel peso dei legami più che nel loro numero; inoltre è fondamentale preservare la natura *multi-scale* della rete, rapportando a tal fine il peso dei legami alla *strength* dei paesi. Pertanto il risultato sarà quello di ottenere reti costituite da un numero molto più ridotto di legami ma i più rilevanti per tutti i paesi contemporaneamente e quindi per la rete nel suo complesso.

Le reti così ottenute, sono state analizzate e confrontate servendosi di indicatori descrittivi delle proprietà statistiche e topologiche delle reti: il numero dei paesi nella SCC (*Strongly Connected Component*), che permette di stabilire se esiste un nucleo più o meno ampio di paesi della rete tra loro connessi, tale cioè che esiste sempre tra ciascuna coppia di paesi un percorso che li unisce; la densità, che definisce l'integrazione della rete, cioè quanti legami diretti connettono tra loro i paesi rispetto al massimo numero possibile; la distribuzione del peso dei link, del grado e della *strength* dei paesi, che si presenta disomogenea (p.e. lognormale o *power law*). Al fine di valutare l'intensità della concentrazione dei valori più alti di grado, *strength* e peso su poche unità statistiche per ciascuna di queste variabili è stato calcolato il coefficiente di Gini; un indicatore di correlazione lineare è stato utilizzato per valutare l'assortatività della rete nel grado e nella *strength* dei paesi e infine è stato calcolato il coefficiente di *clustering* globale della rete e valutata la correlazione dei coefficienti di *clustering* locali con il grado e la *strength* dei paesi.

In generale si è voluto verificare se anche per le reti settoriali analizzate si presentino le stesse caratteristiche osservate per la rete aggregata e se tra le reti settoriali esistano differenze o similarità. Considerare quindi contemporaneamente più statistiche e indicatori sintetici della struttura complessiva permette di confrontare le reti settoriali su più di una dimensione, cercando di individuare se esistono una o più aspetti su cui le reti sono tra loro più differenziate.

Una volta stabilite le caratteristiche globali delle reti e confrontati i profili dei settori, ciascuna rete è stata esaminata dettagliatamente per stabilire l'esistenza e la significatività di una struttura modulare. E' stato pertanto applicato il metodo LMC per l'individuazione delle comunità e si è quindi proceduto ad analizzare la significatività e la struttura delle eventuali comunità individuate servendosi di alcuni indicatori specifici (probabilità di persistenza, *strength* interna media, numerosità, densità, coefficiente di *clustering*, quota esportazioni e importazioni

interne, valore scambiato internamente). E' stata quindi valutata la dipendenza delle caratteristiche della struttura in comunità delle reti di commercio internazionale dal settore industriale sulla base dell'osservazione delle strutture specifiche di ciascun settore e, laddove siano emerse, le differenze intercorrenti tra i settori sono state interpretate qualitativamente attraverso le determinanti economiche e non economiche ipotizzate sulla base dei modelli teorici ed empirici del commercio internazionale.

5.4 Analisi delle proprietà delle reti settoriali

5.4.1 Dimensione della SCC

La dimensione della *Strongly Connected Component* (in seguito SCC) (Tabella 5.2) offre una prima indicazione della struttura delle reti. La rete TOTAL, i cui link rappresentano il flusso aggregato dello scambio di tutte le merci tra coppie di paesi, ha una SCC estesa al numero totale dei paesi della rete: nel grafo da qualsiasi paese è quindi possibile raggiungere un qualsiasi altro paese. Quando il numero di paesi costituenti la SCC di una rete è inferiore al numero di paesi complessivo, significa che ci sono paesi, in numero più o meno rilevante, che sono connessi al resto della rete da soli flussi di esportazione o da soli flussi di importazione. Queste configurazioni di rete sono anche denominate *bow-tie*, o 'a farfallino', di cui richiamano la forma se i paesi sono disposti in modo da evidenziare le tre componenti, i paesi della SCC (che esportano e importano) al centro e i paesi OUT (che esportano) e IN (che importano) ai due lati della SCC. La dimensione della SCC è un aspetto quindi di cui tener conto in quanto permette di identificare immediatamente il numero dei paesi nella rete con un ruolo di "monte" o "valle" nello scambio di un determinato bene. Nella rete aggregata, ad esempio, tutti i paesi sono connessi da legami di importazione ed esportazione in quanto si considerano tutte le classi di beni scambiate. Un paese aperto al commercio internazionale sicuramente esporterà almeno una classe di beni e ne importerà almeno un'altra a meno che sia in grado di produrre tutto quello di cui ha bisogno internamente, chiudendosi agli scambi con gli altri paesi.

Si osservi ad esempio dalla Tabella 5.2 quanto di poco si discostino dalla rete completa N, costituita da tutti i 226 nodi, le SCC dei vari settori calcolate sulle reti originali, cioè non filtrate (SCC Orig.): questo indica che sostanzialmente tutti i paesi sono connessi da legami di esportazione e importazione in tutti i

5.4 Analisi delle proprietà delle reti settoriali

Settori	N	SCC		Densità			
		Orig.	Filt.	N		SCC	
				Orig.	Filt.	Orig.	Filt.
TOTAL	226	226	226	0.674	0.076	0.674	0.076
0-FOOD	226	224	213	0.459	0.052	0.467	0.057
5-CHEMICALS	226	225	207	0.442	0.049	0.445	0.061
6-MNF BY MATERIAL	226	226	222	0.507	0.057	0.507	0.059
7-MACH&TRANSP	226	214	207	0.520	0.061	0.555	0.069
61-LEATHER	226	189	122	0.163	0.020	0.220	0.060
62-RUBBER	226	215	158	0.323	0.036	0.346	0.064
63-CORK&WOOD	226	213	156	0.276	0.030	0.302	0.055
64-PAPER	226	221	161	0.322	0.033	0.336	0.057
65-TEXTILE	226	224	183	0.462	0.050	0.469	0.067
66-NO-METAL MIN MNF	226	219	185	0.352	0.037	0.368	0.052
67-IRON&STEEL	226	214	170	0.273	0.033	0.294	0.053
68-NO-FERROUS METALS	226	207	144	0.226	0.028	0.256	0.059
69-MNF OF METAL	226	225	206	0.400	0.043	0.403	0.050
71-POWER-GEN MACH	226	225	186	0.302	0.034	0.304	0.040
72-SPECIAL-IND MACH	226	223	189	0.328	0.038	0.337	0.052
73-METALWORK MACH	226	210	135	0.219	0.027	0.251	0.064
74-GENERAL-IND MACH	226	225	204	0.390	0.045	0.393	0.054
75-OFFICE&DATA MACH	226	222	194	0.337	0.037	0.348	0.048
76-TLC&SOUND	226	223	195	0.345	0.043	0.353	0.056
77-ELECTRICAL MACH	226	225	213	0.417	0.046	0.420	0.052
78-ROAD VEHICLES	226	226	183	0.357	0.040	0.357	0.054
79-OTHER TRANSP	226	207	151	0.184	0.023	0.217	0.048

Tabella 5.2: SCC e densità delle reti

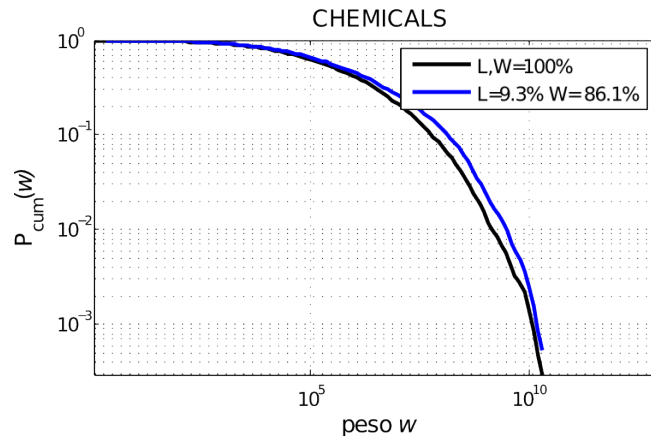


Figura 5.1: **Esempio di distribuzione cumulata del peso dei link** della rete originale (nera) e filtrata (blu) (settore CHEMICALS). L indica la percentuale dei link e W quella del valore complessivo rispetto alla rete originale. L'immagine mette in evidenza come il filtraggio garantisca la preservazione della forma funzionale della distribuzione del peso (valore) dei link nonostante si riduca notevolmente il numero dei link. Questa figura indica anche che la rete è caratterizzata da una forte eterogeneità nel valore dei flussi: la parte dei flussi eliminata nel filtraggio (ben il 90.7%) rappresenta solo il 13.9% del valore complessivamente scambiato.

settori analizzati, a parte il settore LEATHER, probabilmente per le caratteristiche dei prodotti realizzati in pelle: le risorse (pelli e pellicce) sono importate dai paesi dove non c'è mercato per i beni manufatti in pelle, o per non utilità dei consumatori o per mancanza di reddito sufficiente. Se invece le reti sono sottoposte a filtraggio per far emergere i soli flussi significativi, vista l'eterogeneità dei legami di scambio, come si può vedere dalla Figura 5.1, si scopre che la SCC della rete filtrata (SCC Filt.) rispetto alla SCC della rete originale presenta scarti consistenti nel numero dei paesi tra loro connessi da flussi in entrambe le direzioni. Questo perché si tiene conto del grado di preferenzialità (eterogeneità) dei flussi che fa sì che alcuni paesi, connessi al resto della rete con profili di scambio omogenei (nelle esportazioni e/o nelle importazioni) siano ora classificati non più nella SCC ma nelle code IN o OUT, poiché i flussi che prima li connettevano in entrambe le direzioni non sono preservati.

Questo aspetto quale indicazione fornisce? Che se si analizza la struttura dei flussi preferenziali tra i paesi, dove per preferenziale si intende significativo rispetto al valore complessivo scambiato da ciascun paese (in esportazioni e in importazioni), in alcuni casi -LEATHER, RUBBER, CORK&WOOD, PAPER, NO-FERROUS METALS, METAL-WORK MACH, OTHER TRANSP- è più pronunciata la numerosità dei paesi nelle posizioni di monte (OUT) o valle (IN) poiché non c'è un rapporto reciproco di preferenzialità nello scambio di questi beni tra tutti o

la gran parte dei paesi. Piuttosto la preferenzialità si manifesta nelle esportazioni oppure nelle importazioni, ma non in entrambe le direzioni. Questi settori sono quasi tutti caratterizzati da intensità nell'utilizzo di risorse per la produzione di manufatti; probabilmente le politiche di approvvigionamento prevedono l'importazione di risorse prevalentemente da uno o pochi paesi (per esternalità, convenienza economica) per poi esportare successivamente manufatti in mercati esteri senza che questi ultimi siano preferenziali per l'esportatore o che dipendano da questo nell'approvvigionamento di specifici beni. Oppure per un esportatore potrebbe essere più conveniente esportare risorse o beni intensivi di risorse ad un unico mercato per l'impatto ad esempio dei costi di trasporto su beni dal basso valore unitario o per la grandezza del mercato di destinazione, ma nell'importare manufatti dagli altri paesi non dipende da uno o pochi di loro e il paese stesso non costituisce un mercato preferenziale per i paesi da cui importa i beni manufatti.

Quello che più interessa è che sembra che vi sia una relazione tra il tipo di bene e la struttura generale dei rapporti preferenziali di scambio della rete da cui si intuisce come le caratteristiche del bene interagiscano con le condizioni generali dello scambio e ciò determina una variabilità in termini di eterogeneità dei profili di scambio: questa sembra essere maggiore in alcuni beni piuttosto che in altri, cioè la scelta di concentrare i propri scambi su pochi mercati di esportazione o su pochi fornitori dipende dal tipo di bene che si sta considerando.

5.4.2 Densità delle reti

La densità è un indicatore del livello d'integrazione di una rete basata sul numero di legami effettivo rispetto al numero massimo possibile (vedi la definizione nel paragrafo 2.1.1). Se si osserva la Tabella 5.2 si nota sin da subito quale sia la differenza tra la densità calcolata tenendo conto di tutti i legami a prescindere dal loro valore (Orig.) oppure se si prendono in considerazione i soli legami significativi (Filt.), sia che si tratti della rete completa N che delle SCC: la densità nel caso delle reti originali varia tra lo 0.23 e lo 0.67, mentre nel caso delle reti filtrate si riduce significativamente a 0.03 sino a un massimo di 0.07.

La densità della rete originale, in tutti i settori, a confronto di altre tipologie di reti reali, risulta molto alta nel caso ad esempio della rete TOTAL, MACH&TRANSP e MNF BY MAT, CHEMICALS, FOOD, TEXTILE e ELECTRICAL MACH e alto nel caso degli altri settori, anche se tutte sono lontane dall'essere completamente connesse. Tra le reti settoriali, soprattutto tra quelle 2-digit, c'è variabilità nei livelli di densità in tutti i casi esaminati.

Il fatto invece che considerare i soli legami significativi porti ad avere un risultato tanto dissimile non deve sorprendere. Infatti, come vedremo nel prossimo paragrafo, il filtraggio riduce il numero dei link delle reti analizzate a in media circa il 9.1% del totale pur preservando l'80/90% del valore complessivamente scambiato. Questa forte riduzione della densità informa del fatto che, se si analizza la rete nella sua struttura fondamentale, che è data dai legami preferenziali e cioè i più significativi in termini relativi, questa è molto poco densa e ciò porterebbe a dire che gli scambi per tutti i beni considerati sono concentrati entro un numero ristretto di rapporti preferenziali unilaterali o bilaterali di scambio e non su un numero elevato di rapporti multilaterali non preferenziali, secondo l'idea che "tutti" scambiano con "tutti", senza discriminazioni.

5.4.3 Il peso dei link

Da questo punto in poi ci si concentrerà sull'analisi delle caratteristiche delle reti costituite dai soli legami significativi ottenuti tramite l'estrazione della *backbone* (reti filtrate).

In Tabella 5.3 sono presentati gli indicatori che sintetizzano l'informazione che riguarda i link e il loro peso. I link che sono preservati a seguito dall'applicazione del filtraggio sono in media il 9.1% dei link complessivi e il loro numero è molto variabile a seconda del livello di aggregazione e del settore che si considera. I settori più aggregati hanno un numero maggiore di link in conseguenza del fatto che questi settori riuniscono flussi di più settori contemporaneamente, tra cui non esiste una perfetta coincidenza nella direzione e nelle coppie di paesi che connettono. Allo stesso livello di disaggregazione esistono tuttavia differenze sostanziali, come ad esempio tra ELECTRICAL MACH con 1503 link significativi e METAL-WORK MACH con invece 716.

Se si prende in considerazione il peso dei link, sempre nella stessa Tabella 5.3, si osserva come la gran parte del peso (in media 84.5%) sia mantenuta a seguito del filtraggio anche a fronte di una drastica riduzione dei link. Il filtraggio preserva la forma funzionale della distribuzione dei pesi, come è possibile vedere nella Figura 5.1. Il valore scambiato è in valore assoluto molto diverso se si considerano le reti più aggregate rispetto alle reti settoriali disaggregate a un maggior livello di dettaglio. Ci sono infatti settori che a uno stesso livello di aggregazione raccolgono molto più valore scambiato di molti altri. Questo ovviamente dipende dal valore unitario delle singole merci scambiate, che ci si aspetta vari sensibilmente tra le macchine industriali o automobili da un lato, piuttosto che vestiti e scarpe o

5.4 Analisi delle proprietà delle reti settoriali

Settori	Link filtrati L		Valore filtrato		Conc.ne peso dei link
	-	%	mld di \$	%	Coeff.di Gini
TOTAL	2610	9.1	10411.000	87.6	0.818
0-FOOD	1644	9.2	505.600	82.3	0.751
5-CHEMICALS	1600	9.3	1111.900	86.0	0.816
6-MNF BY MATERIAL	1879	9.3	1384.200	84.3	0.797
7-MACH&TRANSP	1845	9.0	3588.500	86.5	0.852
61-LEATHER	537	9.2	20.395	81.9	0.740
62-RUBBER	962	8.7	69.610	80.5	0.773
63-CORK&WOOD	817	8.3	47.197	84.0	0.787
64-PAPER	933	8.3	120.080	82.6	0.786
65-TEXTILE	1134	8.3	145.720	71.8	0.785
66-NO-METAL MIN MNF	1100	8.5	175.680	86.4	0.793
67-IRON&STEEL	901	9.5	280.050	75.6	0.746
68-NO-FERROUS METALS	756	9.4	234.330	81.6	0.748
69-MNF OF METAL	1336	8.9	202.730	82.4	0.821
71-POWER-GEN MACH	1047	9.5	238.940	87.6	0.825
72-SPECIAL-IND MACH	1137	9.4	242.580	83.8	0.785
73-METALWORK MACH	716	9.3	62.025	84.5	0.807
74-GENERAL-IND MACH	1414	9.7	372.260	86.1	0.814
75-OFFICE&DATA MACH	1110	8.9	488.390	91.6	0.863
76-TLC&SOUND	1248	9.7	494.530	89.1	0.841
77-ELECTRICAL MACH	1503	9.5	929.670	91.0	0.860
78-ROAD VEHICLES	1088	8.5	874.450	89.5	0.853
79-OTHER TRANSP	645	9.7	180.540	86.8	0.806

Tabella 5.3: Indicatori relativi al peso dei link

alimenti dall'altro. I settori della manifattura pesante e tecnologici sono quelli che raccolgono più valore tra tutti i settori manifatturieri.

Un indicatore utile per valutare sinteticamente il livello di concentrazione del peso dei link, visto che si è più volte sottolineata l'eterogeneità della sua distribuzione in tutti i settori (per un maggior dettaglio vedi l' Appendice) è il coefficiente di Gini⁴. Osservando dunque il coefficiente di Gini per le distribuzioni del peso dei link nelle varie reti si osserva come in tutti i casi esista marcata una concentrazione del valore, cioè del peso su una piccola percentuale dei link: tutti i coefficienti sono infatti compresi tra 0.74 e 0.86, e in media sul 20% dei link è concentrato il 75% del peso totale. Ricordando che valori del coefficiente tendenti a zero significano invece che il valore è ugualmente distribuito tra tutti i paesi, si rende evidente come queste reti si caratterizzino per una marcata concentrazione del valore scambiato su pochi link a prescindere dal settore considerato. In realtà, come è possibile vedere dalla Figura 5.4 il filtraggio riduce la concentrazione del peso dei link in quanto elimina molti link poco significativi e marginali in valore assoluto.

5.4.4 Il grado dei paesi

Il grado totale medio dei paesi (vedi Tabella 5.4) rappresenta il grado totale che tutti i paesi avrebbero se i link (entranti e uscenti) della rete fossero ugualmente distribuiti tra tutti i paesi della rete. Il dato di per sé è poco indicativo e ha bisogno di essere confrontato con indicatori quantitativi ulteriori per una migliore comprensione della struttura di connessione non pesata dei paesi.

La distribuzione del grado dei paesi è disomogenea come mostrato in Figura 5.2 per cui vi sono pochi paesi molto connessi mentre la maggioranza dei paesi è scarsamente connessa al resto del sistema. In Appendice sono riportate le distribuzioni cumulate del grado totale, in- e out- di tutti i settori analizzati. Tutte le reti analizzate presentano questa caratteristica.

Un'ulteriore indicazione sulla struttura di connessione ce la offre il coefficiente di correlazione di Pearson applicato al grado dei paesi connessi da ciascun link, che mostra il carattere di disassortatività della rete (vedi definizione nel paragrafo

⁴Il coefficiente di Gini, calcolato per la prima volta per stabilire il livello di concentrazione della ricchezza mondiale, è definito come il doppio dell'area tra la distribuzione cumulata osservata e la distribuzione uniforme cumulata teorica (Clauset, http://tuvalu.santafe.edu/~aaronc/courses/7000/csci7000-001_2011_L2.pdf). Il valore del coefficiente varia da 0 a 1. Più si è vicini all'unità maggiore è la concentrazione, vale a dire poche unità posseggono gran parte del valore.

5.4 Analisi delle proprietà delle reti settoriali

Settori	Grado totale medio	Conc.ne grado	Conc.ne grado in-	Conc.ne grado out-	Assortatività
	-	Coeff.di Gini	Coeff. di Gini	Coeff.di Gini	-
TOTAL	23.097	0.530	0.537	0.547	-0.348
0-FOOD	15.884	0.523	0.521	0.574	-0.303
5-CHEMICALS	15.842	0.533	0.473	0.617	-0.247
6-MNF BY MATERIAL	16.928	0.532	0.520	0.577	-0.258
7-MACH&TRANSP	17.826	0.533	0.490	0.621	-0.339
61-LEATHER	8.803	0.555	0.580	0.560	-0.290
62-RUBBER	12.177	0.527	0.462	0.643	-0.331
63-CORK&WOOD	10.474	0.512	0.511	0.560	-0.227
64-PAPER	11.590	0.490	0.434	0.592	-0.139
65-TEXTILE	12.393	0.444	0.473	0.609	-0.217
66-NO-METAL MIN MNF	11.892	0.519	0.480	0.597	-0.205
67-IRON&STEEL	10.600	0.507	0.448	0.612	-0.211
68-NO-FERROUS METALS	10.500	0.517	0.510	0.566	-0.210
69-MNF OF METAL	12.971	0.521	0.464	0.618	-0.264
71-POWER-GEN MACH	11.258	0.571	0.511	0.659	-0.337
72-SPECIAL-IND MACH	12.032	0.546	0.481	0.655	-0.284
73-METALWORK MACH	10.607	0.549	0.494	0.639	-0.326
74-GENERAL-IND MACH	13.863	0.558	0.498	0.654	-0.326
75-OFFICE&DATA MACH	11.443	0.580	0.545	0.650	-0.364
76-TLC&SOUND	12.800	0.566	0.505	0.661	-0.377
77-ELECTRICAL MACH	14.113	0.567	0.524	0.643	-0.292
78-ROAD VEHICLES	11.891	0.524	0.437	0.656	-0.302
79-OTHER TRANSP	8.543	0.529	0.511	0.593	-0.245

Tabella 5.4: Indicatori relativi al grado dei paesi

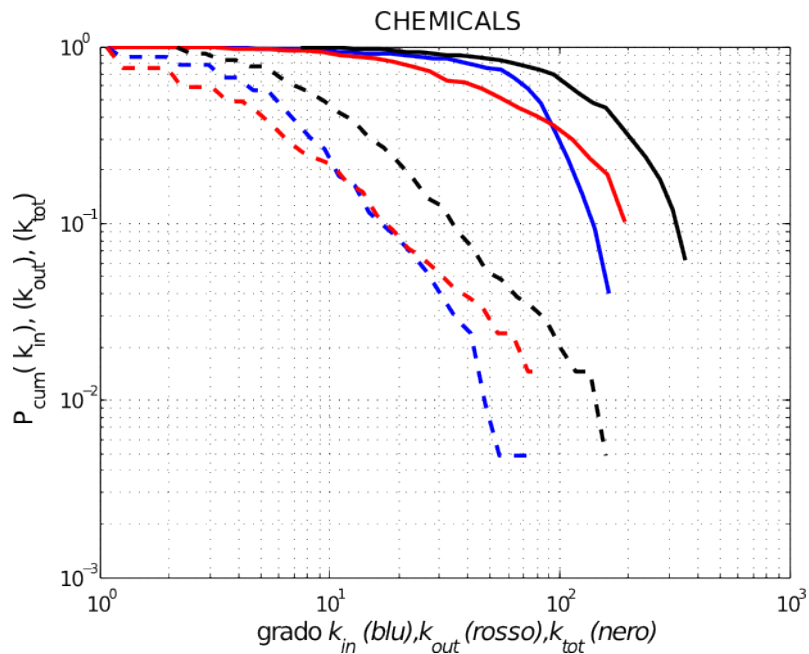


Figura 5.2: **Esempio di distribuzione cumulata di grado totale, in- e out-** (settore CHEMICALS): le linee continue sono relativa alla rete originale mentre le linee tratteggiate alla rete filtrata.

2.1.2). C'è per tutte le reti l'evidenza di una correlazione negativa tra il grado dei paesi, cioè paesi con grado alto tendono a connettersi preferenzialmente a paesi con grado basso. Ad esempio, osservando graficamente la correlazione tra il grado totale dei nodi e il grado totale medio dei vicini (Figura 5.5) si nota come, sia nella rete originale che in quella filtrata, vi sia tra queste due variabili una correlazione negativa, trasversalmente ai vari settori. La disassortatività è un indicatore della gerarchizzazione della rete: esistono cioè pochi paesi *hubs* cui sono connessi molti paesi scarsamente connessi. Esistono differenze tra alcuni settori: la differenza maggiore è tra i settori TLC&SOUND e PAPER: uno tecnologico e innovativo e l'altro tradizionale nelle tecnologie che utilizza e nei prodotti; il più soggetto a innovazione e diversificazione sul mercato è anche quello più gerarchizzato nella struttura complessiva di connessione. Una possibile spiegazione potrebbe essere quella per cui la produzione e i flussi di beni intermedi sono convogliati sui pochi paesi dove sono presenti le imprese che fanno innovazione nel settore, dove si creano i nuovi prodotti, dove ci sono i mercati più grandi e da cui partono prodotti diretti al resto del mondo.

Infine anche per il grado totale, in- e out- sono stati calcolati coefficienti di Gini in quanto anche queste variabili seguono una distribuzione disomogenea per cui è definibile una misura di concentrazione dei legami su pochi paesi. Come è possibile osservare in Tabella 5.4 per tutte le reti il coefficiente di Gini è compreso

Settori	<i>Strength</i> totale media	Conc.ne <i>strength</i> totale	Conc.ne <i>in-strength</i>	Conc.ne <i>out-strength</i>	Assortatività
	mld di \$	Coeff.di Gini	Coeff.di Gini	Coeff.di Gini	-
TOTAL	92.130	0.869	0.876	0.867	-0.266
0-FOOD	4.885	0.822	0.836	0.842	-0.258
5-CHEMICALS	11.009	0.880	0.866	0.902	-0.173
6-MNF BY MATERIAL	12.471	0.863	0.859	0.878	-0.206
7-MACH&TRANSP	34.672	0.895	0.874	0.927	-0.262
61-LEATHER	0.334	0.827	0.854	0.848	-0.284
62-RUBBER	0.881	0.851	0.833	0.883	-0.245
63-CORK&WOOD	0.605	0.846	0.866	0.871	-0.148
64-PAPER	1.492	0.843	0.825	0.885	-0.095
65-TEXTILE	1.593	0.784	0.835	0.900	-0.167
66-NO-METAL MIN MNF	1.899	0.863	0.863	0.878	-0.140
67-IRON&STEEL	3.295	0.829	0.813	0.867	-0.137
68-NO-FERROUS METALS	3.255	0.820	0.861	0.823	-0.145
69-MNF OF METAL	1.968	0.882	0.852	0.918	-0.205
71-POWER-GEN MACH	2.569	0.894	0.872	0.923	-0.247
72-SPECIAL-IND MACH	2.567	0.869	0.823	0.931	-0.238
73-METALWORK MACH	0.919	0.868	0.842	0.925	-0.245
74-GENERAL-IND MACH	3.650	0.890	0.856	0.927	-0.269
75-OFFICE&DATA MACH	5.035	0.917	0.904	0.941	-0.259
76-TLC&SOUND	5.072	0.896	0.885	0.928	-0.217
77-ELECTRICAL MACH	8.729	0.916	0.907	0.930	-0.184
78-ROAD VEHICLES	9.557	0.895	0.872	0.930	-0.235
79-OTHER TRANSP	2.391	0.860	0.838	0.913	-0.220

Tabella 5.5: Indicatori relativi alla *strength* dei paesi

tra lo 0.44 e 0.58 indicando con ciò che la distribuzione dei link non è omogenea e che su una bassa percentuale dei paesi è concentrata una quota rilevante dei link, in media sul 20% dei paesi è concentrato il 55% dei link. Il filtraggio accentua la concentrazione dei link su pochi paesi come è possibile vedere nella Figura 5.4 aumentando la diversità tra i paesi meno connessi e quelli più connessi.

5.4.5 La *strength* dei paesi

La *strength* totale media dei paesi (vedi Tabella 5.5) rappresenta la *strength* totale che tutti i paesi avrebbero se il valore (importazioni ed esportazioni) della rete fosse ugualmente distribuito tra tutti i paesi della rete. Come è possibile notare dalla Tabella 5.5, la *strength* totale media varia in base al settore considerato ed

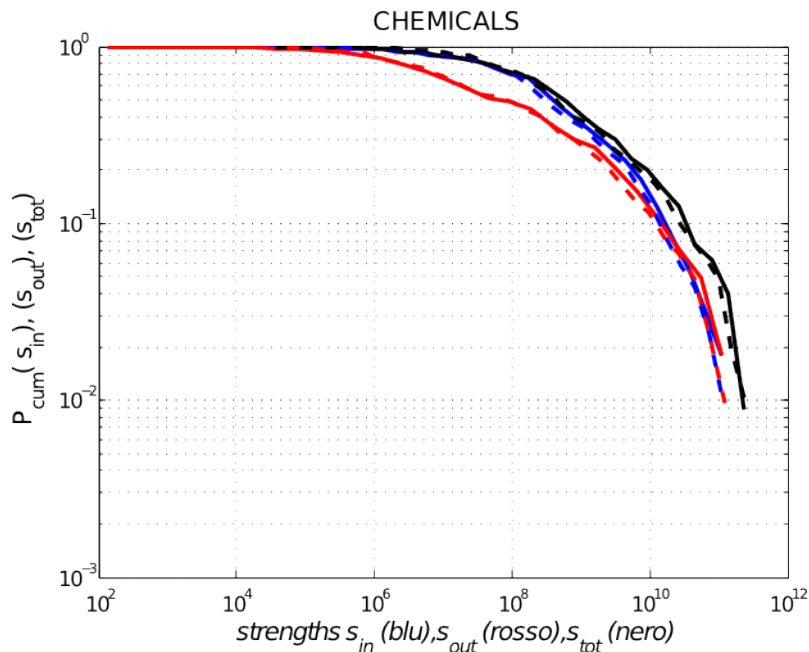


Figura 5.3: **Esempio di distribuzione cumulata della *strength* totale, in- e out-** (set-
tore CHEMICALS) : le linee continue sono relative alla rete originale mentre le
linee tratteggiate alla rete filtrata.

è ovviamente maggiore per i settori più aggregati, confermando l'evidenza che questi ultimi sono il risultato dell'unione di tanti flussi settoriali che non sono sempre coincidenti nella direzione e nella combinazione dei paesi che uniscono. Anche in questo caso il dato ha bisogno di essere confrontato con indicatori quantitativi per una migliore comprensione della struttura pesata. La distribuzione della *strength* dei paesi non è infatti uniforme come è possibile vedere attraverso un esempio riportato in Figura 5.3. In Appendice sono riportate le distribuzioni cumulate degli altri settori. Vi sono pochi paesi con *strength* (in- o out-) molto elevata e molti paesi con *strength* relativamente molto più bassa.

I coefficienti di Gini della *strength* totale, in- e out- informano che la concentrazione del valore su poche unità statistiche è molto alta, compresa tra lo 0.78 e 0.92 tra tutti i settori. Il filtraggio inoltre contribuisce a ridurre tale concentrazione in quanto elimina molti link poco significativi in valore, come si può osservare nella figura 5.4. In media sul 20% dei paesi è concentrato il 90% del valore. E' possibile notare che sulle fonti di esportazione vi sia una maggiore concentrazione rispetto ai mercati di importazione essendo i coefficienti di Gini superiori per le *out-strength* per la gran parte dei casi. I settori che sono esclusi da tale evidenza, a parte il LEATHER, sono settori non manifatturieri. Infatti NO-FERROUS METALS, anche se classificato nella categoria dei beni manifatturieri, è riconosciuto da molti non essere propriamente un settore manifatturiero ma di materia

prima.

Questo fornisce un'indicazione del fatto che i costi dello scambio siano più a carico di chi esporta e non di chi importa e che a fronte di una domanda globale e diffusa di certi beni manifatturieri, saranno in pochi a essere in grado di esportarli e a sostenere costi di scambio che, aggiunti ai costi di produzione, siano comunque inferiori ai costi d'autarchia degli altri paesi. Inoltre, per quei settori dove la concentrazione della produzione è rilevante per cogliere le opportunità di ottenere economie di scala, mercati dei fattori di produzione ampi e mercati finali altrettanto ampi, l'industria tenderà a concentrarsi su pochi paesi da cui poi esportare al resto del mondo, poiché i vantaggi nella produzione così raggiunti permettono di superare i costi dello scambio. Le scelte relative all'organizzazione industriale delle imprese operanti nel settore sono il frutto di condizioni più generali che riguardano il paese e le sue caratteristiche in rapporto a quelle degli altri paesi: l'efficienza della tecnologia che ha a disposizione e l'abbondanza relativa dei fattori di produzione, che contribuiscono alla creazione di un vantaggio comparato nella produzione di certe categorie di beni.

Infine, il coefficiente di correlazione di Pearson applicato alla *strength* dei paesi connessi da ciascun link dà un'indicazione del carattere di assortatività o disassortatività della rete. C'è per tutte le reti l'evidenza di una correlazione negativa tra la *strength* dei paesi, cioè paesi con *strength* alta tendono a connettersi preferenzialmente a paesi con *strength* bassa ma questa correlazione è inferiore a quella individuata per il grado dei paesi. La correlazione negativa è soprattutto il frutto del fatto che pochi paesi con *strength* molto elevata sono connessi con molti paesi che hanno una *strength* molto bassa ma allo stesso tempo hanno anche alcuni ma relativamente pochi vicini con *strength* altrettanto grande, motivo per cui la disassortatività non è mai alta. Per alcuni settori come PAPER, CORK&WOOD, TEXTILE, IRON&STEEL, NO-FERROUS METALS, NO-METAL MNF E CHEMICALS, la disassortatività è più bassa indicando come per questi settori vi sia più scambio tra paesi con *strength* simili o perlomeno vi sia una minore gerarchizzazione degli scambi tra paesi con *strength* alta e quelli con *strength* bassa.

Dalla Figura 5.6 è possibile vedere la relazione inversa tra *strength* totale e *strength* totale media dei nodi vicini sia per la rete originale che per quella filtrata. Nel primo caso è più evidente che esiste una correlazione negativa tra le *strength* dei paesi e quella dei nodi vicini. Il filtraggio, tagliando molti legami che connettono paesi ad alta *strength* con quelli con bassa *strength* perché poco significativi per entrambi i paesi, riduce la correlazione negativa andando a ridurre il numero di

vicini con *strength* bassa per quei paesi caratterizzati da *strength* alta, facendo emergere invece l'importanza per la struttura degli scambi dei legami tra paesi con entrambi *strength* alta.

5.4.6 Coefficiente di *clustering* locale e globale

Il coefficiente di *clustering* (vedi definizione nel paragrafo 2.1.2) è una misura della coesione o densità locale (*cliquishness*) della sotto-rete composta da un nodo e dai suoi vicini ed è estendibile all'intera rete come la media delle misure locali. Con questo indicatore si vuole misurare quanto vi sia una struttura coesa di rapporti tra i vicini di ciascun paese. E' una misura che si basa sul conteggio dei legami tra coppie di paesi e viene calcolata sulla rete ignorando direzioni e pesi.

E' interessante analizzare se vi è una correlazione tra il coefficiente di *clustering* dei paesi e il loro grado o la loro *strength*. Le Figure 5.7 e 5.8 mostrano che esiste una relazione negativa tra coefficiente di *clustering* e grado e tra coefficiente di *clustering* e *strength*, in tutti i settori analizzati, sia nella rete originale che in quella filtrata. In particolare se si osservano i risultati per le reti originali (a sinistra nelle Figure 5.7 e 5.8), dove sono presenti tutti i link a prescindere dalla loro significatività, il coefficiente di *clustering*, a parità di grado o di *strength* di un paese, assume valori differenti al variare del settore che si considera.

Quando si applica il filtraggio il risultato cambia (vedi Figura 5.7): l'eliminazione dei link non significativi porta a una riduzione drastica del grado dei paesi e a una concentrazione delle osservazioni attorno ai valori più bassi di grado. Inoltre si verifica una drastica riduzione del valore dei coefficienti di *clustering* locali e non è preservata la linearità della relazione con il grado. Quello che si osserva, in questo caso, è che paesi con grado relativamente basso presentano in alcuni casi coefficienti di *clustering* elevati e in altri casi intermedi o bassi, mentre i paesi con grado relativamente più elevato presentano tutti un coefficiente di *clustering* molto basso e questo sembra valere per tutti i settori. Se si osservano invece i coefficienti di *clustering* in relazione alla *strength* (Figura 5.8) per le reti filtrate i paesi con *strength* elevata sono quelli che registrano i valori più bassi del coefficiente mentre per i restanti paesi, che si caratterizzano per *strength* relativamente più basse, i coefficienti variano da valori molto alti a valori intermedi e bassi, in tutti i settori analizzati, in linea con quanto osservato prima per il grado.

In generale si osserva come all'aumentare del livello di connettività e di forza nello scambio, i paesi si caratterizzano per una scarsa coesione dei partner di scambio

preferenziali, cioè questi ultimi a loro volta non scambiano preferenzialmente tra loro. Questo si verifica in minor misura al diminuire del grado o della *strength* dove in alcuni casi i paesi scambiano preferenzialmente con partner che a loro volta scambiano tra loro ma in altri casi questo non accade. Si intuisce comunque che vi sia una relazione tra la posizione che i paesi occupano e il modo in cui si organizzano gli scambi attorno ad essi: paesi molto forti nello scambio e molto connessi hanno rapporti di scambio con partner (che per le caratteristiche di disassortatività è stato visto essere prevalentemente poco connessi e poco forti) che hanno tra loro in comune soprattutto il fatto di essere partner commerciali di un certo paese, mentre paesi meno connessi e/o meno forti dal punto di vista degli scambi in alcuni casi sono legati da scambi a paesi che a loro volta scambiano tra loro e questo *pattern* è simile tra i vari settori.

In definitiva in queste reti è più facile aver strutture coese quando si hanno pochi vicini rispetto a quando se ne hanno molti. I paesi più connessi e più forti raggiungono paesi nel mondo anche molto distanti geograficamente. La distanza tra i vicini potrebbe disincentivare lo scambio tra di essi o perlomeno limitarla a un numero ridotto di essi. Infatti, come è stato visto nei paragrafi precedenti, i vicini dei paesi molto connessi e forti sono paesi poco connessi e in alcuni casi poco forti, per cui il numero dei *partner* è limitato.

Per capire quanto si discostano i settori dal punto di vista dell'architettura di coesione, è utile anche considerare il coefficiente di *clustering* globale, che costituisce una misura sintetica (mediata) per l'intera rete. Nella Tabella 5.6 sono presentati i coefficienti di *clustering* globali per ciascuna rete settoriale. Dal confronto tra i risultati relativi alla rete originale e a quella filtrata si nota come l'eliminazione dei link non significativi abbia un impatto elevato sul *clustering* delle reti. Queste sia nella rete completa e, a maggior ragione, nella SCC hanno tutte un livello elevato di coesione globale quando non si considera l'eterogeneità del valore degli scambi e la loro significatività per i paesi. Il filtraggio, mettendo in evidenza i soli link significativi, riduce invece drasticamente il livello di coesione attorno ai nodi, andando a ridurre anche la coesione globale della rete. In altre parole, i legami cioè che prima facevano sembrare molto coese le sotto-reti attorno ai singoli paesi, si rivelano invece quantitativamente poco coese, e questo informa del fatto che nelle reti originali l'apparente coesione è soprattutto realizzata da scambi poco significativi. Osservando dunque i risultati per la rete filtrata, sia essa quella completa (N) che la SCC, si nota come le reti non siano completamente connesse attraverso link significativi ma che esista mediamente interazione tra la metà dei vicini di ciascun paese. Inoltre, confrontando i coefficienti delle varie reti, emerge

Settori	Coefficiente di <i>clustering</i> globale			
	Originale		Filtrata	
	N	SCC	N	SCC
TOTAL	0.845	0.845	0.661	0.661
0-FOOD	0.788	0.792	0.537	0.561
5-CHEMICALS	0.793	0.792	0.516	0.562
6-MNF BY MATERIAL	0.801	0.801	0.546	0.556
7-MACH&TRANSP	0.807	0.806	0.619	0.647
61-LEATHER	0.721	0.781	0.314	0.556
62-RUBBER	0.774	0.788	0.466	0.571
63-CORK&WOOD	0.765	0.773	0.430	0.531
64-PAPER	0.765	0.770	0.433	0.515
65-TEXTILE	0.725	0.725	0.298	0.335
66-NO-METAL MIN MNF	0.774	0.781	0.452	0.525
67-IRON&STEEL	0.770	0.771	0.393	0.433
68-NO-FERROUS METALS	0.750	0.771	0.358	0.513
69-MNF OF METAL	0.786	0.785	0.563	0.589
71-POWER-GEN MACH	0.782	0.785	0.540	0.619
72-SPECIAL-IND MACH	0.779	0.781	0.486	0.550
73-METALWORK MACH	0.773	0.785	0.396	0.556
74-GENERAL-IND MACH	0.789	0.789	0.563	0.607
75-OFFICE&DATA MACH	0.771	0.778	0.552	0.627
76-TLC&SOUND	0.773	0.777	0.548	0.616
77-ELECTRICAL MACH	0.793	0.792	0.545	0.578
78-ROAD VEHICLES	0.761	0.761	0.533	0.587
79-OTHER TRANSP	0.730	0.750	0.318	0.454

Tabella 5.6: Coefficiente di *clustering* globale delle reti

il fatto che se è vero che per la rete aggregata il coefficiente di clustering è il più alto, da questo però si discostano poco le reti settoriali, anche quelle a livello 2-digit. Vi sono tuttavia 6 casi in cui la differenza è maggiore, nei settori LEATHER, TEXTILE, IRON&STEEL, NO-FERROUS METALS, METAL-WORK MACH e OTHER TRANSP. In queste dunque ci si aspetta di vedere strutture di connessione più “spoglie” attorno ai singoli paesi, qualsiasi sia il loro grado o *strength*.

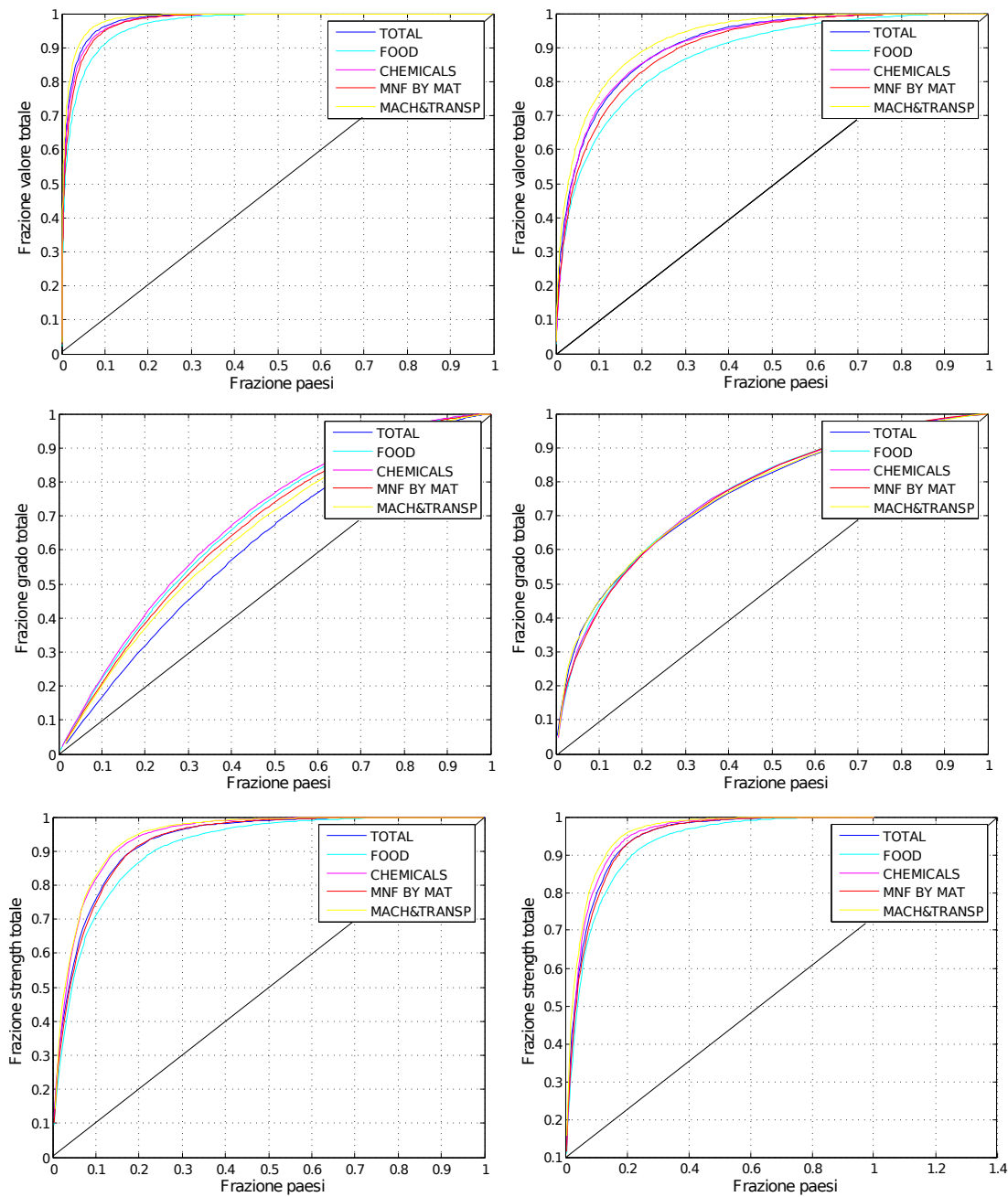


Figura 5.4: **Concentrazione del valore dei link, del grado e della *strength* dei paesi** nelle reti originali (a sinistra) e filtrate (a destra). In ciascun diagramma, l'ordinata in corrispondenza dell'ascissa x è la somma del valore (o grado, o *strength*) della frazione x di link (o paesi) con valore (o grado, o *strength*) più elevato. L'area tra la curva e la bisettrice è proporzionale al coefficiente di Gini. Le figure aiutano a capire quanto le reti si caratterizzano per una forte concentrazione del valore e della *strength* e in misura inferiore del grado. In particolare è evidente l'effetto del filtraggio: riduce la concentrazione del peso dei link in quanto elimina molti link poco significativi e marginali in valore assoluto; aumenta la concentrazione del grado e lascia sostanzialmente invariata la concentrazione delle *strengths*.

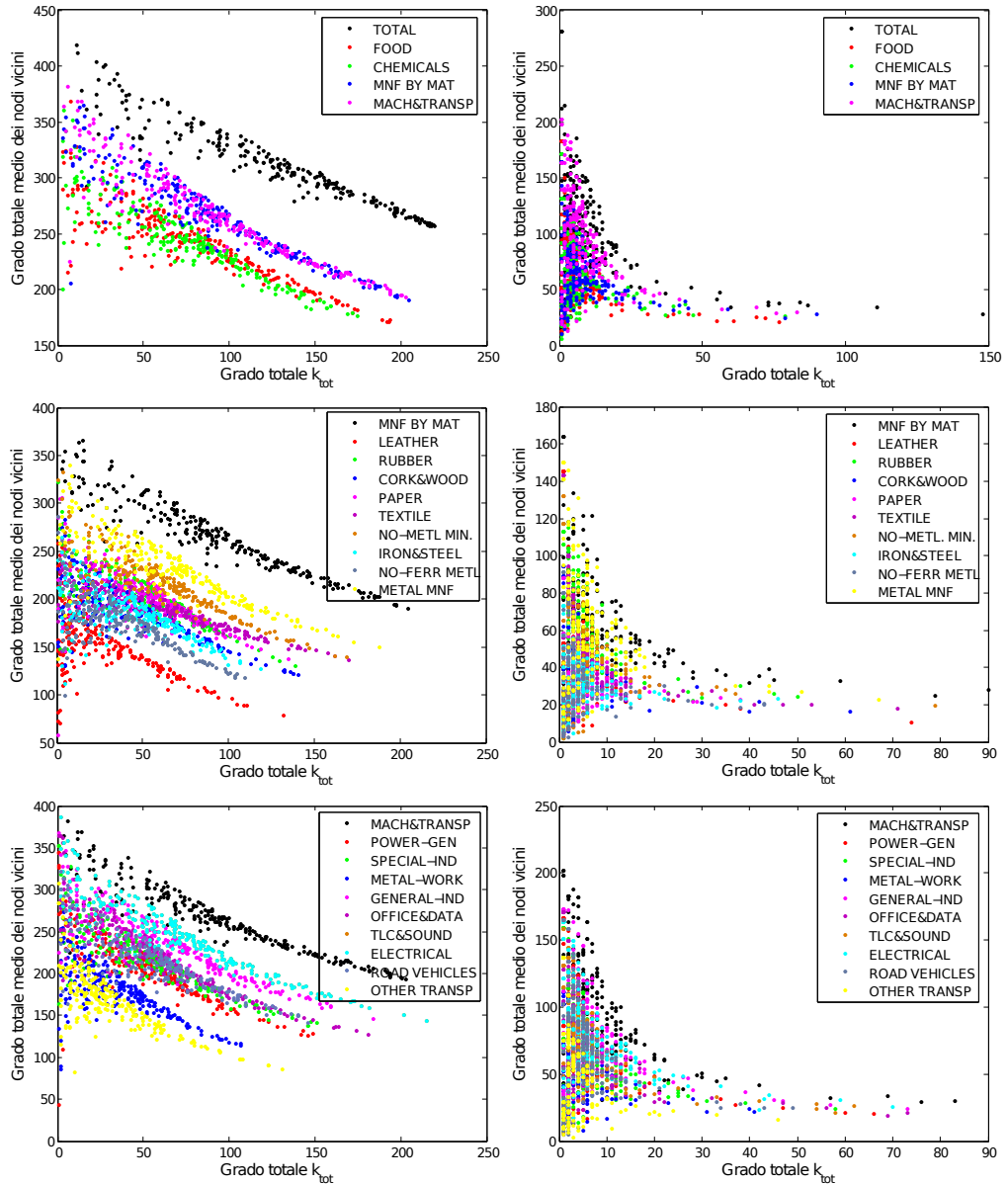


Figura 5.5: Correlazione tra grado totale e grado totale dei paesi vicini nelle reti originali (a sinistra) e filtrate (a destra). La figura mostra come in tutte le reti, da quella aggregata (TOTAL) a quelle settoriali più fini, il grado totale e il grado totale dei paesi vicini sia correlata negativamente; il filtraggio modifica la forma funzionale della relazione poiché riducendo drasticamente il grado dei nodi della rete fa sì che nodi con grado totale basso, prima connessi preferenzialmente a nodi con grado alto, ora siano connessi anche con nodi che hanno mediamente un grado basso.

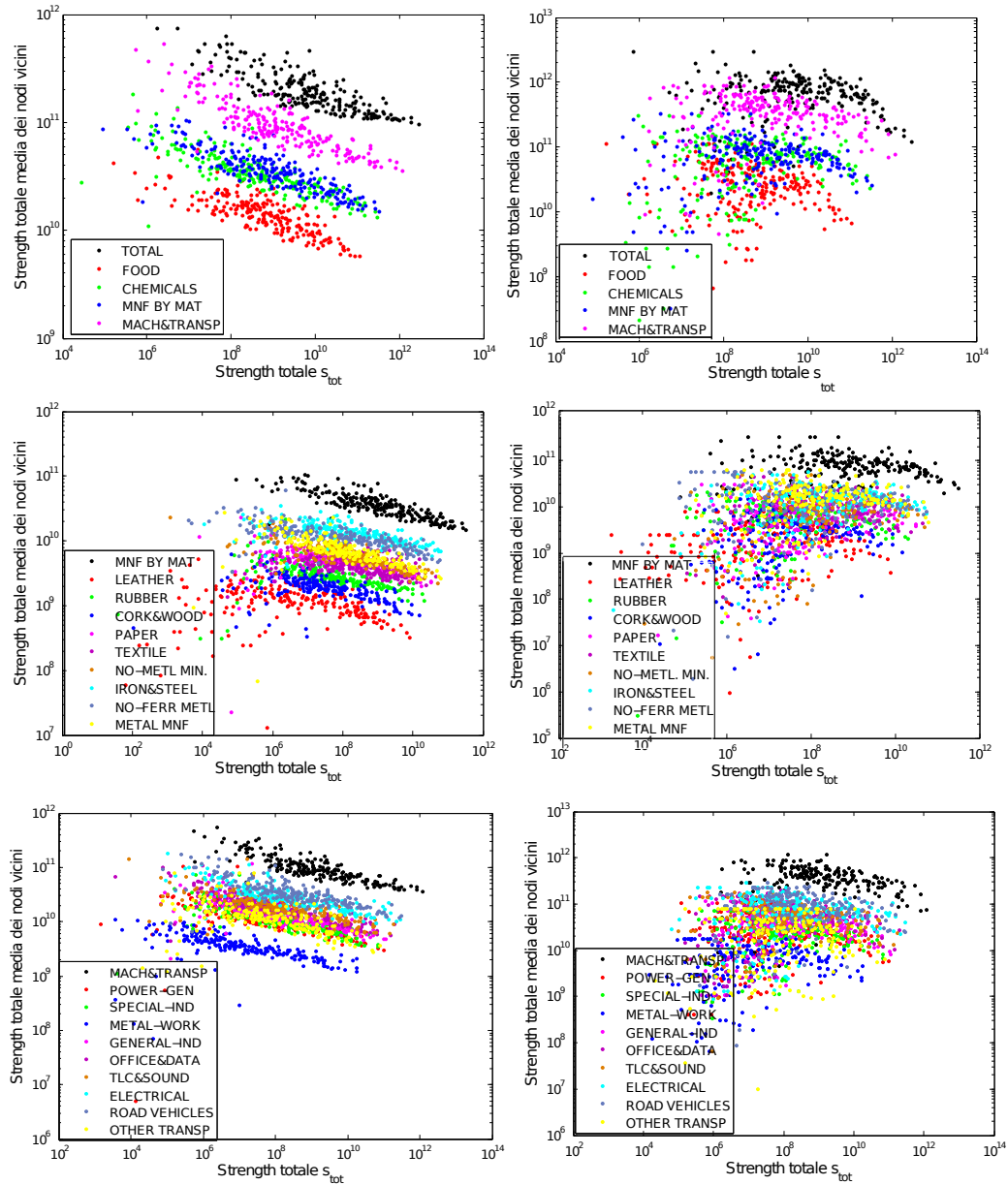


Figura 5.6: Correlazione tra *strength* totale e *strength* totale dei paesi vicini nella reti originali (a sinistra) e filtrate (a destra). La figura mostra come in tutte le reti, da quella aggregata (TOTAL) a quelle settoriali più fini, la *strength* totale e la *strength* totale dei paesi vicini sia correlata negativamente; il filtraggio riduce in qualche misura questa evidenza.

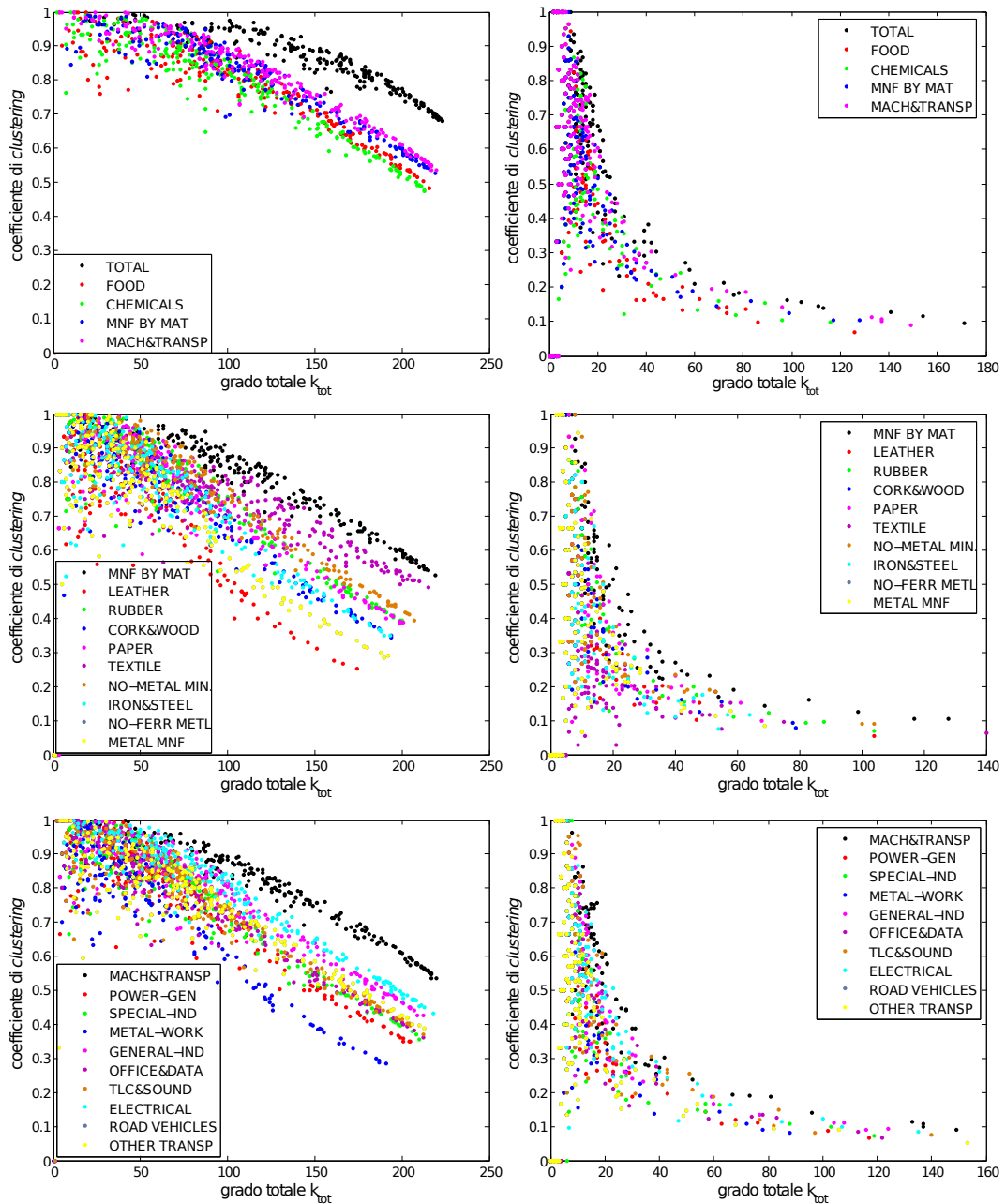


Figura 5.7: Correlazione tra coefficiente di *clustering* locale e grado nella reti originali (a sinistra) e filtrate (a destra). La figura mostra come in tutte le reti, da quella aggregata (TOTAL) a quelle settoriali più fini, il coefficiente di clustering locale sia correlato negativamente al grado dei paesi. E' possibile inoltre notare come il filtraggio della rete preservi la correlazione negativa tra il coefficiente di clustering e il grado, facendo però perdere la linearità della relazione.

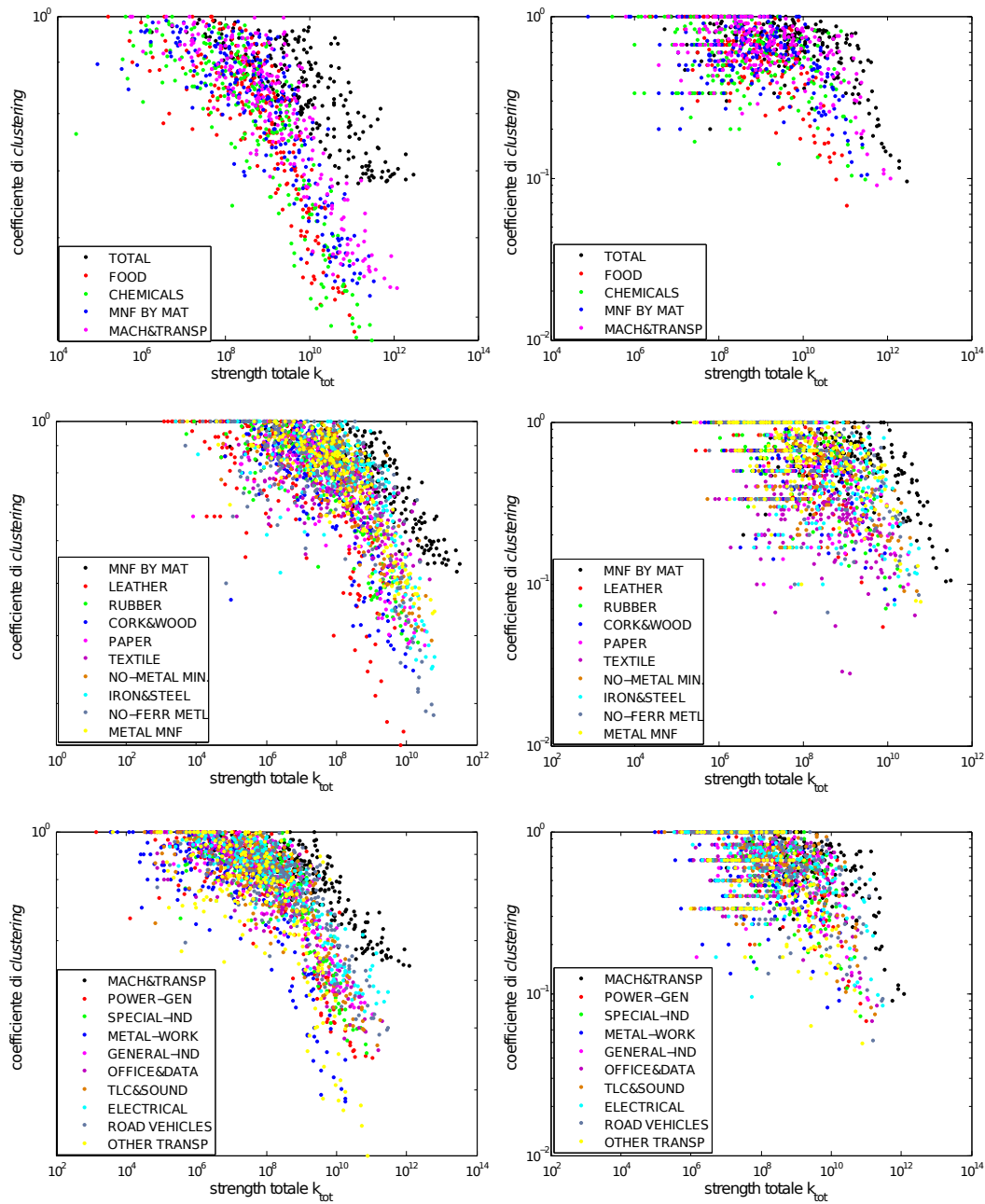


Figura 5.8: **Correlazione tra coefficiente di clustering locale e strength** nella reti originali (a sinistra) e filtrate (a destra). La figura mostra come in tutte le reti, da quella aggregata (TOTAL) a quelle settoriali più fini, il coefficiente di clustering locale sia correlato negativamente alla strength dei paesi. E' possibile anche qui notare come il filtraggio della rete preservi la correlazione negativa tra il coefficiente di clustering e la strength.

5.5 Analisi di comunità

La presente sezione è dedicata all'analisi della struttura in comunità delle reti di cui sono state discusse le caratteristiche generali nelle sezioni precedenti.

L'analisi di comunità si compone di tre fasi:

1. Scelta della partizione
2. Individuazione e scelta delle comunità e pseudo-comunità più significative
3. Analisi delle comunità e pseudo-comunità scelte al passo 2 attraverso
 - Indicatori di significatività
 - Rappresentazione grafica

I passi 1 e 2 sono schematicamente rappresentati con un esempio relativo al settore TLC&SOUND nella Figura 5.9. Nell'applicare la metodologia LMC (*lumped Markov chains*) per l'individuazione e la valutazione delle comunità presentata nel Capitolo 2, sono state eseguite una serie di operazioni: costruzione del dendrogramma (a), generazione del diagramma delle probabilità di persistenza delle sotto-reti per ciascuna partizione generata dal dendrogramma (b), individuazione della partizione (c, d) e individuazione e classificazione delle sotto-reti come comunità e pseudo-comunità significative (e). Ogni settore è stato analizzato secondo questo schema. Per semplificare l'esposizione, il materiale grafico relativo a ciascun settore è predisposto in Appendice.

La scelta delle comunità e pseudo-comunità si basa sulla fissazione di una soglia per due indicatori di significatività delle sotto-reti: la probabilità di persistenza e la *strength* interna media (la definizione è stata data nel paragrafo 2.2.2). Si è scelto di applicare delle soglie che permettessero di selezionare le comunità e le pseudo-comunità valutabili come *fortemente* e *debolmente* significative. Nella Figura 5.10 è riportato lo schema che permette di distinguere le comunità e le pseudo-comunità significative in base alla combinazione ottenuta dei valori dei due indicatori.

In generale è possibile fare una distinzione tra comunità *forti* e *deboli* sulla base delle probabilità di persistenza associate: se a una comunità è associata una probabilità di persistenza superiore a 0.5, cioè c'è più di una possibilità su due che il *random walker* rimanga all'interno della comunità se parte da un nodo interno ad essa, allora questa è giudicabile come comunità perché gli scambi preferenziali interni sono abbastanza significativi (in termini relativi) da rendere questa sotto-rete più intensamente connessa rispetto a quanto gli stessi membri lo sono con

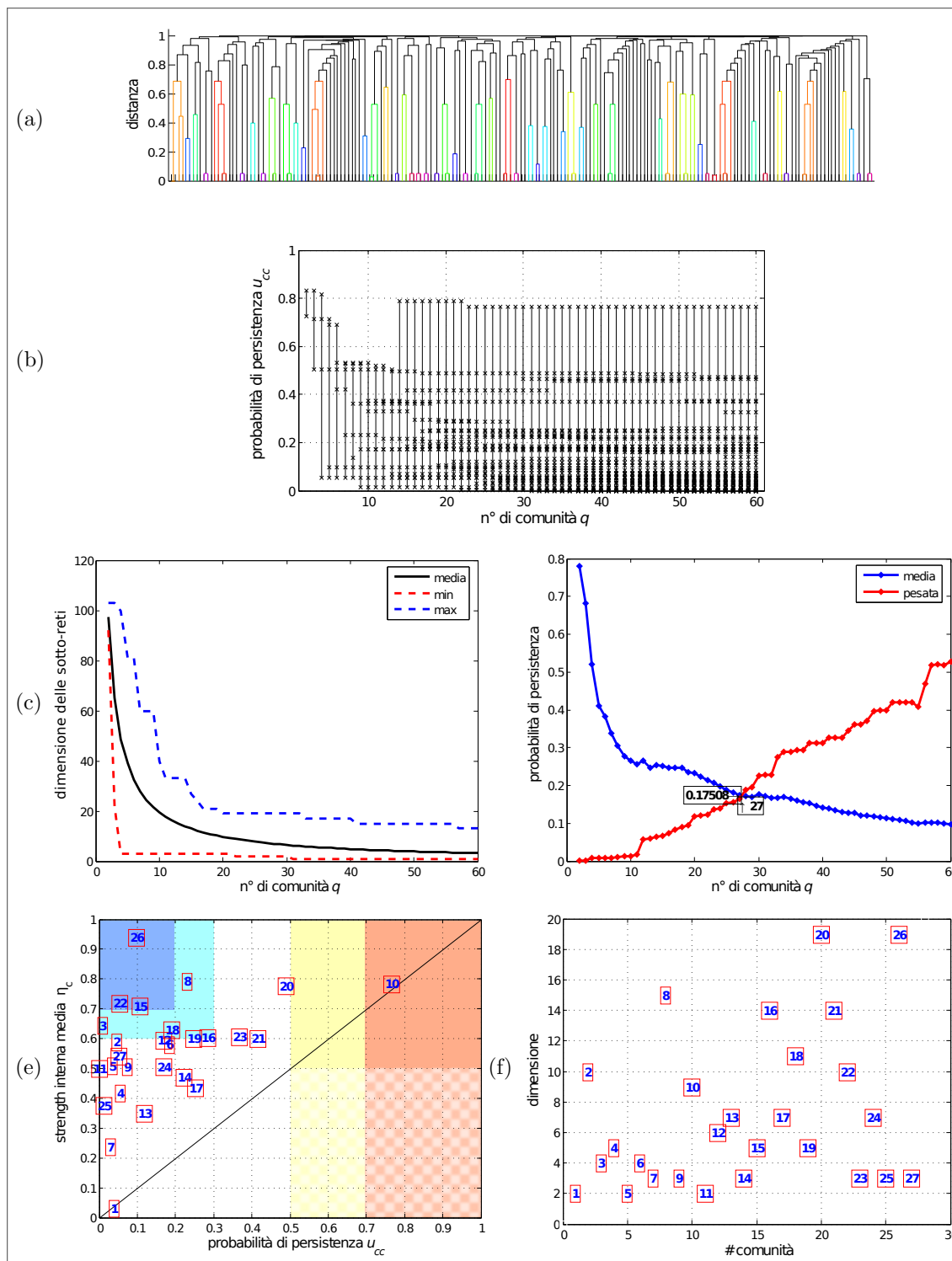


Figura 5.9: L'individuazione e la classificazione delle comunità e pseudo-comunità: un esempio (settore TLC&SOUND)

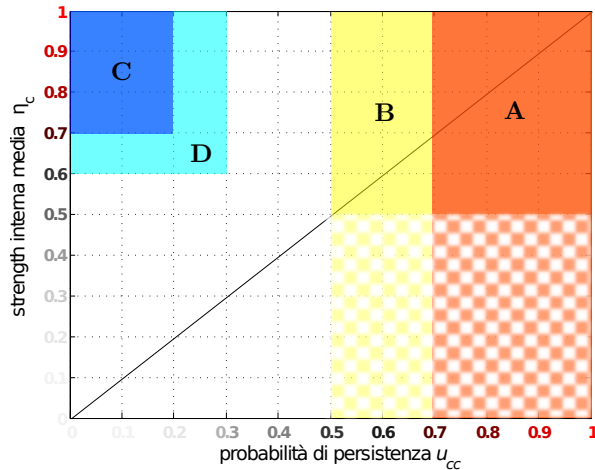


Figura 5.10: **La classificazione delle sotto-reti.** (A) comunità significative forti, (B) comunità significative deboli, (C) pseudo-comunità significative forti, (D) pseudo-comunità significative deboli.

il resto della rete. Ma se si fissa una soglia più alta avremo comunità più forti nel senso che sarà sempre minore la probabilità di uscire da esse; pertanto ciò significa che tutti i paesi membri interagiscono tra loro con scambi preferenziali molto più significativi di quanto essi abbiano con tutto il resto della rete. Le pseudo-comunità sono invece tanto più forti quanto più è bassa la probabilità di persistenza e quanto più è elevata la *strength* interna media.

Per come è stata definita la dinamica del *random walker* sulla rete, e cioè sulla base delle esportazioni preferenziali (vedi modello al paragrafo 2.2.1), quelle che sono portate in evidenza dall'analisi di comunità delle reti settoriali sono comunità da intendersi come mercati di esportazione preferenziale e non necessariamente anche come fonti di importazione preferenziale per i paesi membri della comunità. Pertanto non sempre le comunità individuate sono negli effetti gruppi significativamente isolati dal resto del sistema sia dal lato importazioni che dal lato esportazioni.

Infine per ogni settore sono state rappresentate le sotto-reti relative alle comunità e pseudo-comunità e di queste sono stati calcolati alcuni indicatori di significatività oltre alla probabilità di persistenza e alla *strength* interna media: il numero di paesi, la densità, il coefficiente di *clustering*, la quota di esportazioni interne alla sotto-rete (valore delle esportazioni tra i paesi membri della sotto-rete rispetto al valore delle esportazioni complessive dei paesi membri), la quota di importazioni interne alla sotto-rete (valore delle importazioni tra i paesi membri della sotto-rete rispetto al valore delle importazioni complessive dei paesi membri) e infine il valore assoluto associato allo scambio interno (somma dei pesi dei link interni).

Questi indicatori contribuiscono a definire la significatività delle sotto-reti dal punto di vista non solo dell'analisi di rete ma anche economico.

5.5.1 Identificazione e valutazione delle comunità

Nella rete TOTAL è stata individuata una sola grande sotto-rete valutata come comunità debole. Tenendo conto di come questa comunità sia anche ben integrata al resto del sistema tramite legami preferenziali provenienti dal resto del rete, si ottiene un risultato in linea con quanto evidenziato da Piccardi e Tajoli (articolo sottoposto) per la rete rappresentativa dei flussi di scambio aggregati e cioè che non c'è evidenza per questa rete di una struttura comunitaria ben definita per l'intera rete.

Se le singole reti settoriali vengono confrontate con il risultato appena discusso emerge che lo schema di scambio dei paesi in specifiche categorie di beni è ben più articolato: vi sono settori come ad esempio CHEMICALS, RUBBER, PAPER, TEXTILE, MNF OF METALS, SPECIAL-IND MACH, GENERAL-IND MACH, ELECTRICAL MACH e ROAD VEHICLES che presentano dalle cinque alle dodici comunità significative mentre ci sono casi in cui ve ne sono solo una o due, come per i settori LEATHER, NO-FERROUS METALS, POWER-GEN MACH, METAL-WORK MACH, OFFICE&DATA, TLC & SOUND e OTHER TRANSP che però presentano molte pseudo-comunità, cioè sembra più forte in queste reti la gerarchizzazione dei rapporti di scambio.

Questa sola evidenza porta a dire che osservare i flussi relativi a singole categorie settoriali, seppur comprensive anch'esse di una grande varietà di beni, porta risultati nuovi rispetto all'analisi condotta sui soli flussi aggregati. In particolare fa emergere l'esistenza di strutture comunitarie, laddove la scelta dei paesi relativa a un certo tipo di beni cada su un determinato sotto-insieme di paesi, tale da ridurre i confini entro cui si realizza lo scambio, oppure l'esistenza di rapporti preferenziali molto significativi (quote elevate delle proprie esportazioni/importazioni) con un determinato paese (pseudo-comunità). Nel caso dei flussi aggregati questa evidenza non c'è poichè verosimilmente i paesi, quando si considerano tutti i possibili beni che essi scambiano, non rivolgono la propria preferenza ad uno o pochi paesi ma guardano a più mercati o più fonti di importazione, al limite tanti quanti sono le specifiche categorie settoriali oggetto di scambio, per l'esistenza di vantaggi comparati diversi (paesi diversi) al variare del bene considerato.

C'è da dire che la varietà dei casi esaminati è tale da non permetterne una presentazione esaustiva. Saranno pertanto presentati in dettaglio solo alcuni casi,

quelli reputati più interessanti per discutere alcuni degli schemi di scambio che si incontrano analizzando specifici settori. Per il lettore che è interessato a visionare tutti i risultati questi sono stati riportati sinteticamente in Appendice.

Esaminando la struttura delle sotto-reti in cui sono partizionate le reti relative ai settori CHEMICALS, ELECTRICAL MACH e PAPER (vedi Figure 5.11, 5.12 e 5.13) ci si accorge subito della varietà con cui i paesi organizzano i propri scambi all'interno delle sotto-reti, con strutture in alcuni casi multicentriche relativamente dense e coese e in altri gerarchizzate attorno a uno o pochi paesi e scarsamente coese. Sembra dunque che i paesi scelgano in alcuni casi di esportare prevalentemente ad un solo paese che, nel momento in cui diventa mercato di esportazione preferenziale per una moltitudine di altri paesi, assume una posizione di centralità locale. In altri casi invece si riscontra una maggiore complessità dell'architettura dei flussi poiché non emerge tra gli altri un unico polo su cui sono indirizzati i flussi di esportazione relativamente più significativi, ma i paesi distribuiscono le proprie esportazioni su più mercati, sia interni alla sotto-rete, che sono anche quelli più significativi nei propri profili di esportazione, ma anche esterni alla sotto-rete, seppur in misura meno significativa, che danno luogo a scambi con le altre sotto-reti.

In questi settori, CHEMICALS, ELECTRICAL MACH e PAPER, alcune delle sotto-reti mostrate nelle Figure 5.11, 5.12 e 5.13 sono comunità significative, come mercati di esportazione preferenziale e in alcuni casi anche come fonti di importazione preferenziale. Pertanto in tali settori vi sono casi in cui i paesi organizzano i propri scambi entro confini più ristretti. Ad esempio, per i settori PAPER e CHEMICALS, non è inverosimile che: i mercati per questi prodotti non siano concentrati su pochi paesi; la tecnologia è diffusa e l'impatto dei costi di scambio (p.e. costi di trasporto) rispetto al valore unitario è elevato. Questi elementi possono contribuire alla definizione delle comunità individuate e cioè alla formazione di gruppi di paesi che scelgono di scambiare preferenzialmente all'interno di un sistema confinato poiché evidentemente è più conveniente rispetto all'intrattenere scambi più "estesi". L'evidenza per il settore ELECTRICAL MACH è di più difficile interpretazione poiché i flussi fanno riferimento a una varietà così estesa di beni (dalle grandi macchine per la produzione di energia alle infrastrutture per la sua distribuzione, ai beni ad uso domestico) per cui, le motivazioni che sono dietro all'evidenza delle comunità, non sono del tutto chiare a questo livello di aggregazione. Vedremo successivamente il dettaglio su queste comunità.

Si confrontino ora le strutture delle sotto-reti di altri due settori, NO-FERROUS METALS e OFFICE & DATA. Queste reti, come si può vedere dalle Figure 5.14

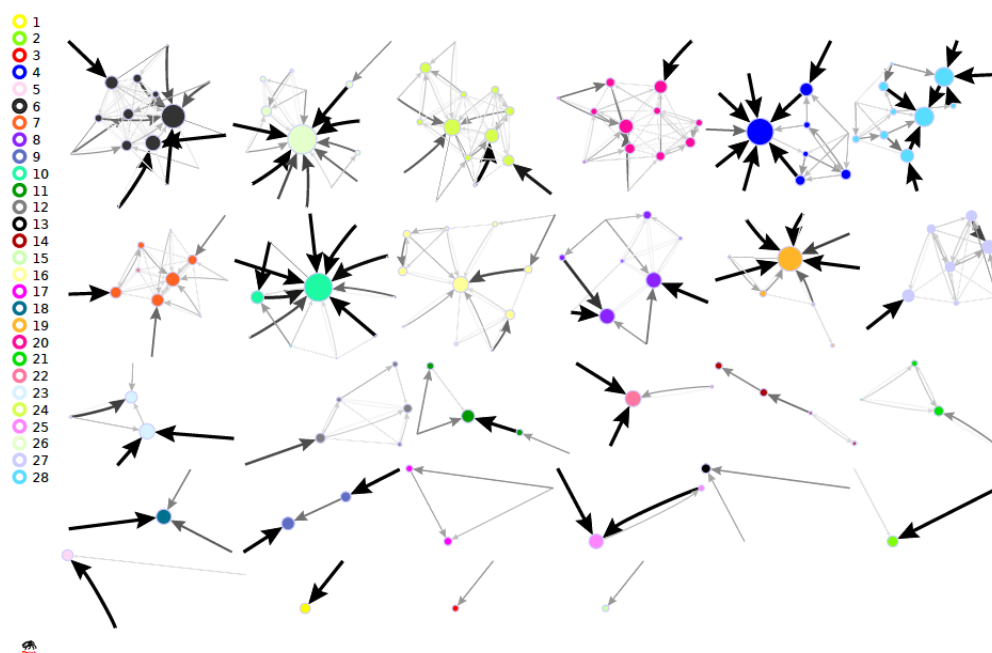


Figura 5.11: **Partizione della rete CHEMICALS**: la struttura delle sotto-reti. I nodi delle sotto-reti rappresentano i paesi e la loro dimensione è proporzionale alla loro *in-strength* mentre i link rappresentano le esportazioni relative del generico paese i diretta al generico paese j ; l'intensità del grigio dei link è proporzionale al loro valore ed è normalizzato rispetto al massimo valore nella rete (e non nella comunità).

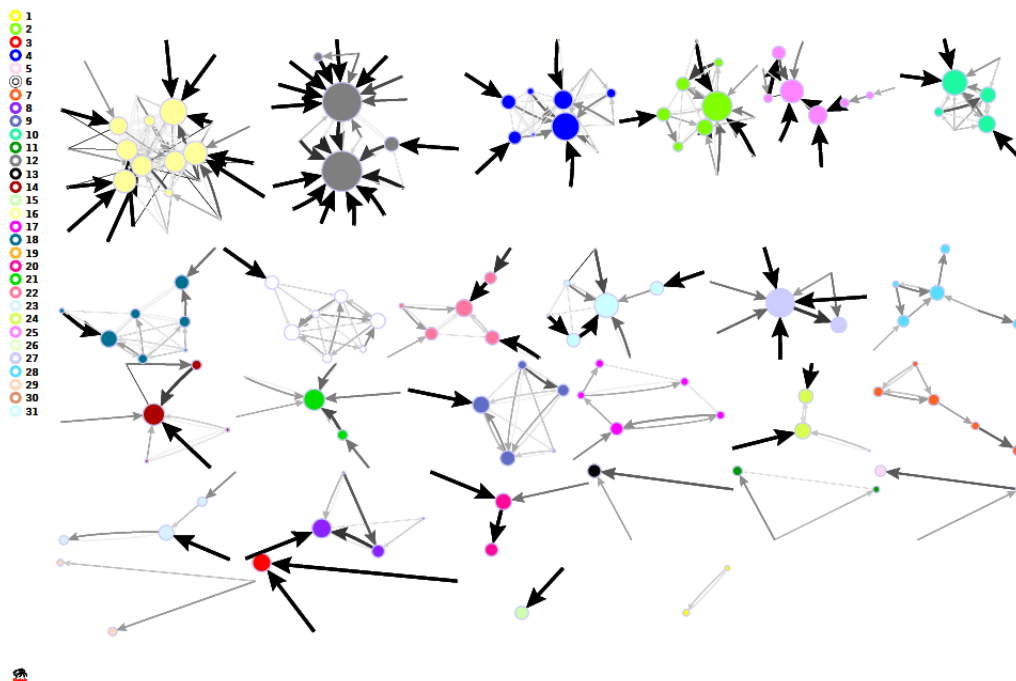


Figura 5.12: Partizione della rete ELECTRICAL MACH.

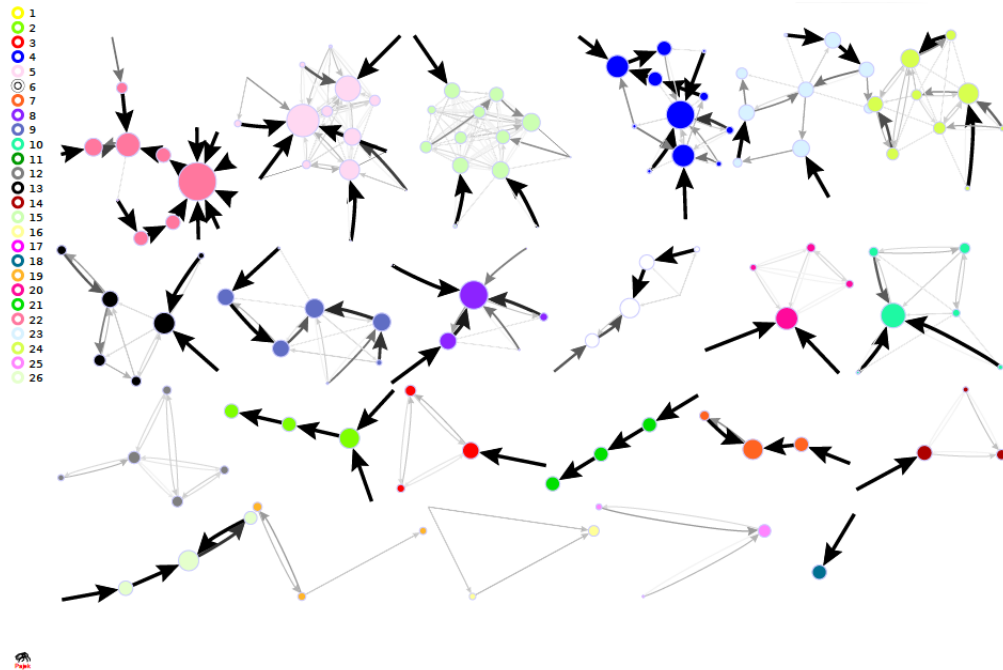


Figura 5.13: Partizione della rete PAPER.

e 5.15, a differenza dei casi discussi prima, si caratterizzano per la presenza quasi esclusiva di strutture gerarchizzate, dove i flussi di esportazione più significativi si concentrano prevalentemente attorno a un paese che in ragione di questo assume una posizione centrale almeno per la singola sotto-rete.

Questi settori si caratterizzano per un'ampia presenza di pseudo-comunità che, è stato già osservato, si caratterizzano per una forte gerarchia nell'organizzazione degli scambi. Come prima, questi settori sono molto distanti tra loro per tipologia di beni scambiati, il primo si può dire che non sia neppure un settore manifatturiero, seppur classificato come tale, in quanto è rappresentativo degli scambi di materia prima quale alluminio, zinco, titanio e altri metalli non ferrosi, lavorati e non lavorati. OFFICE & DATA è un settore manifatturiero i cui prodotti sono complessi (cioè costituiti da molte parti) e intensivi di lavoro per la produzione. L'evidenza mostrata dalla struttura delle sotto-reti della partizione può essere interpretata in due modi: la disponibilità delle materie prime determina l'origine dei flussi che sono diretti principalmente verso quei paesi che si servono delle materie prime per successive applicazioni industriali, dove cioè è più grande l'industria per la trasformazione o la produzione di beni basati su quella materia prima (NO-FERROUS METALS); oppure è la disponibilità di lavoro non qualificato per l'esecuzione di determinate fasi per la produzione di parti e componenti a determinare l'origine di alcuni flussi, diretti questa volta verso quei paesi che

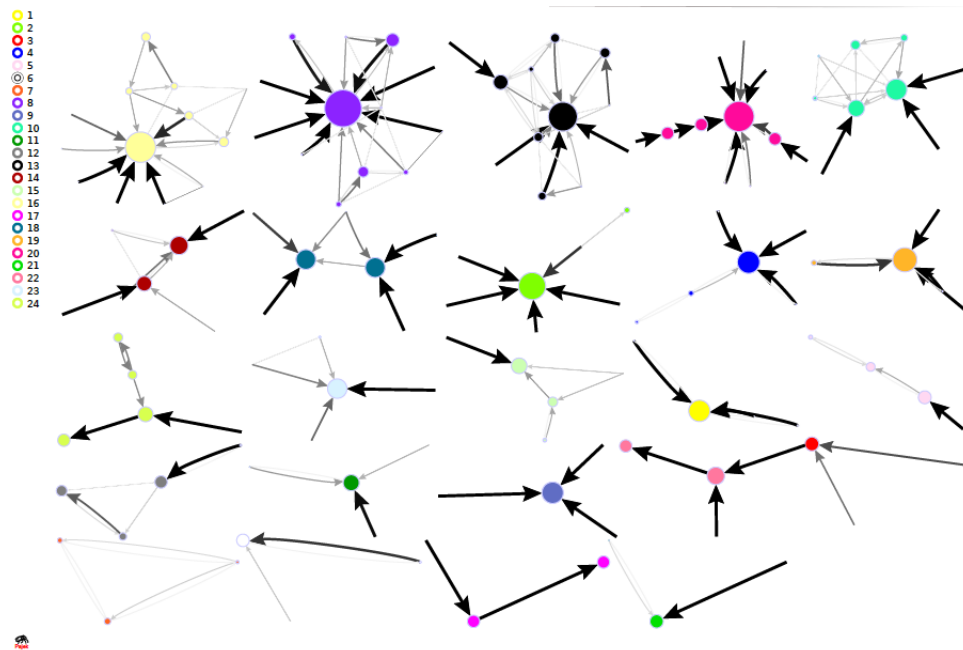


Figura 5.14: Partizione della rete NO-FERROUS METALS.

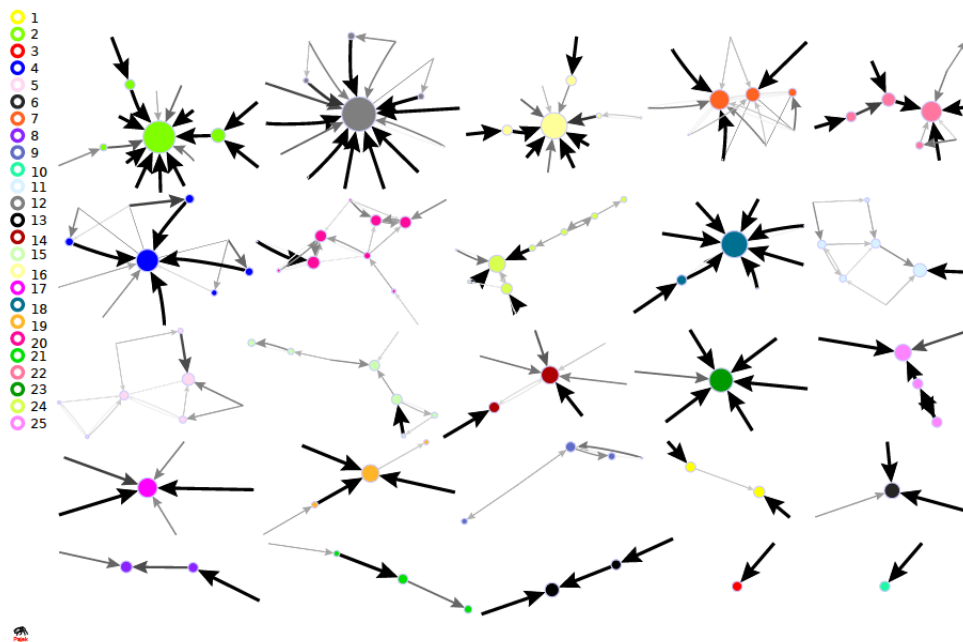


Figura 5.15: Partizione della rete OFFICE & DATA.

assemblano parti e componenti. Ed è infine da questi che si originano i flussi verso quei paesi dove vi sono i mercati per i prodotti finiti (OFFICE & DATA).

E' possibile stabilire anche solo visivamente in che rapporto sono in generale le sotto-reti e cioè se tra di esse emergano una o più sotto-reti più centrali di altre, in quanto su di esse, e quindi su almeno un paese tra i loro membri, sono concentrati i flussi provenienti dalle altre sotto-reti. Ad esempio, osservando le Figure 5.16 e 5.17 si può notare che le sotto-reti non individuano gruppi di paesi isolati nelle esportazioni come anche nelle importazioni rispetto al resto della rete ma queste in prevalenza concentrano le proprie esportazioni su poche altre sotto-reti mentre da queste ultime partono flussi di esportazione molto più polverizzati verso il resto del sistema (meno concentrati verso specifiche sotto-reti).

Queste immagini offrono quindi un'importante indicazione di come si realizza l' "integrazione" nel sistema degli scambi, perlomeno osservando come sono organizzati gli scambi preferenziali di ciascuna sotto-rete e cioè considerando i flussi relativamente più significativi dal lato delle esportazioni nel profilo di ciascuna di esse, profilo che è "rappresentativo" di quello dei paesi che ne fanno parte. La centralità di alcune sotto-reti è lo specchio di come vi siano paesi (all'interno delle sotto-reti) su cui convergono molti dei flussi dal resto del sistema, e tale centralità (come mercati di esportazione preferenziale) non può che essere giustificata dall'esistenza di mercati molto grandi o di modalità di organizzazione della produzione che prevedono la frammentazione di alcune fasi di produzione, laddove c'è bisogno di lavoro non qualificato e di tecnologie diffuse, e la concentrazione di altre, laddove sono previste tecnologie non diffuse o la presenza di lavoro qualificato. Tanto è più forte questa evidenza, e cioè che gli scambi siano guidati dalla "forza" di alcuni paesi nei termini discussi sopra, tanto è meno probabile che si venga a costituire una struttura comunitaria ben definita, così come intesa in questo lavoro, se non nella forma di grandi nuclei costruiti attorno alle economie più centrali.

L'evidenza della centralità di alcune sotto-reti vale per tutti i settori analizzati e a seconda del settore che si considera (vedi Appendice). Vi sono settori come LEATHER, PAPER, CORK&WOOD, IRON&STEEL e OTHER TRANSP dove i flussi si concentrano in particolare su un'unica sotto-rete mentre in tutti gli altri casi vi è sempre un numero molto limitato di paesi dove si concentrano i flussi provenienti dal resto della rete e in particolare da quei paesi, laddove siano presenti, che sono centrali localmente a livello di singola sotto-rete.

E' a questo punto interessante capire qualcosa di più sulle comunità e pseudo-

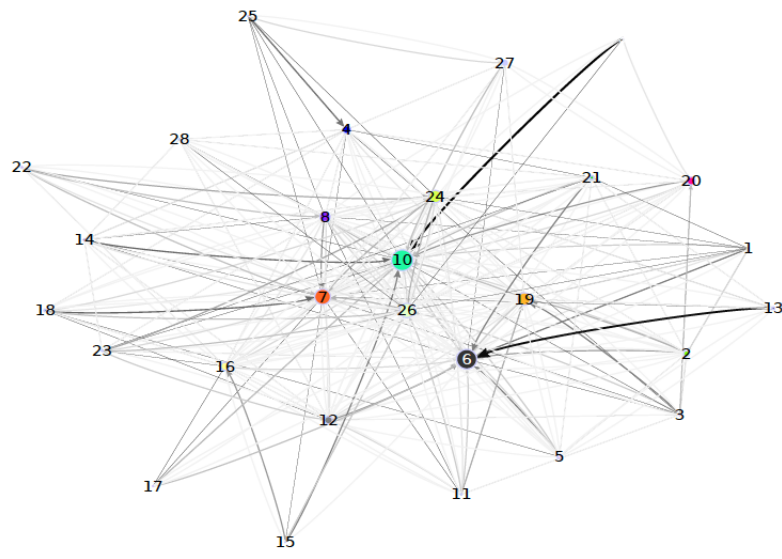


Figura 5.16: **La meta-rete del settore CHEMICALS.** E' in evidenza come la comunità dove sono presenti gli Stati Uniti (#2) sia al centro degli scambi con gli altri paesi. I nodi della rete rappresentano le sotto-reti e la loro dimensione è proporzionale alla loro *in-strength* mentre i link rappresentano le esportazioni relative della generica sotto-rete i diretta alla generica sotto-rete j ; l'intensità del grigio dei link è proporzionale al loro valore ed è normalizzato rispetto al massimo valore nella rete.

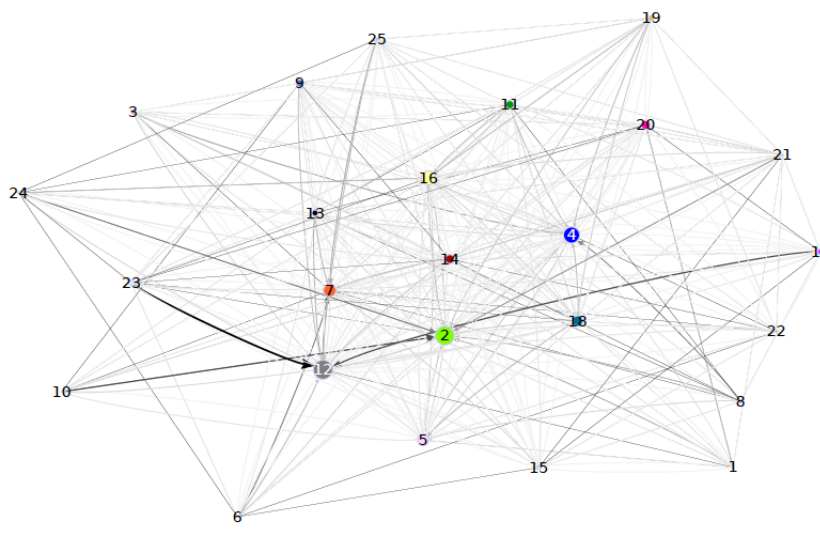


Figura 5.17: La meta-rete del settore OFFICE & DATA.

#	u_{cc}	η_c	N_c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
2	0.87	0.82	12	0.32	0.56	0.82	0.22	1.808
10	0.71	0.82	9	0.42	0.51	0.74	0.14	0.479
16	0.69	0.82	26	0.22	0.60	0.68	0.77	359.700
6	0.65	0.70	8	0.64	0.70	0.70	0.14	0.924
9	0.54	0.70	6	0.67	0.69	0.44	0.11	0.840
18	0.19	0.60	8	0.54	0.66	0.13	0.13	1.144
25	0.08	0.66	11	0.22	0.25	0.02	0.01	0.341
3	0.00	0.67	3	0.67	0.00	0.00	0.00	0.002

Tabella 5.7: Indicatori delle comunità e pseudo-comunità del settore ELECTRICAL MACH

comunità e quali caratteristiche ad esse associate possono essere ricondotte alla spiegazione del perché si vengano a creare delle strutture di questo tipo.

La Tabella 5.7 mostra come le sotto-reti individuate per il settore ELECTRICAL MACH (vedi Figura 5.18) presentino tutte una densità superiore a quella media della rete filtrata (0.05) e in alcuni casi anche un grado di coesione superiore a quello medio per la rete (0.55). Si nota inoltre come quelle che sono valutate come comunità (con $u_{cc} > 0.5$), sia forti che deboli, costituiscono il mercato di destinazione preferenziale per i paesi che ne fanno parte e, nel caso della comunità #16, anche la fonte di importazione preferenziale. Questa comunità scambia al suo interno un valore pari a circa il 30% degli scambi dell'intero sistema.

La Figura 5.19 mostra le comunità significative del settore. La comunità #16 è formata da tutti i paesi dell'Asia dell'Est, ma come questa anche le altre si caratterizzano per scambi multilaterali tra la gran parte dei paesi membri. La prima considerazione e forse la più semplice da fare ma anche la più significativa è che, a parte qualche isolata eccezione, le comunità sono formate tutte da paesi vicini geograficamente, culturalmente e linguisticamente, fanno parte in alcuni casi di accordi commerciali regionali (per esempio ASEAN e MERCOSUR) o hanno in comune passati rapporti di natura politica (ex Unione Sovietica). Ovviamente ricondurre questa evidenza alle caratteristiche del settore è cosa ardua: il settore comprende una varietà di beni molto ampia, che va dalle macchine elettriche di consumo ad uso domestico all'elettrificazione di una linea ferroviaria, oltre a tutto ciò che ha a che vedere con la produzione e la distribuzione di energia elettrica. Sicuramente l'intensità dei rapporti tra i paesi dell'Asia dell'Est è da ricondursi all'incredibile sviluppo industriale di quei paesi, a parte il Giappone, verificatasi

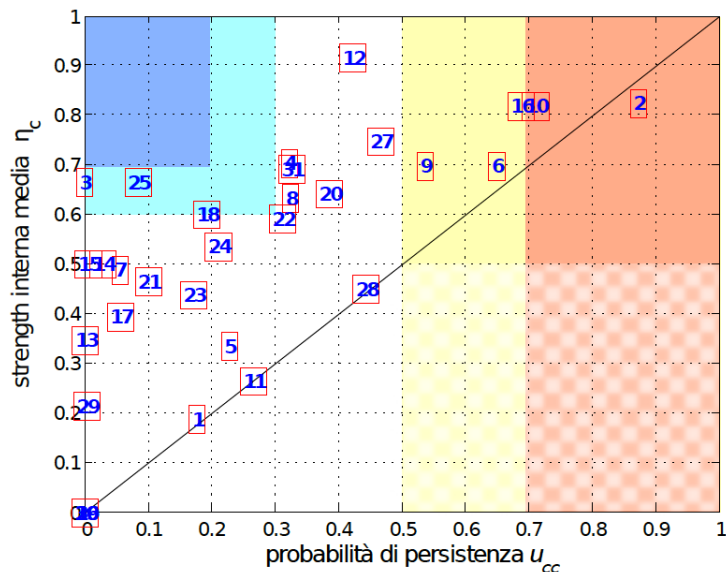


Figura 5.18: Individuazione delle comunità e pseudo-comunità significative per il settore ELECTRICAL MACH

nell'ultimo decennio e si ricorda che i dati fanno riferimento all'anno 2006, anno in cui i paesi emergenti crescevano a tassi molti alti rispetto al resto del mondo. Infatti l'elettrificazione e il consumo di prodotti elettrici va di pari passo con l'industrializzazione e l'urbanizzazione dei territori.

Tra tutti gli aspetti che è possibile esplorare quello che più interessa è che, considerando questa particolare categoria industriale piuttosto che i flussi aggregati, il sistema è costituito da alcuni gruppi di paesi più intensamente connessi rispetto al resto del sistema e una delle basi per la formazione di queste comunità è sicuramente la vicinanza geografica, culturale e linguistica, che sicuramente facilita lo scambio di beni in un mondo caratterizzato da attriti allo scambio. Infatti, nell'ipotesi che il vantaggio comparato nella produzione di determinati beni porterebbe un solo paese a produrre per il resto del mondo, a condizione che abbia la capacità produttiva sufficiente per farlo, perché dovrebbero coesistere più paesi che producono contemporaneamente gli stessi beni per servire diverse zone del mondo? Se si segue l'idea di Eaton e Kortum (2002) sarebbero i costi di scambio a creare le condizioni per cui più paesi produttori di uno stesso bene possano contemporaneamente sopravvivere in un contesto di apertura agli scambi. Si tenga presente infatti che il settore ELECTRICAL MACH vede tra i paesi maggiori esportatori e importatori anche gli Stati Uniti e la Germania che quindi scambiano diffusamente con il resto del mondo servendo però altri paesi e anche quelli appartenenti alla comunità #16, anche se in misura tale da non essere per questi la principale fonte di importazioni. L'evidenza portata da queste comunità

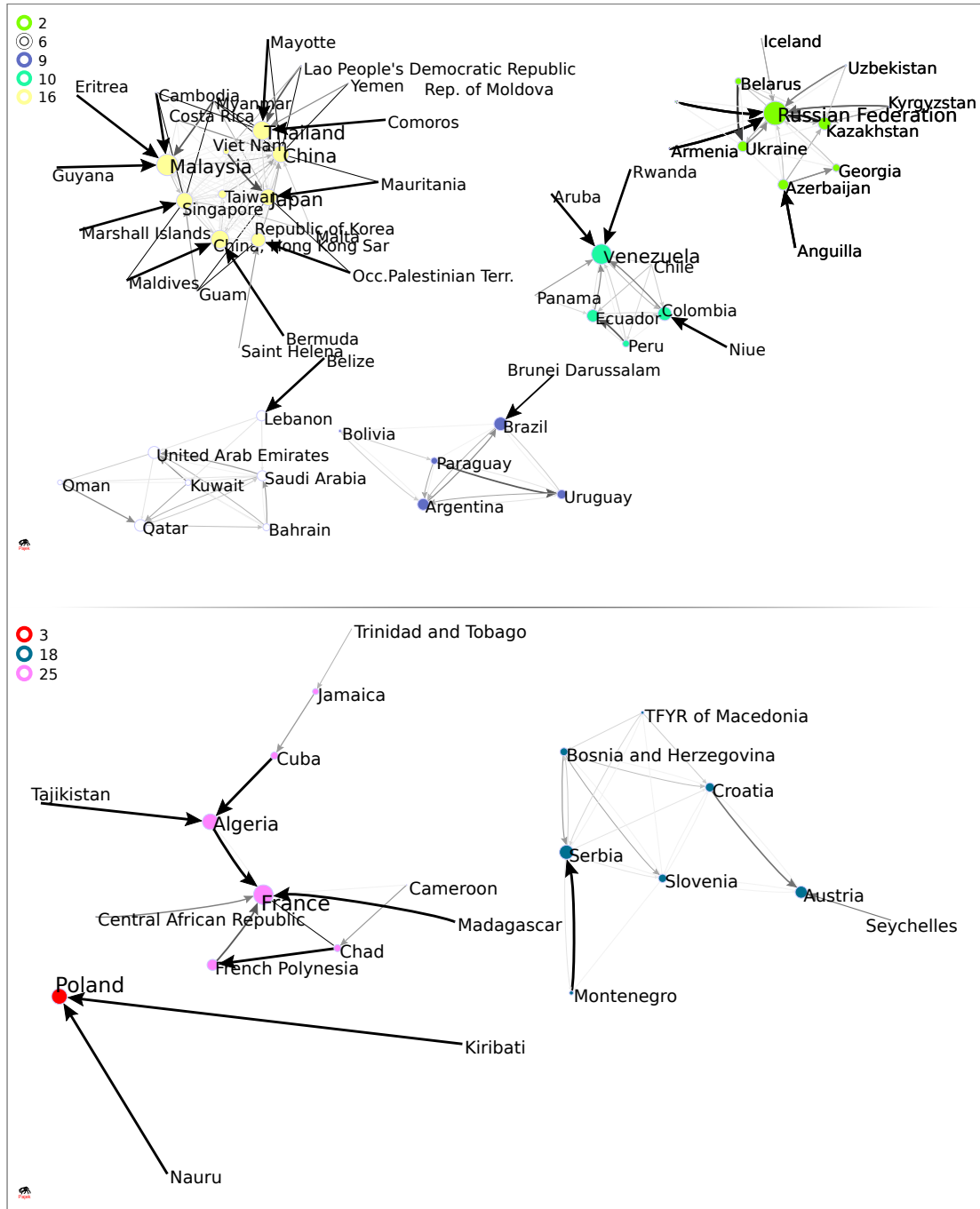


Figura 5.19: Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore ELECTRICAL MACH.

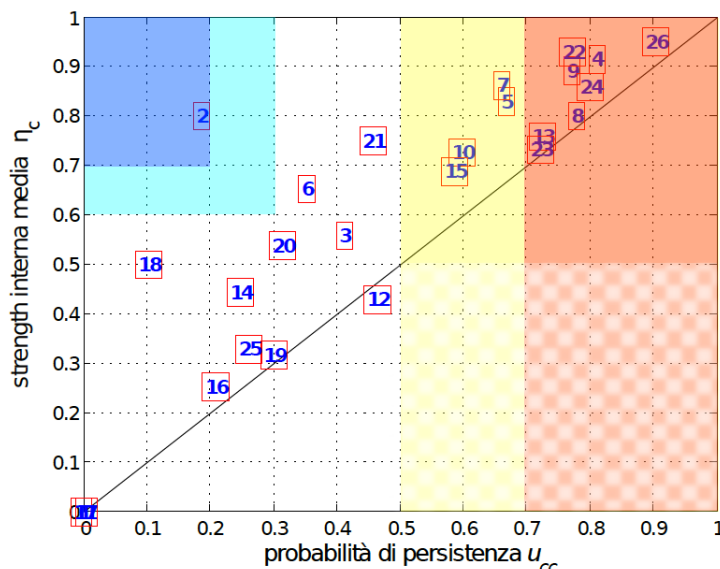


Figura 5.20: Individuazione delle comunità e pseudo-comunità significative per il settore PAPER

dunque sembra confermare l'ipotesi che in presenza di costi di scambio la scelta dei partner preferenziali non è casuale ma determinata dalla forza dell'attrito allo scambio e dalla diffusione tra i paesi di tecnologie efficienti in funzione del tipo di bene che si sta considerando.

Cerchiamo dunque una conferma a questa osservazione analizzando nel dettaglio anche altri settori, in questo caso il settore PAPER. La Figura 5.21 non smentisce quanto detto precedentemente sul ruolo rivestito dalla vicinanza dei paesi nel favorire gli scambi. Anche in questo caso infatti, e con maggiore evidenza perché sono di più le comunità individuate (vedi Figura 5.20), i paesi scambiano prevalentemente con paesi relativamente più vicini. Analizzando anche i dati riportati in Tabella 5.8 si ha conferma del fatto che queste comunità sono sicuramente più dense della rete nel suo complesso (0.03) e in molti casi anche più coese rispetto al livello di coesione globale (0.43). Di nuovo le comunità individuate rappresentano sicuramente il mercato di destinazione preferenziale per le esportazioni dei paesi membri e per le comunità #24, #5 e #15 anche fonti di importazione preferenziale. Dunque anche nel caso della rete di flussi di scambio relativi a beni manufatti di carta, il sistema è endogenamente organizzato in gruppi più intensamente connessi su una base prevalentemente geografica. L'evidenza di un maggiore numero di comunità è probabilmente da ricondursi, oltre all'impatto maggiore per questo tipo di beni del costo di trasporto (visto il basso valore unitario), anche alla maggiore diffusione delle tecnologie per la produzione di tali beni che riduce la convenienza a rifornirsi o esportare in mercati lontani.

Le osservazioni in merito a queste comunità sono largamente estendibili ai restanti settori che presentano comunità significative, forti e deboli. Ognuna di esse è diversa, in dimensione e nei parametri di valutazione della significatività. Quello che più interessa è scoprire come, e i due esempi dati prima lo confermano, l'esistenza di comunità significative è una caratteristica che si riscontra sia su beni classificabili semplici come PAPER, RUBBER, CHEMICALS, IRON & STEEL, MNF OF METALS e cioè quei beni poco differenziati e poco complessi e in alcuni casi intensivi di capitale, sia su beni che al contrario sono molto complessi e differenziati come ad esempio ROAD VEHICLES ed ELECTRICAL MACH, intensivi di lavoro e di tecnologie. Le determinanti che spingono allo scambio di questi beni sono diverse come anche le possibili spiegazioni dell'evidenza di tali comunità. Ad esempio per i beni più semplici, e presumibilmente dal basso valore unitario, nella formazione delle comunità potrebbe prevalere una logica basata sui costi di scambio nella scelta, ad esempio, di scambiare preferenzialmente entro gruppi costituiti da paesi prevalentemente vicini geograficamente. Mentre nei casi dei beni complessi il risultato potrebbe essere discusso considerando come la frammentazione dei processi produttivi porti alla definizione di comunità in cui i paesi sono vicini geograficamente vista la possibile esigenza di scambiare "velocemente" (p.e. logiche JIT per la produzione delle auto). L'evidenza di come i mercati di esportazione di queste comunità siano tra loro molto vicini fa pensare a come anche la somiglianza nei gusti dei mercati finali possa costituire una determinante allo scambio intra-industriale di beni differenziati come le auto.

Ad arricchire l'interpretazione delle evidenze emerse nel corso di tale studio vi è il fatto che per molti dei settori vi è forte evidenza di pseudo-comunità. Tale evidenza vale tanto per beni come MNF of METALS, CORK & WOOD, NONMETALLIC MINERAL MNF, LEATHER (beni semplici) quanto per settori come POWER-GENERATING MACH, TLC & SOUND e OTHER TRANSP (beni complessi). In particolare il settore NO-FERROUS METALS riproduce bene quello che è facile aspettarsi da un settore che rappresenta lo scambio di materia prima destinata a una grande varietà di applicazioni negli altri comparti industriali e cioè che la materia prima disponibile in maggior misura in alcuni paesi è destinata ai mercati che ne fanno uso nell'industria o per la produzione di beni di consumo o industriali. In tal senso dunque la gerarchizzazione dei rapporti di scambio è da ricondursi principalmente alla concentrazione su alcuni paesi delle più grandi industrie e i più grandi mercati dove si fa uso di tale materia.

La Tabella 5.9 mostra come per le pseudo-comunità individuate nel settore NO - FERROUS METALS (vedi Figura 5.22), a parte due casi, #16 e #18, il livello

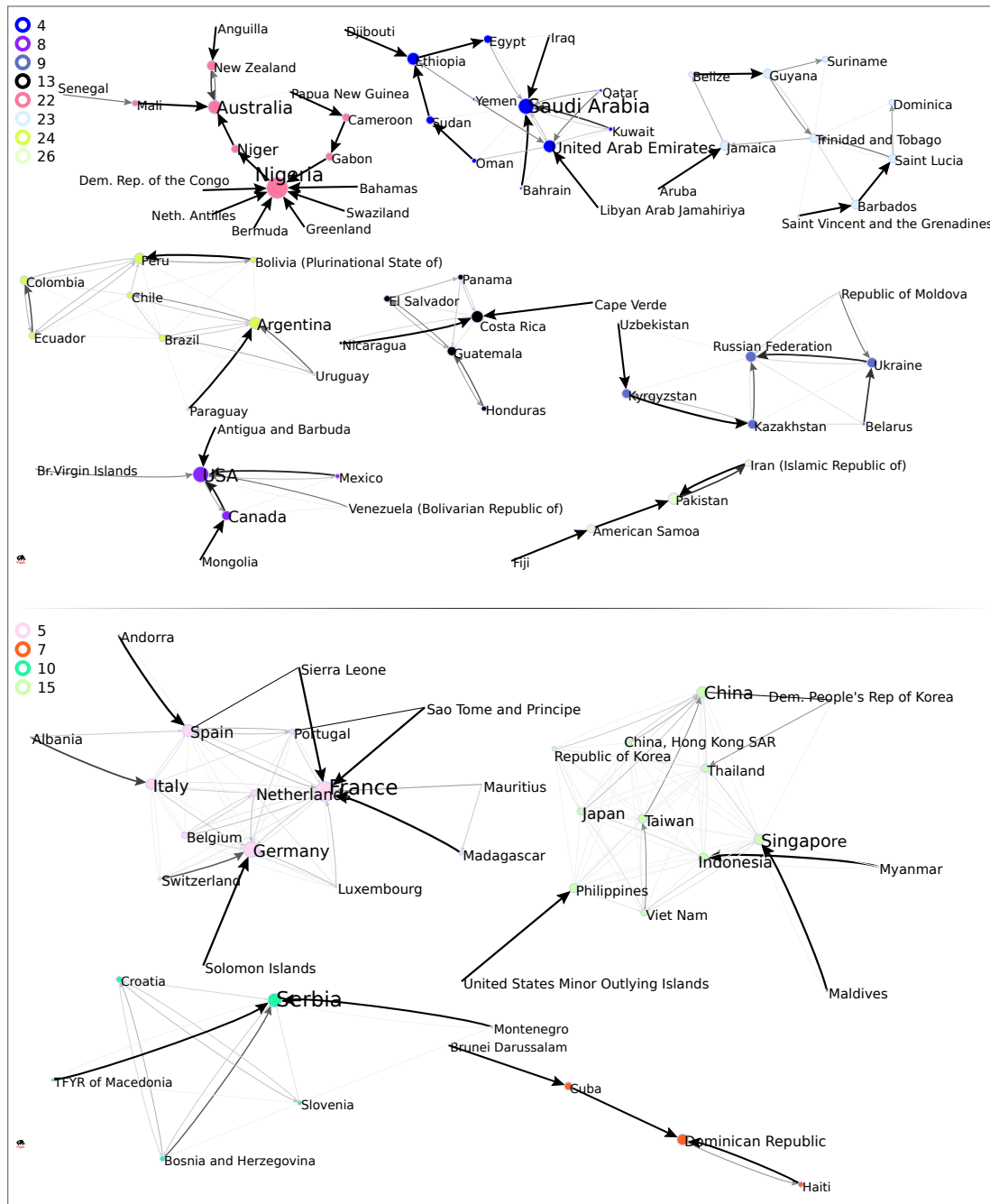


Figura 5.21: Le comunità forti (in alto) e deboli (in basso) del settore PAPER.

#	u_{cc}	η_c	N_c	densità	<i>clustering</i>	export <i>within</i>	import <i>within</i>	<i>trade</i> <i>within</i> (mld di \$)
26	0.90	0.95	4	0.50	0.00	0.88	0.04	0.012
4	0.81	0.92	13	0.27	0.47	0.71	0.38	0.542
24	0.80	0.86	9	0.58	0.83	0.62	0.63	1.557
8	0.78	0.80	7	0.38	0.36	0.82	0.71	19.599
22	0.77	0.93	16	0.13	0.00	0.66	0.22	0.527
9	0.77	0.89	7	0.57	0.77	0.62	0.34	1.034
13	0.72	0.76	7	0.43	0.40	0.67	0.13	0.118
23	0.72	0.73	10	0.31	0.49	0.96	0.18	0.047
5	0.67	0.83	16	0.32	0.71	0.62	0.61	25.279
7	0.66	0.86	4	0.50	0.00	0.51	0.04	0.010
10	0.60	0.73	6	0.67	0.83	0.48	0.27	0.257
15	0.59	0.69	14	0.54	0.73	0.54	0.71	8.079
2	0.19	0.80	5	0.40	0.00	0.02	0.01	0.007

Tabella 5.8: Indicatori delle comunità e pseudo-comunità del settore PAPER

#	u_{cc}	η_c	N_c	densità	<i>clustering</i>	export <i>within</i>	import <i>within</i>	<i>trade</i> <i>within</i> (mld di \$)
8	0.66	0.88	13	0.28	0.54	0.74	0.52	27.479
16	0.28	0.63	13	0.24	0.42	0.29	0.27	7.111
1	0.14	0.76	4	0.50	0.00	0.07	0.14	0.255
2	0.13	0.71	7	0.29	0.00	0.42	0.05	0.022
24	0.12	0.70	5	0.40	0.00	0.02	0.01	0.009
20	0.08	0.82	11	0.18	0.00	0.16	0.05	0.777
17	0.07	0.67	3	0.67	0.00	0.00	0.01	0.005
18	0.03	0.73	7	0.33	0.19	0.23	0.27	4.587
9	0.01	0.75	4	0.50	0.00	0.11	0.02	0.087
22	0.00	0.75	4	0.50	0.00	0.00	0.00	0.000

Tabella 5.9: Indicatori delle comunità e pseudo-comunità del settore NO - FERROUS METALS

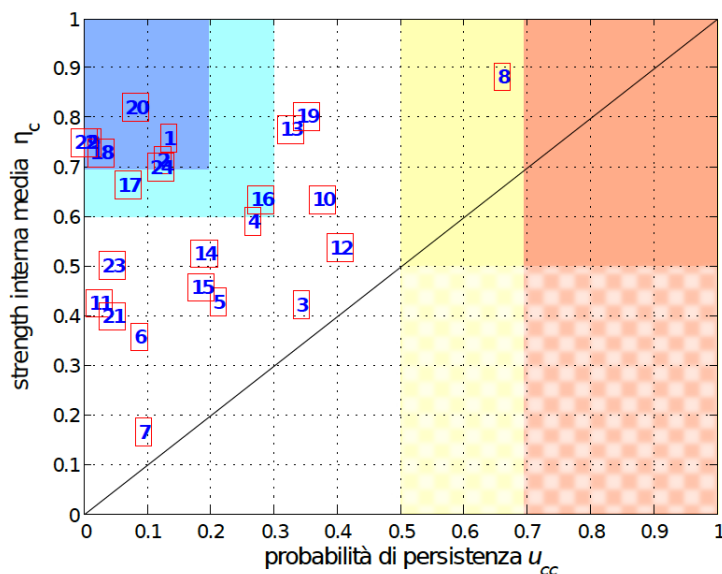


Figura 5.22: Individuazione delle comunità e pseudo-comunità significative per il settore NO-FERROUS METALS

di coesione è nullo a indicare che la struttura è *a stella* e quindi fortemente gerarchizzata e non costituiscono né mercati preferenziali né fonti di importazione preferenziale per i membri che ne fanno parte. In realtà questo risultato ha bisogno di essere ulteriormente commentato. Infatti strutture di questo tipo non è sempre vero che non costituiscano mercati di esportazione o fonti di importazione preferenziale per i paesi membri, perché se non si considera quanto il paese più centrale scambia con il resto della rete, si trova che gli altri paesi membri della sotto-rete destinano la gran parte delle esportazioni al paese più centrale, e in alcuni casi importano da questo quote rilevanti delle proprie importazioni.

La Figura 5.23 mostra, in alto, l'unica comunità significativa della rete, la cui significatività è principalmente dovuta allo scambio bilaterale tra Stati Uniti, Messico e Canada che si ricorda essere firmatari dell'accordo commerciale NAFTA. Anche nel caso di questa comunità si evidenzia però una gerarchia nei rapporti di scambio, con gli Stati Uniti al centro di flussi di scambio preferenziali provenienti da paesi di tutto il continente americano. L'evidenza invece sulle pseudo-comunità è più difficilmente interpretabile a meno di capire in che rapporto ad esempio sono il Congo con la Cina, la Namibia con l'Italia oppure la Giordania o il Sud Africa con il Giappone. Sembra però non inverosimile pensare nei termini prima discussi e cioè che i rapporti di scambio si basano principalmente sul ruolo dei paesi come fonti di materie prime e come utilizzatori di tali materie mentre la preferenza per certi mercati piuttosto che altri, vista anche la distanza geografica che li separa, non è di immediata interpretazione.

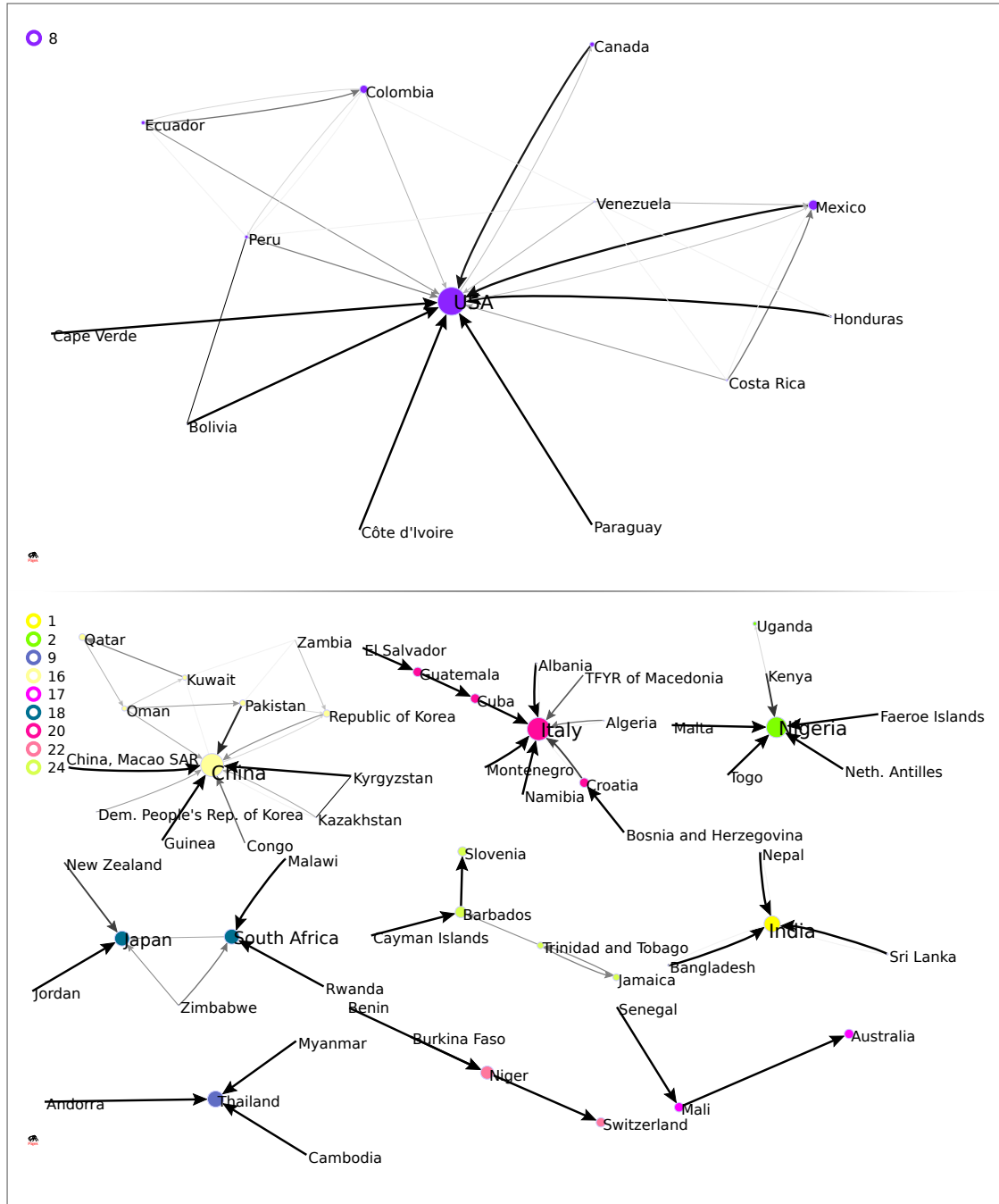


Figura 5.23: La comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore NO-FERROUS METALS

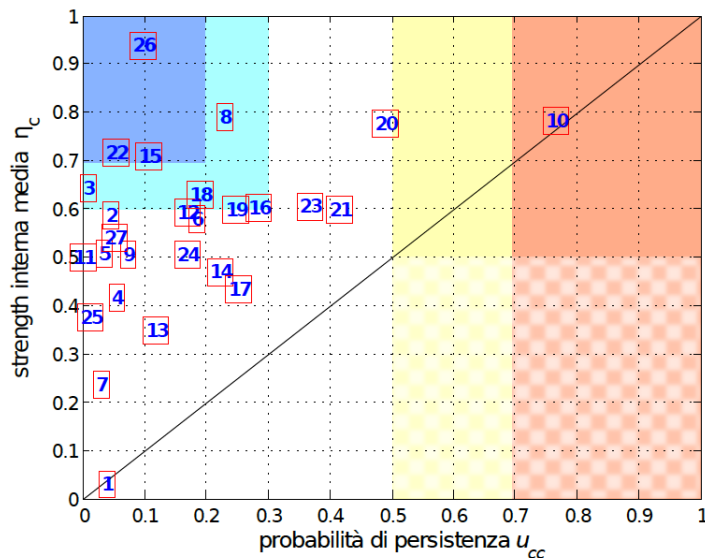


Figura 5.24: Individuazione delle comunità e pseudo-comunità significative per il settore TLC&SOUND

Altri spunti di riflessione li offre il settore TLC&SOUND, anche semplicemente osservando la Figura 5.25 relativa all'unica comunità presente (in alto) e alle pseudo-comunità più significative (in basso). La comunità #10 è un buon esempio di comunità, pur essendo l'unica (vedi anche la Figura 5.24), in quanto fa di nuovo emergere i connotati individuati precedentemente per le comunità degli altri settori. Tuttavia questa comunità rappresenta un'eccezione rispetto a un sistema che ha tutti i connotati di un settore integrato attraverso rapporti gerarchici, in cui al vertice vi sono paesi relativamente più connessi e forti.

Esaminando più in dettaglio le pseudo-comunità (vedi anche indicatori in Tabella 5.10 si scopre ad esempio che il Regno Unito, la Francia, l'Olanda e l'Italia intrattengono rapporti di scambio, nel senso che sono i mercati preferenziali di esportazione, con paesi appartenenti al continente africano e all'Europa balcanica. Quali possono essere dunque le determinanti di tale scambio? Da una parte è possibile ricondurre tali scambi alla produzione nei paesi africani e dell'Europa dell'Est di parti e componenti a un minor costo rispetto alla produzione nei paesi più sviluppati e dall'altro, in particolare questo vale per la Francia, la preferenza è da ricondurre anche a passati rapporti coloniali tra i paesi oltre che negli altri casi, alla vicinanza geografica. L'industria delle telecomunicazioni è soggetta presumibilmente a vantaggi derivanti dalla scala. Pertanto non è inverosimile che in questo settore la tematica della concentrazione nell'organizzazione industriale possa essere tenuta in considerazione per la spiegazione del perché è importante una strutturazione di tipo gerarchico che è il risultato del convogliamento delle

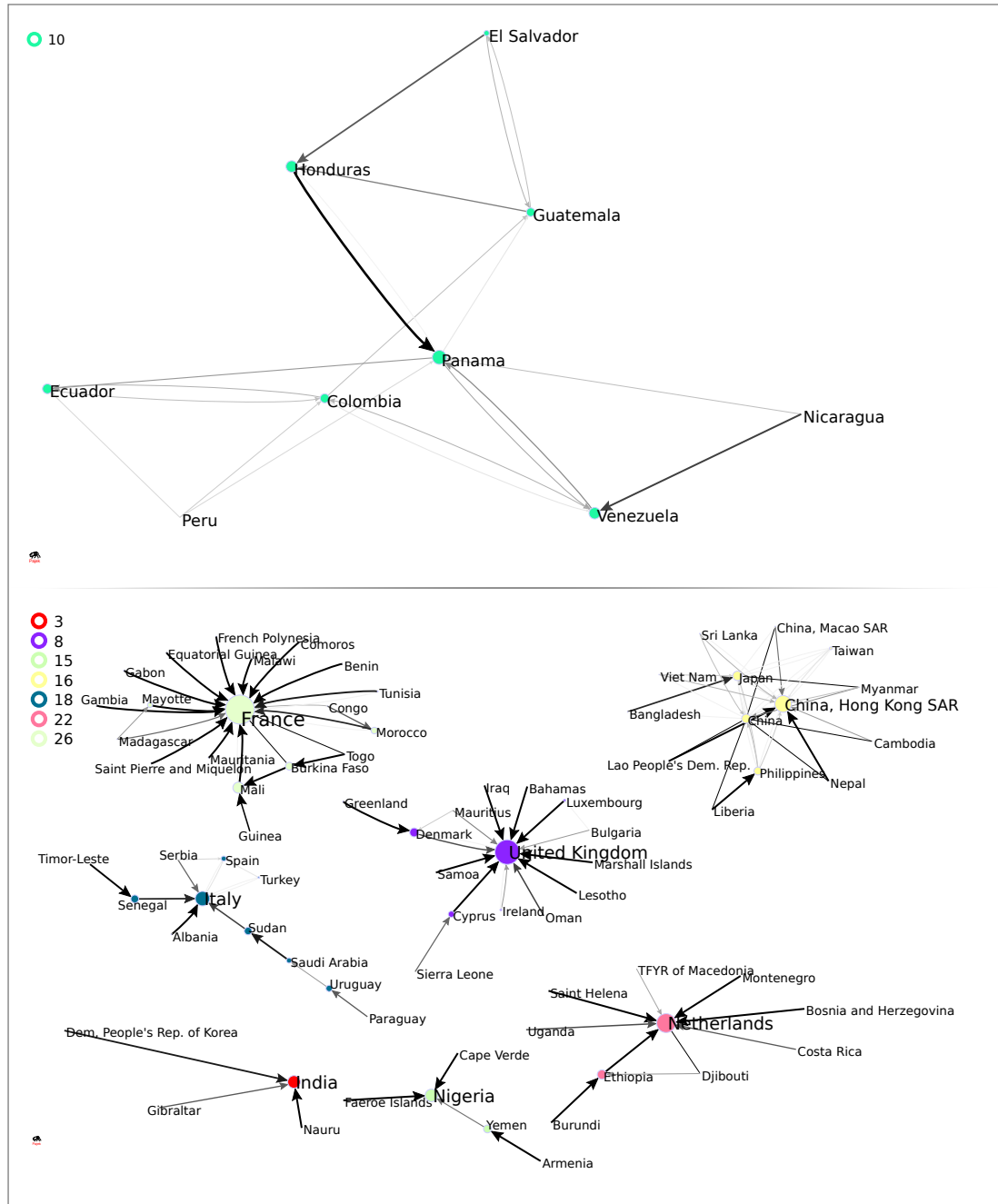


Figura 5.25: La comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore TLC & SOUND

#	u_{cc}	η_c	N_c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
10	0.77	0.78	9	0.42	0.56	0.88	0.05	0.337
16	0.29	0.60	14	0.33	0.83	0.26	0.67	56.889
8	0.23	0.79	15	0.15	0.22	0.40	0.17	7.814
18	0.19	0.63	11	0.22	0.25	0.13	0.05	1.515
15	0.11	0.71	5	0.40	0.00	0.68	0.07	0.065
26	0.10	0.94	19	0.13	0.32	0.07	0.02	0.456
22	0.06	0.72	10	0.22	0.14	0.01	0.01	0.083
3	0.01	0.64	4	0.50	0.00	0.26	0.03	0.212

Tabella 5.10: Indicatori delle comunità e pseudo-comunità del settore TLC & SOUND

risorse su pochi *hubs* di distribuzione.

Infine la rete del settore LEATHER, al cui interno sono presenti i flussi relativi a tutta la filiera di produzione di manufatti in pelle, presenta bene l'evidenza di come è strutturata la catena di produzione e consumo per questi beni: dai paesi che esportano pelli ai pochi paesi che fabbricano i prodotti realizzati in pelle, i quali esportano i prodotti finiti a paesi dove c'è mercato per tali prodotti, che non sono gli stessi da cui è stata importata la materia prima. Osservando la Figura 5.26 si osserva ad esempio come l'Italia, la Cina e la Francia, dove si producono manufatti in pelle, siano al centro di flussi preferenziali provenienti da paesi che hanno maggiore disponibilità di materia prima. Dall'Italia o dalla Francia i prodotti finiti sono esportati a mercati esterni, dove cioè incontrano le preferenze dei consumatori. Dalla Tabella 5.11 è possibile considerare quanto in queste sotto-reti, seppur i paesi periferici esportino preferenzialmente verso il paese centrale, il fatto che questo'ultimo esporti all'esterno della sotto-rete valori decisamente superiori a quelli esportati dai paesi periferici, fa in modo che le quote che risultano scambiate all'interno siano molto basse, nonostante l'evidenza che la gran parte dei paesi esporti preferenzialmente all'interno (*strength* interna media η_c).

5.5.2 Una vista d'insieme

Applicando il metodo LMC sulla rete dei flussi aggregati e su 22 reti settoriali è emerso come la rete degli scambi internazionali, anche vista settorialmente, non si caratterizzi per una ben definita struttura comunitaria ma al più, analizzando

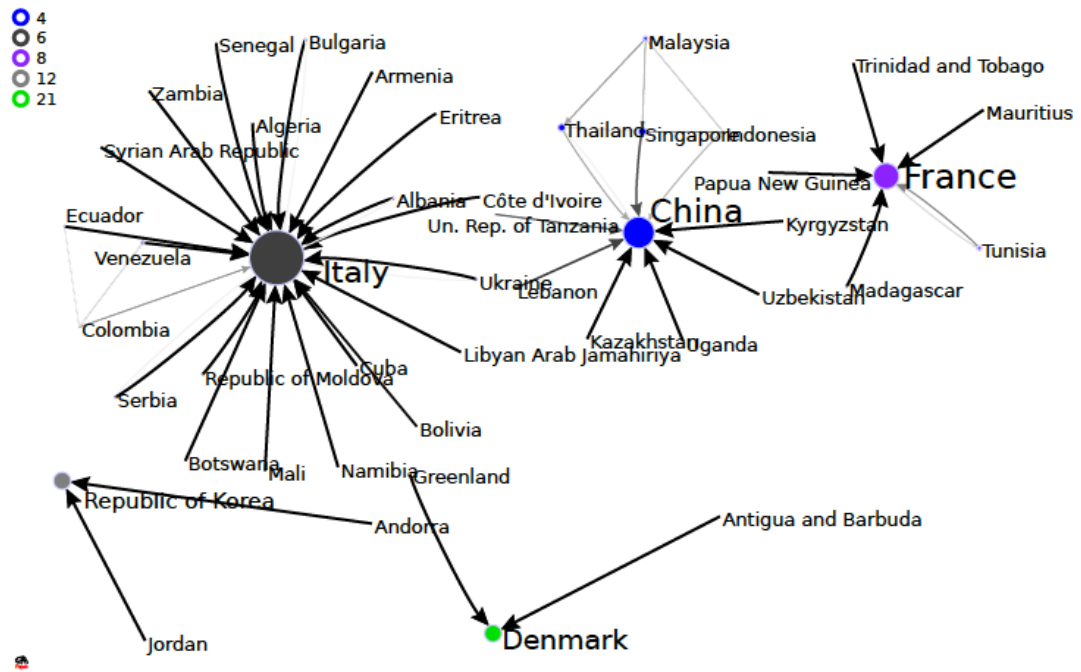


Figura 5.26: Le pseudo-comunità del settore LEATHER

#	u_{cc}	η_c	N_c	densità	clustering	export within	import within	trade within (mld di \$)
8	0.26	0.78	6	0.33	0.00	0.19	0.10	0.058
6	0.12	0.94	22	0.10	0.02	0.12	0.21	0.635
4	0.06	0.71	11	0.25	0.05	0.12	0.11	0.403
12	0.01	0.67	3	0.67	0.00	0.00	0.00	0.001
21	0.00	0.67	3	0.67	0.00	0.01	0.02	0.001

Tabella 5.11: Indicatori delle pseudo-comunità del settore LEATHER

i flussi settoriali più disaggregati, si possano individuare e valutare come significative alcune comunità che costituiscono gruppi isolati di paesi, in uno scenario di scambio dove la gran parte dei flussi preferenziali è indirizzata a pochi di essi, che risultano pertanto molto centrali a livello globale.

La struttura gerarchizzata già resasi evidente attraverso lo studio delle caratteristiche topologiche nella sezione precedente è sicuramente alla base di questo risultato. Pertanto la posizione centrale di alcuni paesi, tra cui Stati Uniti, Germania, Giappone, Regno Unito, Francia, Cina, Olanda, Spagna e Italia, sui cui convergono la maggioranza dei flussi preferenziali degli altri paesi del mondo e, insieme a questa, la preferenza di questi ultimi a destinarsi reciprocamente quote di scambio rilevanti, fa sì che esista un fenomeno “rich club”, e soprattutto fa in modo che la struttura nel suo complesso non sia divisibile in comunità, a parte alcuni casi. E' stato infatti calcolato che dalla rete TOTAL fino a quelle settoriali 2-digit, la quota scambiata tra i dieci paesi più centrali va dal 16% (per la rete TEXTILE) al 52% (per la rete ELECTRICAL MACH) degli scambi complessivi dell'intera rete.

La gerarchizzazione della struttura è portata ancora più in luce attraverso la visualizzazione delle partizioni, come mostrato precedentemente. Infatti molte delle sotto-reti che sono individuate presentano una struttura a *stella pura*, dove i paesi commerciano quote molto significative delle proprie esportazioni con un solo paese. A volte i paesi localmente più centrali (per le sotto-reti ma non sempre per la rete nel suo complesso) sono legati da flussi di scambio dando luogo a sotto-reti multicentriche. Non sempre però queste sotto-reti sono significative come comunità ma spesso sono valutabili come pseudo-comunità. La ragione per cui molte di queste sotto-reti sono valutate come pseudo-comunità è che i paesi centrali localmente scambiano preferenzialmente con uno o più paesi centrali globalmente e non con gli stessi membri della sotto-rete. Questo aspetto offre un'ulteriore indicazione del perché le reti del commercio internazionale non presentino strutture comunitarie ben definite per l'intera rete: la posizione centrale di alcuni paesi è tale che un fenomeno come la “regionalizzazione” degli scambi nel senso più esteso non può facilmente aver luogo in queste reti se non nella forma di gruppi molto grandi connessi ad uno o più dei paesi più centrali globalmente. Questo, se si vuole, è uno dei risultati più rilevanti di questa ricerca: la gerarchizzazione dei rapporti di scambio è stata individuata come la ragione strutturale del perché il sistema degli scambi internazionali, anche nella sua articolazione settoriale, non sia propriamente regionalizzato o modularizzato, cioè non si possa parlare per questo sistema di una struttura comunitaria ben definita per l'inte-

ro sistema, cioè la gran parte degli scambi, se non la totalità, non si realizzano all'interno di comunità.

Tuttavia occorre tener presente, come è stato illustrato precedentemente, che esistono forti differenze tra i risultati ottenuti osservando la rete degli scambi aggregati rispetto quelli relativi ai settori 1-digit e 2-digit: se per la rete aggregata c'è evidenza per affermare che la rete è sostanzialmente integrata, in linea con i risultati di Piccardi e Tajoli (articolo sottoposto), nelle reti settoriali lo scenario è ben diverso poiché esistono dei gruppi di paesi tra loro più intensamente connessi e isolati dal resto della rete. L'aggregazione dei flussi nasconde molta della variabilità nelle vere strutture di scambio tra le specifiche categorie settoriali, in linea con i risultati di Fagiolo et al. (2010).

All'aumentare della disaggregazione infatti lo scenario cambia in modo sostanziale: passando già dai flussi aggregati a quelli disaggregati di livello 1-digit si riescono a individuare comunità significative, in particolare per il settore CHEMICALS. Nei settori manifatturieri MNF BY MAT e MACH & TRANSP a livello 1-digit emergono alcune comunità e sono rese più evidenti alcune strutture di tipo gerarchico attorno ad alcuni paesi come la Germania, gli Stati Uniti, la Francia e l'Italia. Ma delle strutture individuate a livello 1-digit poco rimane quando si vanno a considerare i flussi disaggregati a livello 2-digit. E' qui che emergono più comunità e pseudo-comunità, diverse da quelle individuate per i settori più aggregati e tra gli stessi settori allo stesso livello di disaggregazione.

Tuttavia a questo livello di dettaglio è difficile fare delle generalizzazioni sui risultati ottenuti dall'applicazione del metodo LMC. L'evidenza di comunità è molto varia nei risultati e vale in egual misura per categorie di beni molto distanti tra loro, in termini ad esempio di complessità o differenziabilità, intensità nell'utilizzo di lavoro o capitale. Per questo, l'evidenza dell'esistenza di alcune comunità nei settori considerati è riconducibile a cause differenti: per alcuni beni semplici è possibile parlare degli effetti dei costi di scambio nella definizione dei confini del mercato di esportazione mentre per i beni complessi e differenziati, con valore unitario presumibilmente maggiore, è più corretto parlare della similarità nelle preferenze dei mercati quando si osserva un significativo scambio tra paesi "vicini".

Per quanto riguarda le pseudo-comunità, anch'esse presenti sia nelle reti relative a beni semplici sia per i beni complessi, l'evidenza di rapporti preferenziali significativi rivolti in misura preponderante a particolari paesi (centrali) è riconducibile in ogni caso all'esistenza di differenze tra i paesi in termini di dimensione dei mer-

cati, ricchezza e vantaggio comparato. A questi deve però essere aggiunto come anche l'esistenza di attriti allo scambio fa sì che le scelte dei partner di scambio ricada su un paese piuttosto che un altro, "a parità" delle altre condizioni.

Per ogni settore quindi si ha evidenza di un numero variabile di comunità significative (vedi in Appendice il dettaglio di ciascun settore) e la composizione di queste in molti casi varia senza però che si perda il connotato più rilevante che è la vicinanza dei paesi membri. Non è difficile tuttavia trovare delle eccezioni e cioè spesso nelle comunità compaiono membri molto distanti geograficamente, culturalmente e linguisticamente con una forte differenza in termini di dimensione e ricchezza pro-capite ma che sono in un rapporto di scambio preferenziale molto intenso, spesso unilaterale. Questa evidenza è riconducibile non più solo al tema degli effetti dei costi di scambio sulla formazione dei rapporti di scambio quanto piuttosto a quanto le differenze di costo nella produzione di determinati beni o parti e componenti, intensivi di fattori che nei paesi a basso reddito pro-capite sono più convenienti, permettono un vantaggio di costo tale da superare gli eventuali costi addizionali di scambio che nascono ad esempio dall'attraversamento dei confini nazionali o dal trasporto su lunga distanza, anche per beni a basso valore unitario. Oppure, questi scambi sono giustificati dalla presenza in alcuni paesi di bacini di materie prime non disponibili nei paesi dove invece è organizzata l'industria di trasformazione, concentrata sui paesi industrializzati e ad alto reddito pro-capite.

Parlando sempre in modo generale delle comunità individuate, queste in molti casi non sono contemporaneamente sia mercati di esportazione e fonti di importazione preferenziali per i paesi membri ma quello che si osserva è che i paesi trovano conveniente esportare quote rilevanti delle proprie esportazioni verso i paesi appartenenti alle comunità individuate da cui però non sempre importano quote rilevanti delle proprie importazioni, sebbene ci siano casi in cui ciò si verifica. Infine tutte le comunità e le pseudo-comunità individuate sono caratterizzate da una densità superiore a quella media della rete (si ricorda che si deve tener conto della densità delle reti filtrate e non di quelle originali) mentre il coefficiente di *clustering* e cioè il livello di coesione delle sotto-reti non sempre supera quello globale e anzi in molti casi è molto inferiore se non nullo per le pseudo-comunità a *stella*.

Un risultato che emerge quindi dall'osservazione e valutazione delle caratteristiche di ciascuna sotto-rete e della rete nel suo complesso è che la distanza conta nel definire l'architettura degli scambi, e la distanza o vicinanza, come si vuole intendere, non è solo geografica ma ha a che vedere anche con la storia e l'e-

voluzione delle relazioni tra i paesi. Ad esempio, emerge chiaramente in molti casi come le sotto-reti abbiano ragion d'essere per l'esistenza di passati rapporti coloniali tra alcuni paesi europei e alcuni paesi africani, oppure in alcuni settori è evidente come gli stati dell'ex-Unione Sovietica siano ancora fortemente legati alla Russia da rapporti di scambio intensi. Oppure, parlando sempre di fattori che avvicinano i paesi, anche gli accordi commerciali preferenziali (NAFTA, ASEAN e ANDEAN) possono essere adottati come causa o forse anche conseguenza di rapporti commerciali intensi tra i paesi - sarebbe in tal senso interessante fare un'analisi dell'evoluzione storica delle reti dal punto di vista delle comunità per capire meglio il rapporto di causalità.

Capitolo 6

Conclusioni

Il termine “globalizzazione” applicato al contesto del commercio internazionale suggerisce l’idea che i paesi del mondo siano connessi da flussi di merci su scala “globale” e l’analisi svolta in questo lavoro sembra confermare questa tendenza. Tuttavia si dimostra significativa *per alcuni paesi* l’esistenza di forme di “regionalizzazione” degli scambi, ovvero d’integrazione su scala locale, quando si osservano gli scambi in specifiche categorie settoriali. Ovvero emerge come vi siano meccanismi di preferenzialità che governano la scelta dei propri *partner* di scambio, facendo sì che l’integrazione in alcuni casi si realizzi su scala regionale o perlomeno all’interno di schemi di scambio in cui la scelta di alcuni paesi ricade su un limitato sotto-insieme del sistema.

La tesi è stata aperta ponendo all’attenzione del lettore le seguenti questioni: che forma assume nella realtà la struttura della globalizzazione degli scambi, conseguenza di diffuse politiche economiche di liberalizzazione, della riduzione dei costi di scambio e della firma congiunta di accordi commerciali preferenziali? Come misurare e stabilire gli effettivi *confini* dell’integrazione economica tra i paesi? In che misura cioè gli scambi dei paesi si realizzano *preferenzialmente* entro confini più ristretti rispetto a quelli globali? E quali sono le ragioni che portano all’eventuale esistenza di *significative* strutture di scambio locali “chiuse” allo scambio su scala globale?

A queste questioni ha cercato di trovare delle risposte questa tesi servendosi degli strumenti e delle metodologie proprie della *network analysis*. Le reti infatti costituiscono l’ambiente modellistico ideale per condurre analisi sistemiche in termini di *posizioni* relative dei paesi e di struttura delle interazioni tra i paesi. In particolare nel presente lavoro è stata proposta una metodologia volta a individuare e stabilire la significatività di eventuali *comunità* nelle reti settoriali del commercio internazionale, cioè gruppi di paesi che commerciano al loro interno *preferenzial-*

mente, in misura relativamente maggiore rispetto a quanto essi facciano con il resto del sistema, con lo scopo di dipingere il quadro della reale struttura degli scambi tra i paesi, credendolo utile ai fini della più profonda comprensione del fenomeno della globalizzazione/regionalizzazione degli scambi.

I risultati ottenuti dall'applicazione dei principali indicatori descrittivi delle reti di scambio settoriale confermano molte delle caratteristiche individuate da precedenti lavori applicati su reti pesate di commercio internazionale, ma con il risultato del tutto nuovo che nasce dallo studio comparato di reti settoriali a diversi livelli di disaggregazione dei flussi di scambio di prodotti finiti e intermedi appartenenti alla stessa filiera produttiva. Considerare le reti di scambio settoriale ha infatti permesso di rivelare di queste caratteristiche e proprietà nuove che la rete dei flussi aggregati non permetteva di cogliere e inoltre ha permesso di stabilire come le strutture di scambio, in termini di esistenza di comunità, siano in realtà differenti (nel numero e nella composizione delle comunità individuate) se si considerano ad esempio beni relativi al settore chimico, piuttosto che quello relativo alle automobili, macchine per ufficio o macchine ad uso industriale, prodotti realizzati in legno, plastica o carta, confermando come dall'interazione tra le caratteristiche dei beni con le caratteristiche dei paesi ed altre variabili esterne (costi di scambio) nascano schemi di scambio variabili, come suggerito dalle teorie del commercio internazionale.

Tuttavia non è chiaro dai risultati che emergono che relazione esista tra tipo di bene e la possibilità o meno che sulla rete relativa ai flussi di scambio di quella determinata categoria settoriale esistano comunità. Infatti l'evidenza dell'esistenza di comunità vale sia per beni classificabili come semplici e relativamente omogenei (p.e. prodotti realizzati in carta, in plastica, in legno, in acciaio o un'industria di processo come la chimica), come per quelli più complessi, come le automobili o le macchine industriali ed elettriche. Nel primo caso ad esempio i costi di scambio, e il loro impatto sul valore unitario delle merci, potrebbero costituire l'elemento che contribuisce di più all'emergere di strutture integrate a livello locale e non globale: la distanza geografica, ad esempio, per questi beni potrebbe essere un fattore forte nella scelta dei propri mercati di esportazione; oppure il fatto che le tecnologie per la produzione di beni in considerazione, destinati a un consumo non esclusivo in specifici mercati, siano tanto diffuse tra i paesi da consentire che nel mondo vi siano più regioni economiche, tra loro separate negli scambi in misura significativa, e quindi autonome nella produzione (e nel consumo).

Nel secondo caso, cioè quello per cui anche alcuni beni manufatti complessi presentano comunità, le ragioni che sono dietro tale evidenza non sono di facile

intuizione: le comunità potrebbero definire quel sistema entro cui i produttori di beni trovano più conveniente scambiare perché i mercati dei paesi che ne fanno parte sono tra loro simili nelle preferenze, condizione che favorisce lo scambio intra-settoriale e con esso il raggiungimento di più elevate scale nella produzione senza però perdere la possibilità di differenziare i beni. Le comunità per questi beni possono anche definire sistemi di paesi integrati localmente, che, come in una catena di produzione, contribuiscono ciascuno alla generazione di prodotti finiti, producendo di questi parti e componenti, senza che tale sistema sia troppo esteso e “lontano” nei paesi che lo definiscono, al fine di favorire una migliore (e più “veloce”) integrazione delle fasi produttive localizzate in paesi differenti.

L’analisi dettagliata delle comunità ha portato quindi in luce come la *distanza* geografica, così come quella linguistica o culturale, insieme alla storia (p.e. ex Unione Sovietica, colonialismo europeo) siano un fattore determinante nella scelta dei propri *partner* di scambio. Spesso nelle comunità compaiono paesi molto distanti geograficamente, culturalmente e linguisticamente con una forte differenza in termini di dimensione e ricchezza pro-capite ma che sono in un rapporto di scambio preferenziale molto intenso, spesso unilaterale. Questa evidenza è riconducibile non tanto al tema degli effetti dei costi di scambio sulla formazione dei rapporti di scambio quanto piuttosto all’esistenza di differenze di costo nella produzione di determinati beni o parti e componenti e quindi di vantaggi comparati.

Dall’analisi dei gruppi di paesi in cui è stato possibile scomporre le reti settoriali è inoltre emersa forte l’evidenza che la preferenzialità nella scelta dei propri *partner* di scambio non sempre si risolve nella costituzione di comunità così come intese in questo lavoro, anzi spesso si rilevano strutture particolari, denominate in questo lavoro pseudo-comunità, che si caratterizzano per l’esistenza di un paese (*core*) su cui sono concentrati i flussi preferenziali provenienti dagli altri paesi (*periphery*), andando così il *core* a costituire il mercato preferenziale di esportazione dei *periphery*. I paesi *periphery* a loro volta non costituiscono un mercato preferenziale di esportazione per nessun degli altri paesi *periphery* e tanto meno per il paese *core*. Queste strutture, che non sono valutate come comunità, presentano caratteri tali da evidenziare la gerarchia con cui si realizzano gli scambi e la centralità di alcuni paesi soprattutto come mercati di esportazione preferenziali per molti altri paesi, avendo questi ad esempio mercati interni relativamente grandi in cui i prodotti finiti sono consumati in misura maggiore, oppure è grande la dimensione dell’industria in cui i beni (p.e. macchine industriali) entrano come capitale immobilizzato oppure è là che si concentrano (viste le economie di scala ed esterne che derivano dalla concentrazione industriale) alcune fasi di una catena

produttiva frammentata internazionalmente in cui confluiscono i beni intermedi prodotti in altri paesi.

Questo risultato è del tutto nuovo nel panorama dell'analisi delle reti del commercio internazionale e coglie di queste reti un aspetto significativo e cioè che l'integrazione in termini intensivi ed estensivi tra i paesi è lontana dall'essere "multilaterale", quanto piuttosto unilaterale, in quanto i paesi in genere, vista la trasversalità del risultato per i vari settori, decidono di concentrare i propri scambi su uno o pochi mercati di destinazione. Tale scelta a volte potrebbe non essere frutto di una ricerca del mercato migliore su cui esportare, ma alla base potrebbero esserci delle logiche di organizzazione industriale (p.e quella delle multinazionali) che solo un'analisi a livello di impresa potrebbe confermare.

E' stato osservato come tutte le reti presentano un forte carattere di disomogeneità nei termini di tutte le variabili descrittive delle caratteristiche del sistema: grado di connessione e *strength* (forza) dei paesi e valore dei legami che li connettono. Questo significa che la rete è costituita da paesi tra loro molto distanti quando si considera il numero delle connessioni con gli altri paesi (paesi fortemente connessi contro paesi scarsamente connessi) oppure quando si considera la forza dei paesi (paesi che scambiano molto in valore e da/verso molti paesi contro paesi che scambiano poco in valore e da/verso pochi paesi). L'analisi della correlazione del grado e della *strength* dei paesi per ogni rete conferma il carattere di disassortatività di tutte le reti e cioè paesi molto connessi sono prevalentemente connessi con paesi scarsamente connessi (e viceversa) e paesi con *strength* elevata sono prevalentemente connessi con paesi con *strength* bassa (e viceversa). Infine il grado di coesione attorno ai paesi è correlato negativamente rispetto sia al grado che alla *strength* dei paesi, indicando quindi come all'aumentare della connessione e della forza di un paese il livello di coesione tra i paesi partner di scambio si riduce.

Tutte queste proprietà rivelano delle reti settoriali analizzate, con una rilevanza più o meno spiccata, una struttura globale dal carattere gerarchico, in cui è cruciale il ruolo rivestito da pochi paesi su cui si concentrano la gran parte dei legami del sistema e soprattutto la gran parte del valore scambiato dai paesi. A conferma dell'importanza per queste reti del concetto di concentrazione del valore su pochi paesi vi è evidenza di un fenomeno denominato "rich club" per cui ad esempio i primi dieci paesi in termini di valore complessivamente scambiato nei settori manifatturieri scambiano tra loro dal 30 al 50% del valore complessivamente scambiato dall'intero sistema. E' stato quindi notato come la struttura e le modalità attraverso cui si realizza l'integrazione tra i paesi è fortemente in-

fluenzata dalla particolare posizione dei paesi su cui più si concentra il valore e il numero di connessioni significative. Si può dire in generale che l'integrazione su scala globale è realizzata per merito di questo fatto: la gran parte dei paesi scambia preferenzialmente con pochi paesi che pertanto risultano centrali per la rete (in termini di numero di legami significativi) e a loro volta questi ultimi commerciano in modo più significativo tra loro, dando luogo a una struttura non completamente connessa (i paesi connessi ai paesi più centrali difficilmente sono a loro volta *partner*) e organizzata gerarchicamente. In tale organizzazione gerarchica, trasversale a tutti i settori analizzati, non sono sempre coinvolti tutti i paesi, almeno quando è possibile individuare delle strutture comunitarie significative.

Tale modalità di organizzazione degli scambi non può non essere discussa secondo i termini del vantaggio comparato (condizioni del mercato del lavoro qualificato e non qualificato, abbondanza di capitale o tecnologie più efficienti) per la produzione di determinati beni. I paesi il cui vantaggio comparato nella produzione di determinati beni è tanto più grande rispetto a quello del resto del sistema sono in grado di servire molti mercati anche a fronte di costi di scambio crescenti con la distanza o per altri fattori esterni. Inoltre questi stessi paesi costituiscono il mercato per le esportazioni di molti paesi: le dimensioni dei mercati da una parte, e il fatto di avere ad esempio barriere tariffarie più basse dall'altra - i paesi ad alto reddito pro-capite, che sono quelli più centrali e al vertice della gerarchia, sono quelli che presentano tariffe doganali più basse. L'esistenza di una gerarchia a dominare la struttura degli scambi può essere discussa anche nei termini della rilevanza o meno per determinate categorie di beni, di logiche di frammentazione della produzione su scala internazionale per alcune fasi del processo produttivo e di concentrazione su specifici siti per altre, laddove la disponibilità di risorse qualificate o l'esigenza di raggiungere economie di scala determina il convogliamento dei flussi derivanti dalla frammentazione.

Per concludere questo lavoro di tesi rappresenta una novità nel panorama dello studio delle reti del commercio internazionale, per la metodologia applicata per l'individuazione e la valutazione di comunità e più in generale per stabilire, laddove esistono e sono ben definiti, i confini entro cui i paesi organizzano i propri scambi, secondo una prospettiva settoriale. L'analisi proposta apre più domande di quante cui cerchi di dare risposte. Sicuramente lo scenario in cui realizza la globalizzazione degli scambi e con essa l'integrazione finanziaria e culturale non è ovvia nei risultati e nella modalità con cui è organizzata e necessita di analisi sistemiche in cui anche la posizione relativa occupata dai paesi nel determinare la struttura complessiva deve essere tenuta in considerazione.

Quest'analisi è stata condotta su reti relative a flussi di un solo anno. Per una corretta comprensione dei fenomeni discussi in questo lavoro, delle cause che li determinano e cioè dei meccanismi alla base dell'evidenza di un solo momento storico, è necessario condurre un'analisi temporale che abbracci un periodo significativo. Sicuramente ciò fornirebbe risultati interessanti nei termini in cui si rende evidente che vi siano stati dei cambiamenti nella struttura in comunità a seguito ad esempio della firma di accordi commerciali preferenziali, o se l'evidenza di un eventuale cambiamento può ricondursi alla trasformazione nelle posizioni di alcuni paesi nello scenario di scambio complessivo che rompe le comunità o le va a definire in modo differente.

Lo studio dell'esistenza di gruppi che significativamente scambiano al loro interno preferenzialmente apre lo sguardo su ben altre considerazioni e in particolare sul perché in alcuni i paesi scelgano di rivolgere la propria scelta a specifici paesi, nel panorama di tutte le possibili scelte, andando a volte a costituire delle vere e proprie comunità. Questo lavoro ha cercato di dare delle risposte a questa questione servendosi perlopiù delle evidenze più immediate che definiscono la posizione relativa dei paesi come la vicinanza geografica, la presunta vicinanza culturale e linguistica e le differenze in termini di grandezza e ricchezza economica. E' auspicabile che in successivi lavori che vogliano studiare le proprietà e meccanismi alla base della struttura degli scambi si analizzino in modo più rigoroso le ragioni sottostanti specifiche evidenze.

Bibliografia

- Amaral, L., Scala, A., Barthélemy, M., Stanley, H. (2000). Classes of small-world networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(21):11149.
- Anderson, J. e Van Wincoop, E. (2004). Trade costs. Technical report, National Bureau of Economic Research.
- Balassa, B. e Bauwens, L. (1987). Intra-industry specialisation in a multi country and multi-industry framework. *The Economic Journal*, 97(388):923.
- Barabási, A. (2009). Scale-free networks: a decade and beyond. *Science*, 325(5939):412.
- Barabási, A. e Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439):509.
- Barigozzi, M., Fagiolo, G., e Garlaschelli, D. (2010). Multinetwork of International trade: A commodity-specific analysis. *Physical Review E*, 81(4):046104.
- Barrat, A., Barthlemy, M., e Vespignani, A. . . (2008). *Dynamical processes on complex networks*. Cambridge University Press.
- Bhattacharya, K., Mukherjee, G., Saramäki, J., Kaski, K., e Manna, S. (2008). The international trade network: weighted network analysis and modelling. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, page P02002.
- Blondel, V., Guillaume, J., Lambiotte, R., e Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008: P10008.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M., e Hwang, D. (2006). Complex networks: Structure and dynamics. *Physics reports*, 424(4):175.
- Breiger, R. (1981). Structures of economic interdependence among nations. *Continuities in structural inquiry*, 52(3):353.
- Clauset, A., Newman, M., e Moore, C. (2004). Finding community structure in very large networks. *Physical review E*, 70(6):066111.
- Condon, A. e Karp, R. (2001). Algorithms for graph partitioning on the

- planted partition model. *Random Structures and Algorithms*, 18(2):116.
- Davis, D. (1995). Intra-industry trade: a heckscher-ohlin-ricardo approach. *Journal of International Economics*, 39(3-4):201.
- Davis, D. (1997). The home market, trade, and industrial structure. Technical report, National Bureau of Economic Research.
- De Benedictis, L. e Tajoli, L. (2009). Comparing international trade networks. *AUSSENWIRTSCHAFT*, 65(2):53.
- De Benedictis, L. e Tajoli, L. (2011). The world trade network. *The World Economy*, 34(8):14171.
- Eaton, J. e Kortum, S. (2002). Technology, geography, and trade. *Econometrica*, 70(5):1741.
- Egger, H., Egger, P., e Greenaway, D. (2007). Intra-industry trade with multinational firms. *European Economic Review*, 51(8):1959.
- Erdős, P. e Rényi, A. (1959). On random graphs, i. *Publicationes Mathematicae (Debrecen)*, 6:290.
- Fagiolo, G. (2010). The international-trade network: gravity equations and topological properties. *Journal of Economic Interaction and Coordination*, 5(1):1.
- Fagiolo, G., Reyes, J., e Schiavo, S. (2008). On the topological properties of the world trade web: A weighted network analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(15):3868.
- Fagiolo, G., Reyes, J., e Schiavo, S. (2010). The evolution of the world trade web: a weighted-network analysis. *Journal of Evolutionary Economics*, 20(4):479.
- FMI (2007). World economic outlook, spillovers and cycles in the global economy. Technical report, Fondo Monetario Internazionale.
- Fortunato, S. (2010). Community detection in graphs. *Physics Reports*, 486(3-5):75.
- Frankel, J., Stein, E., e Wei, S. (1997). *Regional trading blocs in the world economic system*. Peterson Institute.
- Garlaschelli, D. e Loffredo, M. (2004). Fitness-dependent topological properties of the world trade web. *Physical review letters*, 93(18):188701.
- Garlaschelli, D. e Loffredo, M. (2005). Structure and evolution of the world trade network. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*,

- 355(1):138.
- Girvan, M. e Newman, M. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12):7821.
- He, J. e Deem, M. (2010). Structure and response in the world trade network. *Physical review letters*, 105(19):198701.
- Helpman, E. e Krugman, P. (1985). *Market Structure and Foreign Trade: Increasing Returns, Imperfect Competition, and the International Economy*. MIT Press.
- Hilgerdt, F. (1943). The case for multilateral trade. *The American Economic Review*, 33(1):393.
- Kali, R. e Reyes, J. (2007). The architecture of globalization: a network approach to international economic integration. *Journal of International Business Studies*, 38(4):595.
- Kim, S. e Shin, E. (2002). A longitudinal analysis of globalization and regionalization in international trade: A social network approach. *Social Forces*, 81(2):445.
- Krugman, P. (1991). *Geography and trade*. the MIT Press.
- Krugman, P. (1995). Increasing returns, imperfect competition and the positive theory of international trade. *Handbook of international economics*, 3:1243.
- Krugman, P., Cooper, R., e Srinivasan, T. (1995). Growing world trade: causes and consequences. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1995(1):327.
- Lancichinetti, A. e Fortunato, S. (2009). Community detection algorithms: a comparative analysis. *Physical Review E*, 80(5):056117.
- Lancichinetti, A., Fortunato, S., and Radicchi, F. (2008). Benchmark graphs for testing community detection algorithms. *Physical Review E*, 78(4):046110.
- Li, X., Ying Jin, Y., e Chen, G. (2003). Complexity and synchronization of the world trade web. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 328(1):287.
- Melitz, M. (2003). The impact of trade on aggregate industry productivity and intraindustry reallocations. *Econometrica*, 71(6):1695.

- Milgram, S. (1967). The small world problem. *Psychology today*, 2(1):60.
- Nemeth, R. e Smith, D. (1985). International trade and world-system structure: A multiple network analysis. *Review (Fernand Braudel Center)*, 8(4):517.
- Newman, M. (2002). Assortative mixing in networks. *Physical Review Letters*, 89(20):208701.
- Newman, M. (2003). The structure and function of complex networks. *SIAM review*, 45(2):167.
- Newman, M. e Girvan, M. (2004). Finding and evaluating community structure in networks. *Physical review E*, 69(2):026113.
- Panagariya, A. (1999). The regionalism debate: an overview. *The World Economy*, 22(4):455.
- Piccardi, C. (2011). Finding and testing network communities by lumped Markov chains. *PLoS ONE*, 6(11):e27028
- Piccardi, C. e Tajoli, L. (articolo sottoposto). The relevance and significance of preferential trade in the world trade network.
- Radicchi, F., Castellano, C., Cecconi, F., Loreto, V., e Parisi, D. (2004). Defining and identifying communities in networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(9):2658.
- Rauch, J. (1999). Networks versus markets in international trade. *Journal of International Economics*, 48(1):7.
- Rauch, J. e Casella, A. (2001). *Networks and markets*. Russell Sage Foundation Publications.
- Reyes, J., Wooster, R., e Shirrell, S. (2009). Regional trade agreements and the pattern of trade: A networks approach. *Social Science Research Network*, 408784.
- Rosvall, M. e Bergstrom, C. (2008). Maps of random walks on complex networks reveal community structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(4):1118.
- Serrano, M. e Boguná, M. (2003). Topology of the world trade web. *Physical Review E*, 68(1):015101.
- Serrano, M., Boguná, M., e Vespignani, A. (2007). Patterns of dominant flows in the world trade web. *Journal of Economic Interaction and*

- Coordination*, 2(2):111.
- Serrano, M., Boguñá, M., e Vespignani, A. (2009). Extracting the multiscale backbone of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(16):6483.
- Snyder, D. e Kick, E. (1979). Structural position in the world system and economic growth, 1955-1970: A multiple-network analysis of transnational interactions. *American Journal of Sociology*, 1096.
- Tzekina, I., Danthi, K., e Rockmore, D. (2008). Evolution of community structure in the world trade web. *The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems*, 63(4):541.
- Vega-Redondo, F. (2007). *Complex social networks*, volume 44. Cambridge Univ Pr.
- Wallerstein, I. (1974). The rise and future demise of the world capitalist system: concepts for comparative analysis. *Comparative Studies in Society and History*, 16(4):387.
- Watts, D. e Strogatz, S. (1998). Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature*, 393(6684):440.
- White, H., Boorman, S., e Breiger, R. (1976). Social structure from multiple networks. I. blockmodels of roles and positions. *American journal of sociology*, 730.
- Wilhite, A. (2001). Bilateral trade and ‘small-world’ networks. *Computational Economics*, 18(1):49.
- Woolley, H. (1958). Transactions between world areas in 1951. *The Review of Economics and Statistics*, 40(1):10.
- WTO (2008). International trade statistics. Technical report, World Trade Organization.
- WTO (2011). World trade report 2011. Technical report, World Trade Organization.

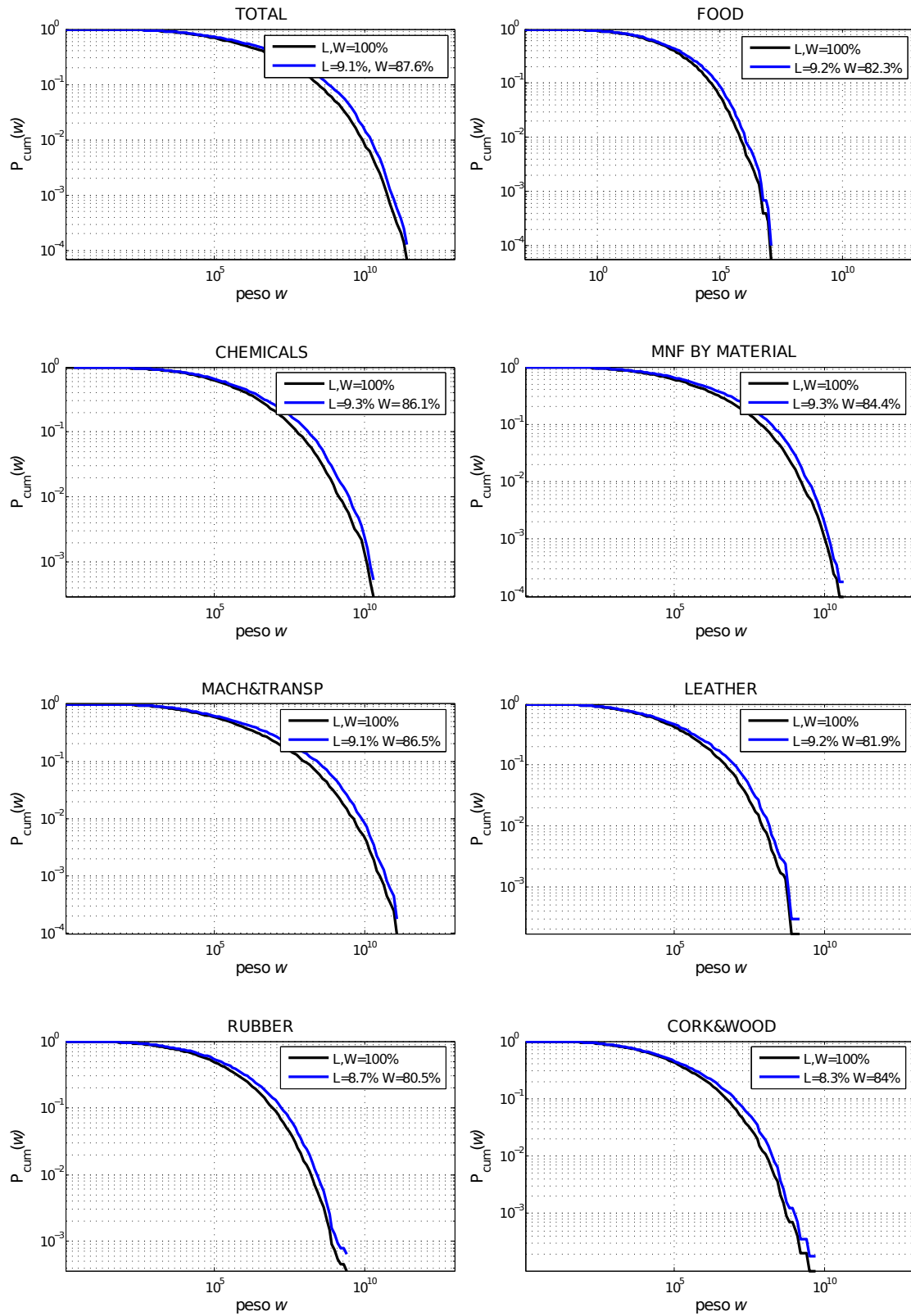
Appendice

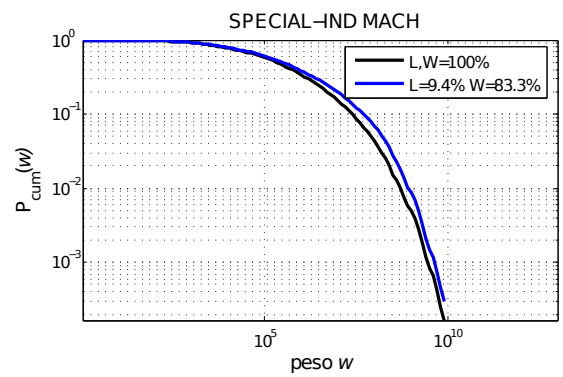
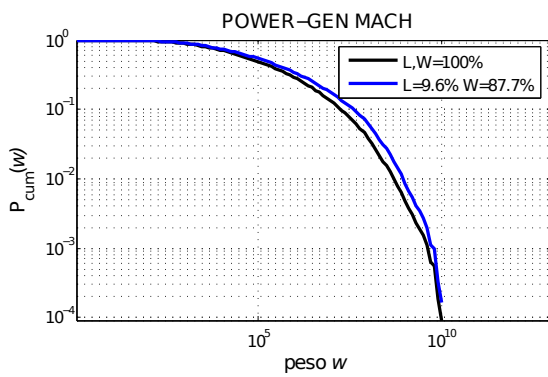
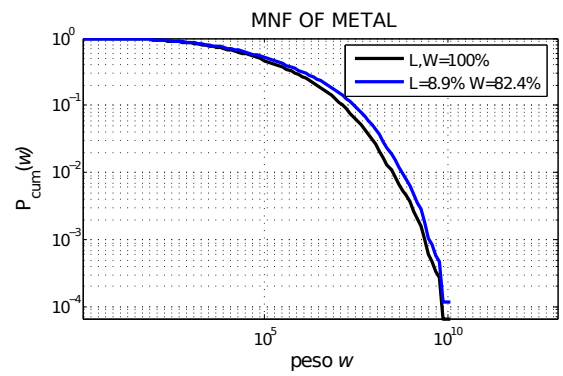
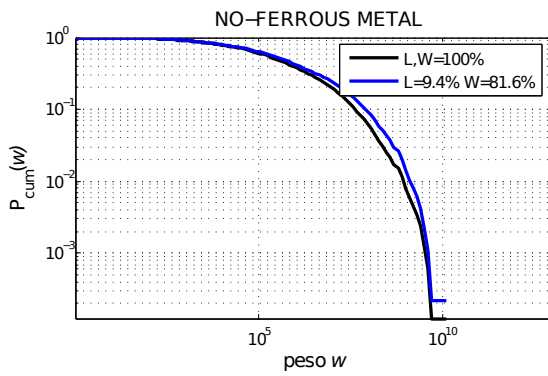
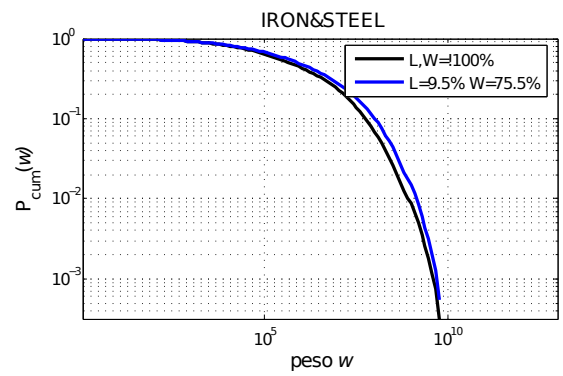
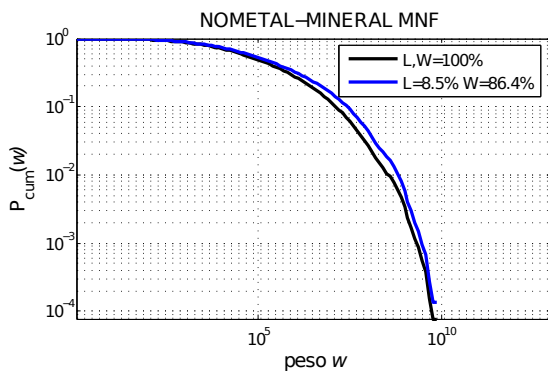
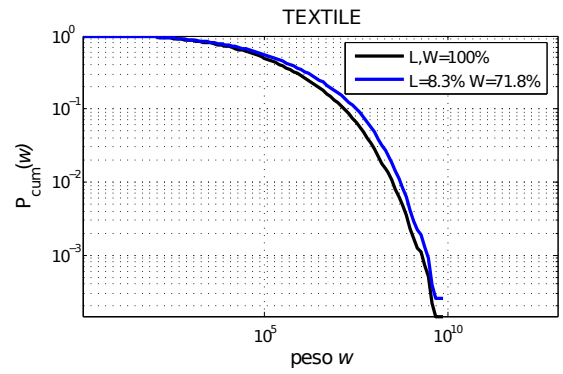
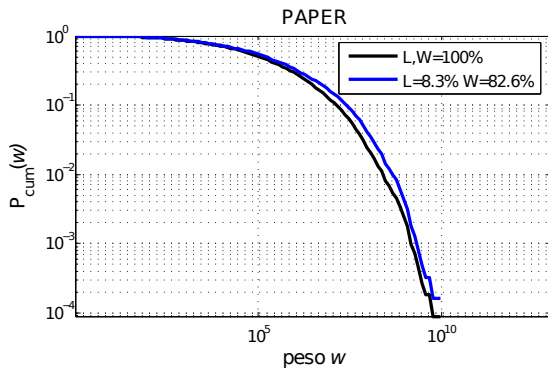
E' qua riportato il materiale relativo alle distribuzioni cumulate del peso dei link, di grado (in-, out- e totale) e della *strength* (in-, out- e totale) dei paesi, per ciascuna delle reti settoriali analizzate. Inoltre sono riportati tutti i risultati relativi all'analisi di comunità condotta su ciascuna rete.

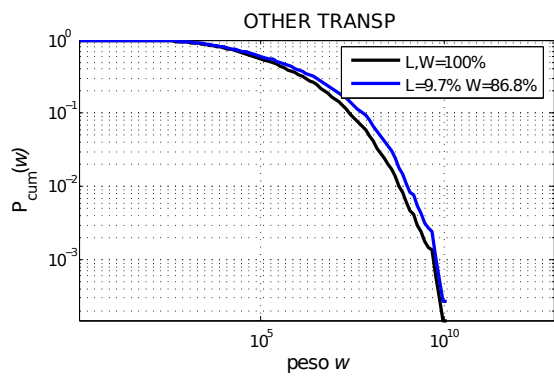
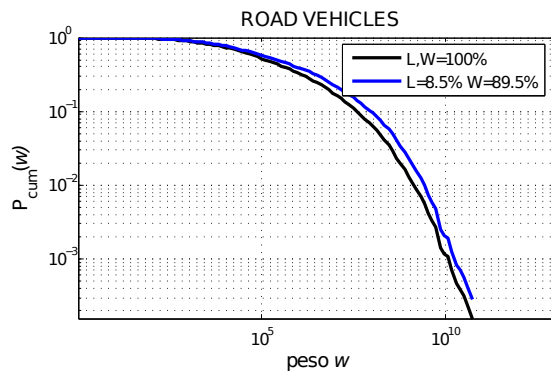
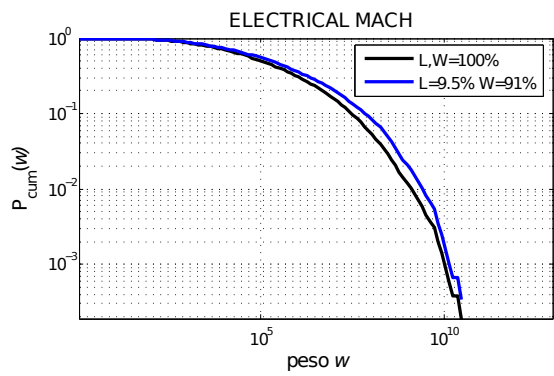
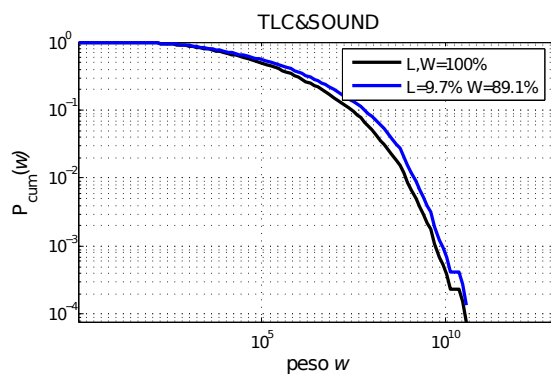
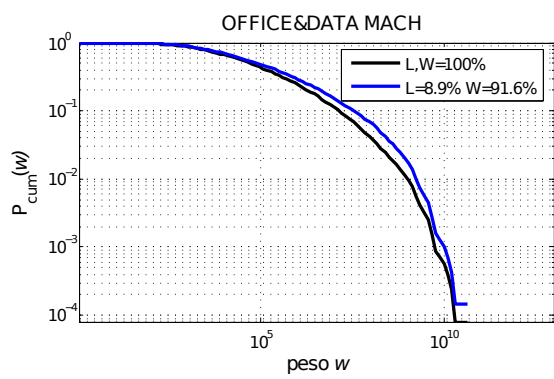
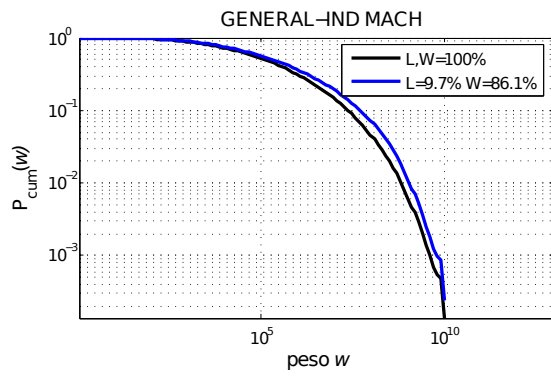
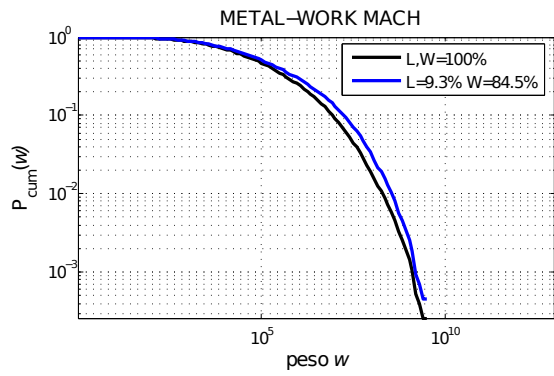
Questi ultimi sono organizzati in quattro fogli che illustrano:

1. come è stata scelta la partizione q e la classificazione delle sotto-reti come comunità, pseudo-comunità e sotto-reti non significative;
2. la meta-rete costituita dalle sotto-reti della partizione q scelta, che mette in evidenza come sono tra loro connesse le sotto-reti; la struttura delle singole sotto-reti della partizione, che mette in evidenza come invece sono organizzati e strutturati i flussi di scambio preferenziali nelle sotto-reti a prescindere dalla significatività come comunità o pseudo-comunità;
3. le comunità e pseudo-comunità tramite rappresentazione grafica delle sotto-reti;
4. tabella degli indicatori di significatività delle comunità e pseudo-comunità

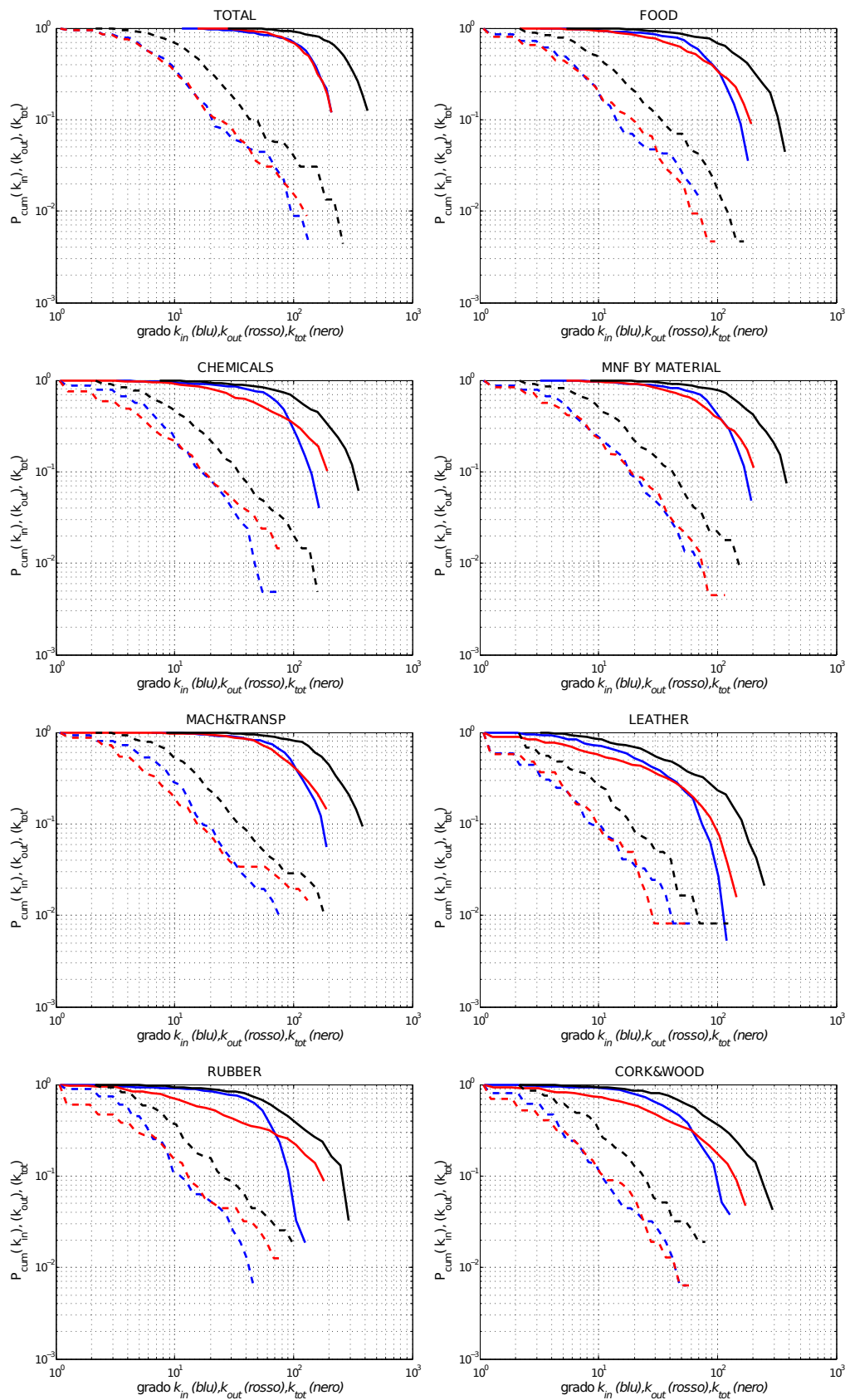
A.1 Distribuzione cumulata del peso dei link

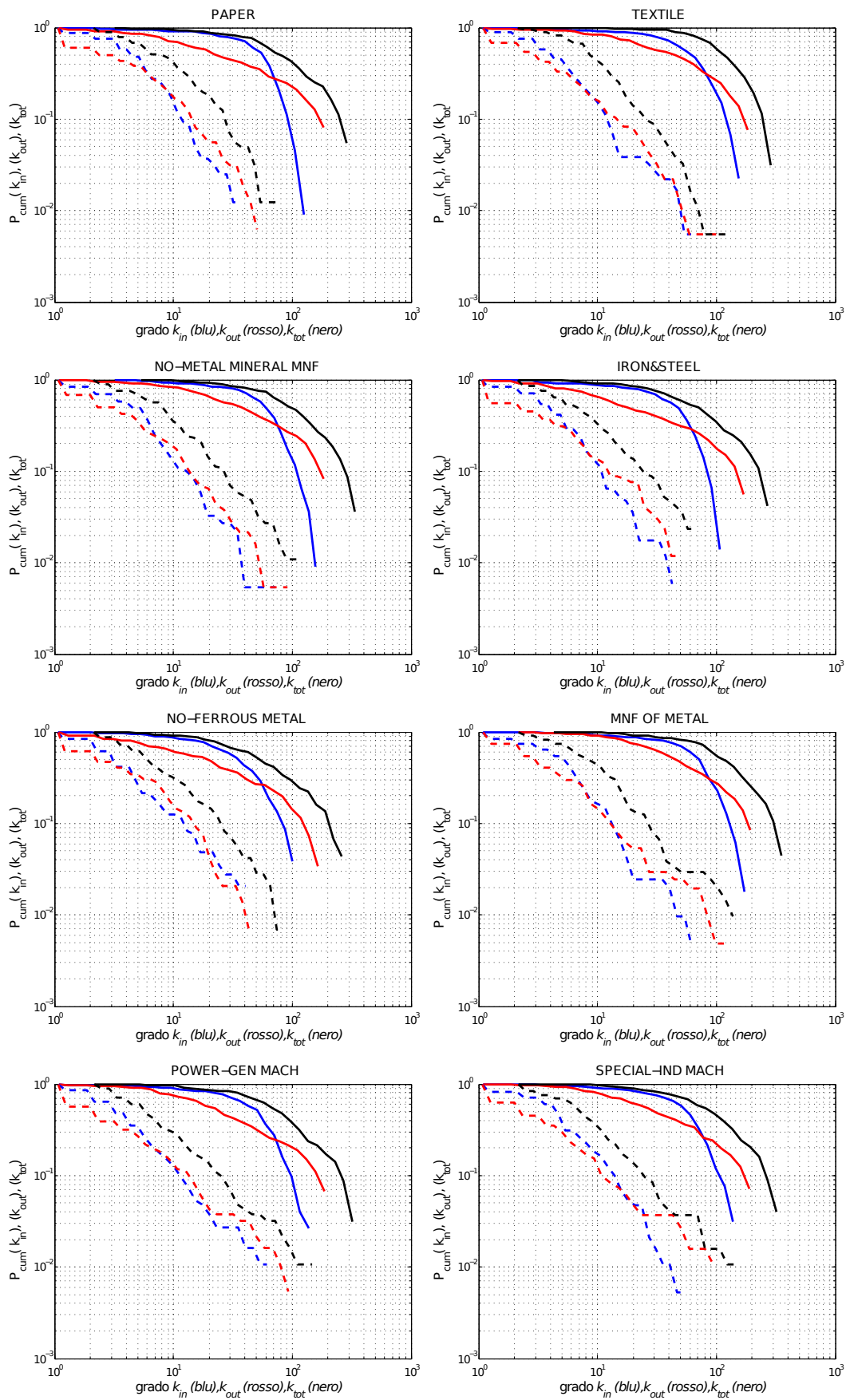


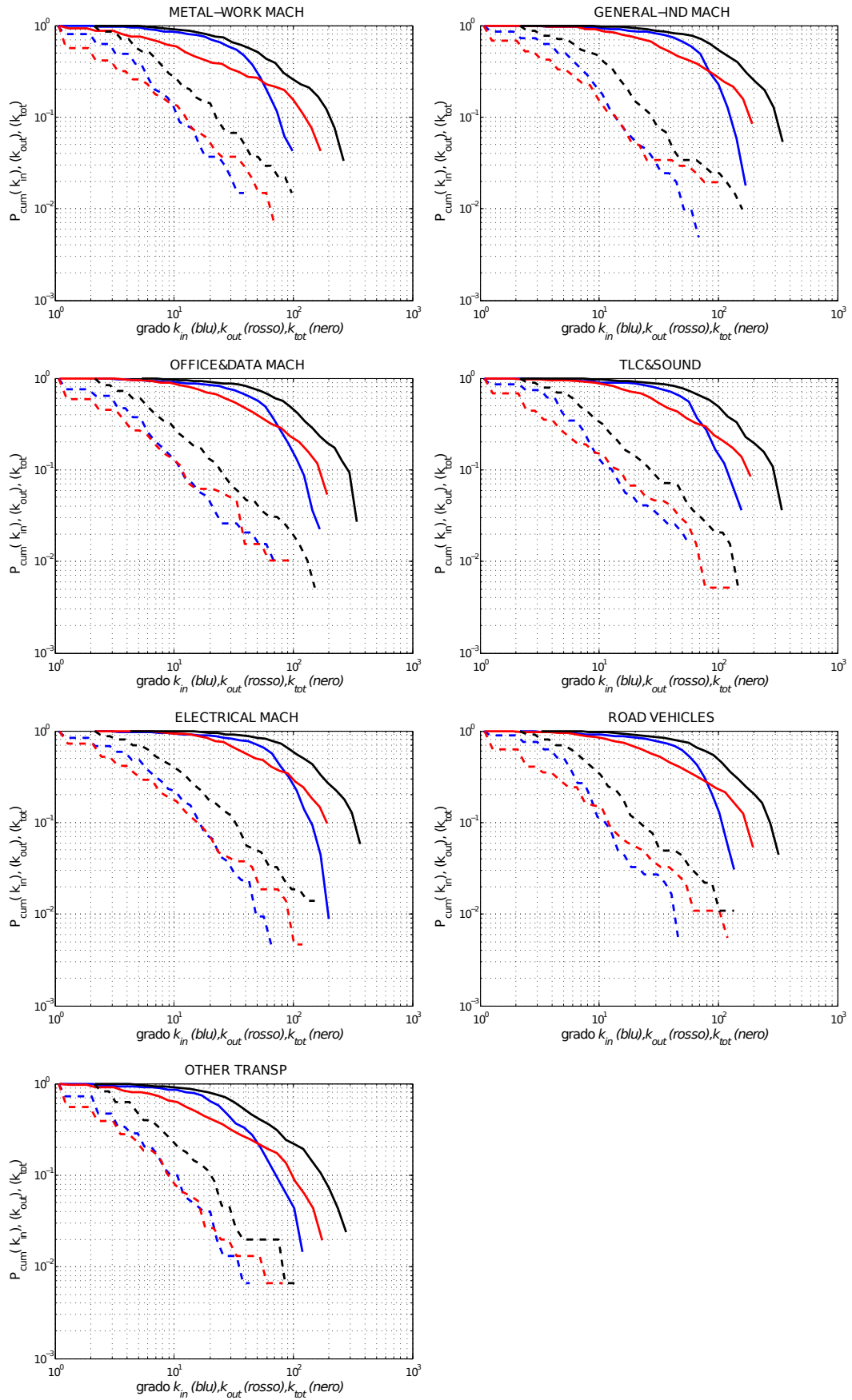




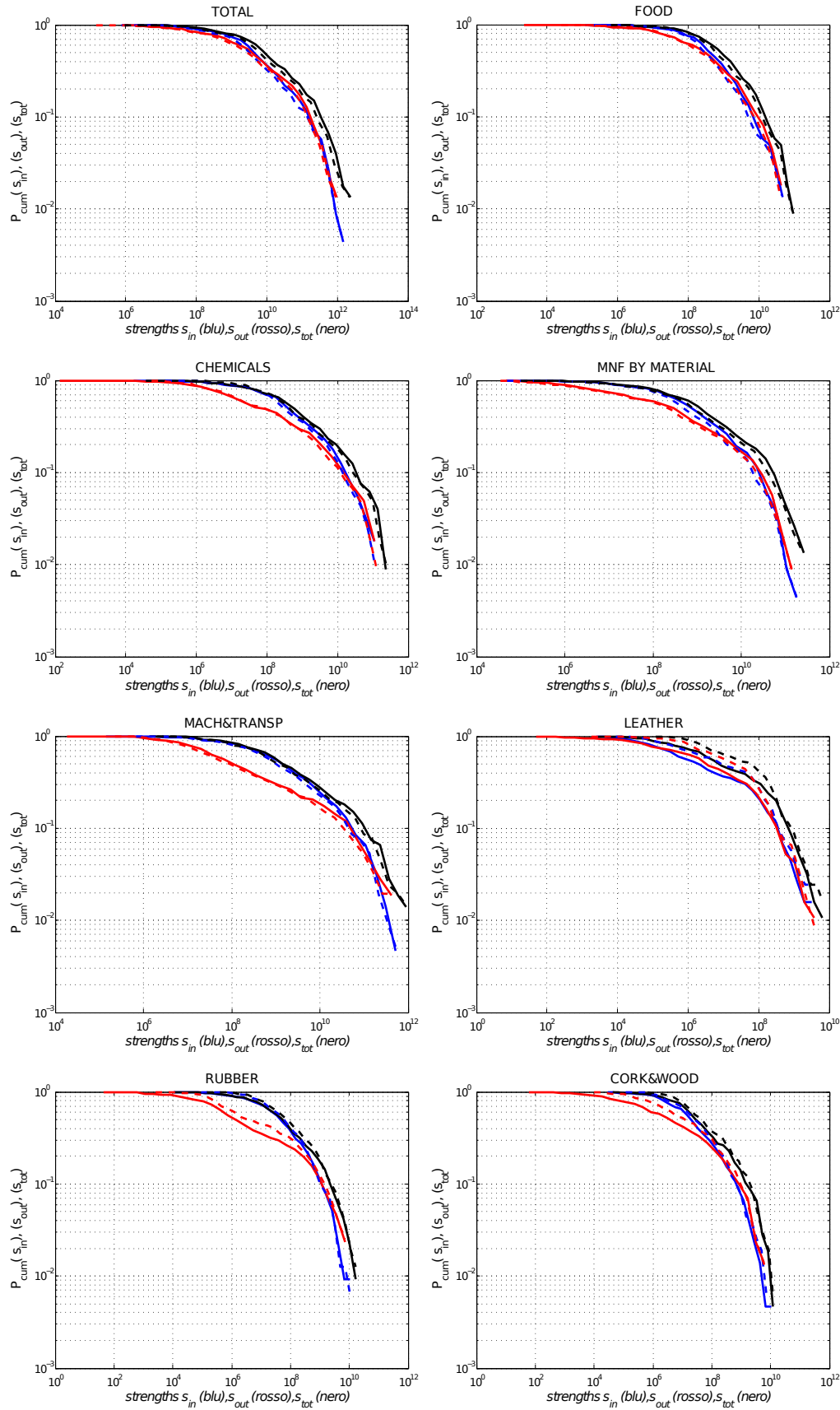
A.2 Distribuzione cumulata di grado in-, out- e totale dei paesi

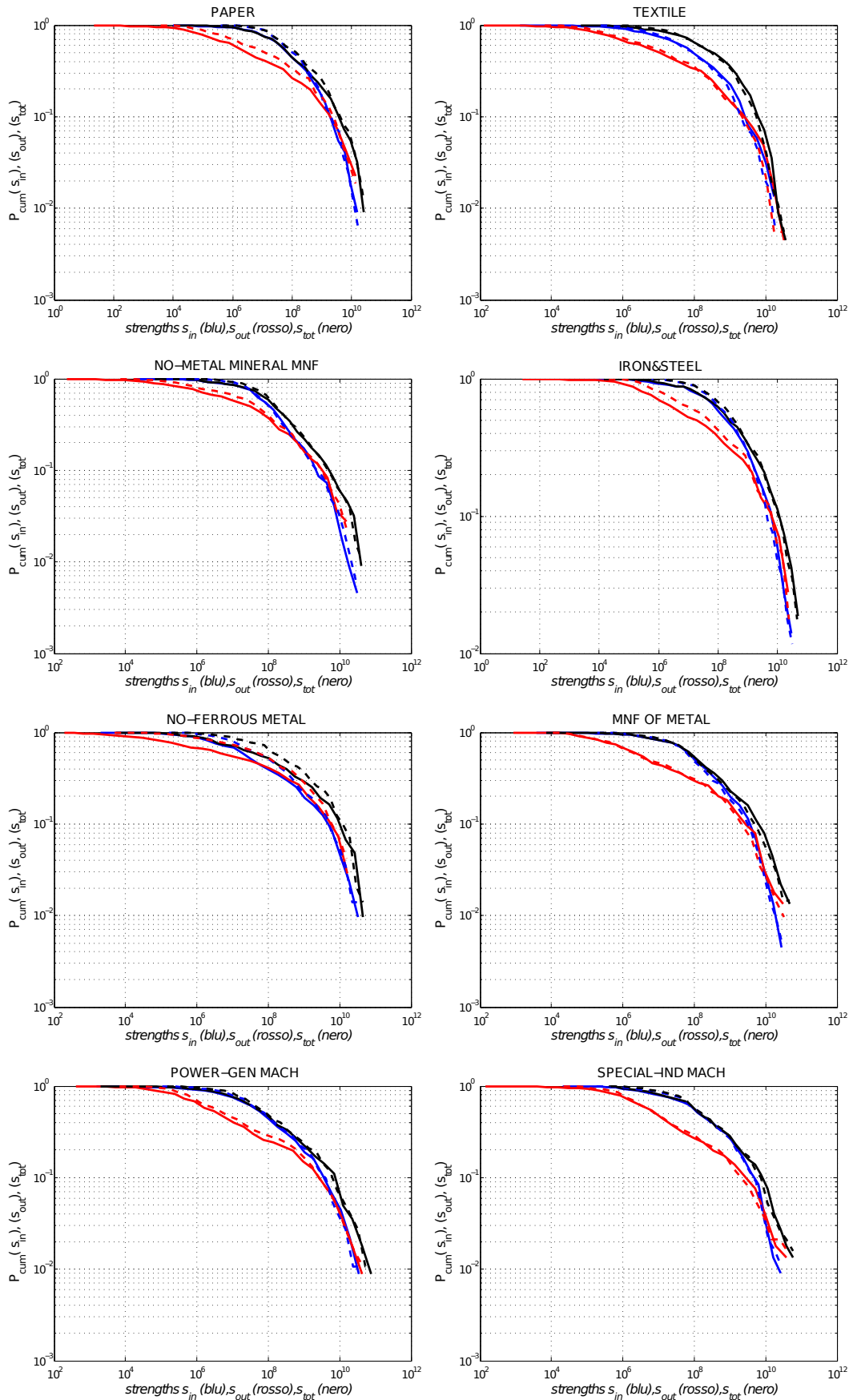


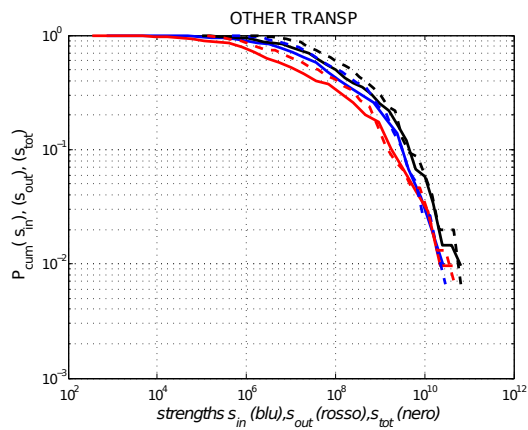
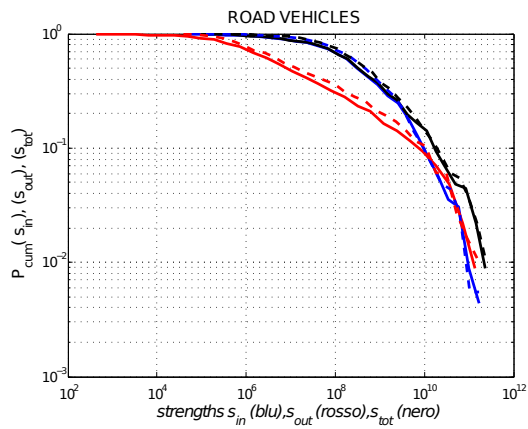
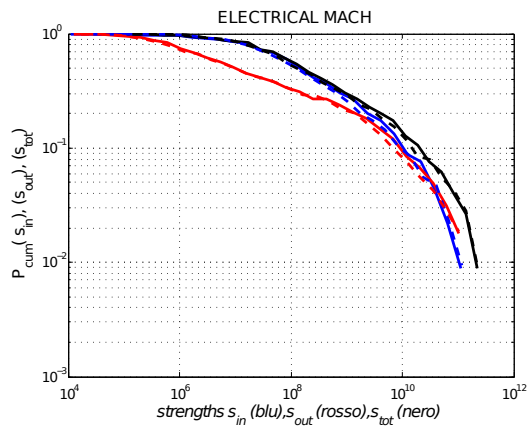
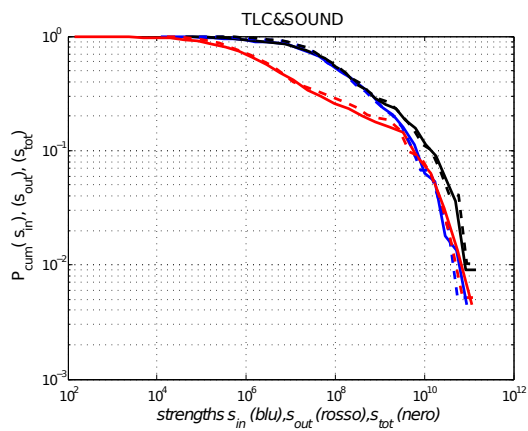
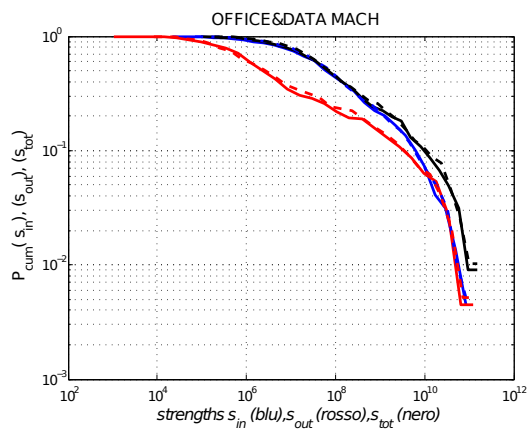
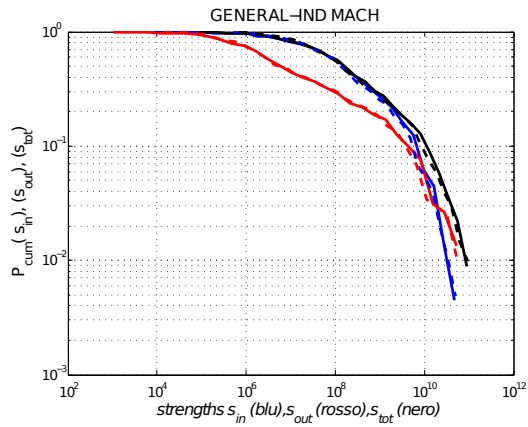
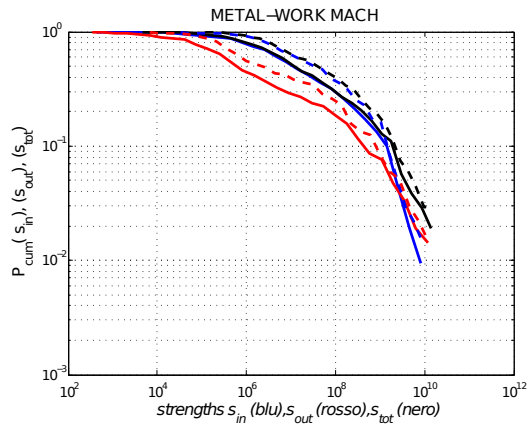




A.3 Distribuzione cumulata *strength* in-, out- e totale dei paesi

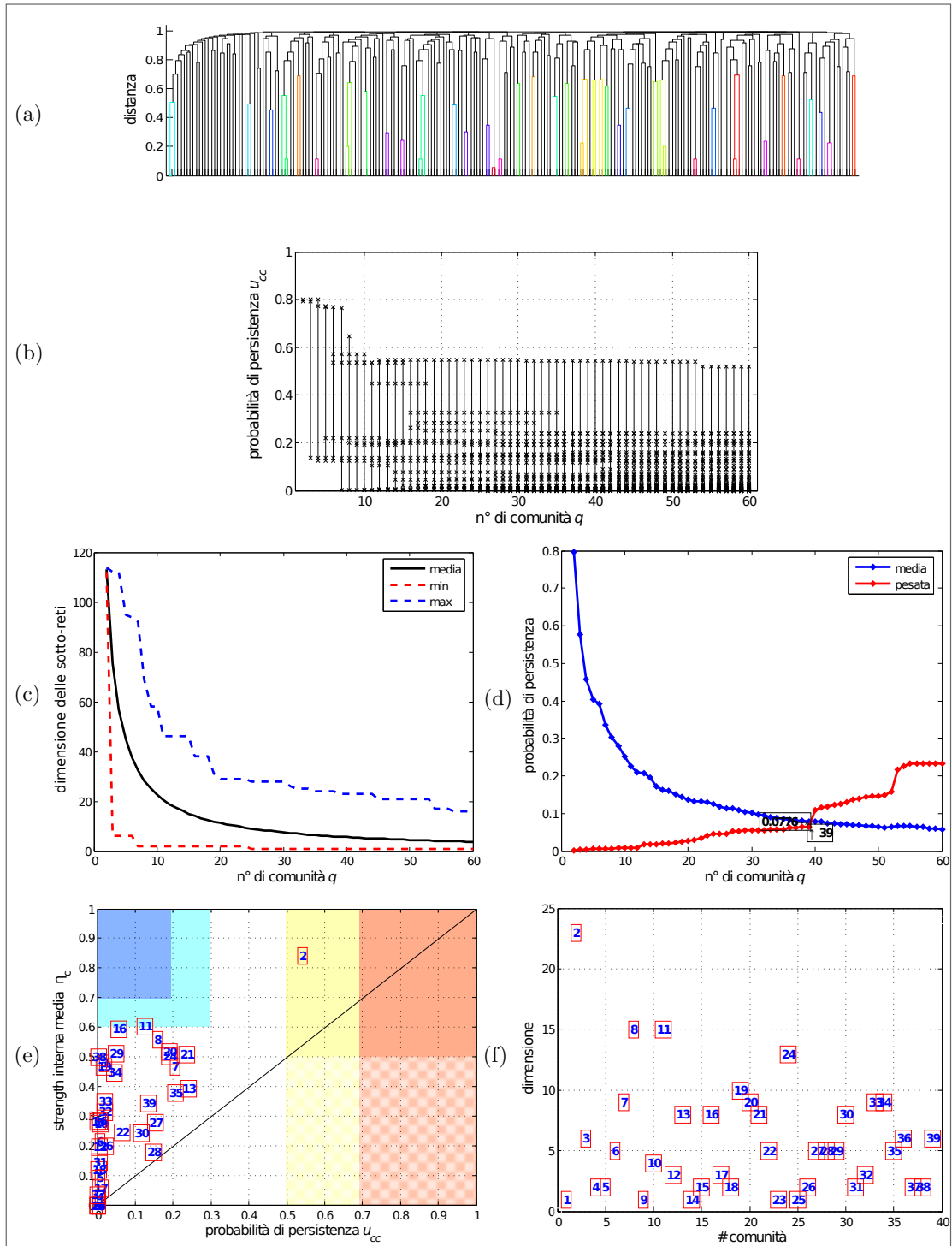




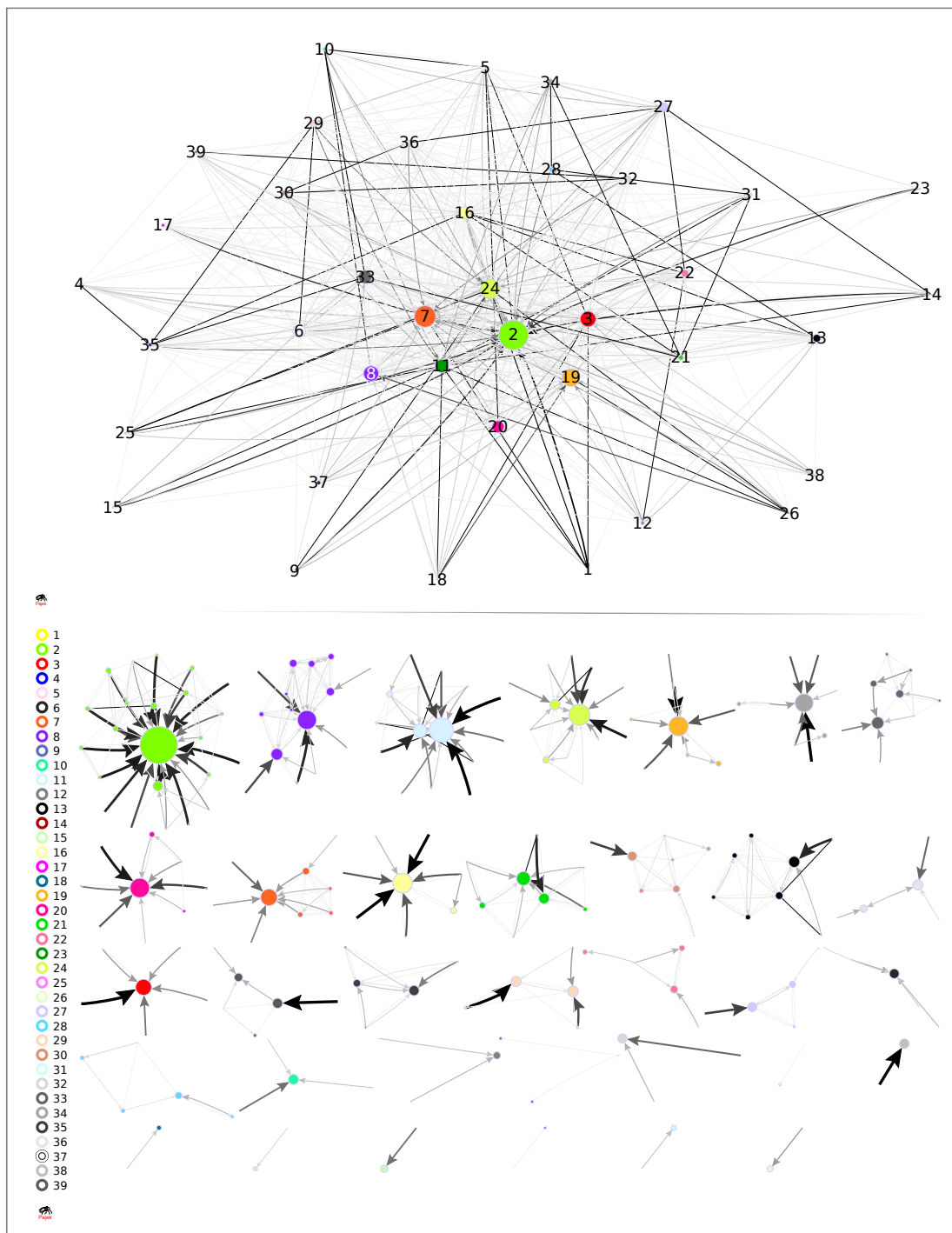


A.4 Analisi di comunità

TOTAL



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore TOTAL. (a) Dendrogramma delle distanze tra i nodi da cui sono generate le partizioni. (b) Il diagramma delle probabilità di persistenza: ogni partizione è costituita da un numero q di sotto-reti per ciascuna delle quali è calcolata la probabilità di persistenza u_{cc} . La figura (c) mostra come in corrispondenza di partizioni sempre più fini diminuisca la dimensione media delle sotto-reti. In (d) è mostrata la partizione in corrispondenza della quale è stato trovato il compromesso ottimo tra dimensione e probabilità di persistenza globali. La Figura (e) mostra come si collocano le sotto-reti rispetto ai due indicatori scelti per la valutazione della significatività come comunità e pseudo-comunità e infine (f) mostra la dimensione delle sotto-reti della partizione individuata in (d).



Rappresentazione delle sotto-reti del settore TOTAL. L'immagine in alto rappresenta la rete degli scambi preferenziali tra le comunità dove ogni nodo corrisponde a una comunità identificata con un #numero. I flussi diretti rappresentano la somma estesa ai paesi appartenenti alla comunità #I degli scambi preferenziali (quote delle esportazioni) diretti ai membri della comunità #J. La dimensione dei nodi è proporzionale alla in-strength calcolata come somma del valore dei flussi entranti nella comunità. La dimensione dei link e la scala del grigio è definita normalizzando il valore dei flussi rispetto al flusso di maggior valore. La figura mostra come siano tra loro connesse le sotto-reti. In particolare si mostra come alcune sotto-reti siano al centro di flussi preferenziali significativi (quote relativamente maggiori delle esportazioni) provenienti dalle altre sotto-reti, il che le qualifica a prima vista come le più centrali come mercati di esportazione del sistema. L'immagine in basso invece rappresenta come sono strutturate al loro interno le sotto-reti, cioè se tra i paesi che ne fanno parte prevalga una multilateralità o piuttosto una bilateralità o unilateralità nei rapporti di scambio che si realizzano.

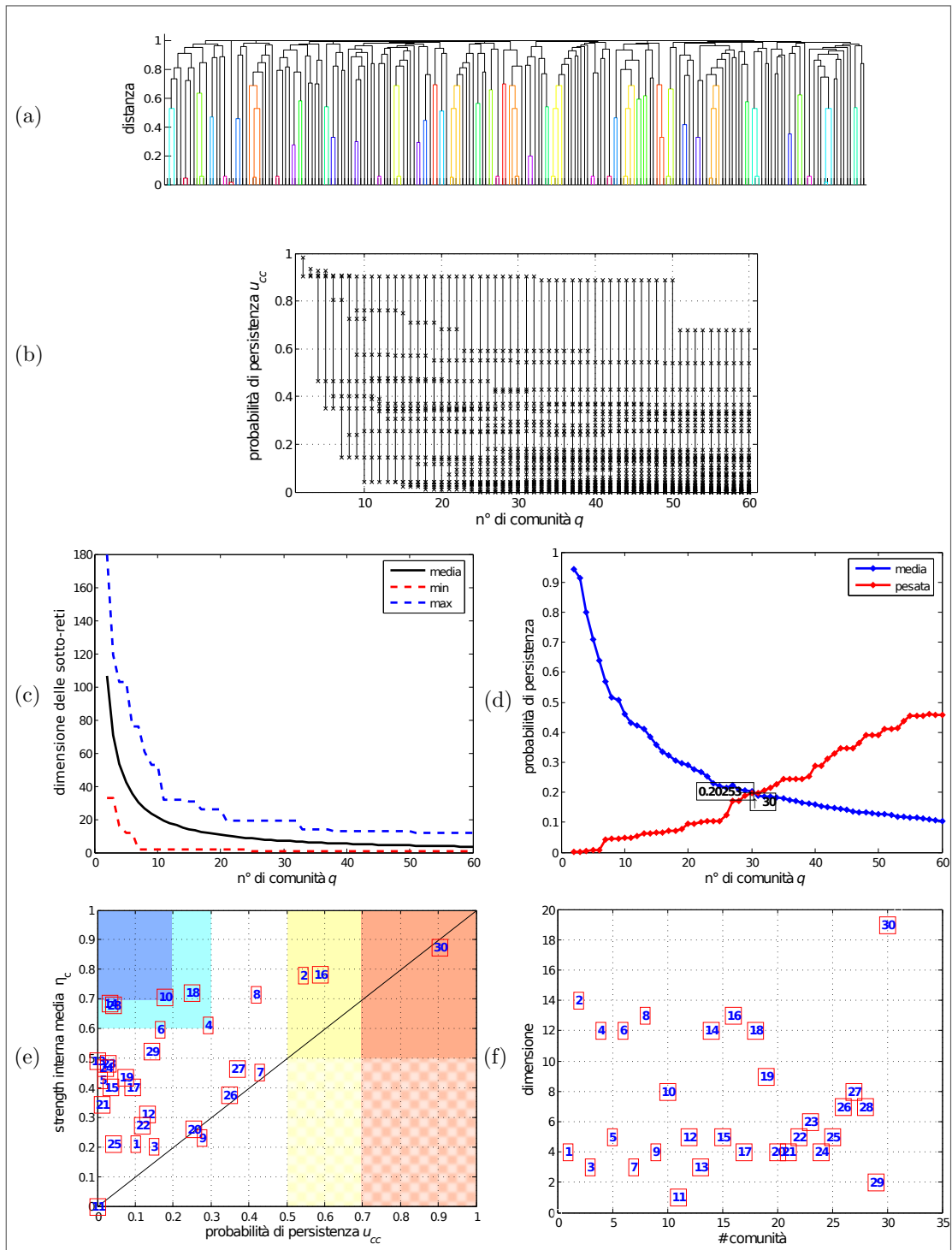


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore TOTAL. La figura mostra in dettaglio la composizione di quelle che sono state classificate come comunità e pseudo-comunità quindi sotto-reti al cui interno esistono relazioni di scambio tali da renderle, se comunità, gruppi di paesi significativamente isolati nelle esportazioni e talvolta anche nelle importazioni (vedi Tabella nella pagina seguente) oppure, se pseudo-comunità, gruppi in la gran parte dei paesi scambia con un solo paese, che costituisce il loro mercato di esportazione preferenziale, che però esporta in misura significativamente maggiore verso mercati che non sono quelli presenti all'interno della pseudo-comunità.

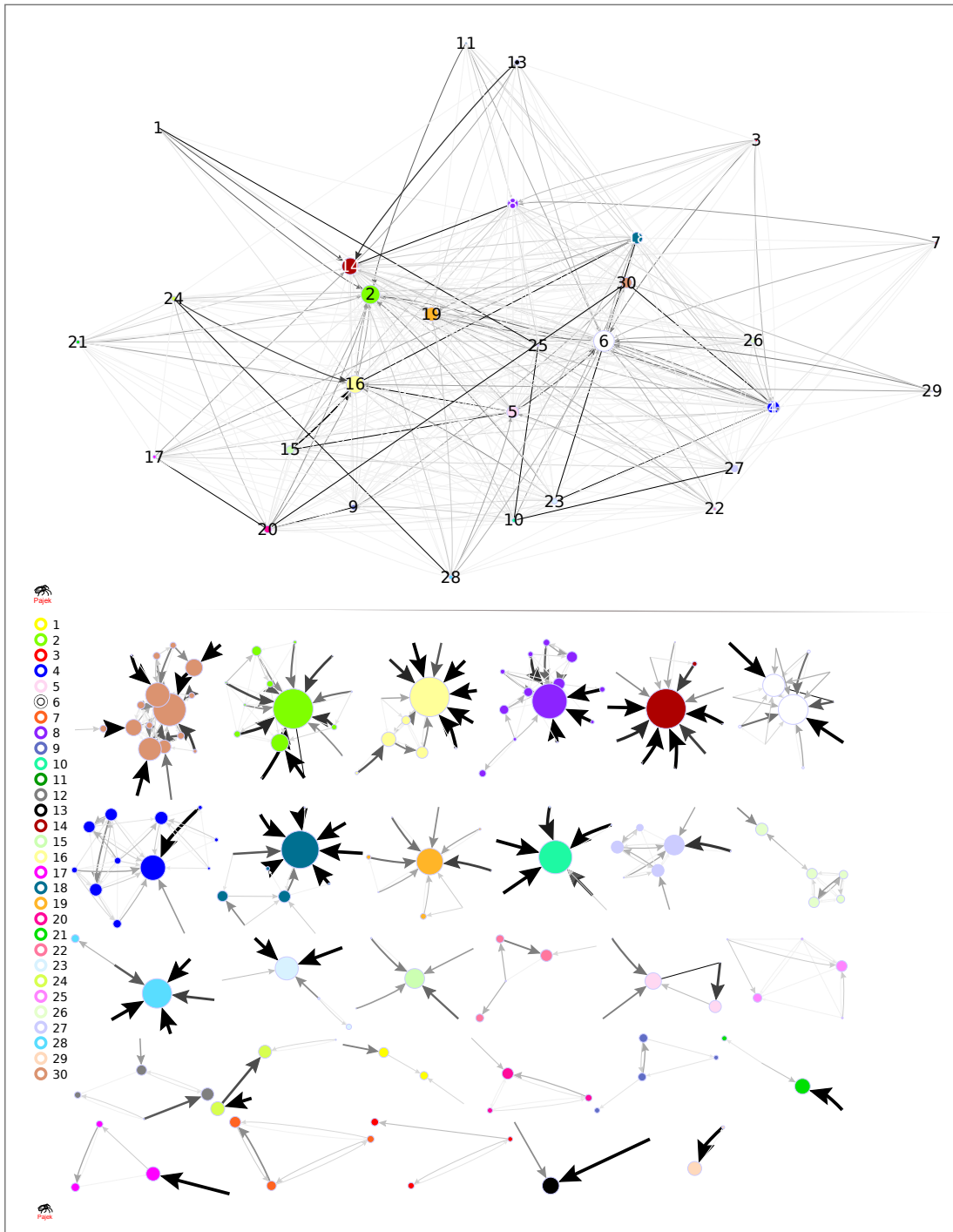
#	U _{cc}	n _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
2	0.54	0.84	23	0.25	0.60	0.59	0.40	1013.800
11	0.13	0.60	15	0.28	0.59	0.10	0.12	81.216

Tabella A. 1.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore TOTAL

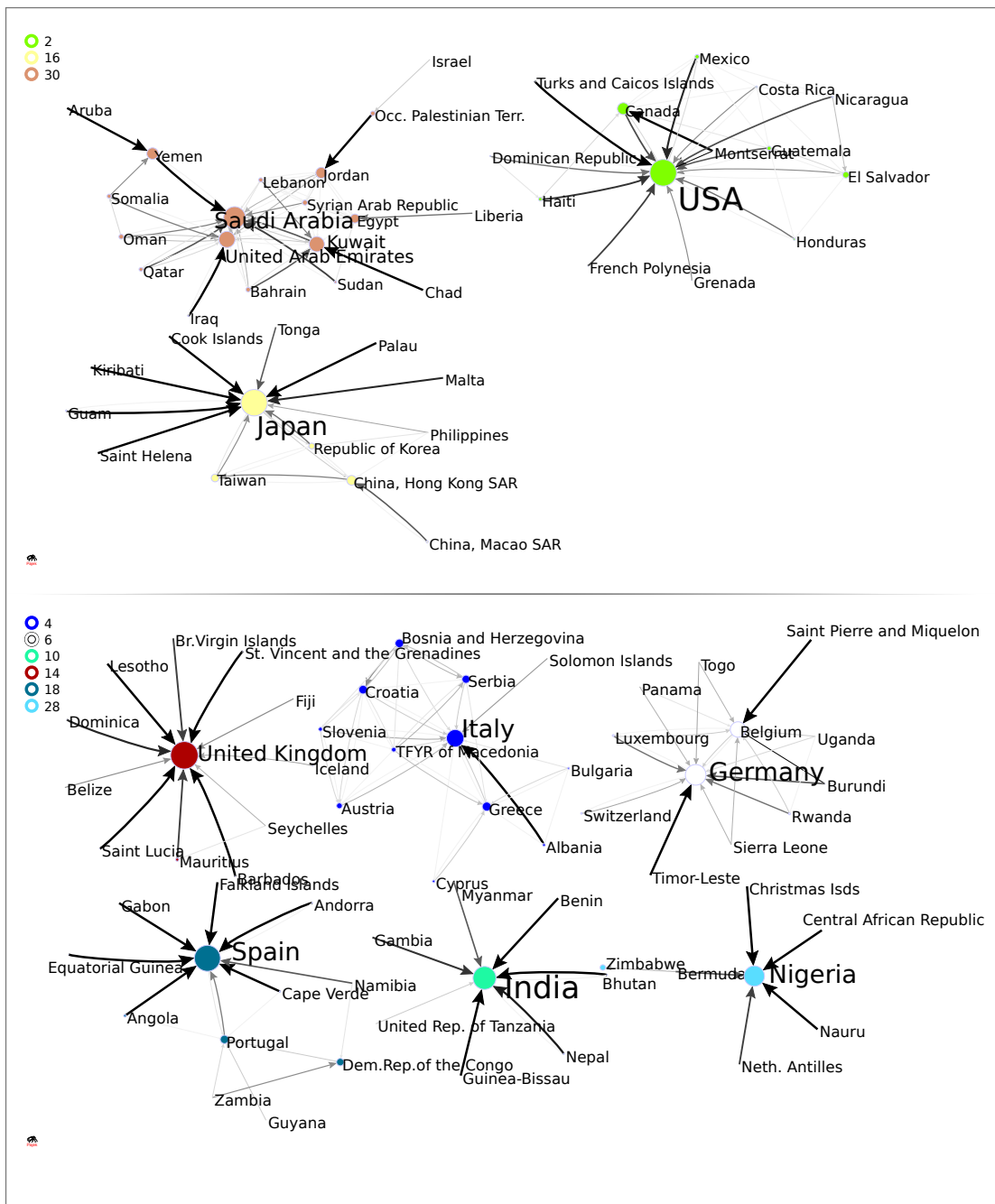
FOOD AND LIVE ANIMALS



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore FOOD AND LIVE ANIMALS.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore FOOD AND LIVE ANIMALS.

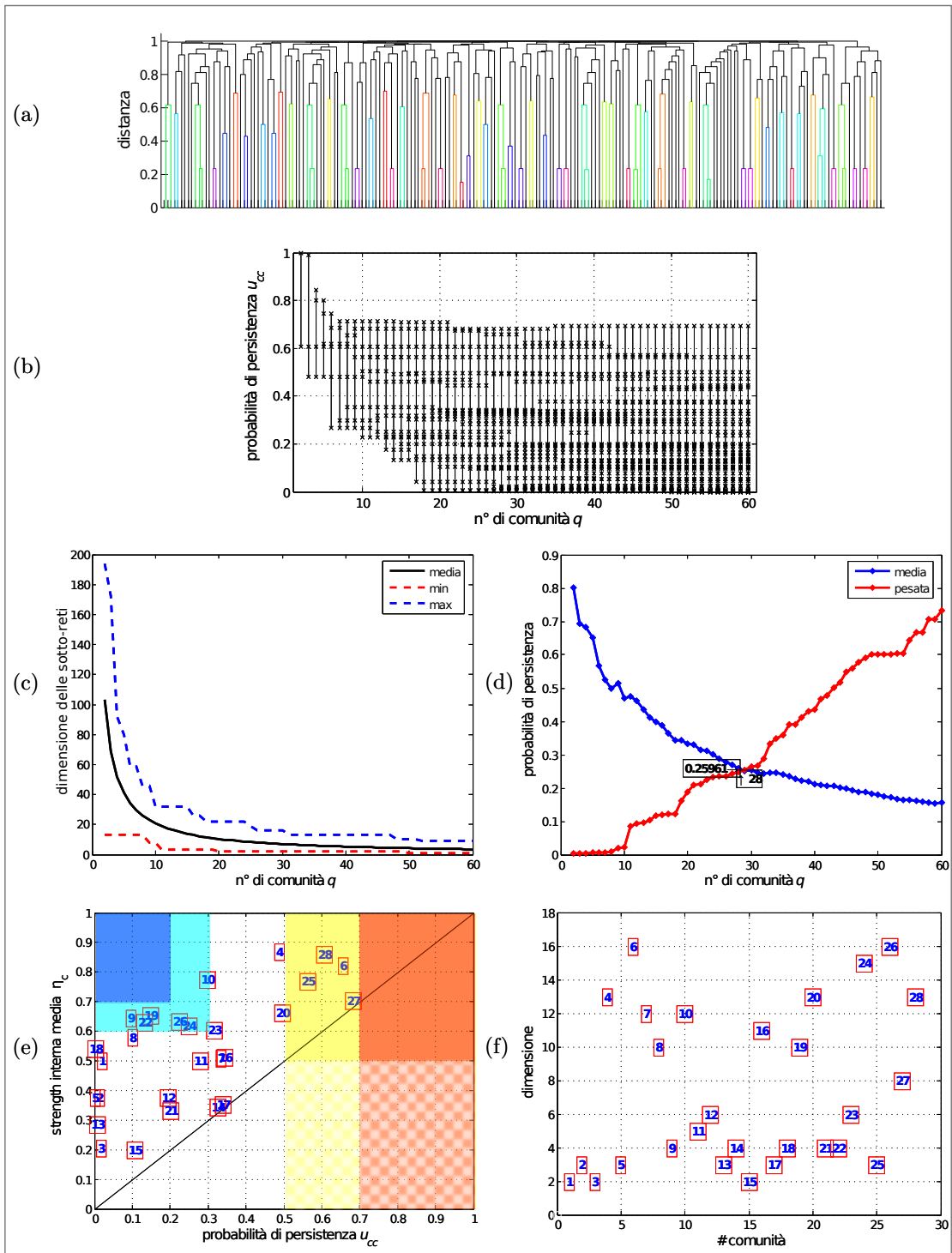


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore FOOD AND LIVE ANIMALS.

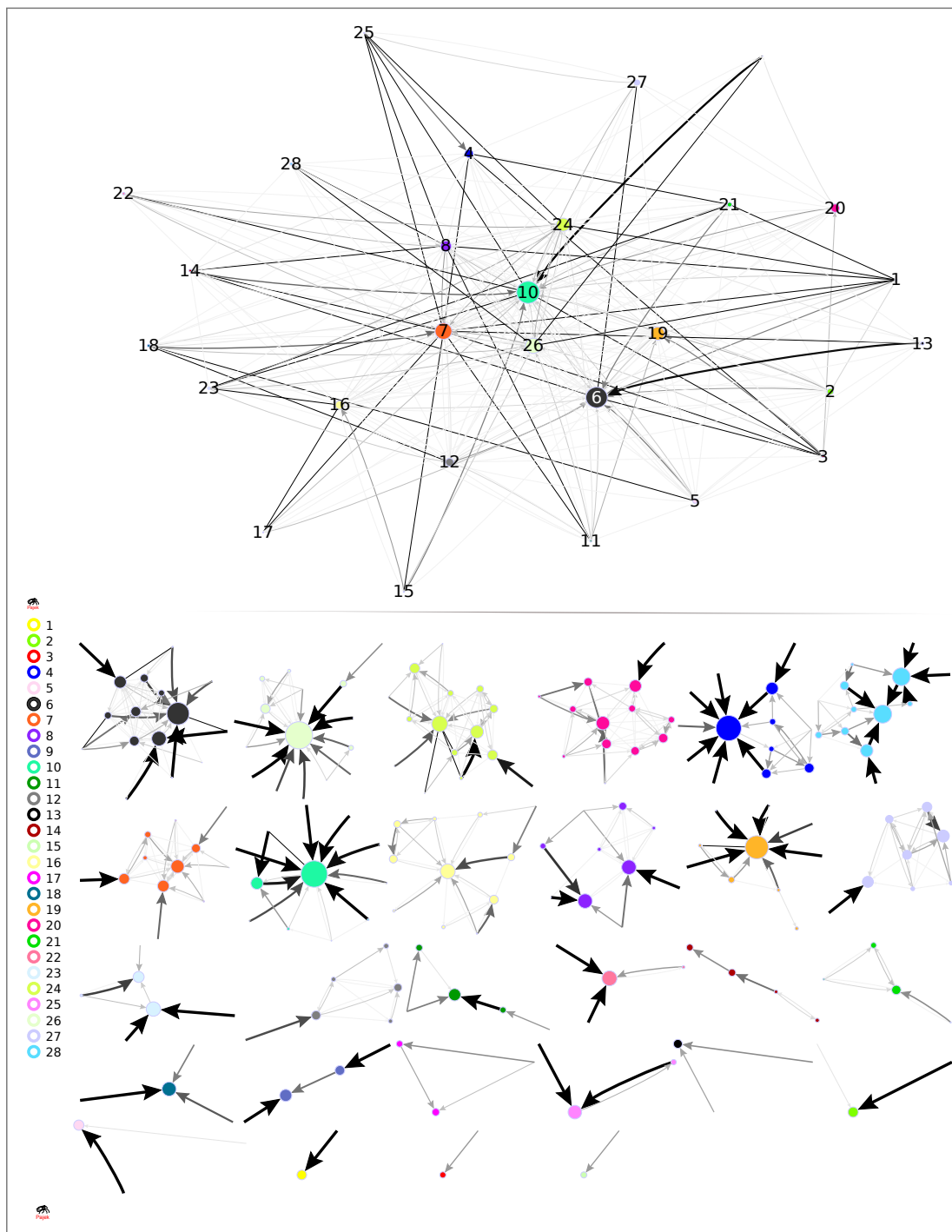
#	Ucc	ρ_c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
30	0.90	0.87	19	0.23	0.45	0.70	0.26	4.885
16	0.59	0.78	13	0.22	0.26	0.60	0.09	5.185
2	0.54	0.78	14	0.32	0.58	0.57	0.59	49.698
4	0.29	0.61	12	0.44	0.74	0.25	0.15	5.807
18	0.25	0.72	12	0.23	0.30	0.19	0.18	4.601
10	0.18	0.71	8	0.25	0.00	0.10	0.34	0.805
6	0.17	0.60	12	0.29	0.62	0.17	0.13	9.007
28	0.04	0.68	7	0.29	0.00	0.12	0.03	0.079
14	0.03	0.68	12	0.18	0.17	0.12	0.04	1.429

Tabella A.2.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore FOOD AND LIVE ANIMALS

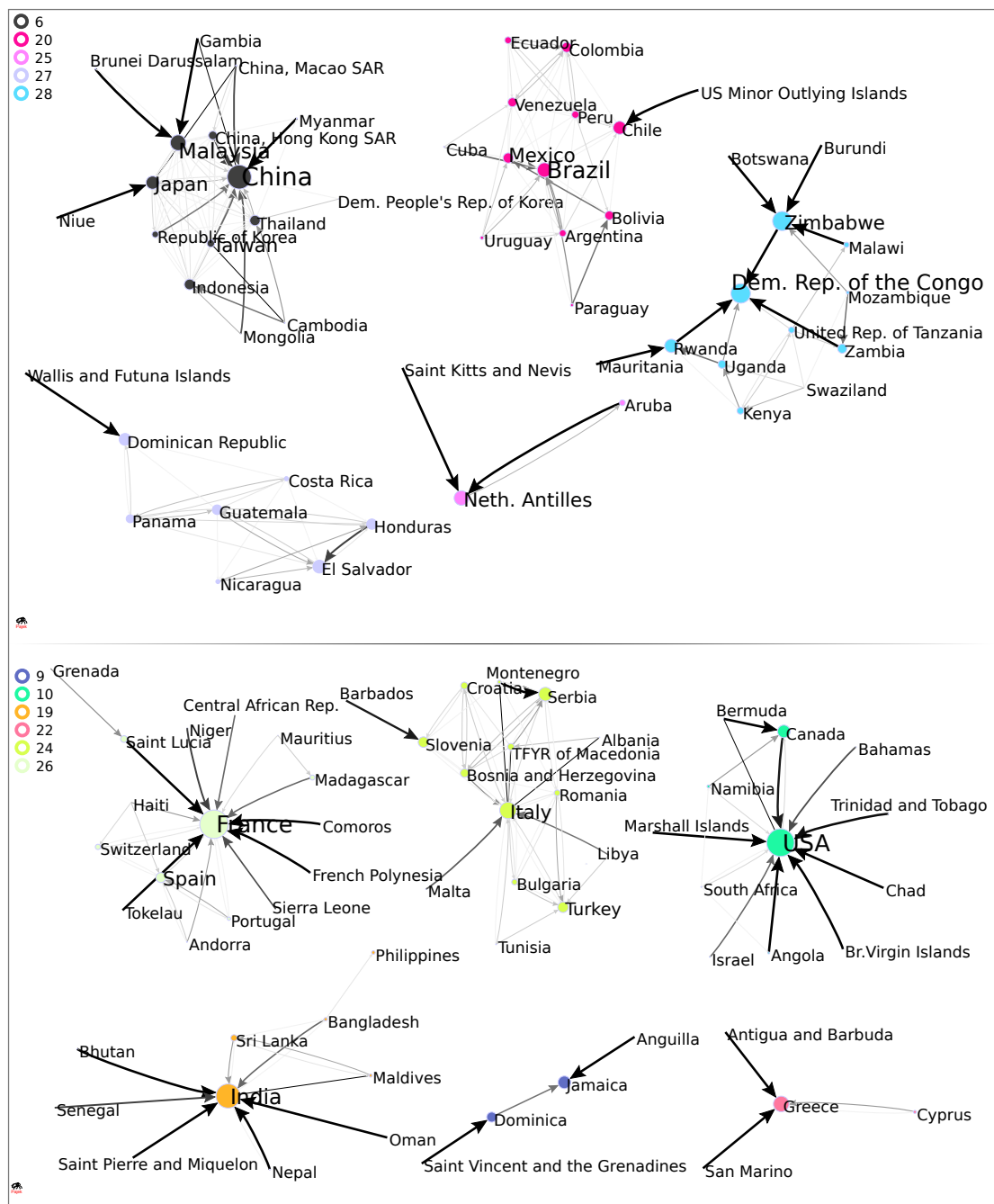
CHEMICALS



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore CHEMICALS.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore CHEMICALS.

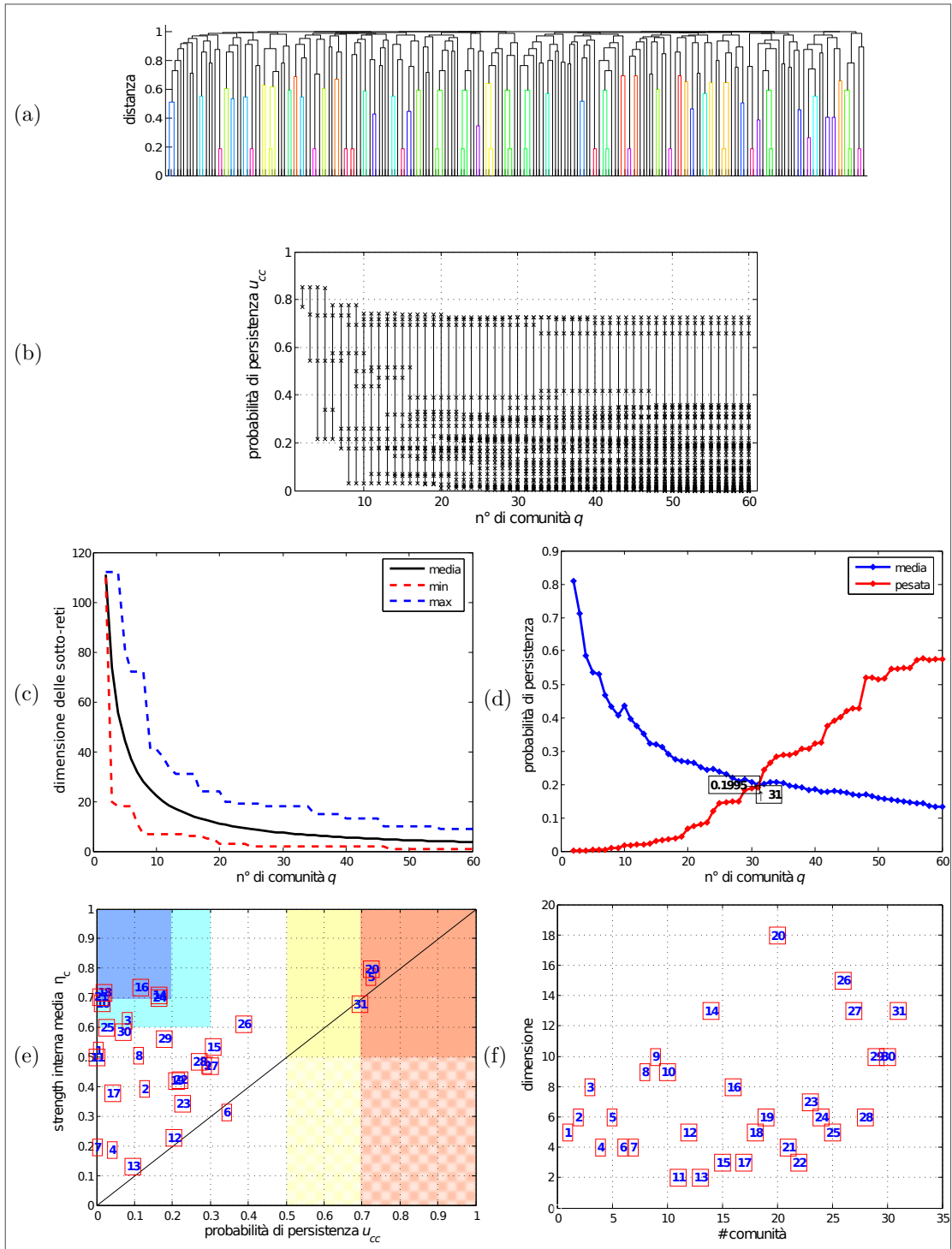


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore CHEMICALS.

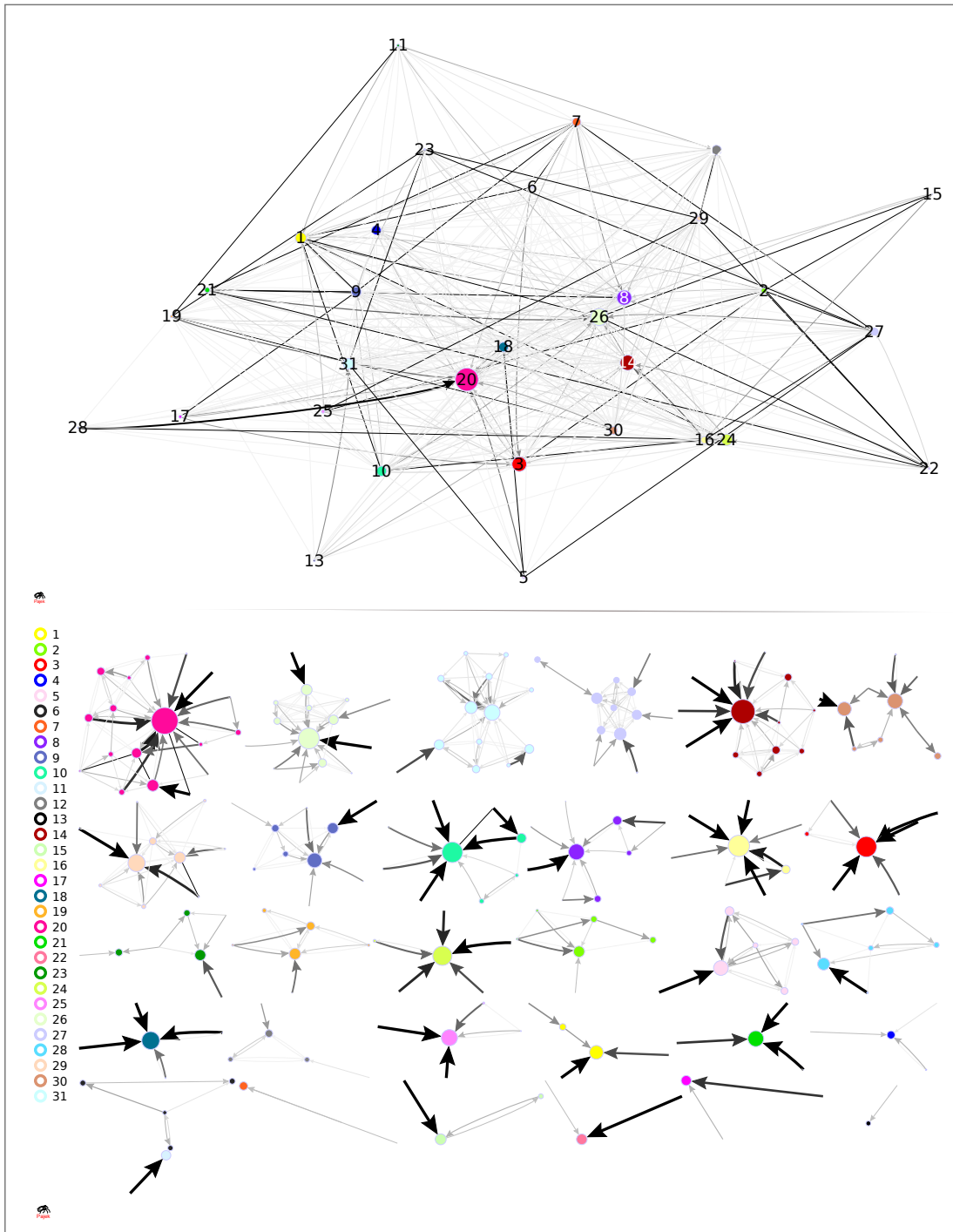
#	Ucc	η_c	N_c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
27	0.68	0.70	8	0.64	0.70	0.70	0.2	1.086
6	0.65	0.82	16	0.37	0.70	0.71	0.58	114.850
28	0.61	0.85	13	0.27	0.18	0.86	0.19	0.504
25	0.56	0.76	3	0.67	0.00	0.37	0.05	0.012
20	0.50	0.66	13	0.50	0.69	0.46	0.20	10.457
10	0.29	0.77	12	0.23	0.34	0.29	0.29	54.804
24	0.25	0.61	15	0.33	0.60	0.14	0.09	7.165
26	0.22	0.63	16	0.18	0.41	0.17	0.18	23.851
19	0.14	0.65	10	0.24	0.21	0.09	0.06	1.129
22	0.13	0.63	4	0.50	0.00	0.14	0.04	0.300
9	0.09	0.64	4	0.50	0.00	0.05	0.03	0.018

Tabella A.3.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore CHEMICALS

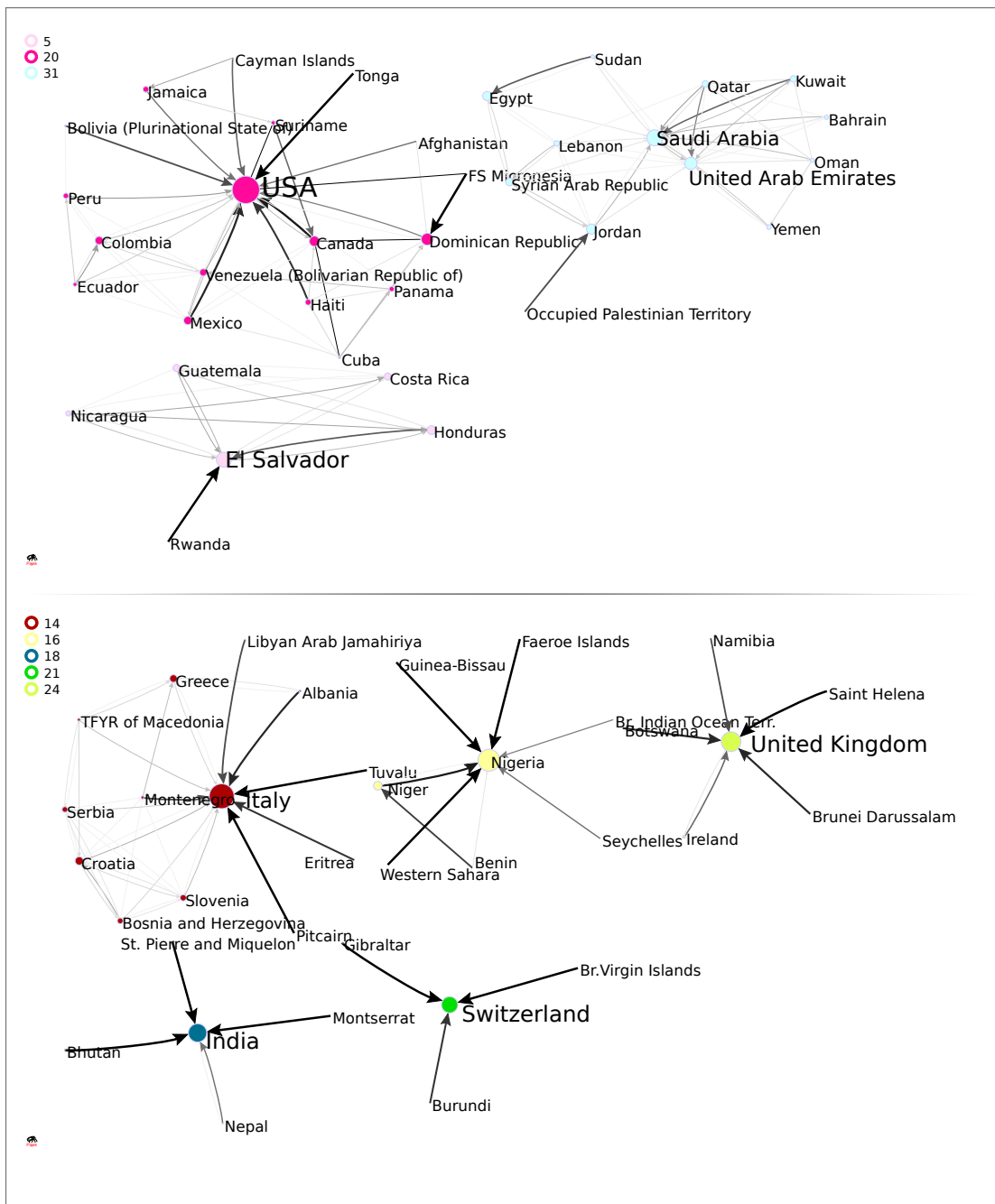
MANUFACTURES CLASSIFIED BY MATERIAL



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore MANUFACTURES CLASSIFIED BY MATERIAL.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore MANUFACTURES CLASSIFIED BY MATERIAL.

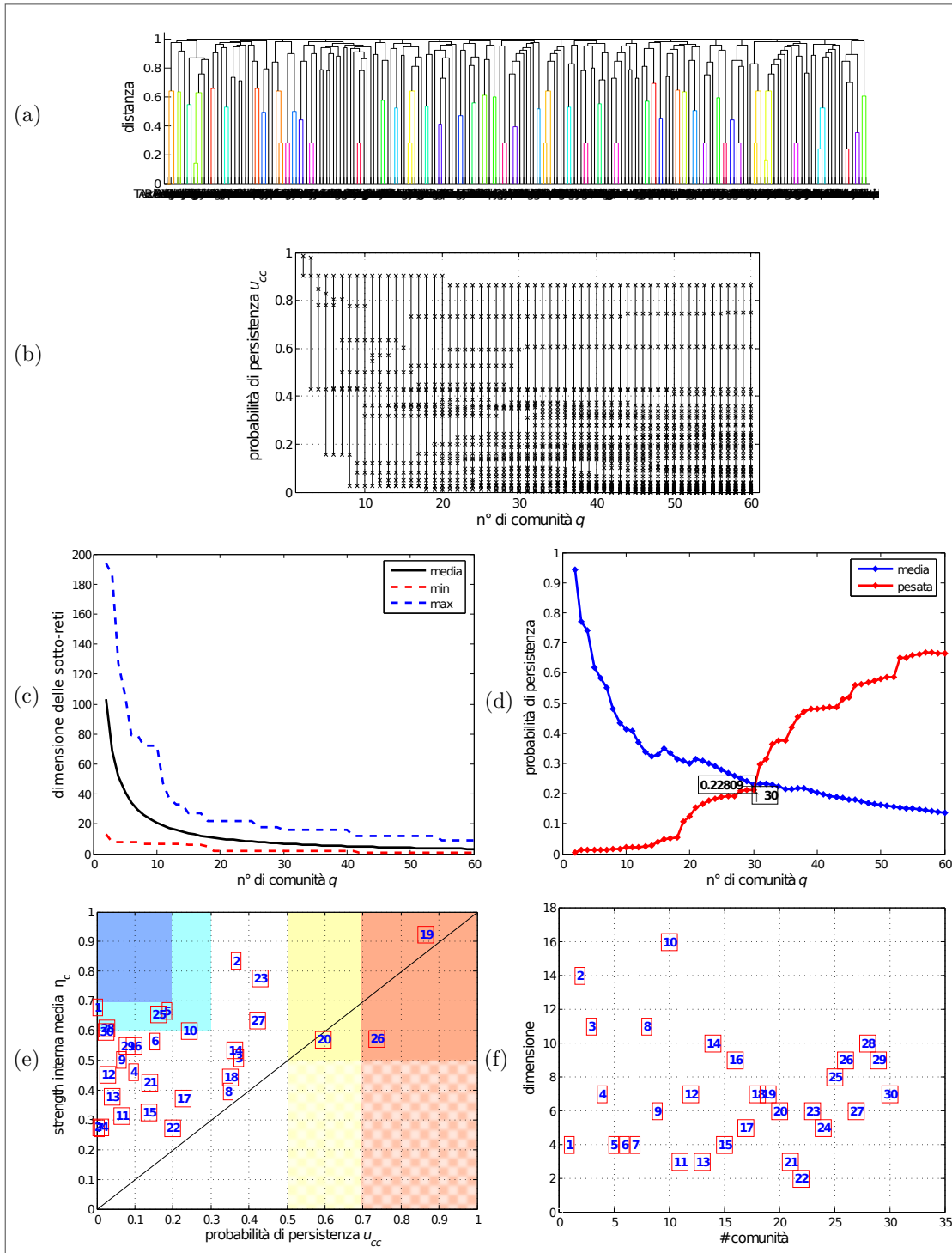


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore MANUFACTURES CLASSIFIED BY MATERIAL.

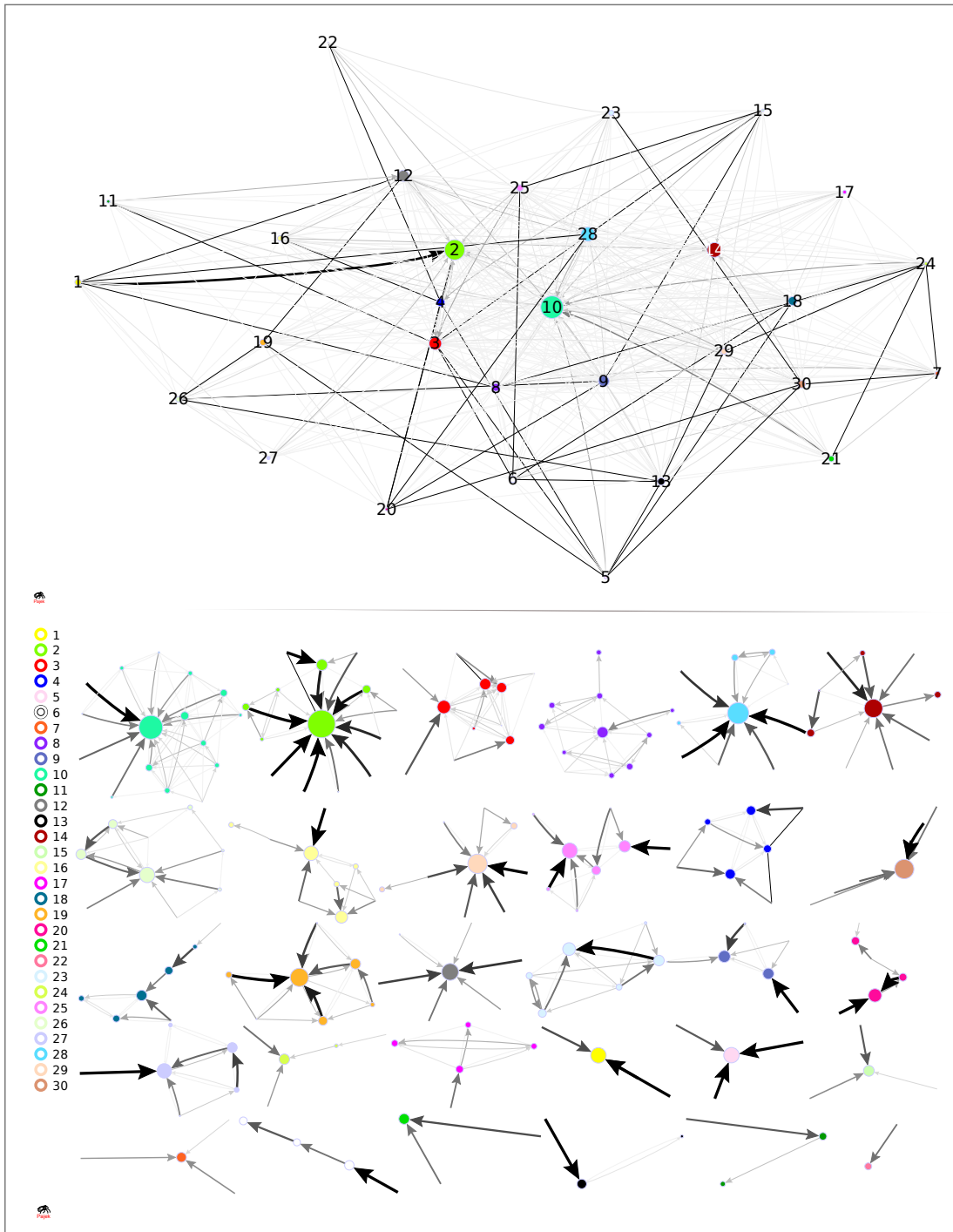
#	Ucc	ρ_c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
20	0.73	0.80	18	0.29	0.68	0.74	0.41	130.130
5	0.72	0.77	6	0.67	0.69	0.58	0.17	0.793
31	0.70	0.68	13	0.42	0.67	0.50	0.19	7.392
14	0.17	0.71	13	0.35	0.52	0.13	0.13	10.960
24	0.16	0.70	6	0.33	0.00	0.19	0.10	7.398
16	0.12	0.74	8	0.29	0.26	0.17	0.01	0.050
3	0.08	0.62	8	0.29	0.26	0.08	0.09	5.698
18	0.02	0.72	5	0.40	0.00	0.02	0.03	0.559
25	0.03	0.60	5	0.50	0.43	0.02	0.09	0.474
10	0.01	0.68	9	0.31	0.38	0.01	0.01	0.570
21	0.01	0.70	4	0.50	0.00	0.01	0.01	0.161

Tabella A.4.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore MANUFACTURES CLASSIFIED BY MATERIAL

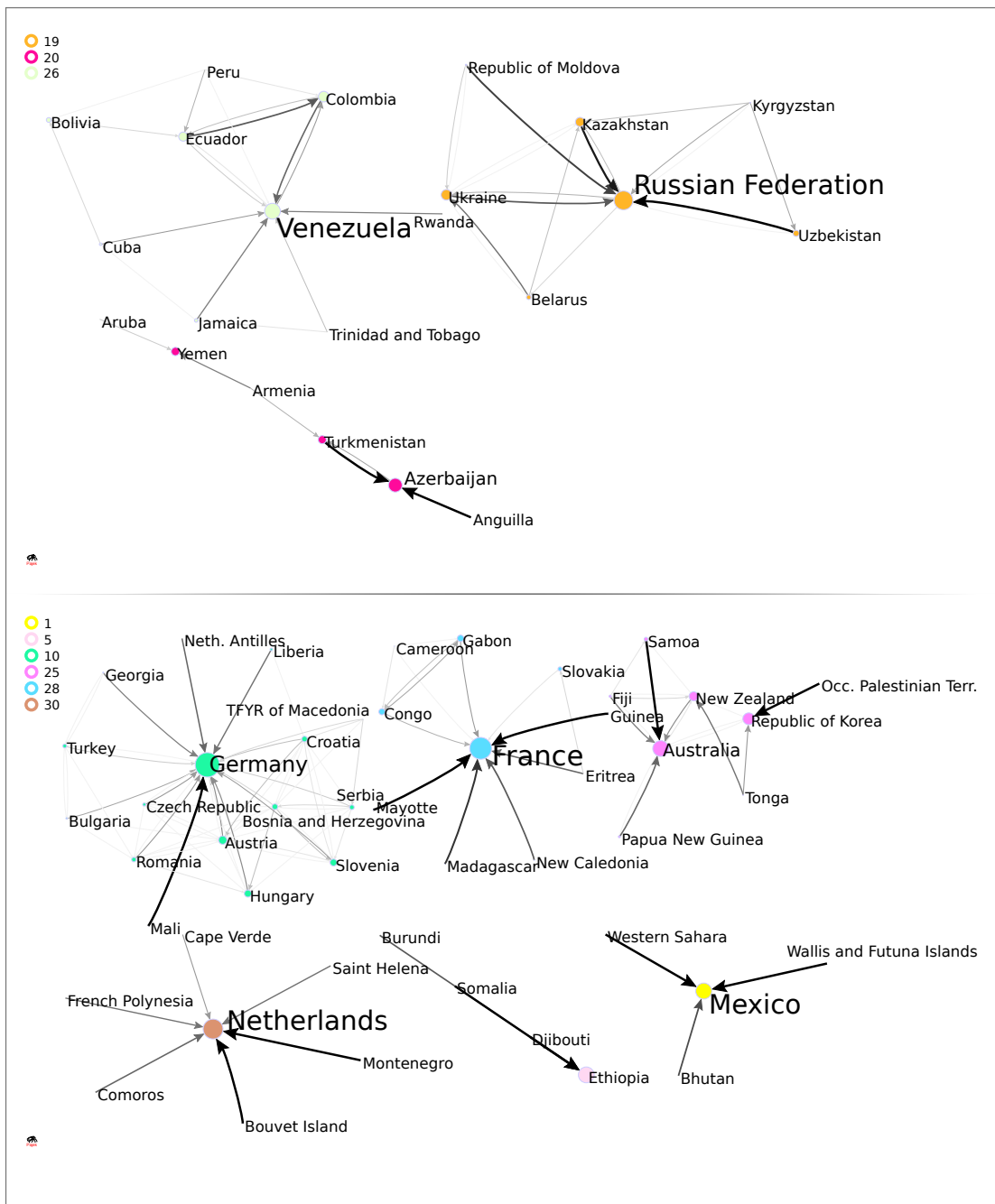
MACHINERY AND TRANSPORT EQUIPMENT



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore MACHINERY AND TRANSPORT EQUIPMENT.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore MACHINERY AND TRANSPORT EQUIPMENT. .

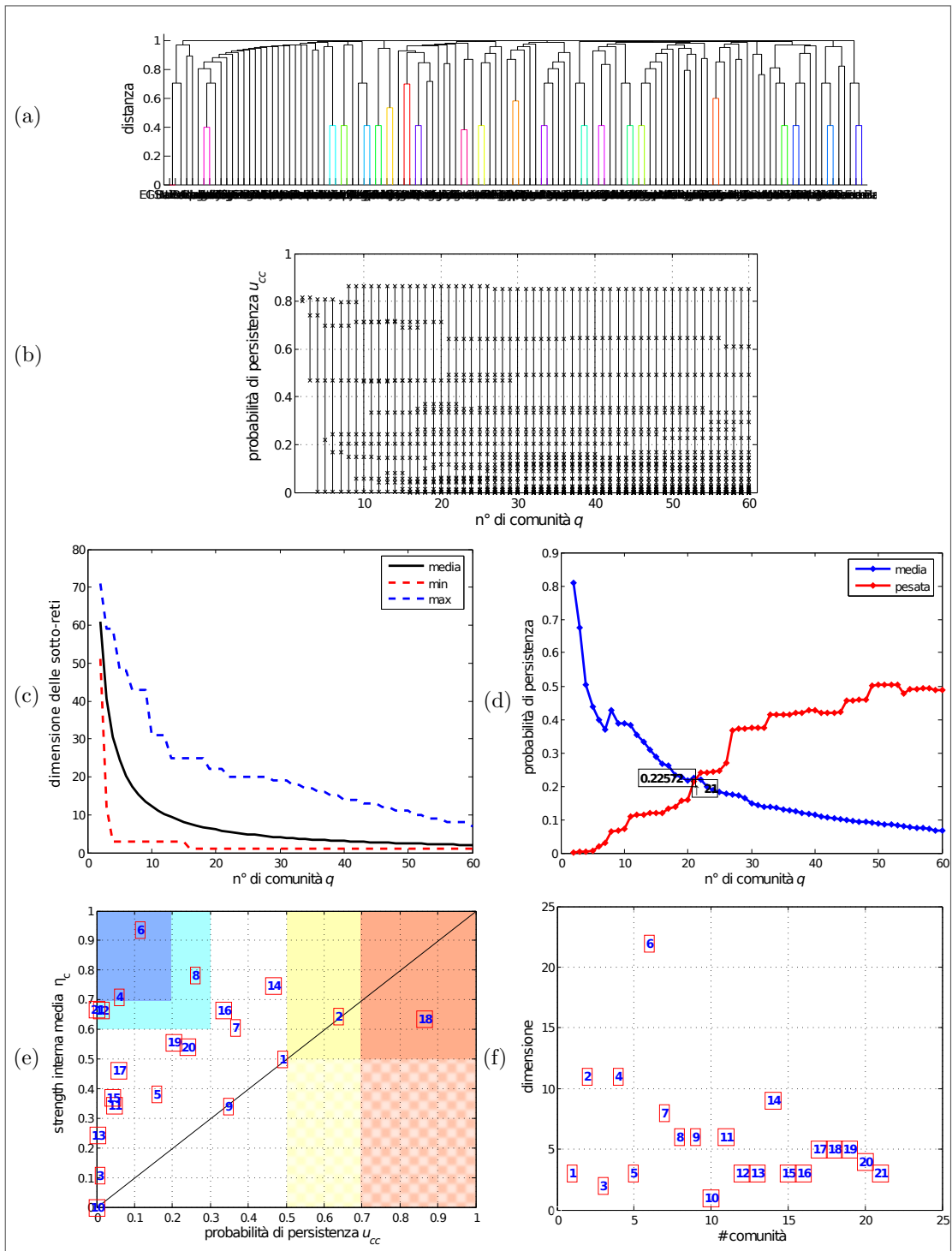


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore MACHINERY AND TRANSPORT EQUIPMENT.

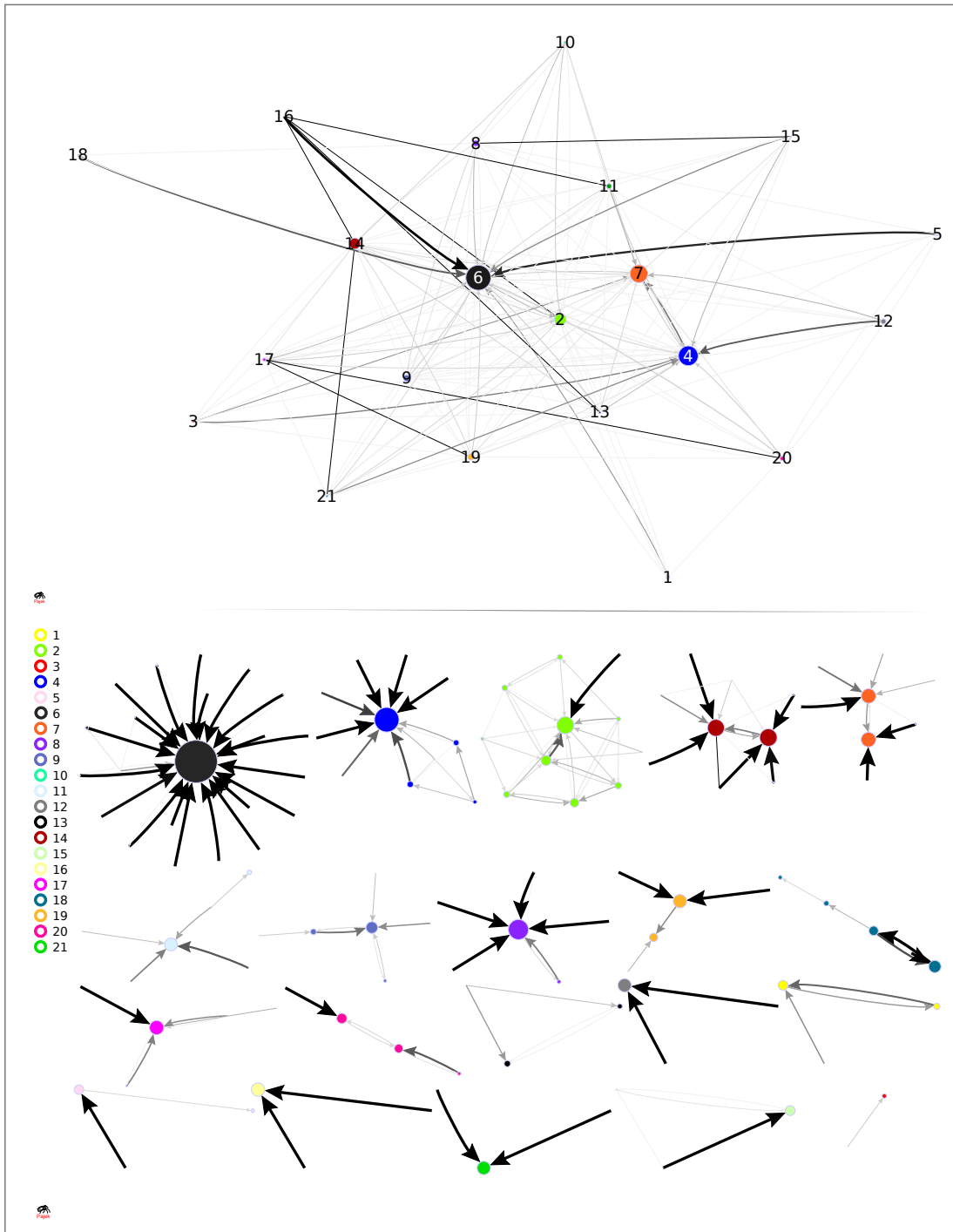
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
19	0.86	0.93	7	0.57	0.77	0.83	0.17	11.126
26	0.74	0.58	9	0.42	0.54	0.77	0.06	1.810
20	0.60	0.57	6	0.33	0.00	0.79	0.10	0.335
10	0.24	0.60	16	0.37	0.69	0.21	0.28	129.790
5	0.19	0.67	4	0.50	0.00	0.59	0.05	0.084
25	0.16	0.66	8	0.43	0.53	0.03	0.05	6.189
28	0.03	0.61	10	0.29	0.51	0.02	0.02	3.193
30	0.02	0.60	7	0.29	0.00	0.00	0.00	0.052
1	0.00	0.68	4	0.50	0.00	0.00	0.00	0.002

Tabella A.5.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore MACHINERY AND TRANSPORT EQUIPMENT

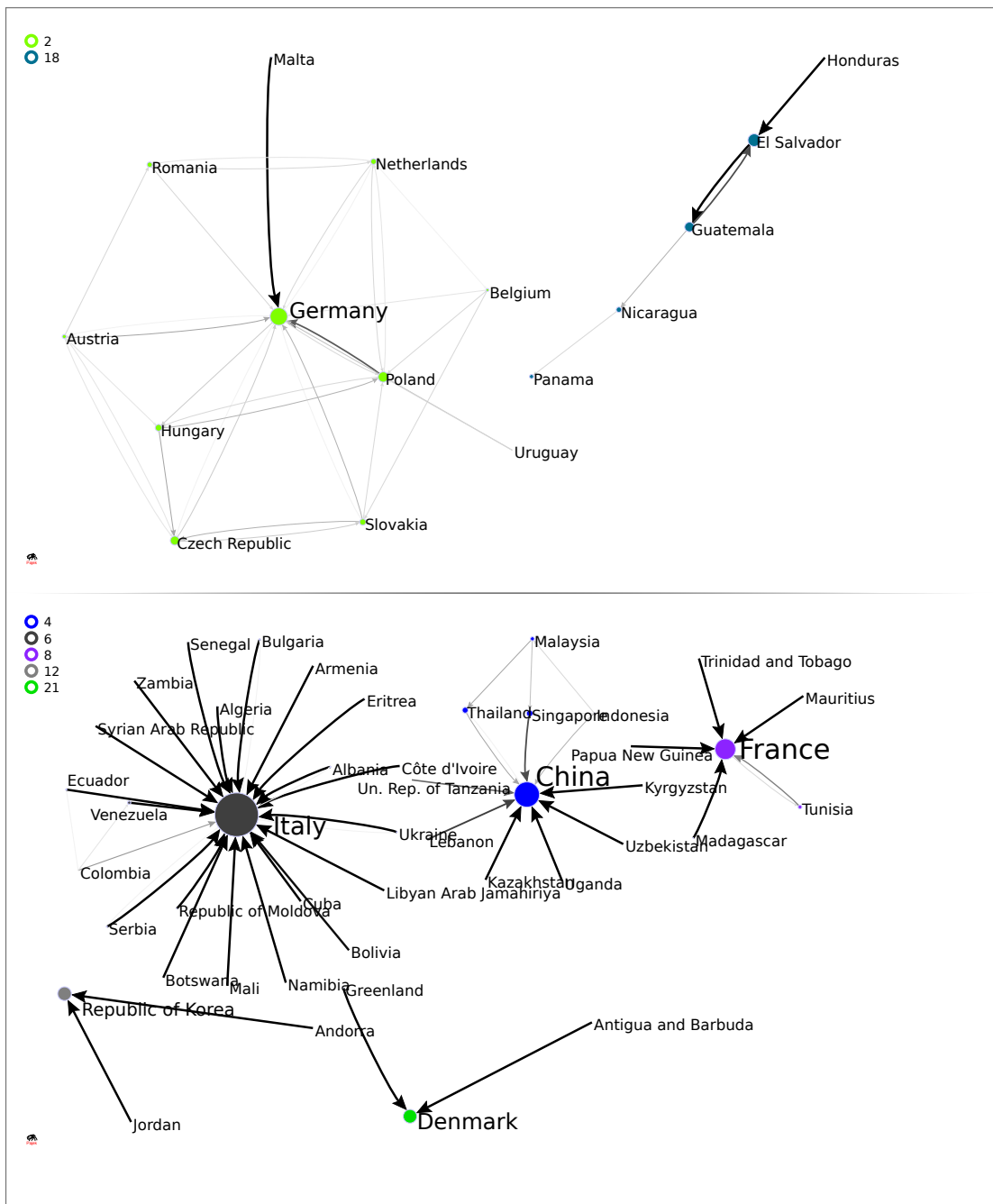
LEATHER MANUFACTURES



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore LEATHER MANUFACTURES.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore LEATHER MANUFACTURES.

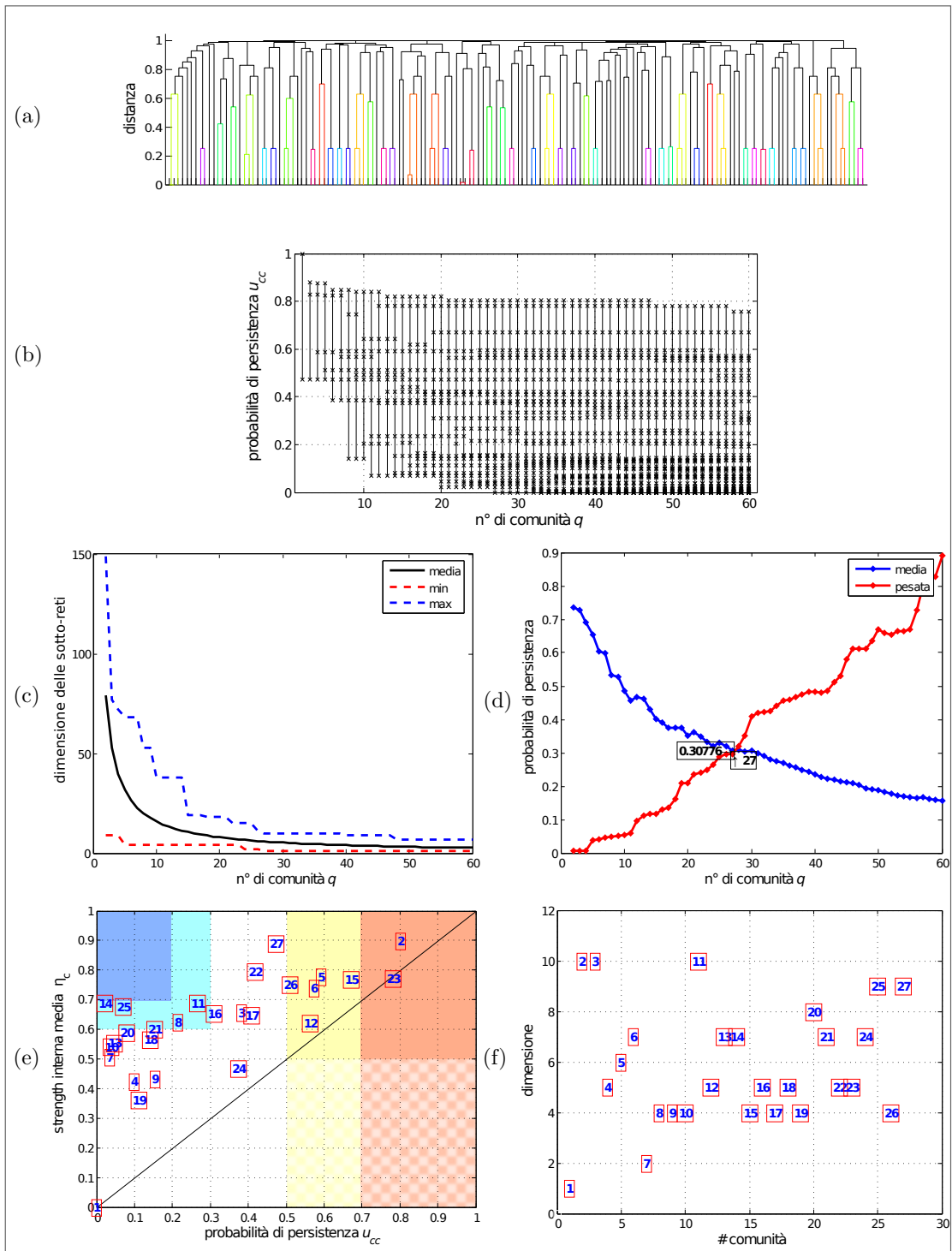


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore LEATHER MANUFACTURES.

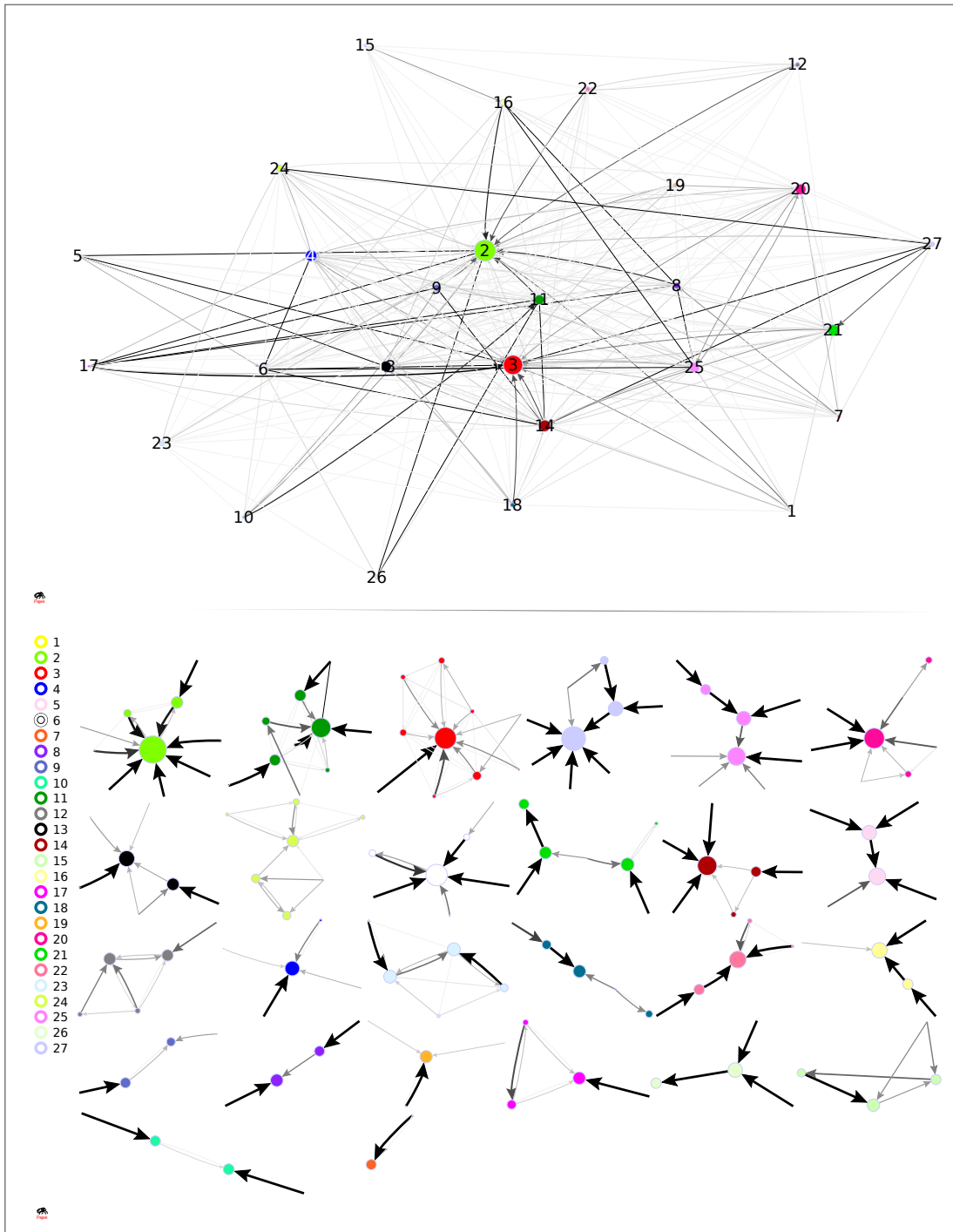
#	U_{cc}	ρ_c	N_c	densità	<i>clustering</i>	export <i>within</i>	import <i>within</i>	<i>trade within</i> (mld di \$)
18	0.87	0.64	5	0.40	0.00	0.24	0.26	0.003
2	0.64	0.64	11	0.42	0.60	0.62	0.34	1.061
8	0.26	0.78	6	0.33	0.00	0.19	0.10	0.058
6	0.12	0.94	22	0.10	0.12	0.12	0.21	0.635
4	0.06	0.71	11	0.25	0.25	0.12	0.11	0.403
12	0.01	0.67	3	0.67	0.00	0.00	0.00	0.001
21	0.00	0.67	3	0.67	0.00	0.01	0.02	0.001

Tabella A.6.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore LEATHER MANUFACTURES

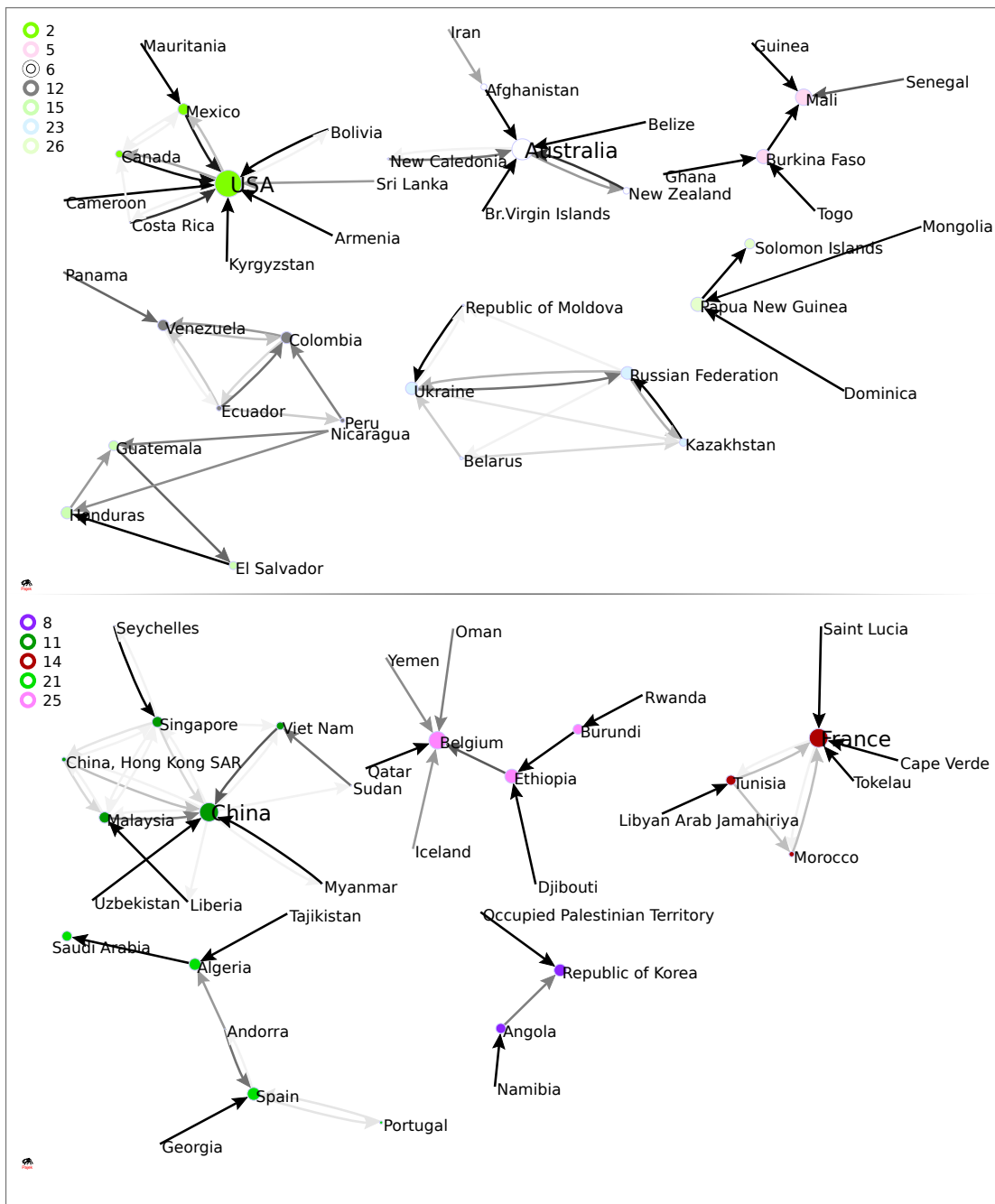
RUBBER MANUFACTURES



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore RUBBER MANUFACTURES.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore RUBBER MANUFACTURES.

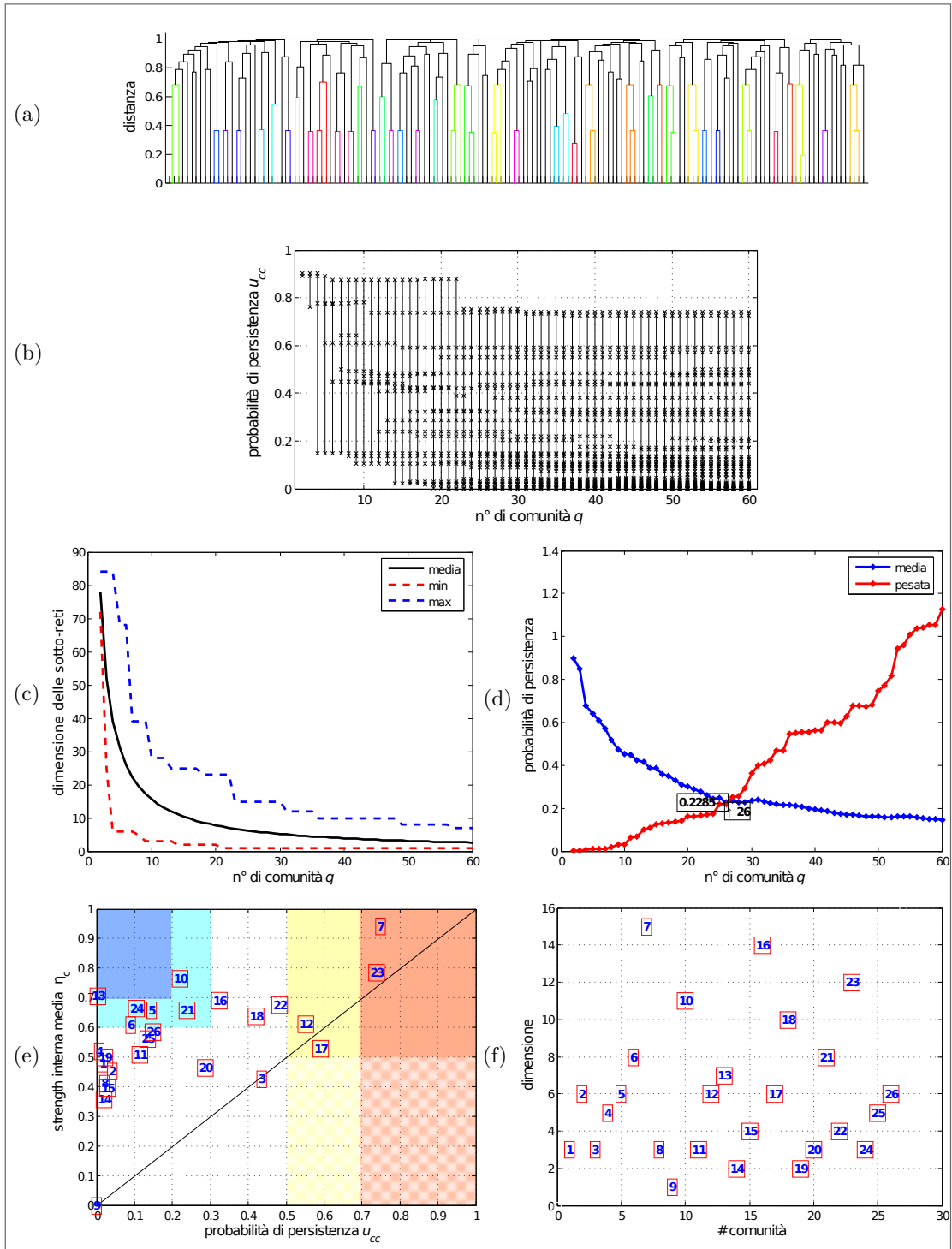


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore RUBBER MANUFACTURES.

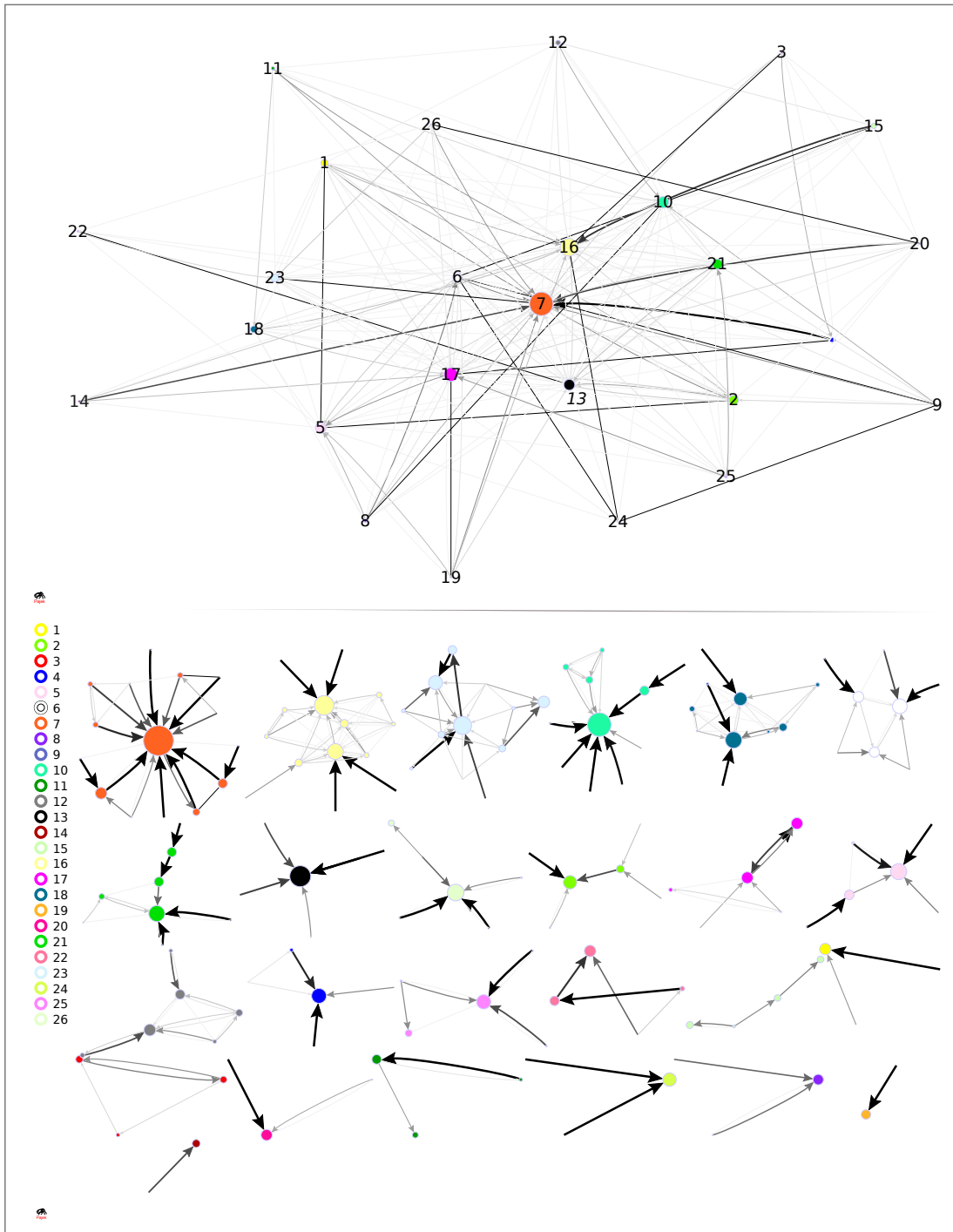
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
2	0.80	0.90	10	0.24	0.21	0.77	0.44	8.552
23	0.78	0.77	5	0.80	0.87	0.68	0.46	0.560
15	0.67	0.77	4	0.83	0.83	0.69	0.03	0.005
5	0.59	0.78	6	0.33	0.00	0.82	0.04	0.003
6	0.57	0.74	7	0.29	0.00	0.58	0.06	0.094
12	0.56	0.62	5	0.60	0.53	0.54	0.18	0.143
26	0.51	0.75	4	0.50	0.00	0.93	0.02	0.001
11	0.27	0.69	10	0.33	0.49	0.16	0.29	1.239
8	0.22	0.62	4	0.50	0.00	0.00	0.01	0.005
21	0.15	0.60	7	0.29	0.00	0.10	0.09	0.318
25	0.07	0.68	9	0.22	0.00	0.00	0.00	0.003
14	0.02	0.69	7	0.33	0.20	0.01	0.02	0.068

Tabella A.7.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore RUBBER MANUFACTURES

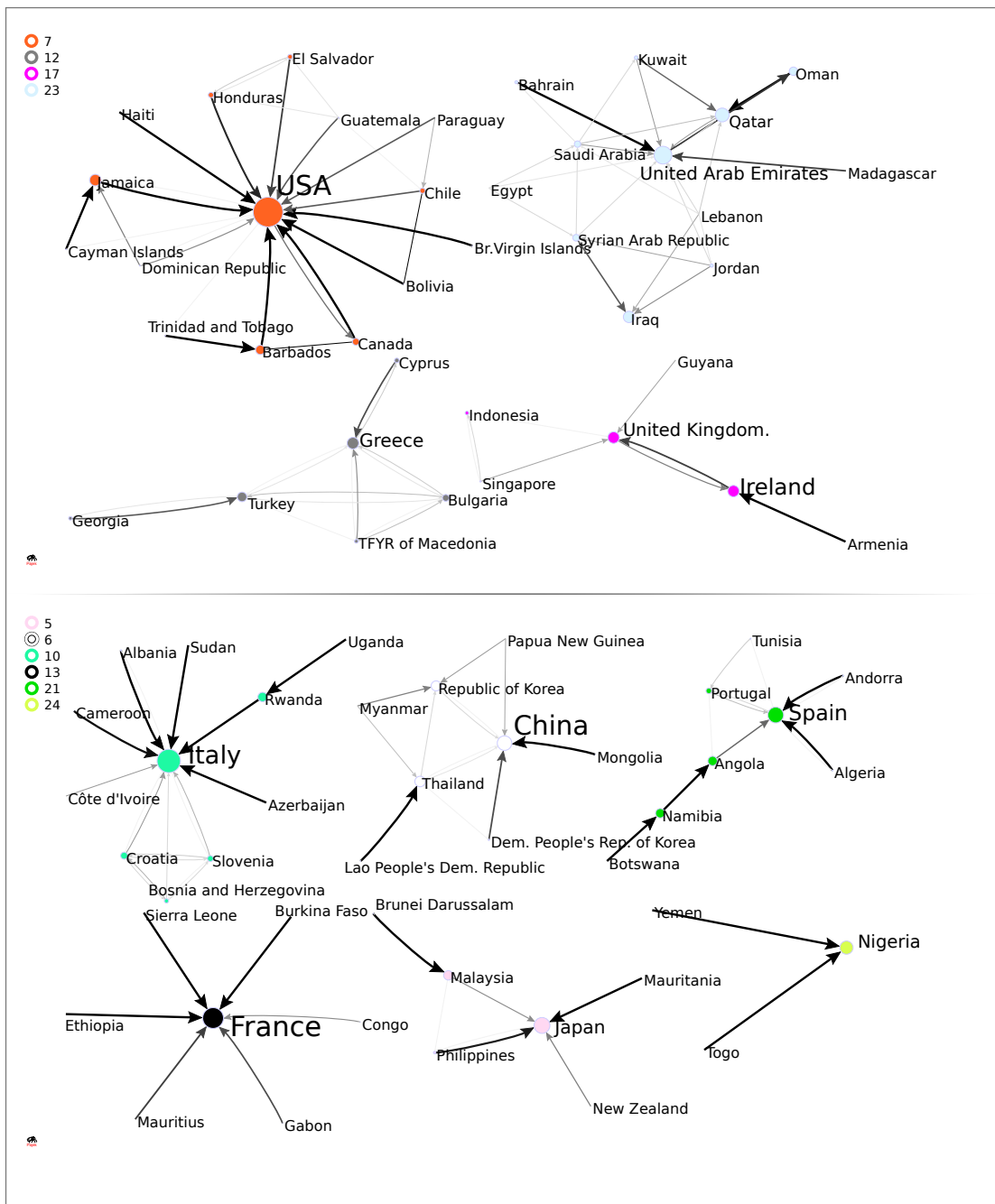
CORK AND WOOD MANUFACTURES



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore CORK AND WOOD MANUFACTURES.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore CORK AND WOOD MANUFACTURES.

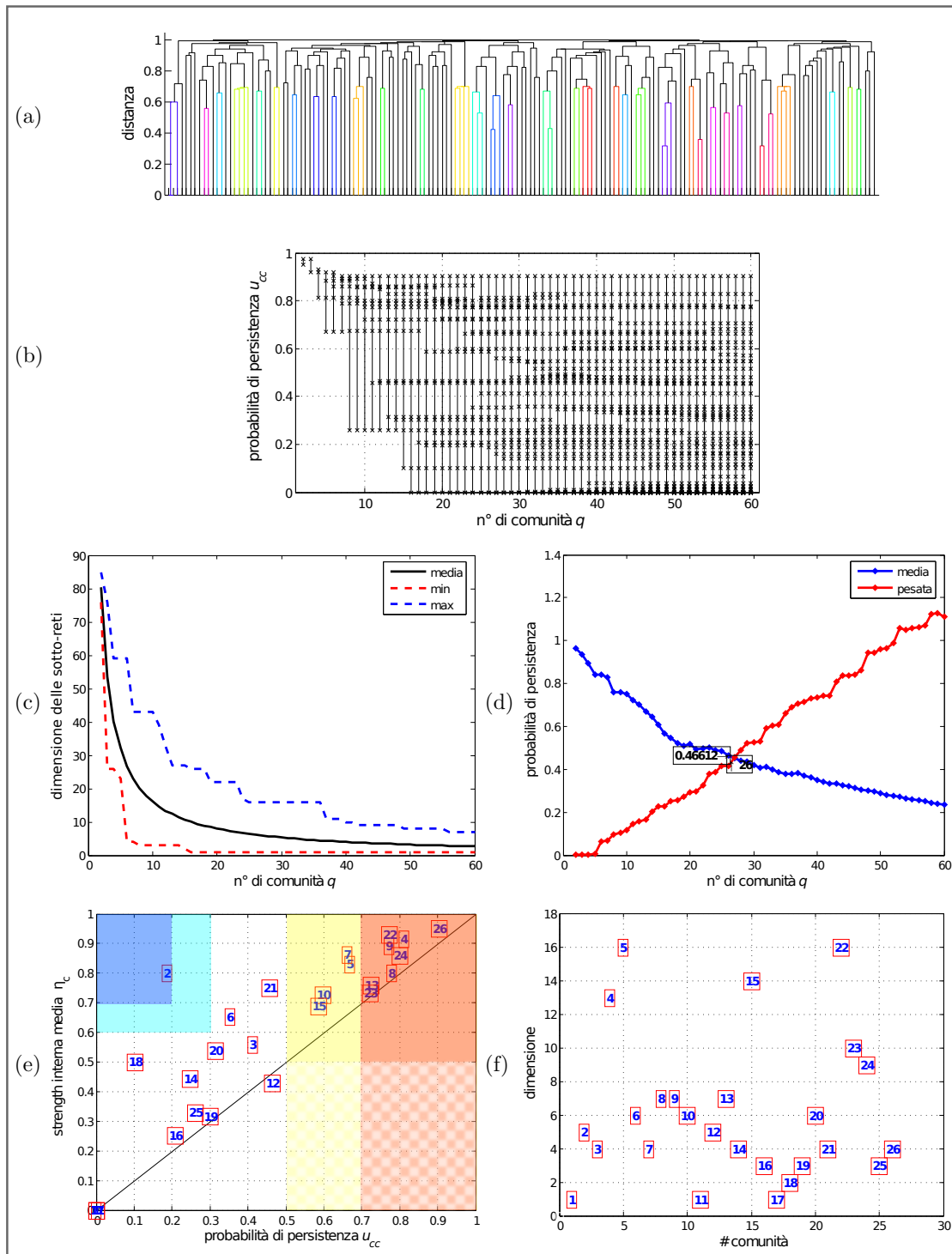


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore CORK AND WOOD MANUFACTURES.

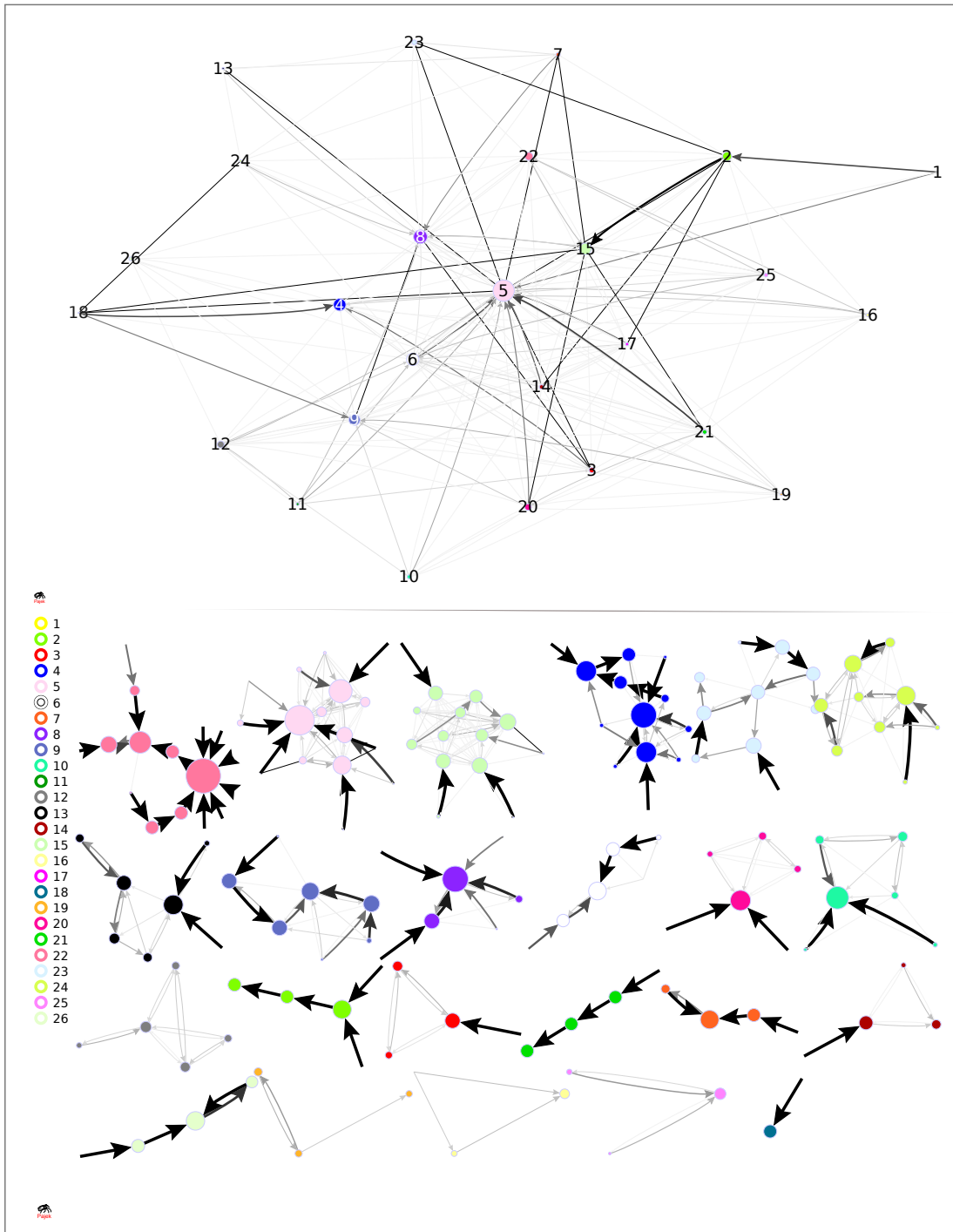
#	Ucc	ρ_c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
7	0.75	0.94	15	0.23	0.71	0.90	0.49	7.189
23	0.74	0.79	12	0.38	0.64	0.89	0.10	0.097
17	0.59	0.53	6	0.40	0.36	0.16	0.15	0.517
12	0.55	0.61	6	0.53	0.50	0.53	0.17	0.124
21	0.24	0.66	8	0.32	0.28	0.24	0.28	0.519
10	0.22	0.77	11	0.24	0.28	0.24	0.16	0.358
5	0.15	0.66	6	0.40	0.25	0.52	0.39	1.806
24	0.10	0.67	3	0.67	0.00	0.96	0.20	0.010
6	0.09	0.61	8	0.39	0.51	0.07	0.42	0.628
13	0.00	0.71	7	0.29	0.00	0.05	0.03	0.078

Tabella A.8.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore CORK AND WOOD MANUFACTURES

PAPER MANUFACTURES



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore PAPER MANUFACTURES.

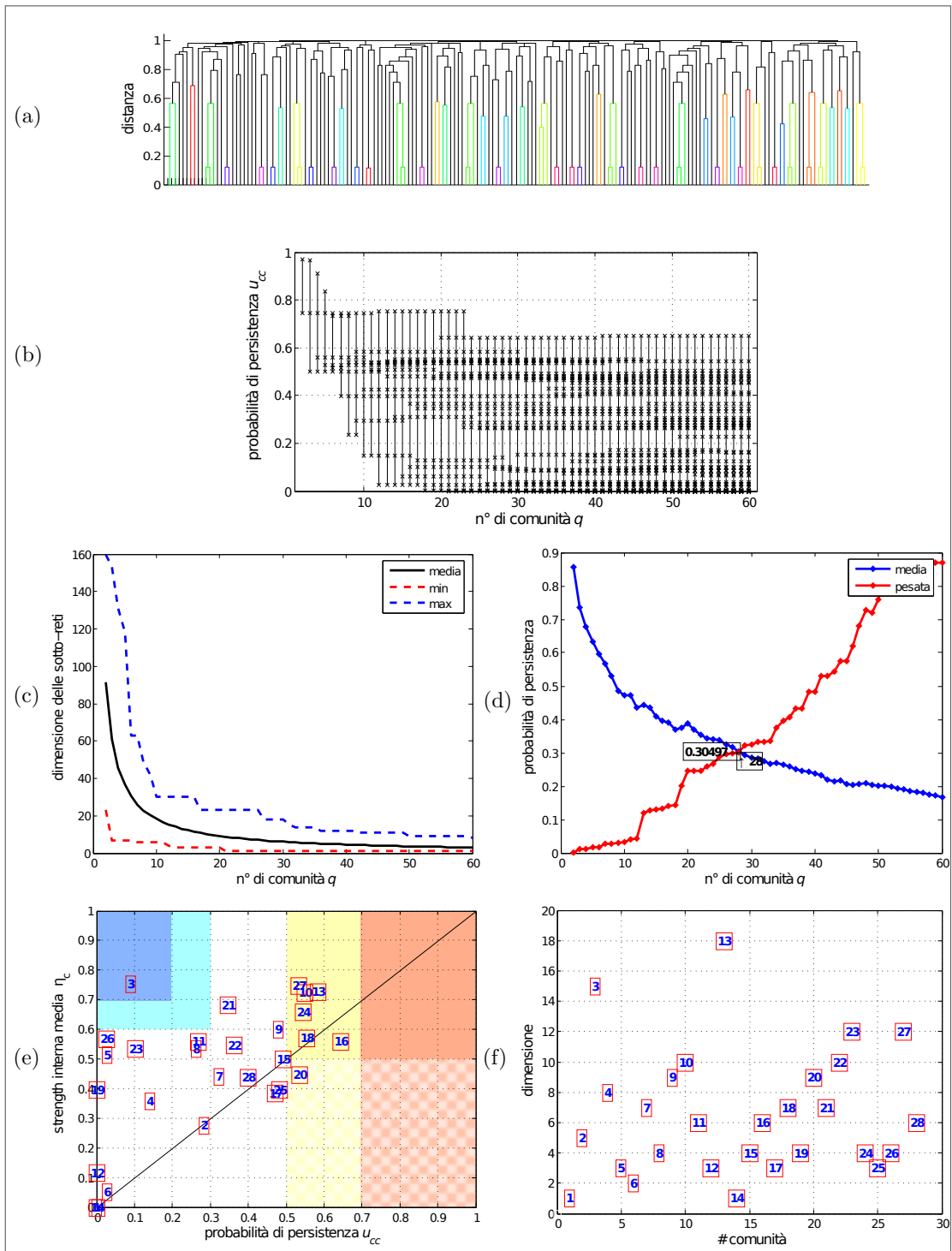


Rappresentazione delle sotto-reti del settore PAPER MANUFACTURES.

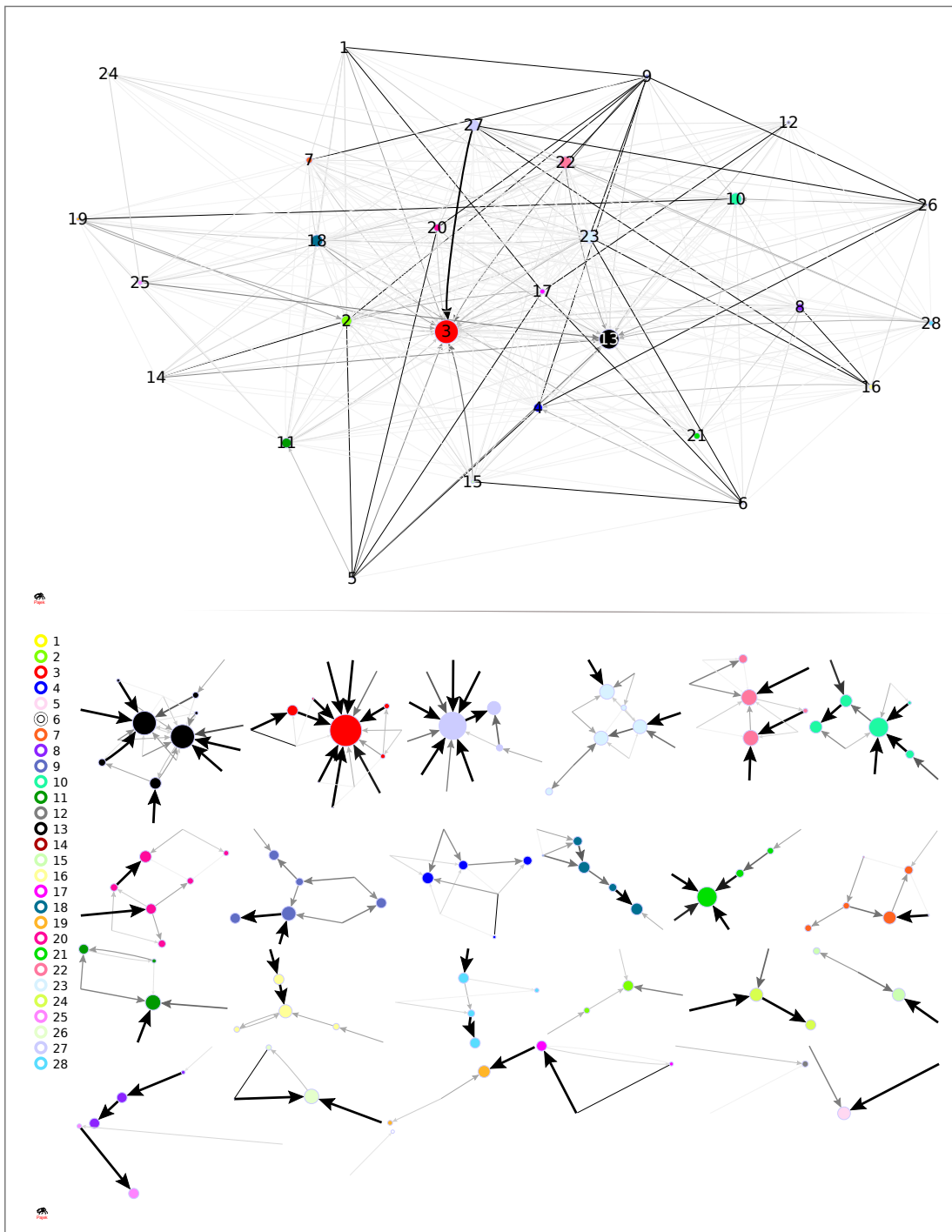
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
26	0.90	0.95	4	0.50	0.00	0.88	0.04	0.012
4	0.81	0.92	13	0.27	0.47	0.71	0.38	0.542
24	0.80	0.86	9	0.58	0.83	0.62	0.63	1.557
8	0.78	0.80	7	0.38	0.36	0.82	0.71	19.599
22	0.77	0.93	16	0.13	0.00	0.66	0.22	0.527
9	0.77	0.89	7	0.57	0.77	0.62	0.34	1.034
13	0.72	0.76	7	0.43	0.40	0.67	0.13	0.118
23	0.72	0.73	10	0.31	0.49	0.96	0.18	0.047
5	0.67	0.83	16	0.32	0.71	0.62	0.61	25.279
7	0.66	0.86	4	0.50	0.00	0.51	0.04	0.010
10	0.60	0.73	6	0.67	0.83	0.48	0.27	0.257
15	0.59	0.69	14	0.54	0.73	0.54	0.71	8.079
2	0.19	0.80	5	0.40	0.00	0.02	0.01	0.007

Tabella A.9.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore PAPER MANUFACTURES

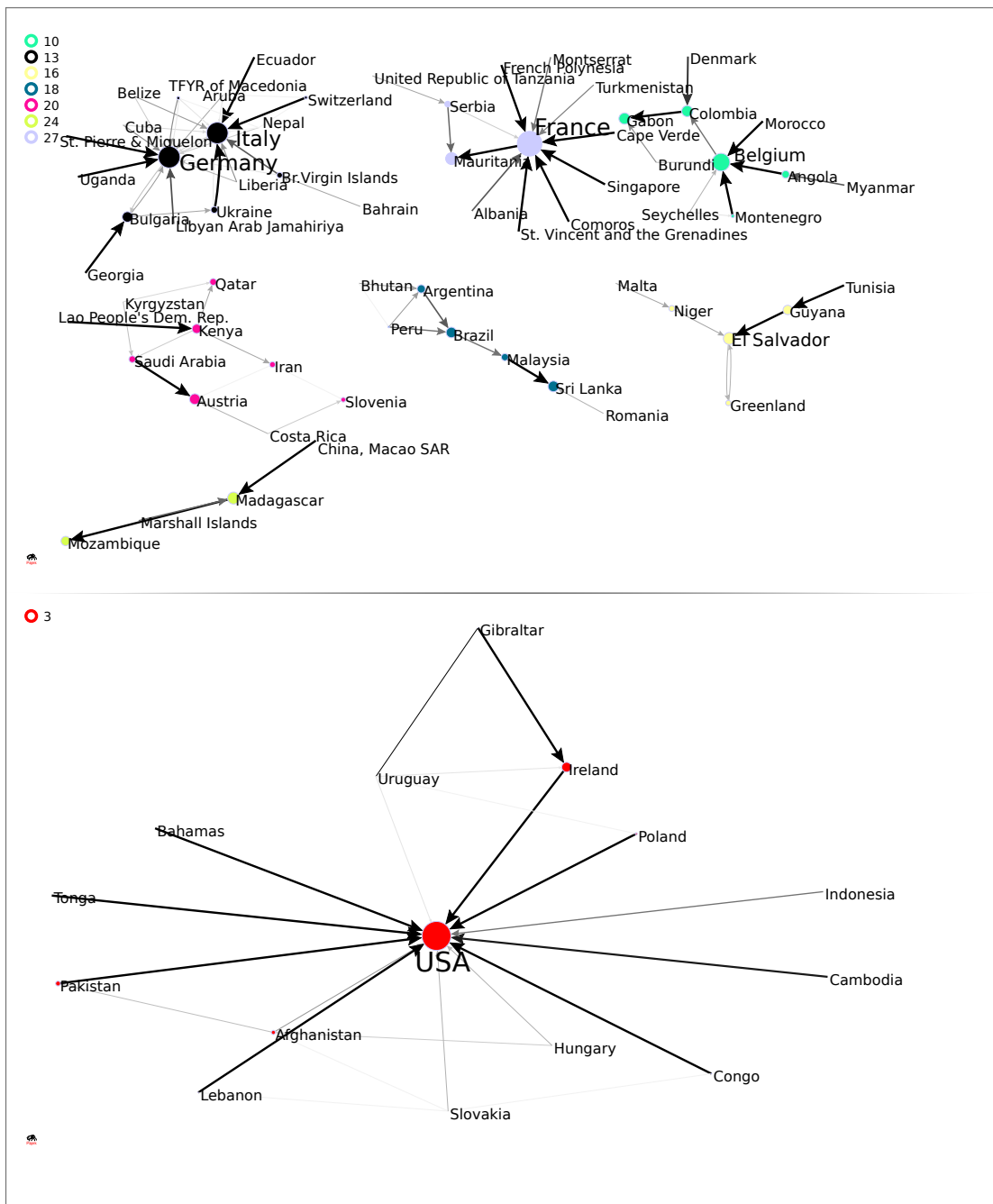
TEXTILE



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore TEXTILE.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore TEXTILE.

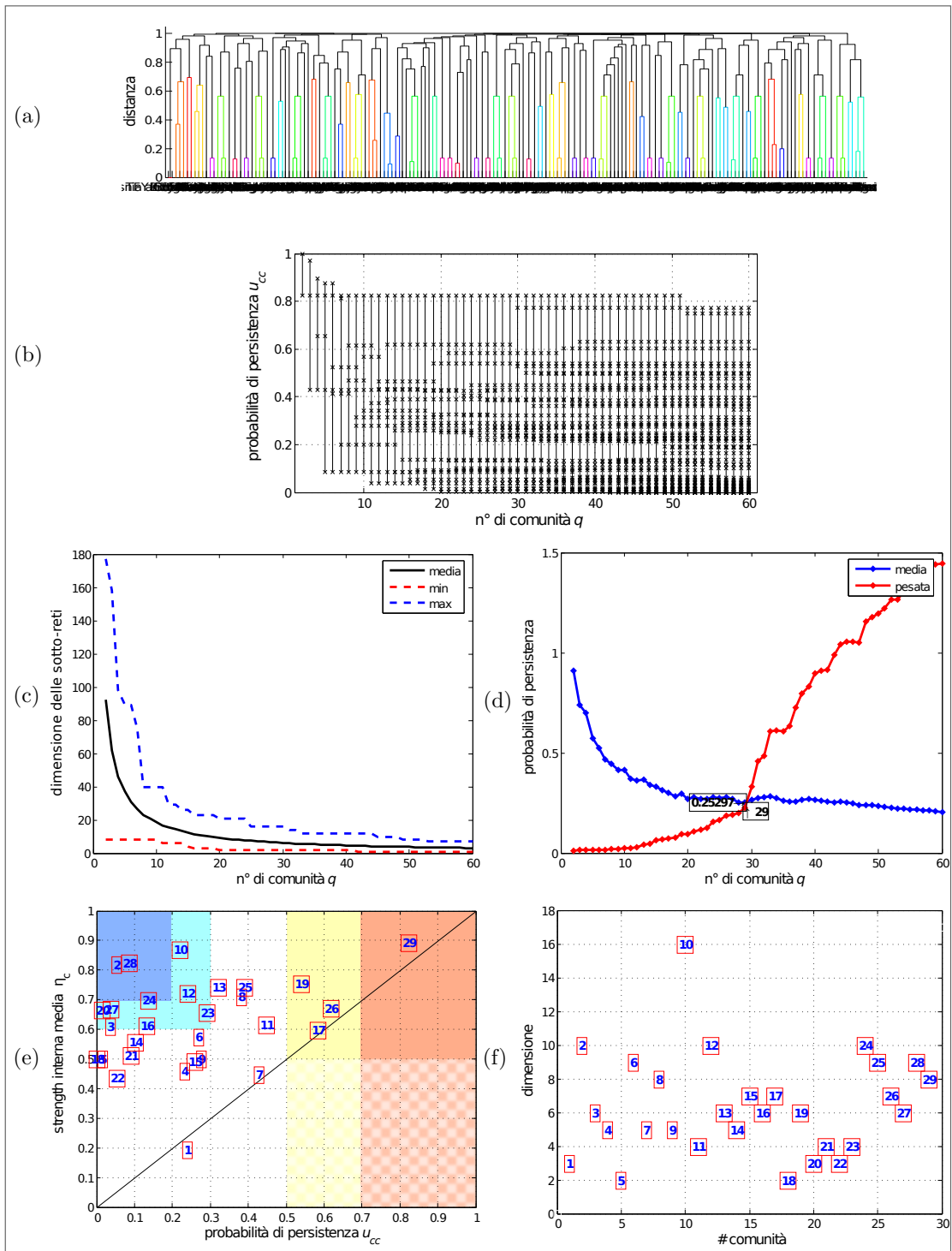


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore TEXTILE.

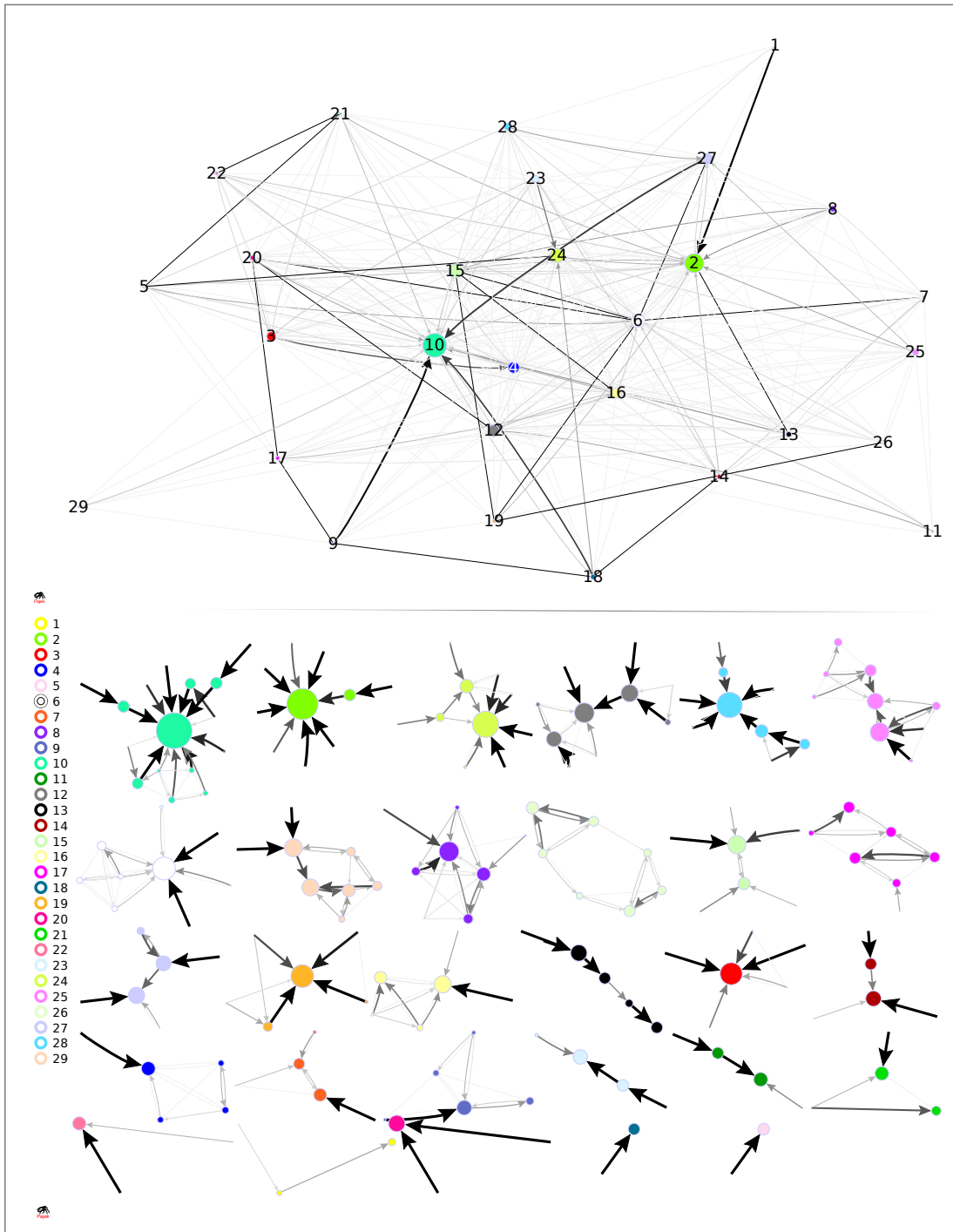
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
16	0.64	0.56	6	0.33	0.00	0.62	0.06	0.121
13	0.58	0.73	18	0.18	0.37	0.52	0.19	4.299
18	0.55	0.57	7	0.38	0.38	0.38	0.09	0.589
10	0.55	0.72	10	0.24	0.21	0.65	0.01	0.063
24	0.54	0.66	4	0.50	0.00	0.58	0.03	0.025
20	0.54	0.45	9	0.31	0.00	0.03	0.14	0.468
27	0.53	0.75	12	0.18	0.11	0.09	0.03	0.214
3	0.09	0.75	15	0.21	0.55	0.44	0.19	5.611

Tabella A.10.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore TEXTILE

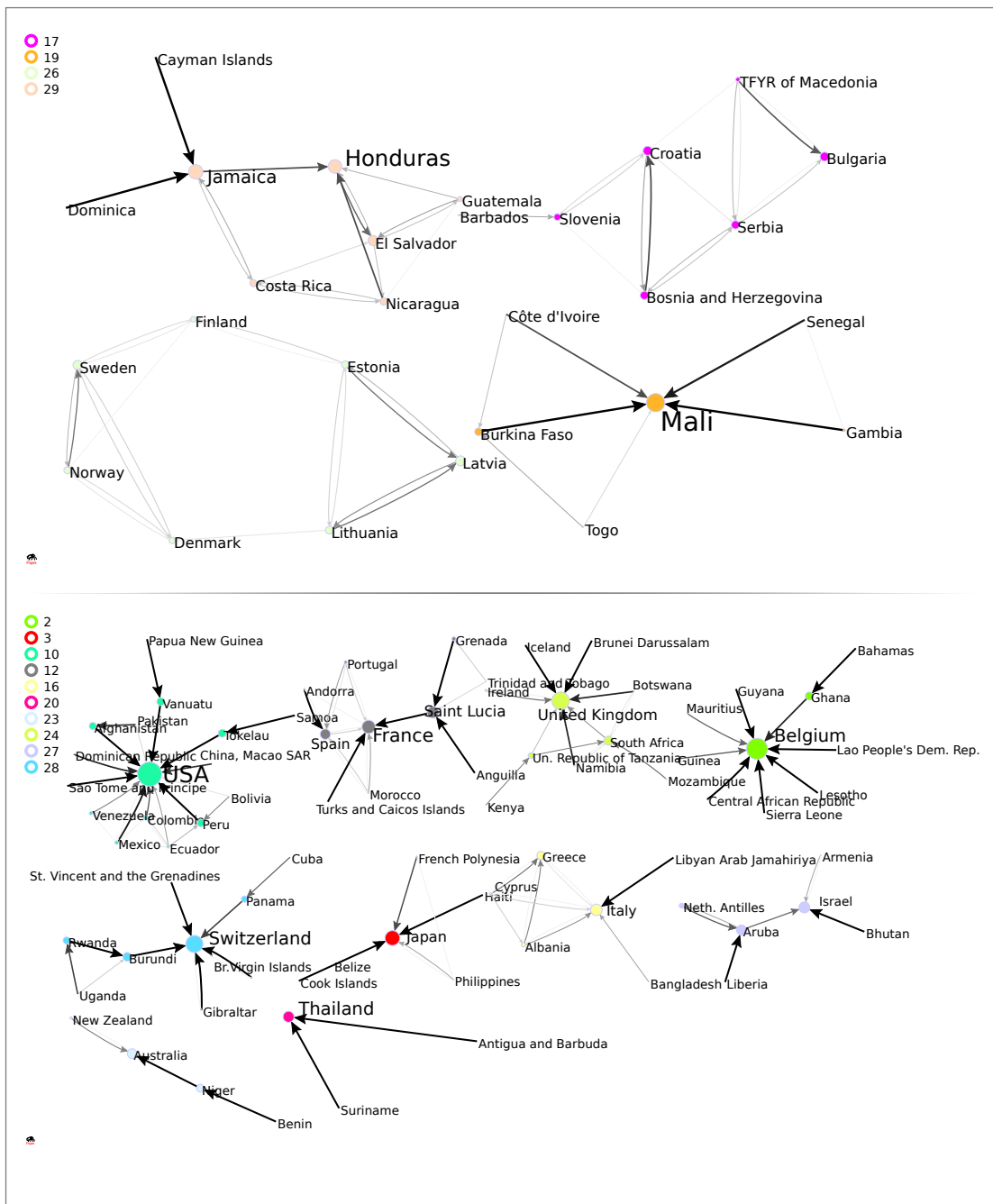
NON-METALLIC MINERAL MANUFACTURES



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore NON-METALLIC MINERAL MANUFACTURES.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore NON-METALLIC MINERAL MANUFACTURES.

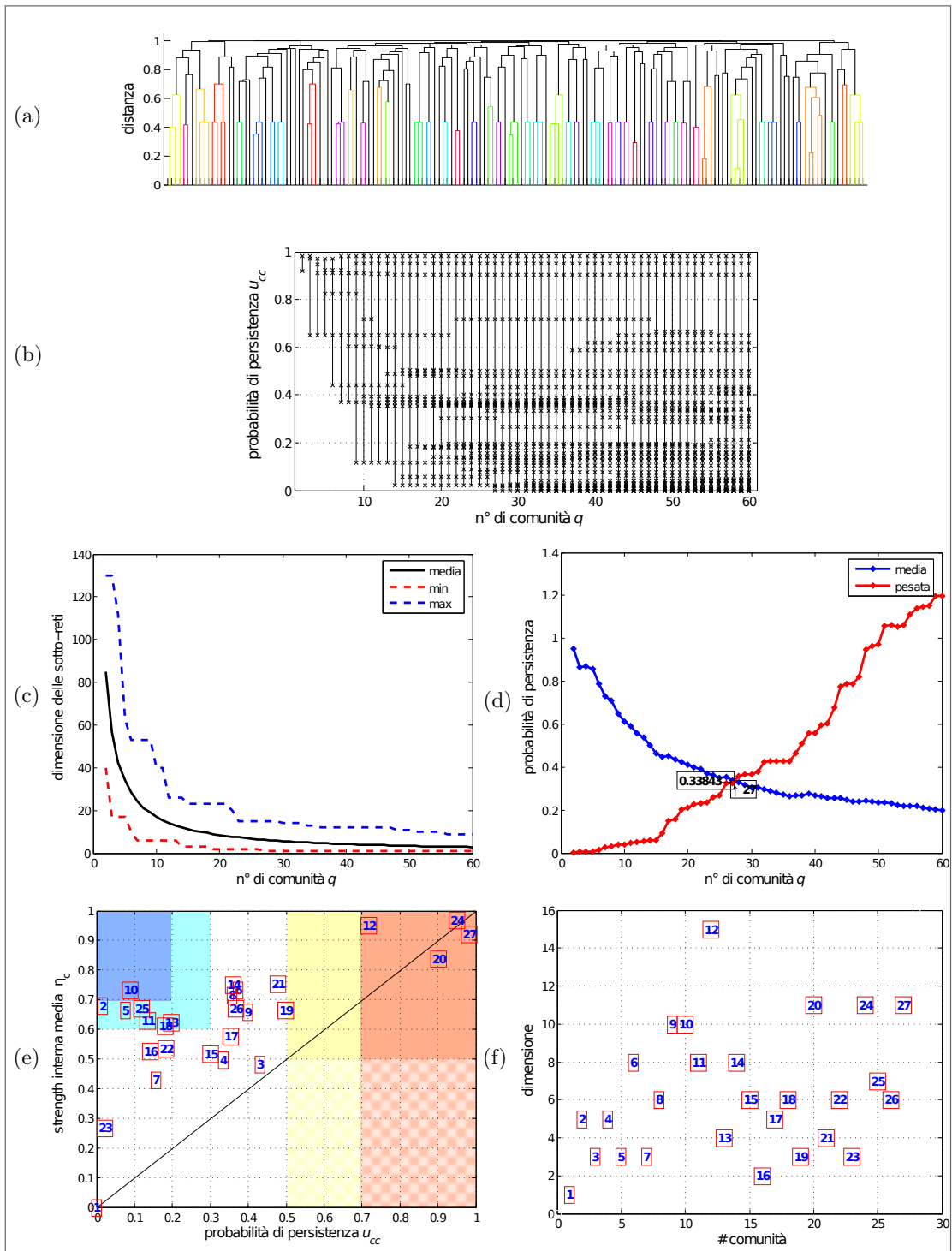


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore NON-METALLIC MINERAL MANUFACTURES.

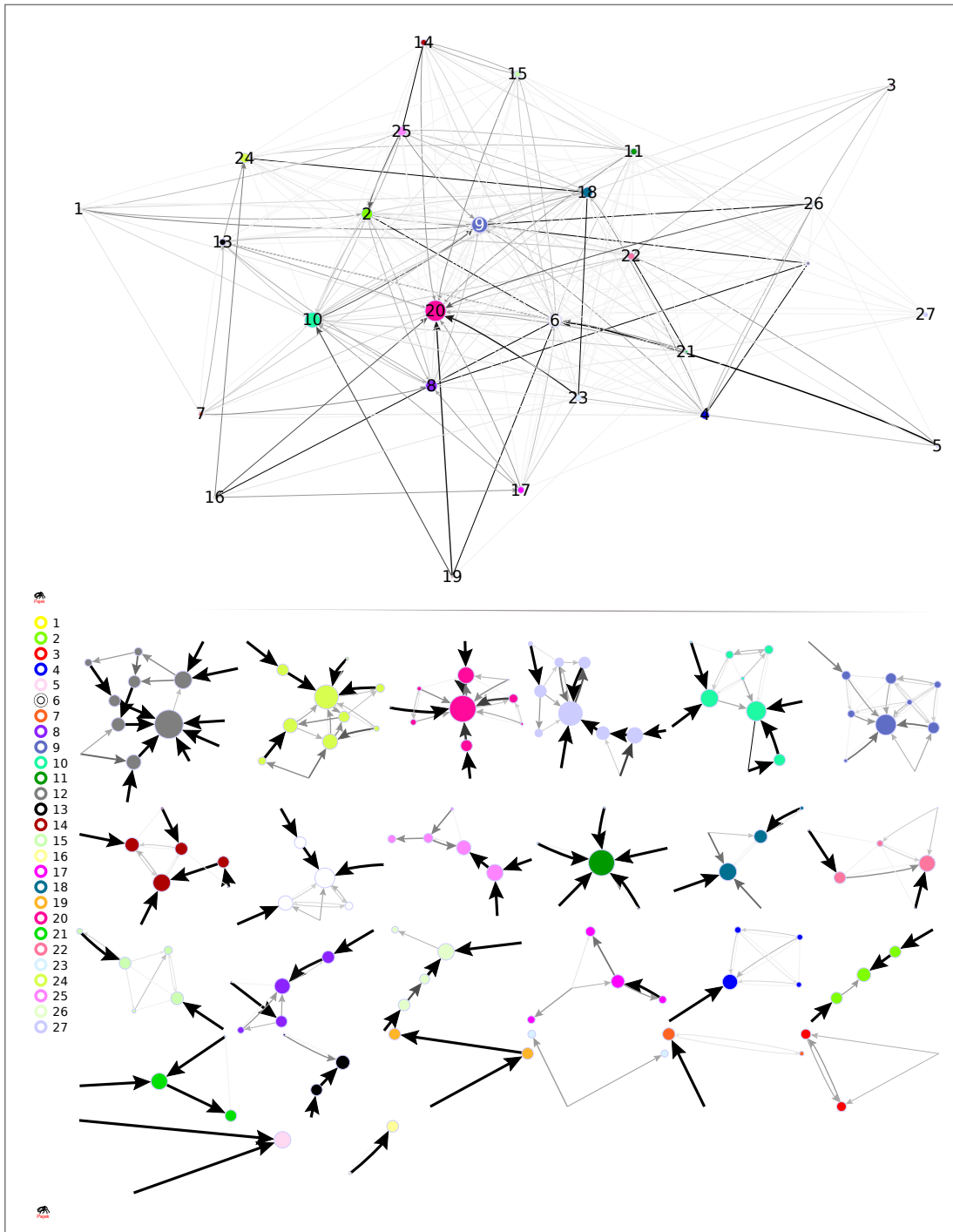
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
29	0.82	0.89	8	0.43	0.40	0.82	0.29	0.131
26	0.62	0.67	7	0.48	0.52	0.53	0.35	1.195
17	0.58	0.60	7	0.48	0.52	0.45	0.30	0.387
19	0.54	0.75	6	0.53	0.83	0.73	0.45	0.130
23	0.29	0.66	4	0.50	0.00	0.12	0.09	0.117
12	0.24	0.72	10	0.29	0.59	0.28	0.27	2.794
10	0.22	0.87	16	0.20	0.45	0.30	0.10	4.260
24	0.14	0.70	10	0.27	0.28	0.40	0.43	6.650
16	0.13	0.61	6	0.53	0.55	0.05	0.10	0.491
28	0.09	0.82	9	0.25	0.26	0.08	0.07	0.261
2	0.05	0.82	10	0.20	0.00	0.02	0.02	0.405
27	0.04	0.67	6	0.33	0.00	0.01	0.02	0.147
3	0.04	0.61	6	0.40	0.35	0.05	0.06	0.279
20	0.02	0.67	3	0.67	0.00	0.00	0.00	0.001

Tabella A.11.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore NON-METALLIC MINERAL MANUFACTURES

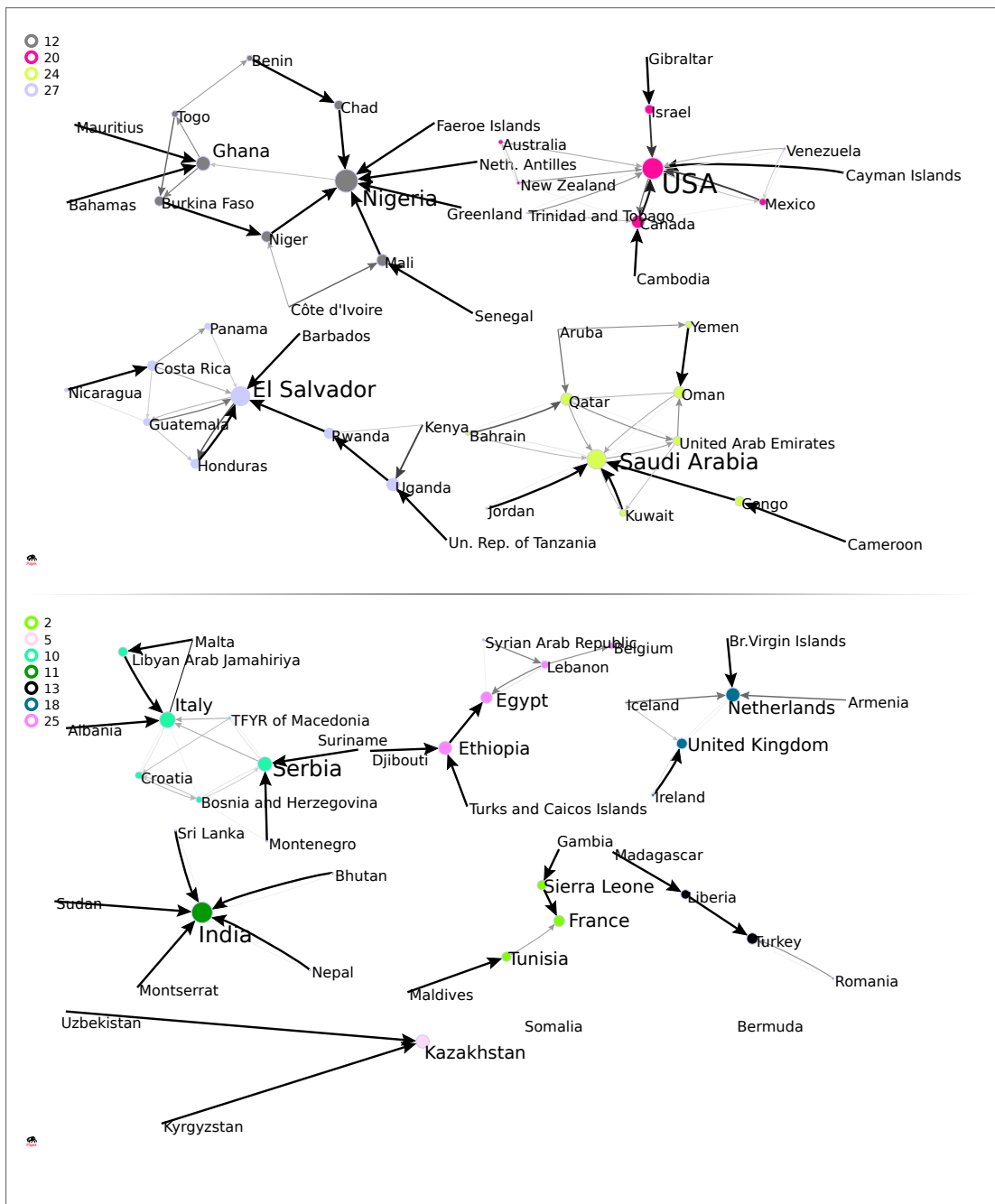
IRON AND STEEL



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore IRON AND STEEL.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore IRON AND STEEL.

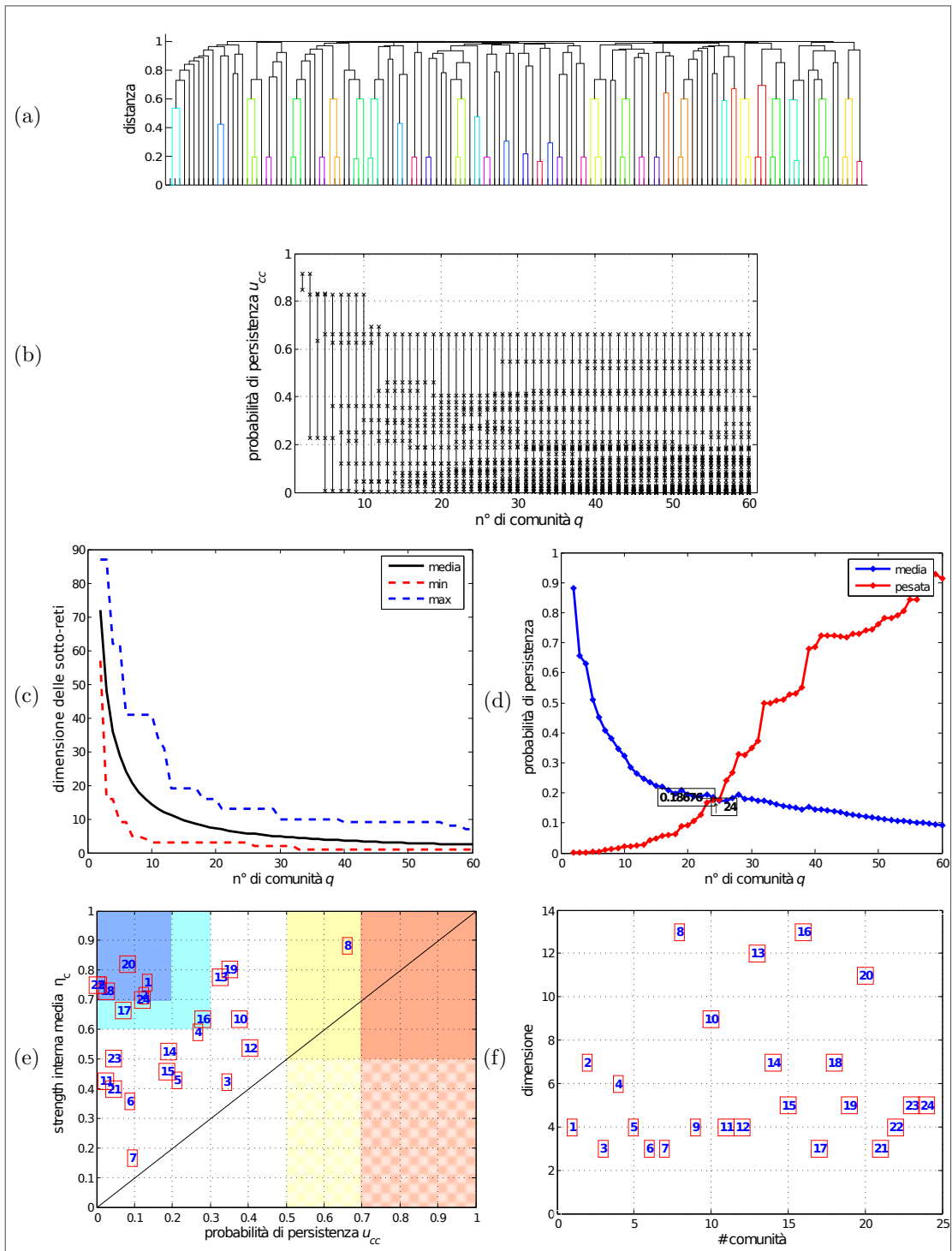


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore IRON AND STEEL.

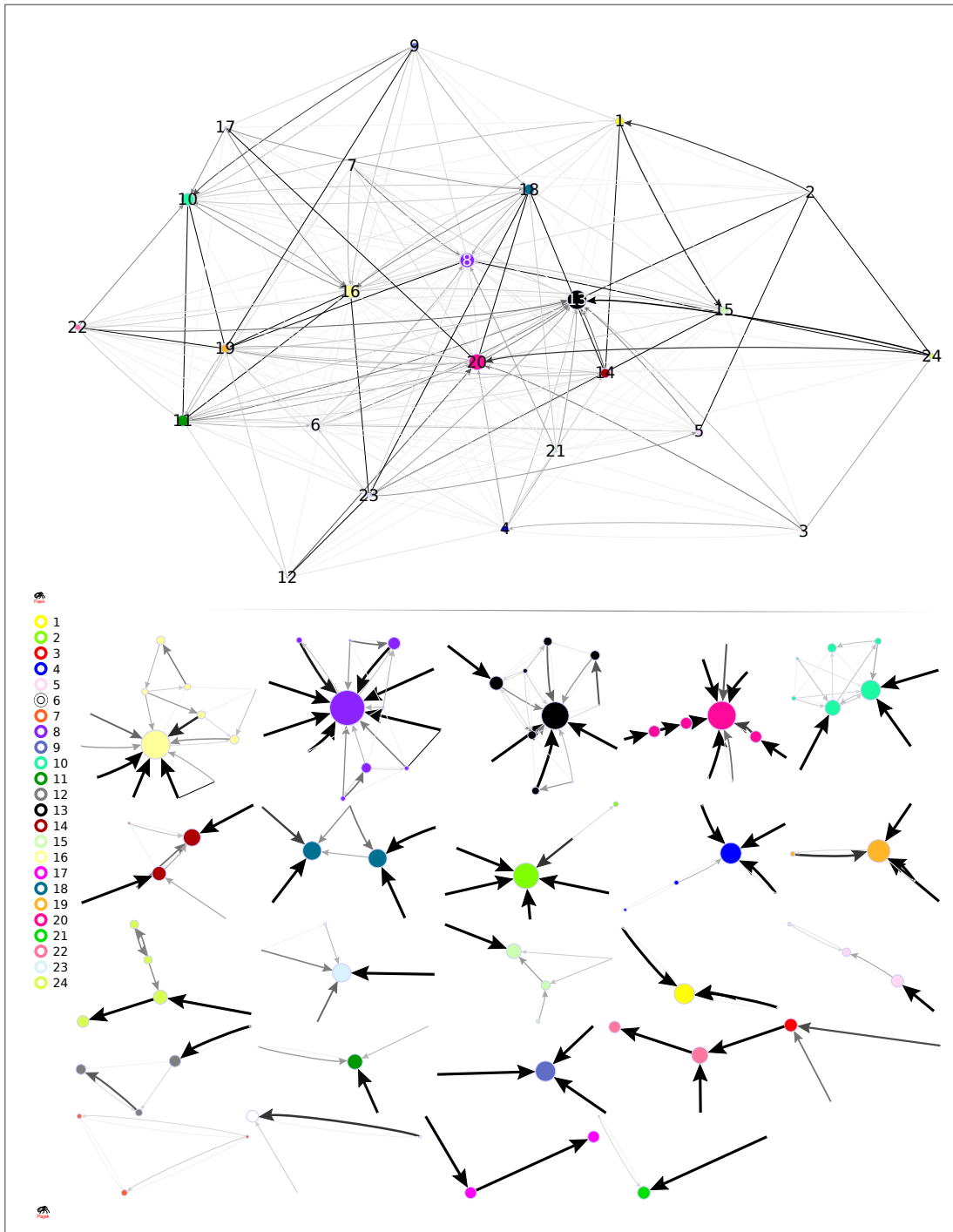
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
27	0.98	0.92	11	0.27	0.53	0.93	0.17	0.229
24	0.95	0.97	11	0.29	0.35	0.97	0.17	1.793
20	0.90	0.84	11	0.27	0.44	0.86	0.37	19.634
12	0.72	0.95	15	0.17	0.05	0.92	0.04	0.048
13	0.20	0.62	4	0.50	0.00	0.13	0.14	0.965
18	0.18	0.61	6	0.40	0.25	0.13	0.13	1.857
11	0.14	0.63	8	0.18	0.00	0.06	0.06	0.290
25	0.12	0.67	7	0.33	0.24	0.02	0.03	0.272
10	0.09	0.73	10	0.33	0.54	0.09	0.06	1.374
5	0.08	0.67	3	0.67	0.00	0.03	0.02	0.048
2	0.02	0.68	5	0.40	0.00	0.01	0.01	0.124

Tabella A.12.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore IRON AND STEEL

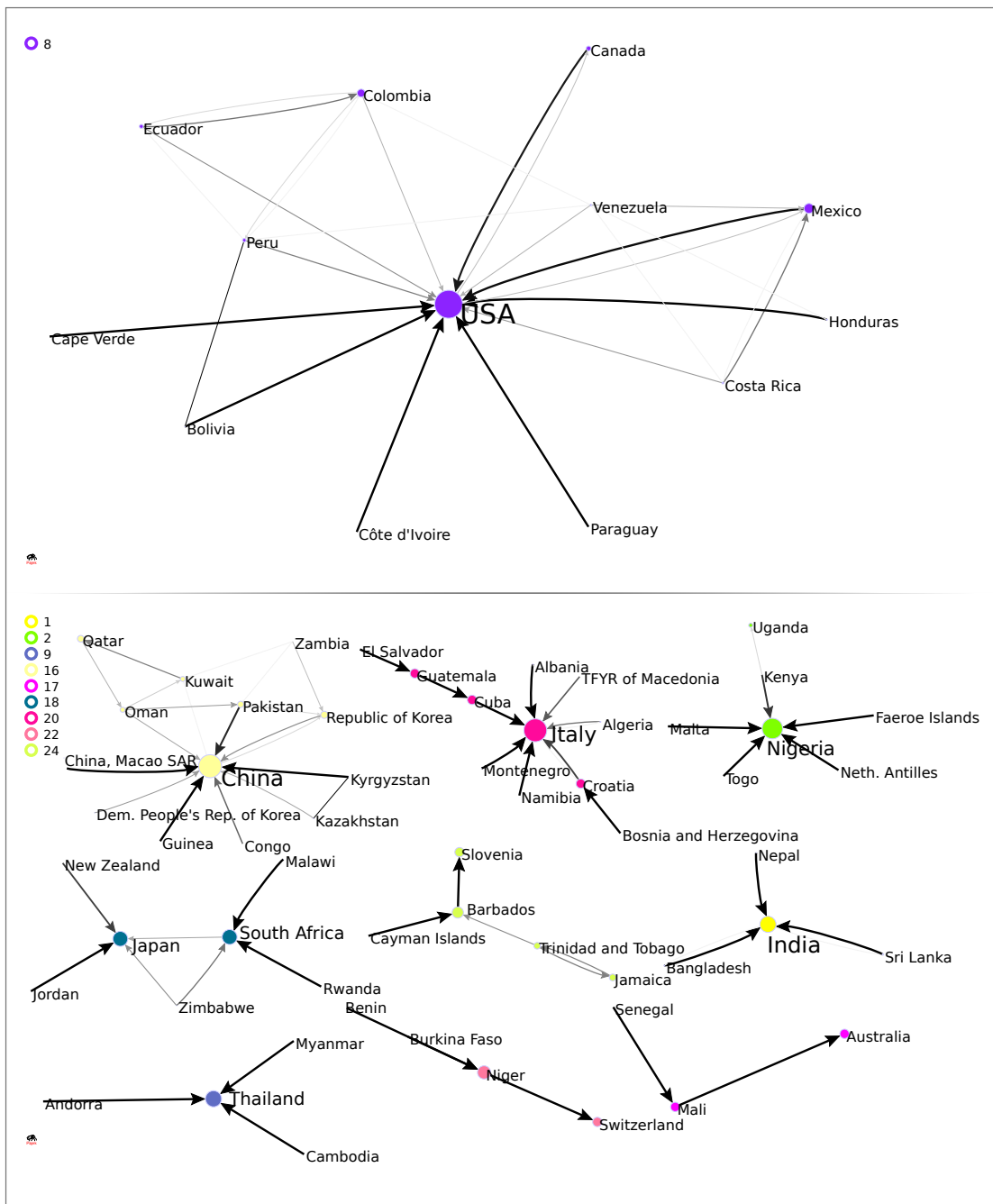
NO-FERROUS METALS



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore NO-FERROUS METALS.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore NO-FERROUS METALS.

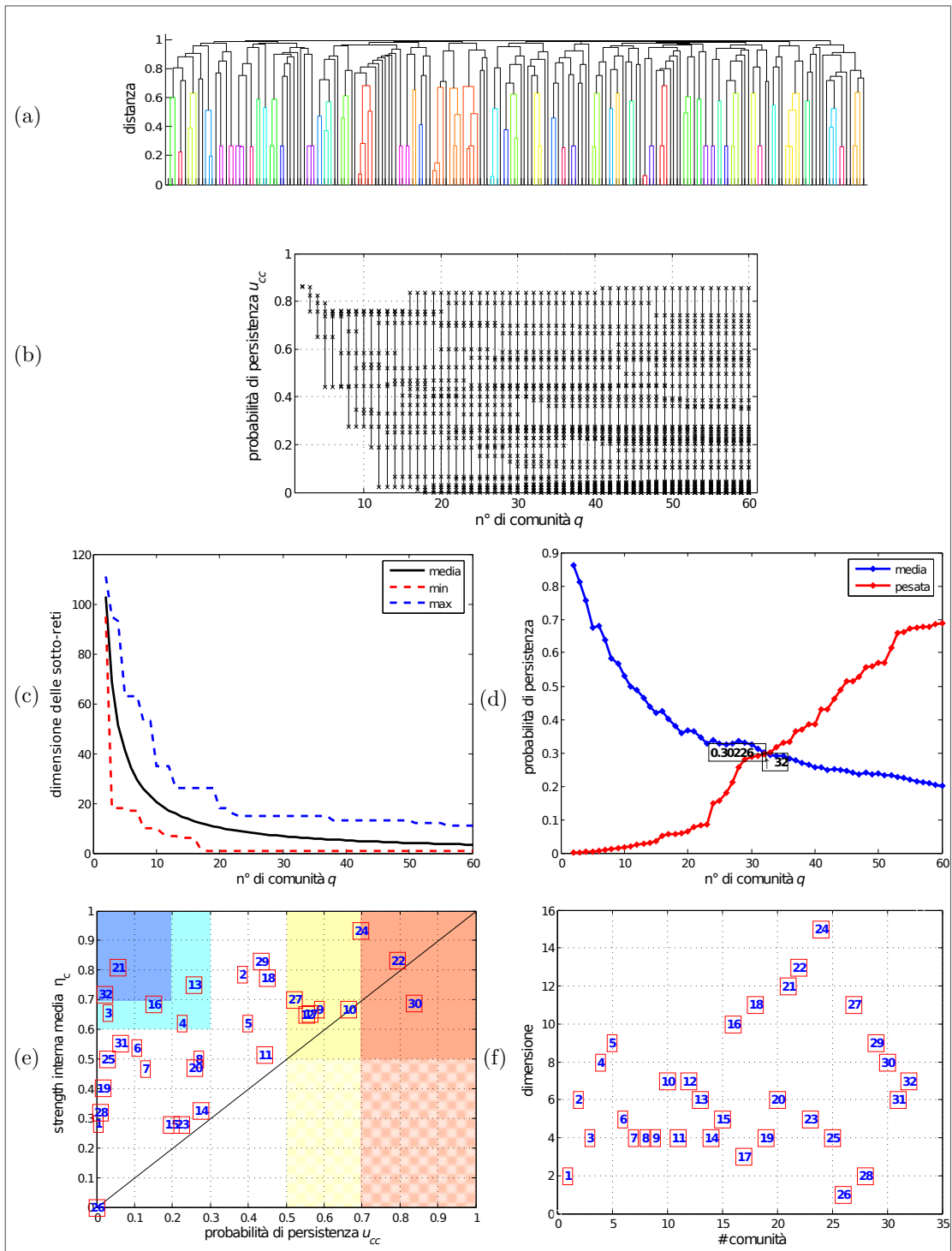


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore NO-FERROUS METALS.

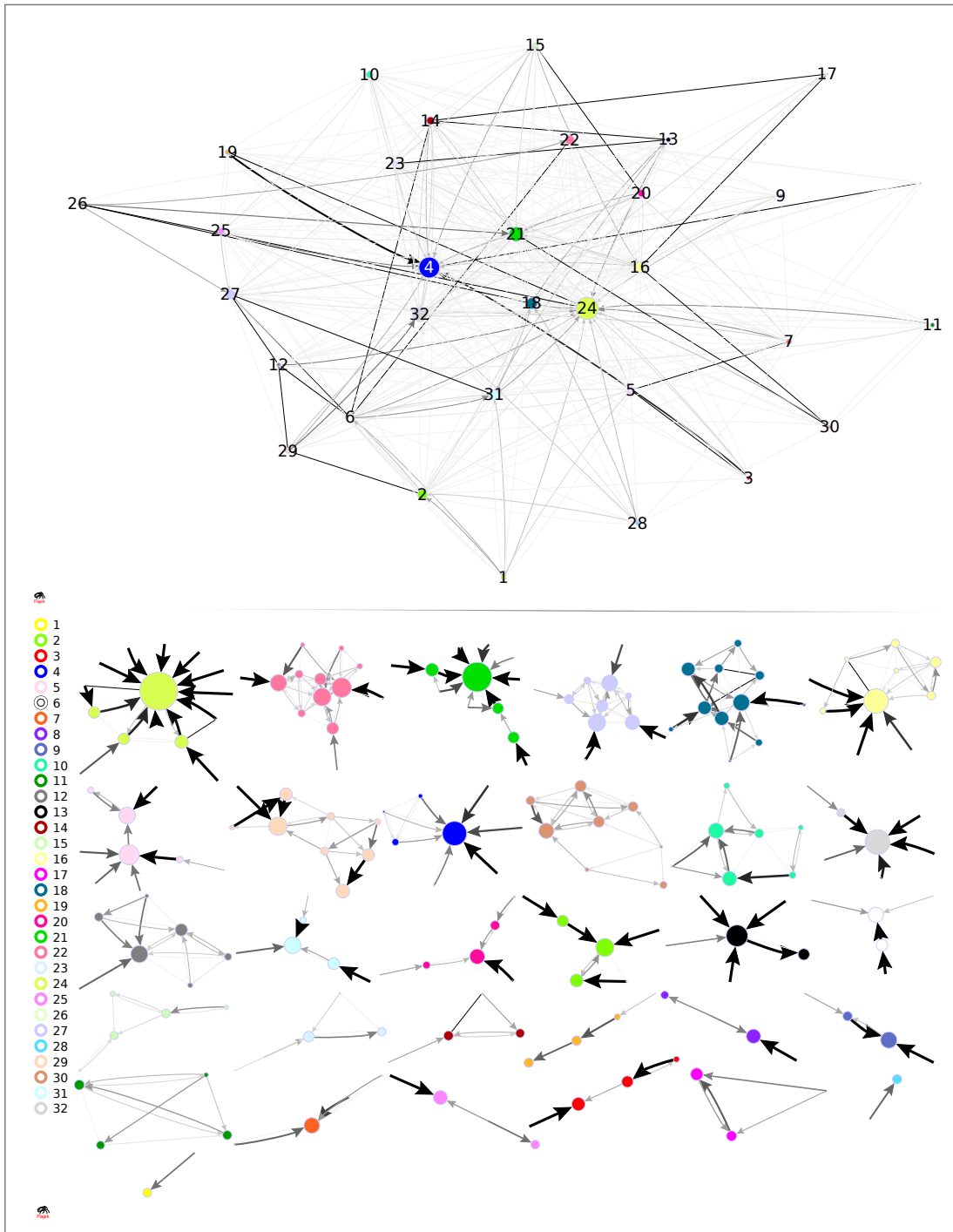
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
8	0.66	0.88	13	0.28	0.54	0.74	0.52	27.479
16	0.28	0.63	13	0.24	0.42	0.29	0.27	7.111
1	0.14	0.76	4	0.50	0.00	0.07	0.14	0.255
2	0.13	0.71	7	0.29	0.00	0.42	0.05	0.022
24	0.12	0.70	5	0.40	0.00	0.02	0.01	0.009
20	0.08	0.82	11	0.18	0.00	0.16	0.05	0.777
17	0.07	0.67	3	0.67	0.00	0.00	0.01	0.005
18	0.03	0.73	7	0.33	0.19	0.23	0.27	4.587
9	0.01	0.75	4	0.50	0.00	0.11	0.02	0.087
22	0.00	0.75	4	0.50	0.00	0.00	0.00	0.000

Tabella A.13.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore NO-FERROUS METALS

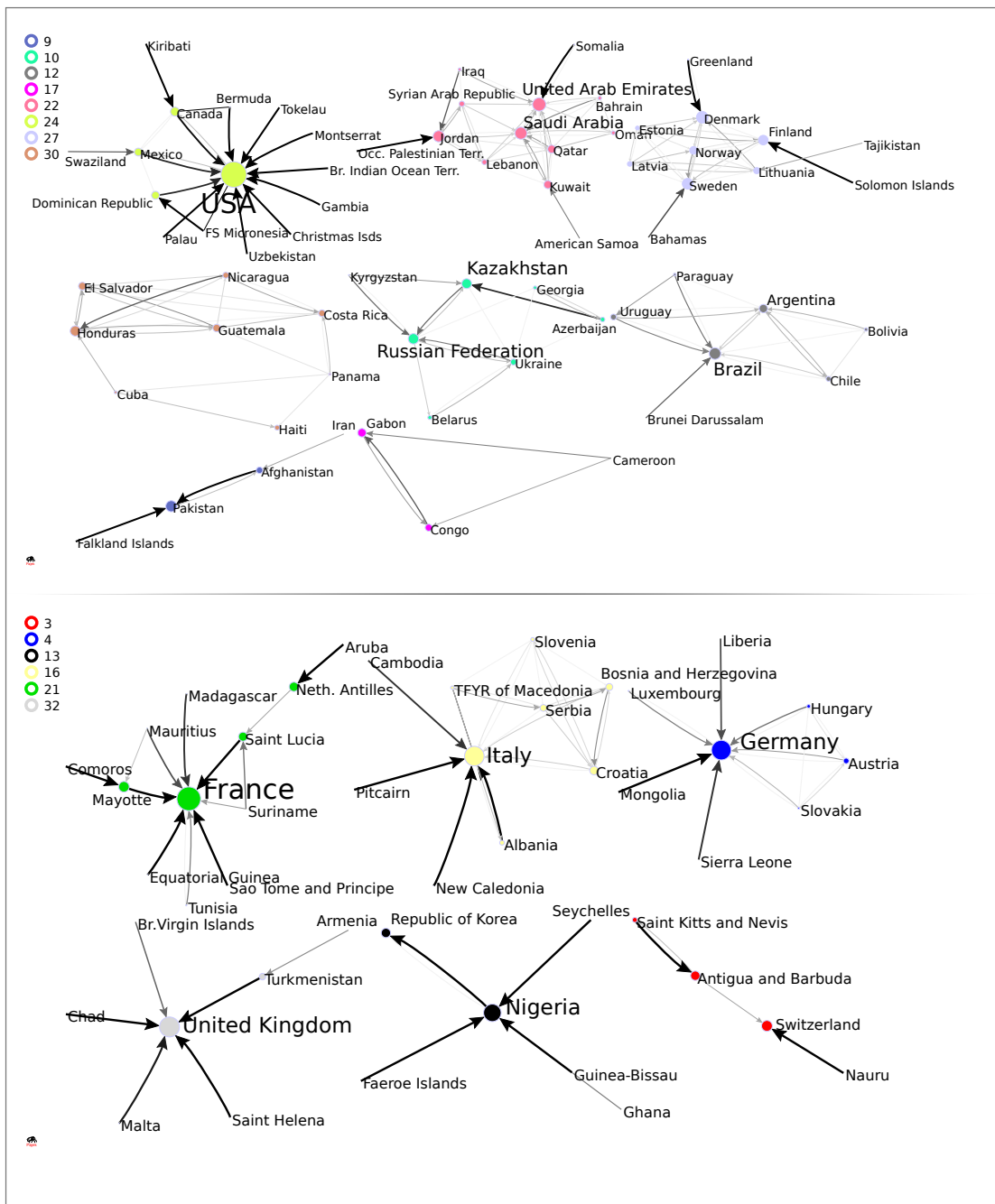
MANUFACTURES OF METALS



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore MANUFACTURES OF METALS.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore MANUFACTURES OF METALS.

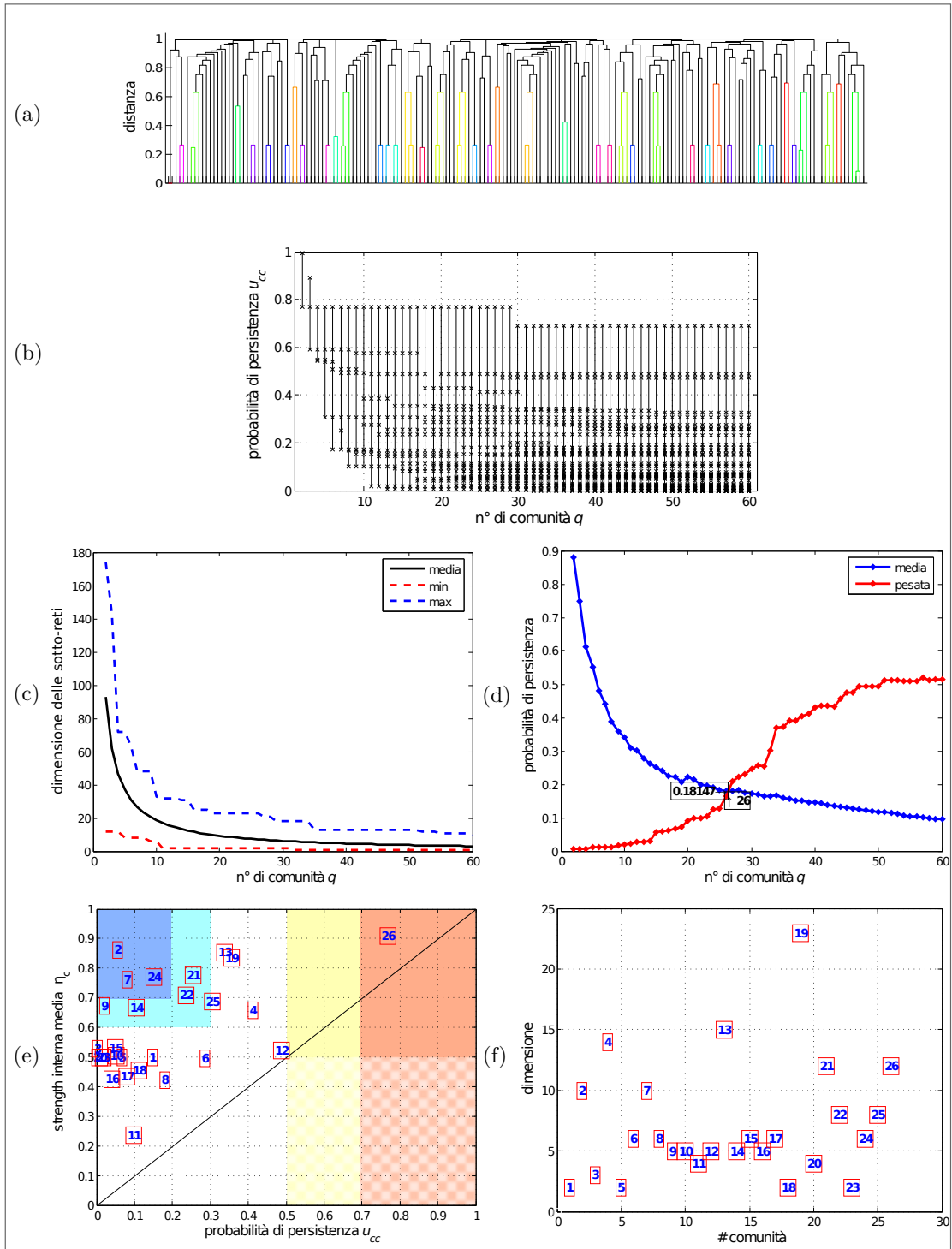


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore MANUFACTURES OF METALS.

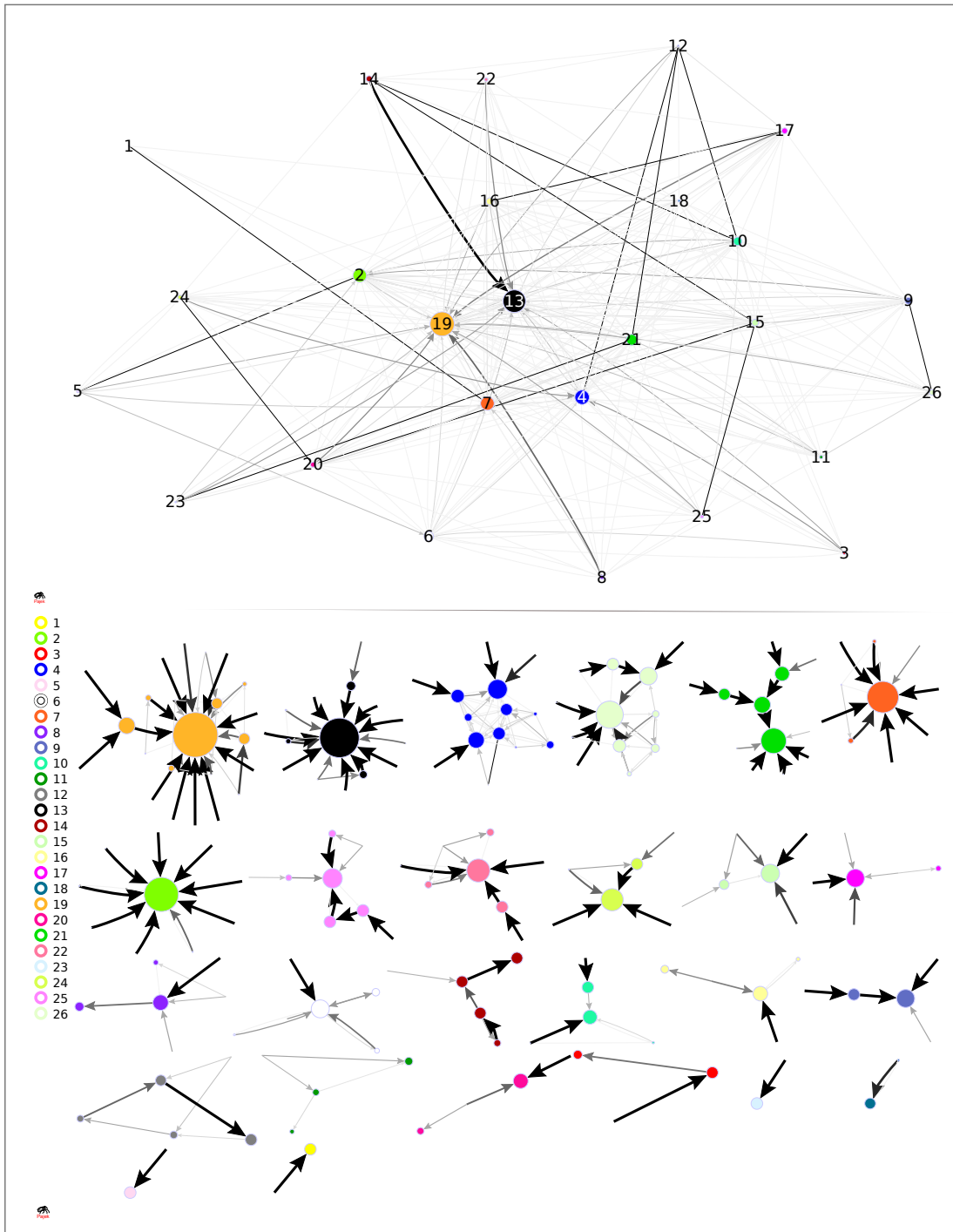
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
30	0.84	0.69	8	0.57	0.71	0.73	0.12	0.138
22	0.79	0.83	13	0.38	0.51	0.74	0.25	1.133
24	0.70	0.93	15	0.17	0.23	0.67	0.43	22.521
10	0.67	0.67	7	0.57	0.68	0.71	0.26	1.107
9	0.59	0.67	4	0.50	0.00	0.33	0.12	0.049
17	0.56	0.65	3	1.00	1.00	0.75	0.03	0.004
12	0.55	0.65	7	0.57	0.71	0.46	0.28	0.698
27	0.52	0.70	11	0.40	0.45	0.48	0.38	3.148
13	0.26	0.75	6	0.33	0.00	0.02	0.02	0.062
4	0.23	0.62	8	0.36	0.39	0.21	0.29	8.031
16	0.15	0.69	10	0.40	0.55	0.07	0.15	1.177
21	0.06	0.81	12	0.20	0.23	0.03	0.02	0.215
3	0.03	0.66	4	0.50	0.00	0.00	0.00	0.000
32	0.02	0.72	7	0.29	0.00	0.01	0.00	0.028

Tabella A.14.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore MANUFACTURES OF METALS

POWER-GENERATING MACHINERY



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore POWER-GENERATING MACHINERY.

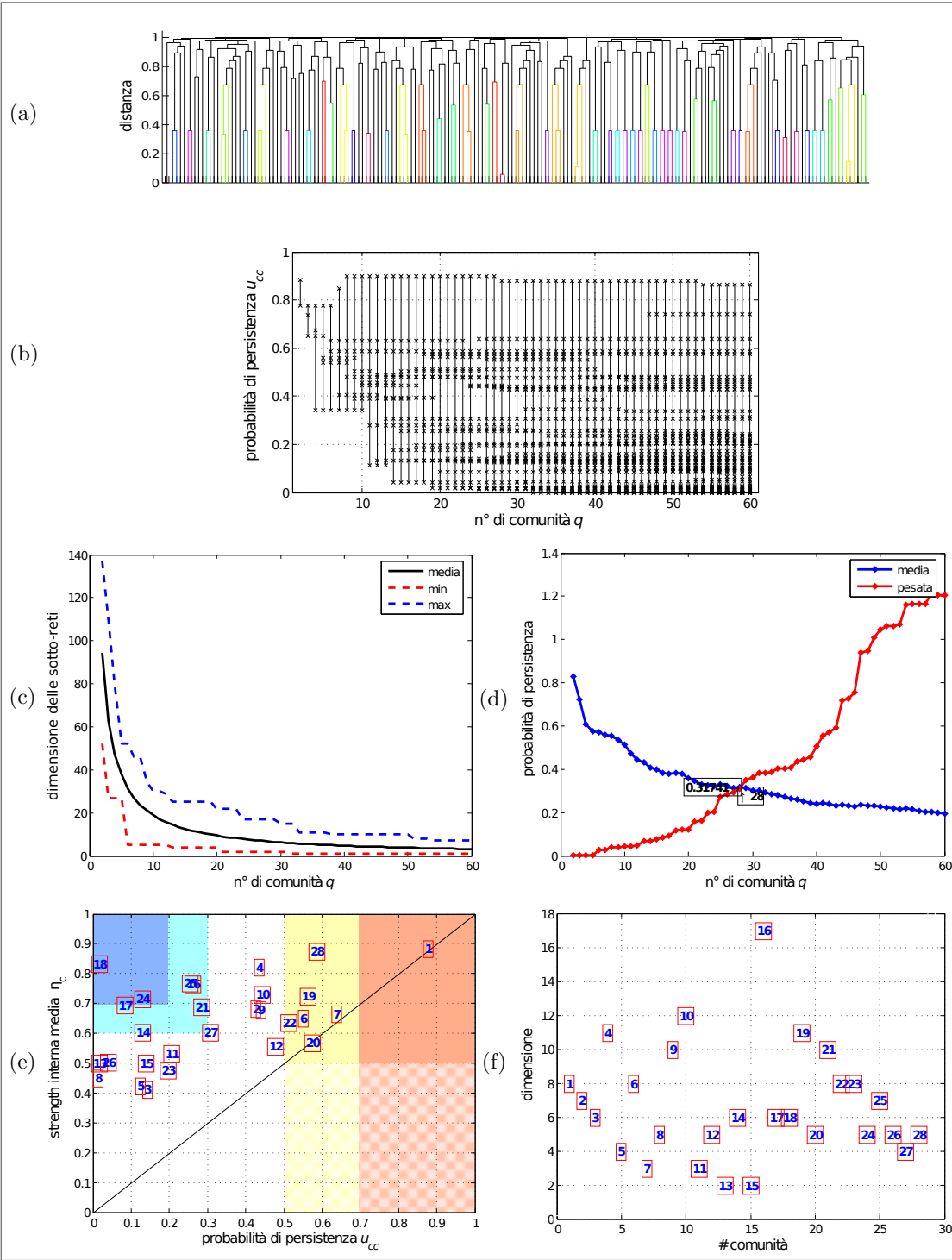


Rappresentazione delle sotto-reti del settore POWER-GENERATING MACHINERY

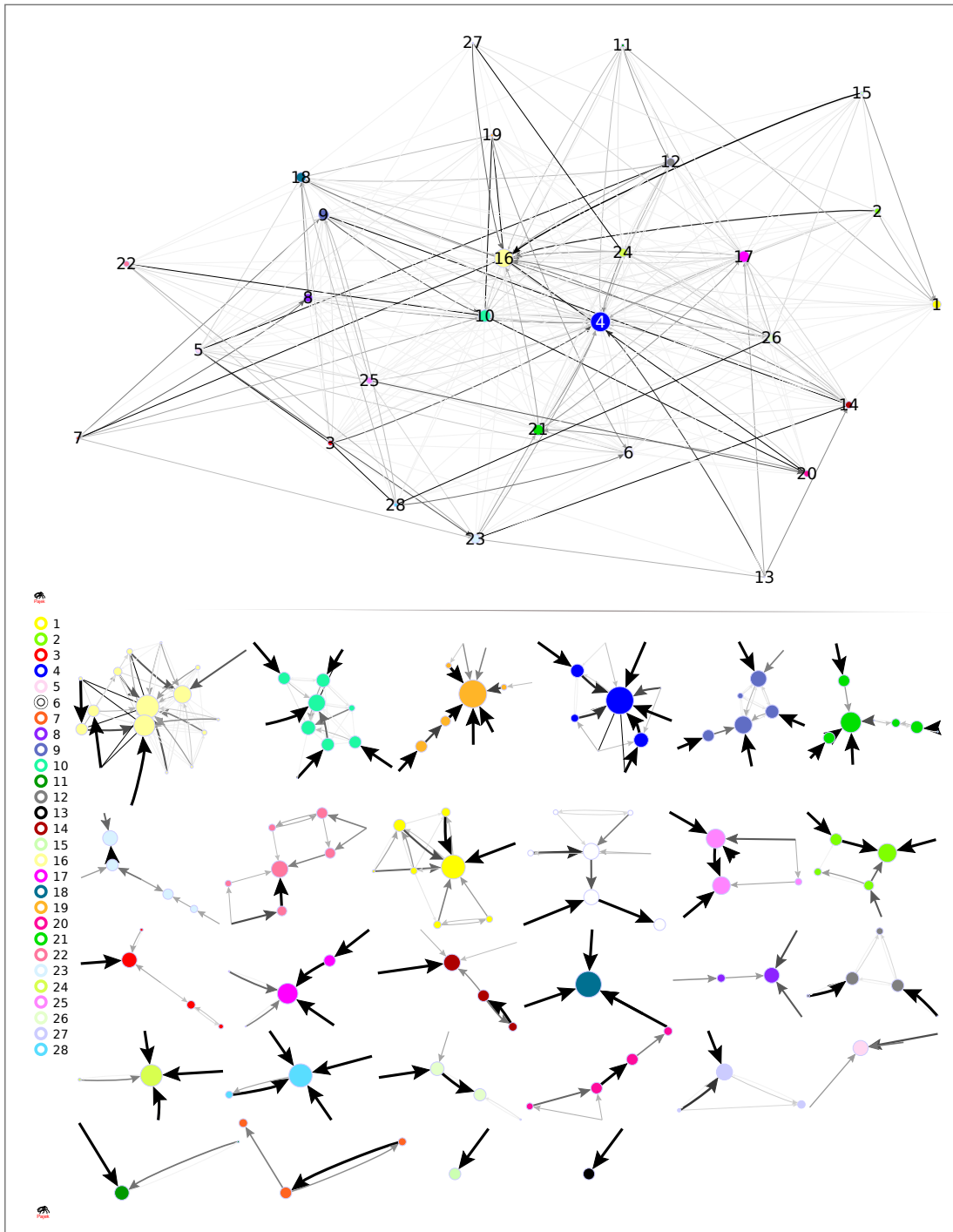
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
26	0.77	0.91	12	0.30	0.53	0.66	0.46	1.521
25	0.31	0.69	8	0.32	0.44	0.11	0.05	0.089
21	0.25	0.78	12	0.17	0.00	0.02	0.02	0.146
22	0.24	0.71	8	0.32	0.35	0.17	0.17	0.624
24	0.15	0.77	6	0.40	0.25	0.06	0.02	0.045
14	0.10	0.67	5	0.40	0.00	0.00	0.00	0.037
7	0.08	0.76	10	0.24	0.27	0.02	0.02	0.295
2	0.06	0.86	10	0.20	0.00	0.02	0.02	0.293
9	0.02	0.68	5	0.40	0.00	0.01	0.00	0.012

Tabella A.15.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore POWER-GENERATING MACHINERY

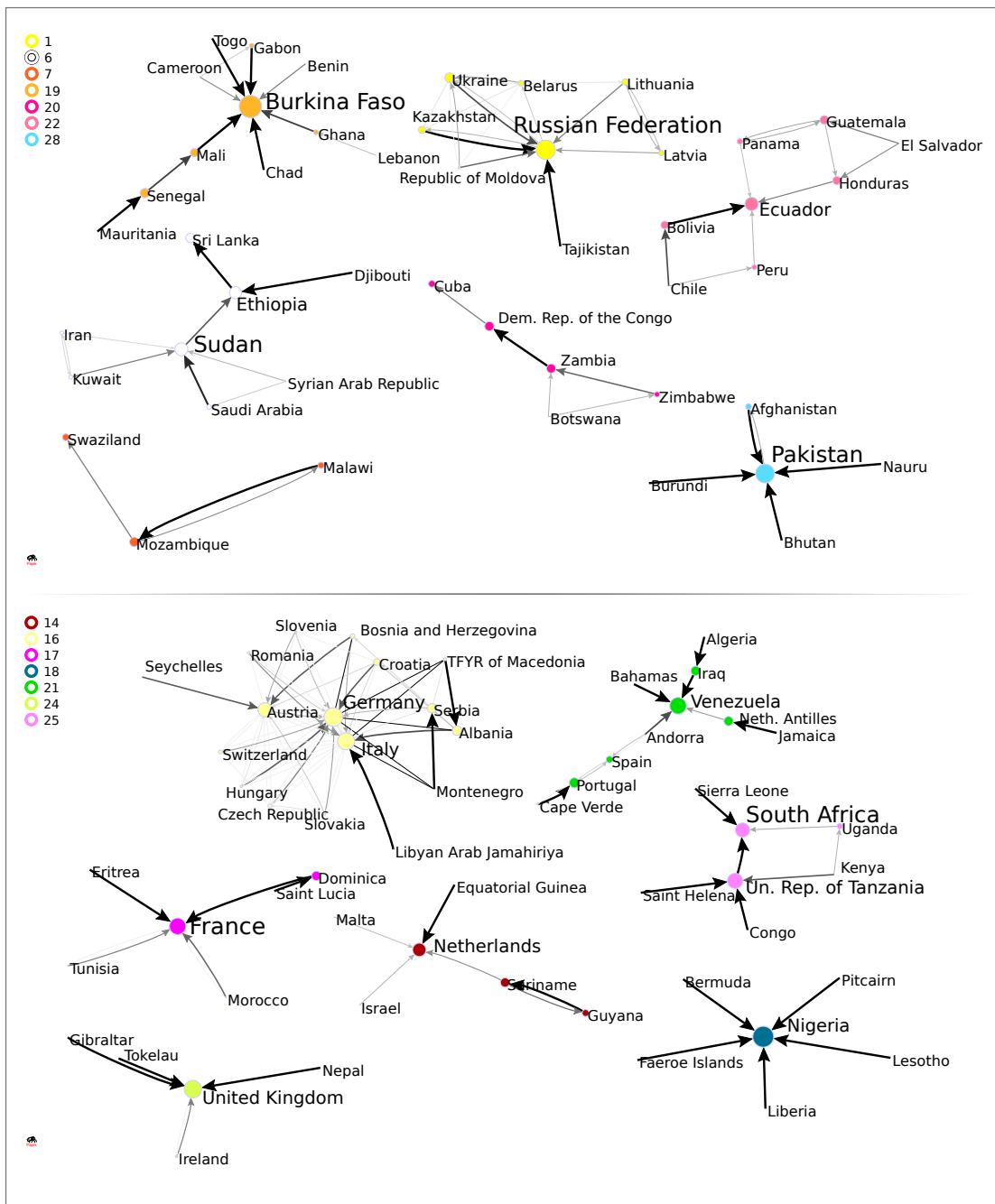
SPECIALIZED INDUSTRIAL MACHINERY



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore SPECIALIZED INDUSTRIAL MACHINERY.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore SPECIALIZED INDUSTRIAL MACHINERY.

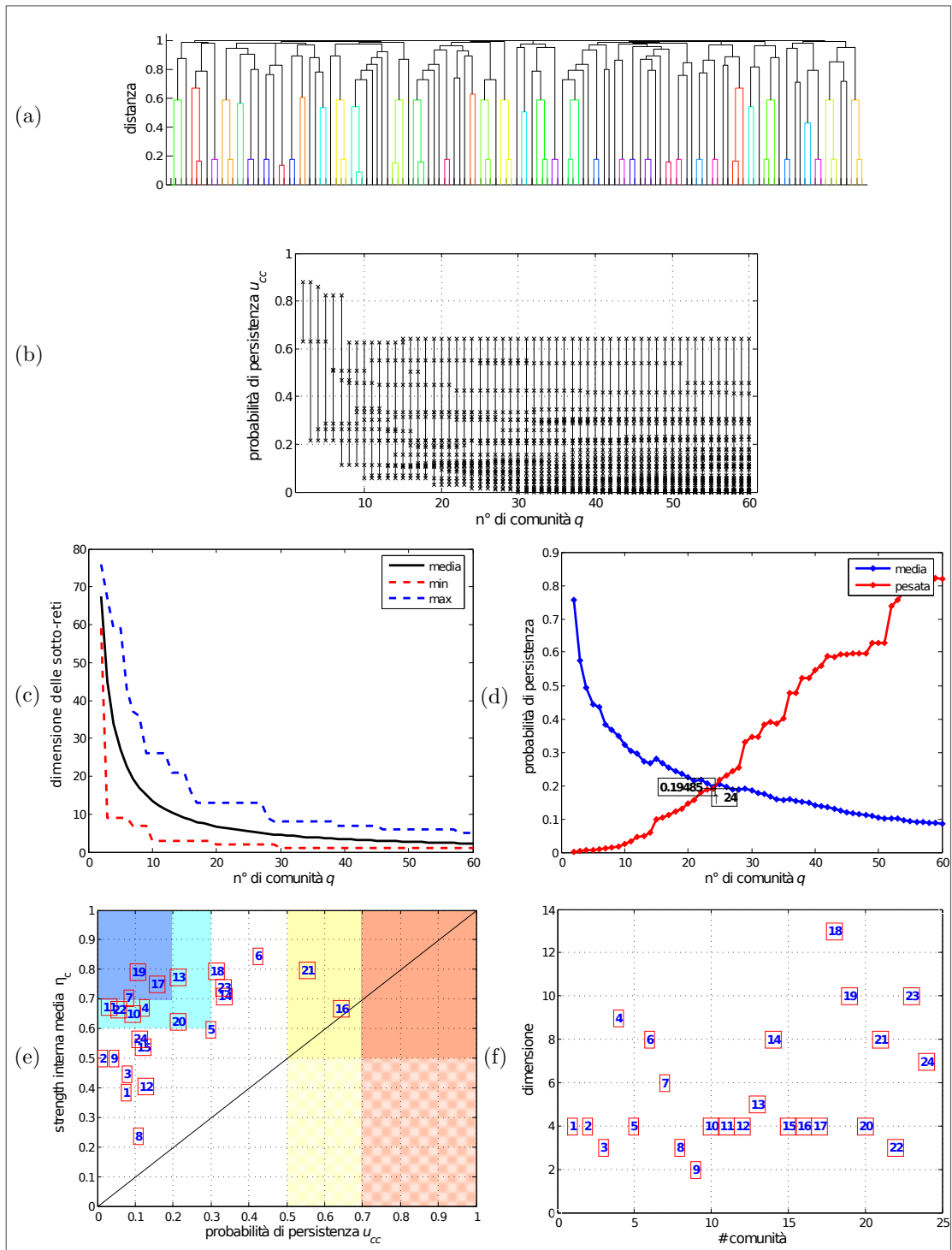


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore SPECIALIZED INDUSTRIAL MACHINERY.

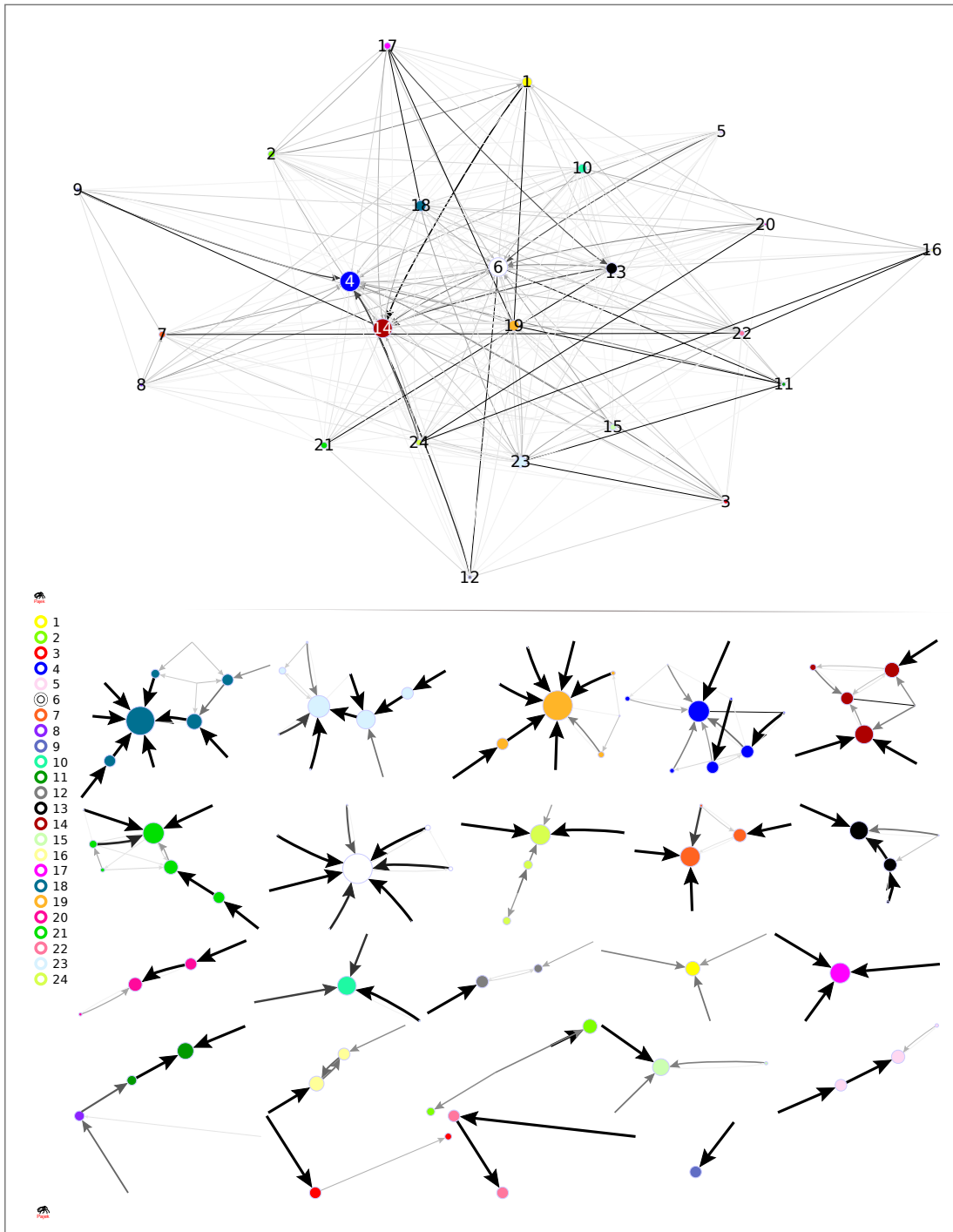
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
1	0.88	0.88	8	0.50	0.68	0.84	0.12	1.147
7	0.64	0.67	3	0.67	0.00	0.10	0.03	0.003
28	0.59	0.88	5	0.40	0.00	0.42	0.01	0.008
20	0.58	0.57	5	0.50	0.47	0.60	0.05	0.030
19	0.56	0.72	11	0.20	0.19	0.51	0.03	0.016
6	0.55	0.65	8	0.32	0.53	0.63	0.04	0.143
22	0.51	0.64	8	0.36	0.21	0.73	0.05	0.103
21	0.28	0.69	10	0.20	0.00	0.21	0.04	0.382
16	0.26	0.77	17	0.35	0.68	0.24	0.60	20.193
25	0.25	0.77	7	0.33	0.00	0.13	0.05	0.104
24	0.13	0.71	5	0.40	0.00	0.09	0.08	0.798
14	0.13	0.60	6	0.33	0.00	0.03	0.03	0.162
17	0.08	0.69	6	0.33	0.00	0.03	0.02	0.274
18	0.02	0.83	6	0.33	0.00	0.25	0.00	0.003

Tabella A.16.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore SPECIALIZED INDUSTRIAL MACHINERY

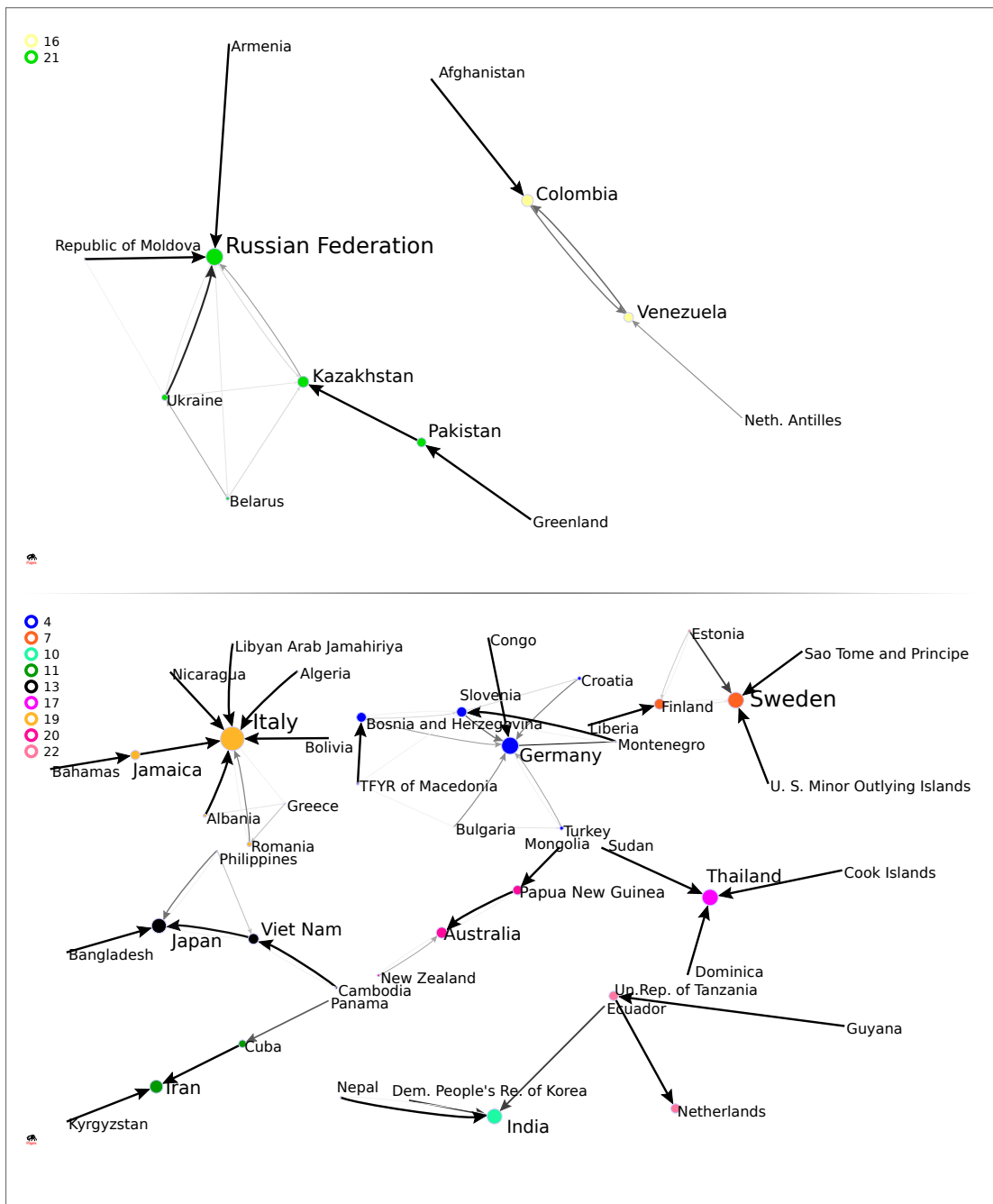
METALWORKING MACHINERY



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore METALWORKING MACHINERY.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore METALWORKING MACHINERY.

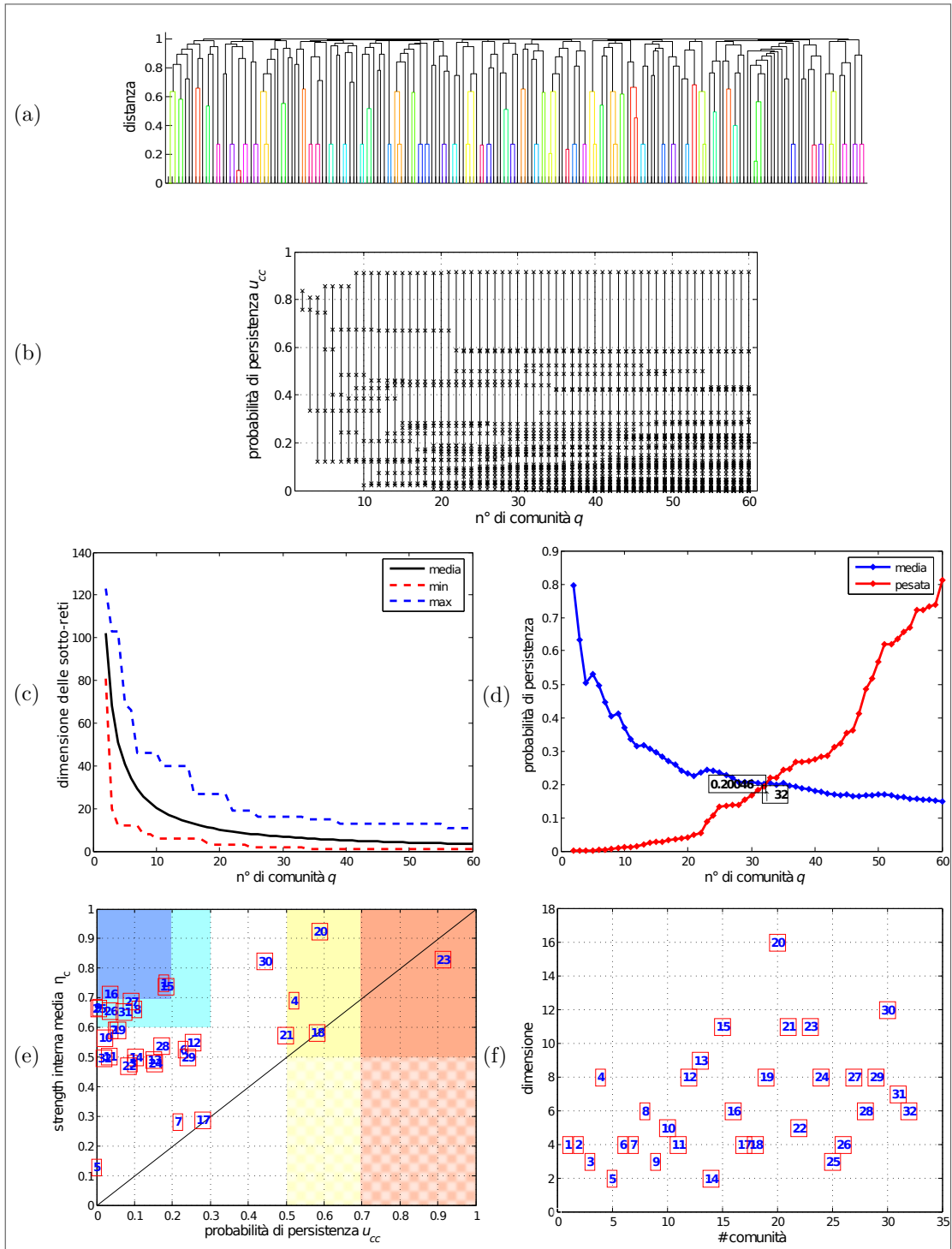


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore METALWORKING MACHINERY.

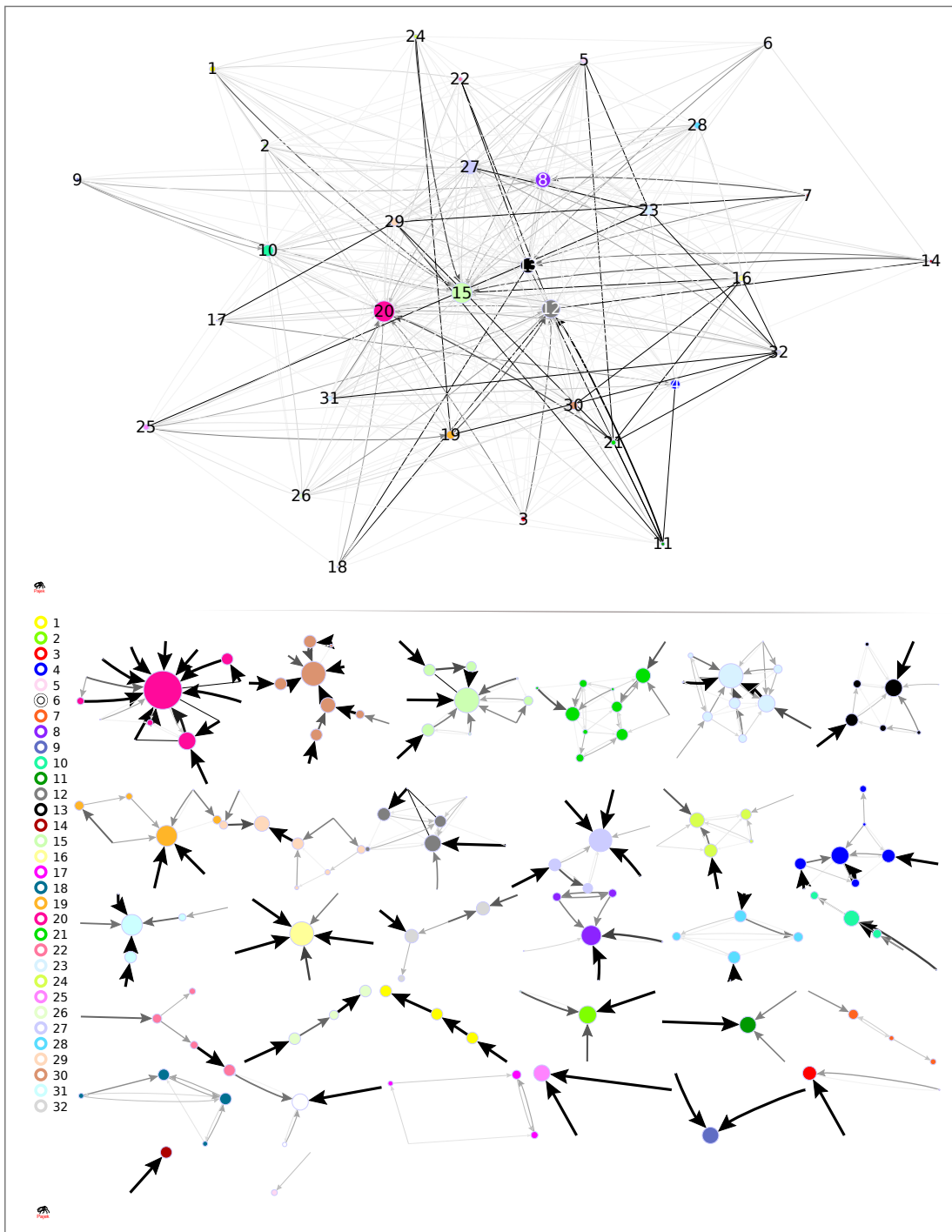
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
16	0.64	0.67	4	0.50	0.00	0.59	0.02	0.002
21	0.55	0.80	8	0.39	0.45	0.68	0.11	0.191
13	0.21	0.77	5	0.50	0.33	0.02	0.13	0.353
20	0.21	0.62	4	0.50	0.00	0.18	0.06	0.028
17	0.16	0.75	4	0.50	0.00	0.00	0.00	0.000
4	0.13	0.67	9	0.39	0.55	0.06	0.11	0.708
19	0.11	0.79	10	0.24	0.27	0.05	0.10	0.274
10	0.09	0.65	4	0.50	0.00	0.08	0.01	0.015
7	0.08	0.70	6	0.40	0.25	0.09	0.10	0.061
22	0.06	0.67	3	0.67	0.00	0.00	0.00	0.000
11	0.03	0.67	4	0.50	0.00	0.35	0.06	0.004

Tabella A.17.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore METALWORKING MACHINERY

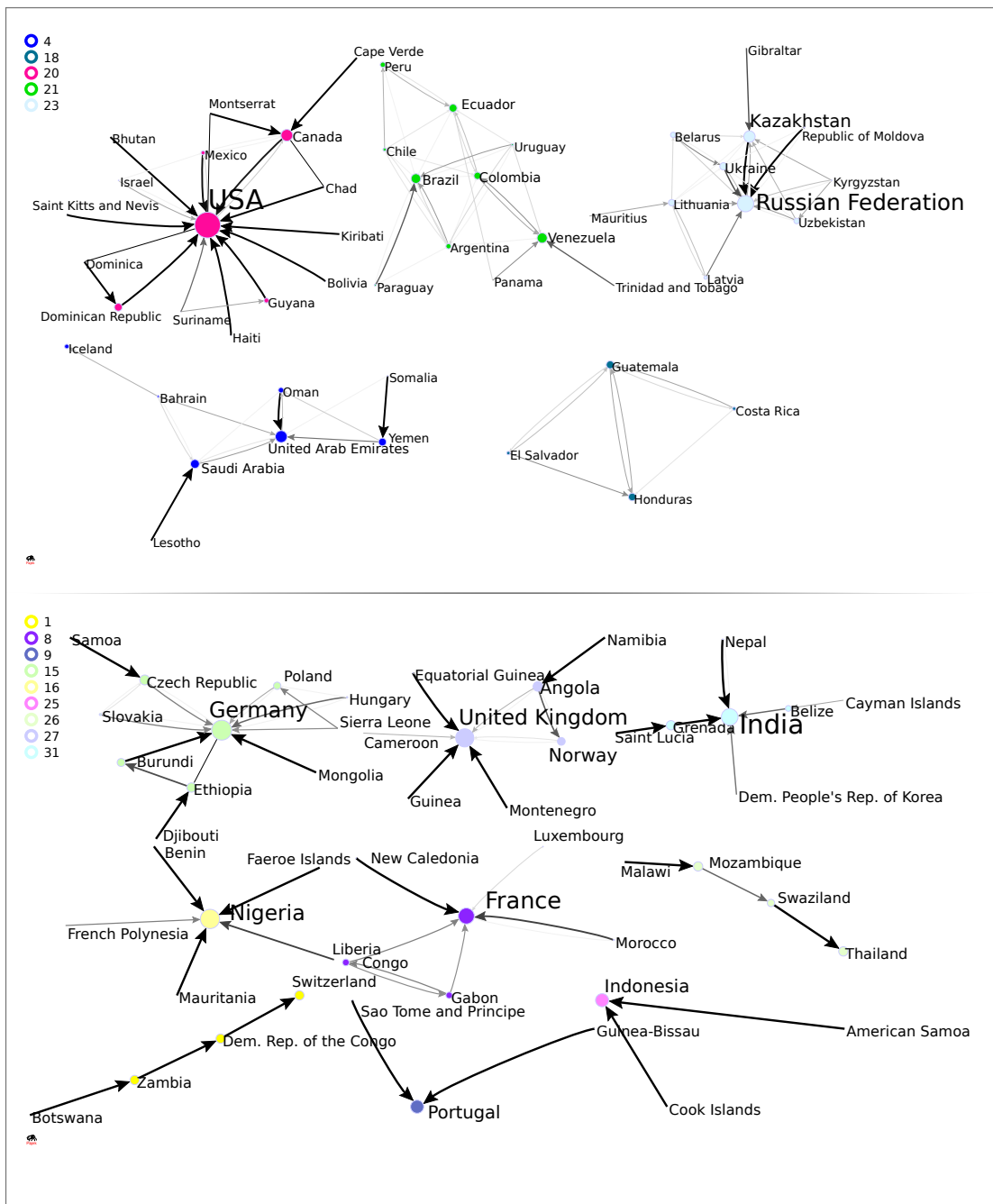
GENERAL INDUSTRIAL MACHINERY



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore GENERAL INDUSTRIAL MACHINERY.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore GENERAL INDUSTRIAL MACHINERY.

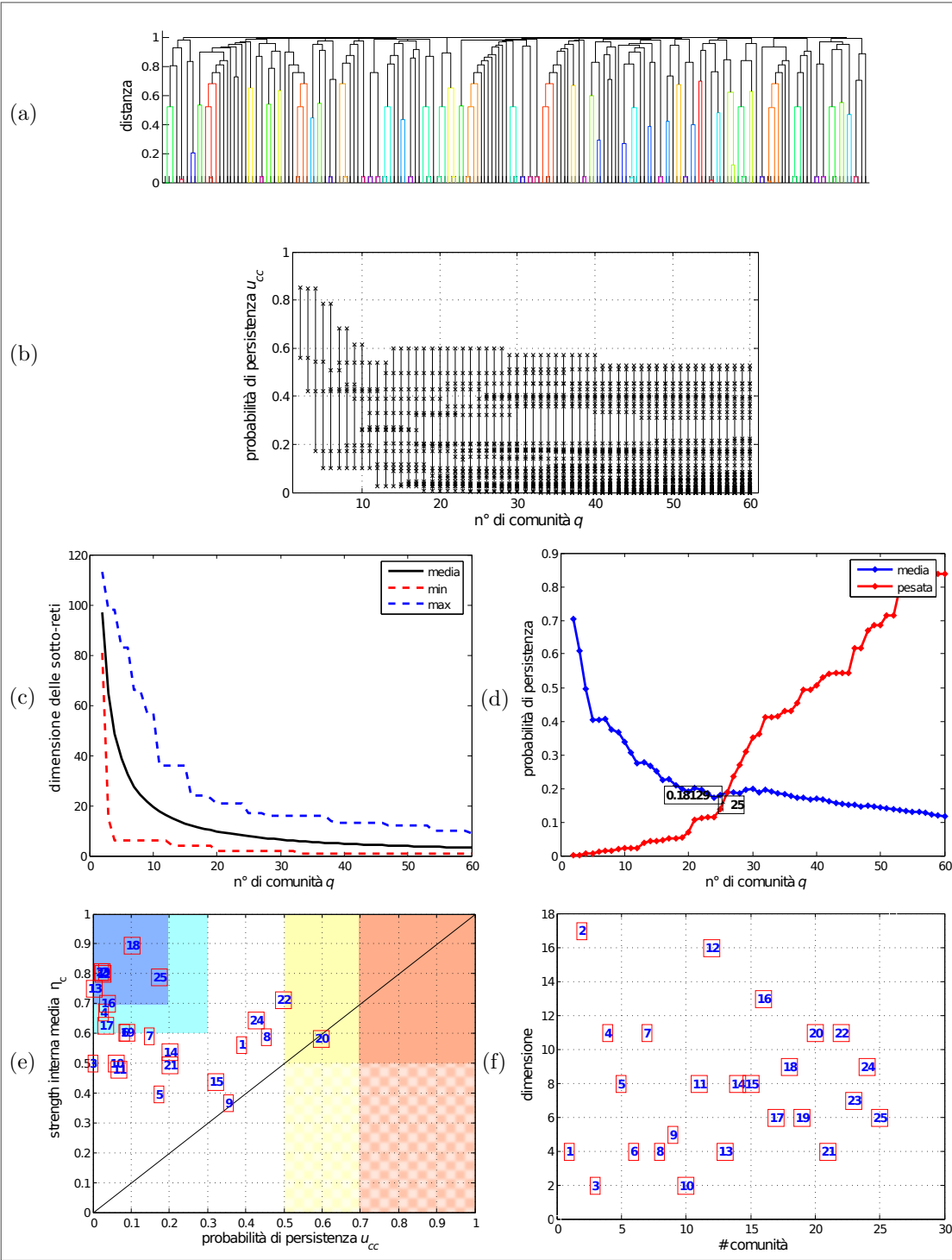


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore GENERAL INDUSTRIAL MACHINERY.

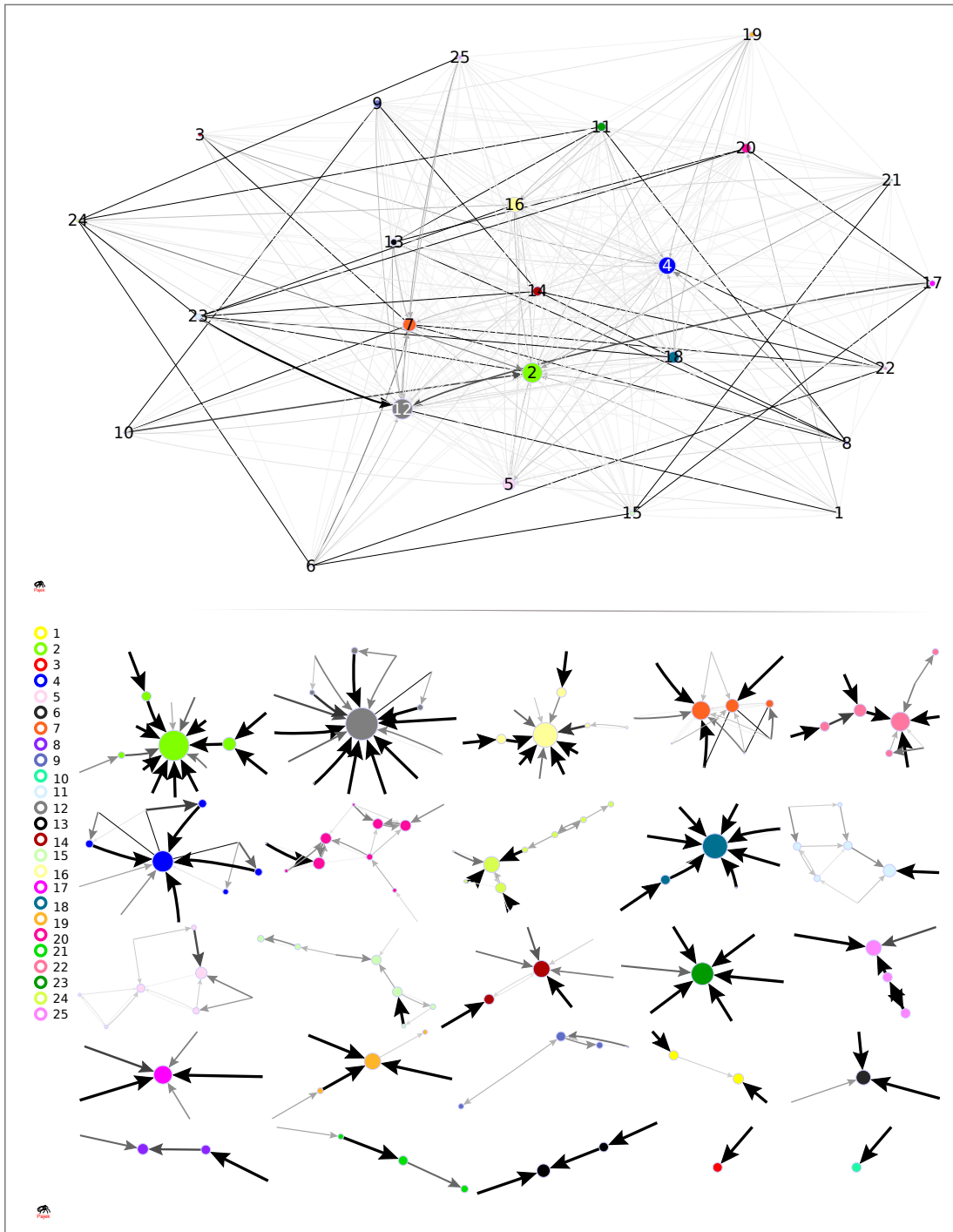
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
23	0.91	0.83	11	0.40	0.62	0.93	0.19	2.018
20	0.59	0.92	16	0.18	0.50	0.53	0.41	37.138
18	0.58	0.58	4	0.83	0.83	0.64	0.06	0.034
4	0.52	0.69	8	0.39	0.43	0.55	0.05	0.458
21	0.50	0.57	11	0.42	0.49	0.41	0.12	1.243
15	0.18	0.74	11	0.25	0.50	0.15	0.27	11.890
1	0.18	0.75	4	0.50	0.00	0.00	0.00	0.003
8	0.11	0.66	6	0.40	0.35	0.03	0.03	0.534
27	0.09	0.69	8	0.29	0.18	0.05	0.03	0.609
31	0.07	0.65	7	0.29	0.00	0.02	0.01	0.046
26	0.04	0.66	4	0.50	0.00	0.00	0.00	0.017
16	0.04	0.71	6	0.33	0.00	0.44	0.01	0.007
25	0.01	0.67	3	0.67	0.00	0.00	0.00	0.001
9	0.00	0.67	3	0.67	0.00	0.00	0.00	0.002

Tabella A.18.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore GENERAL INDUSTRIAL MACHINERY

OFFICE AND DATA-PROCESSING MACHINES



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore OFFICE AND DATA-PROCESSING MACHINES.

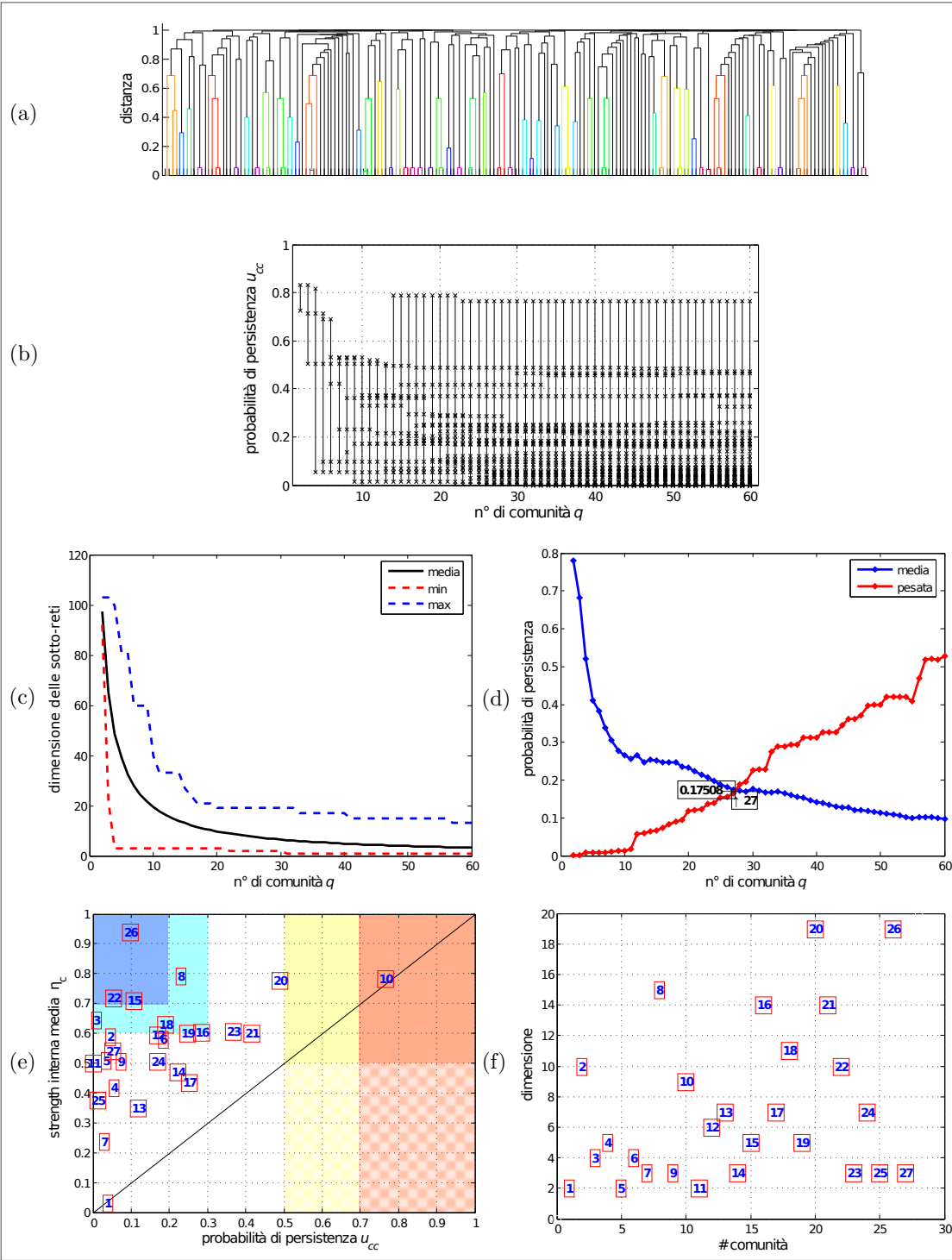


Rappresentazione delle sotto-reti del settore OFFICE AND DATA-PROCESSING MACHINES.

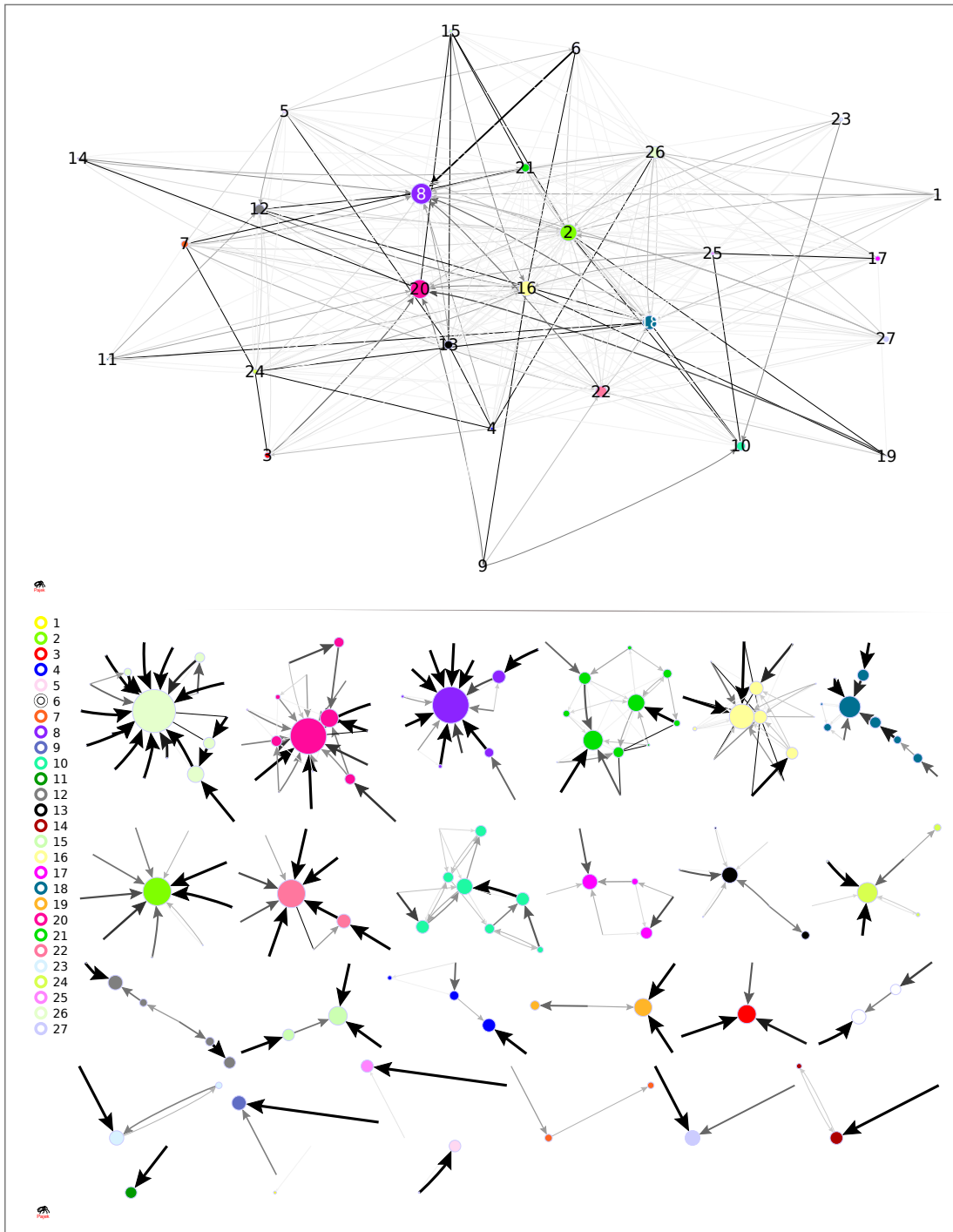
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
20	0.60	0.58	11	0.27	0.29	0.63	0.15	1.709
22	0.50	0.71	11	0.20	0.19	0.67	0.02	0.022
25	0.17	0.79	6	0.33	0.00	0.00	0.00	0.004
18	0.10	0.89	9	0.22	0.00	0.06	0.02	0.276
19	0.09	0.60	6	0.33	0.00	0.02	0.01	0.080
6	0.08	0.60	4	0.50	0.00	0.02	0.05	0.285
16	0.04	0.70	13	0.15	0.00	0.02	0.01	0.210
17	0.03	0.63	6	0.33	0.00	0.00	0.00	0.003
4	0.03	0.67	11	0.27	0.56	0.01	0.00	0.216
12	0.03	0.80	16	0.15	0.38	0.01	0.00	0.498
2	0.03	0.81	17	0.12	0.00	0.00	0.00	0.119
23	0.02	0.81	7	0.29	0.00	0.00	0.00	0.005
13	0.00	0.75	4	0.50	0.00	0.00	0.00	0.004

Tabella A.19.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore OFFICE AND DATA-PROCESSING MACHINES

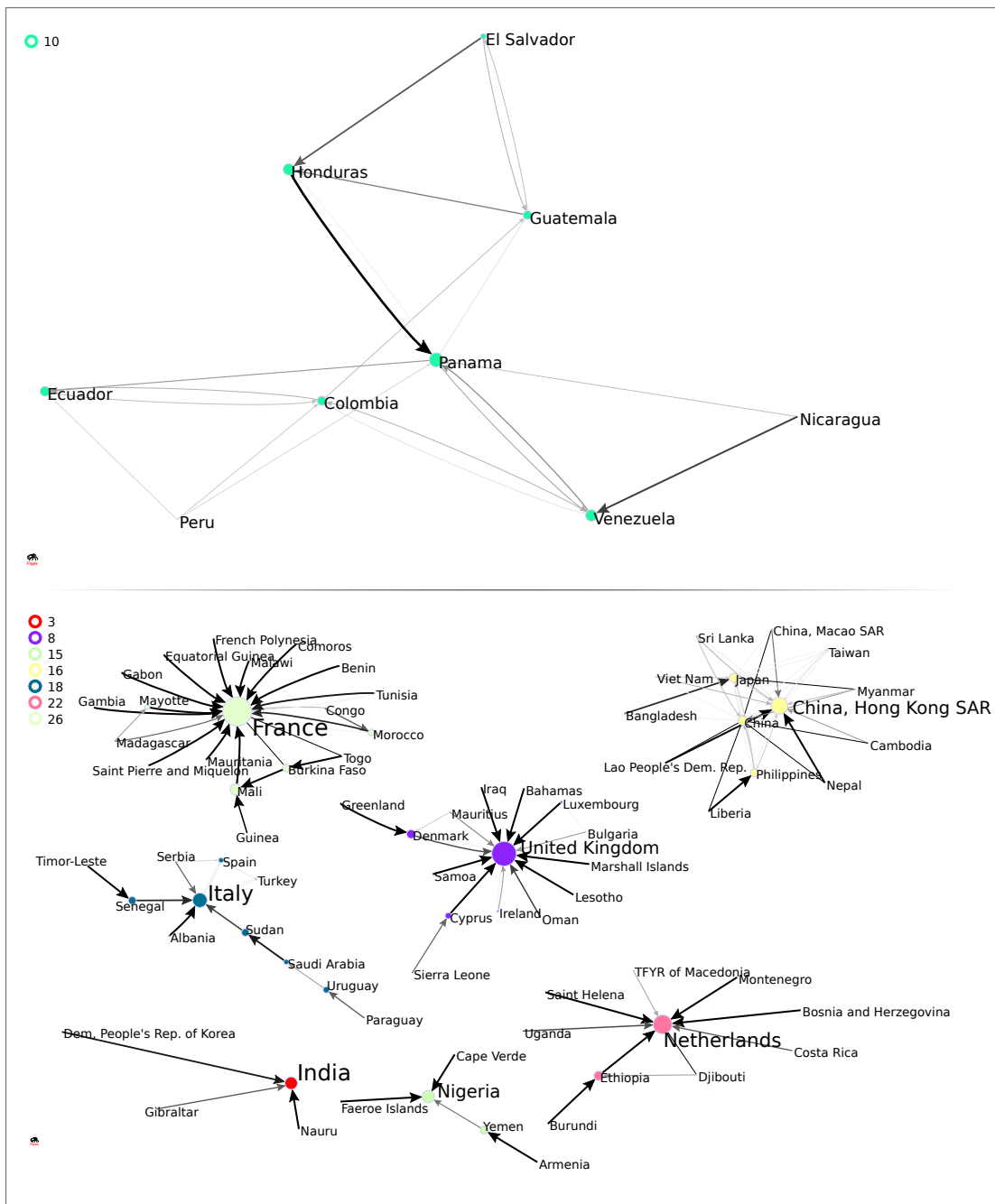
TELECOMMUNICATIONS



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore TELECOMMUNICATIONS.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore TELECOMMUNICATIONS.

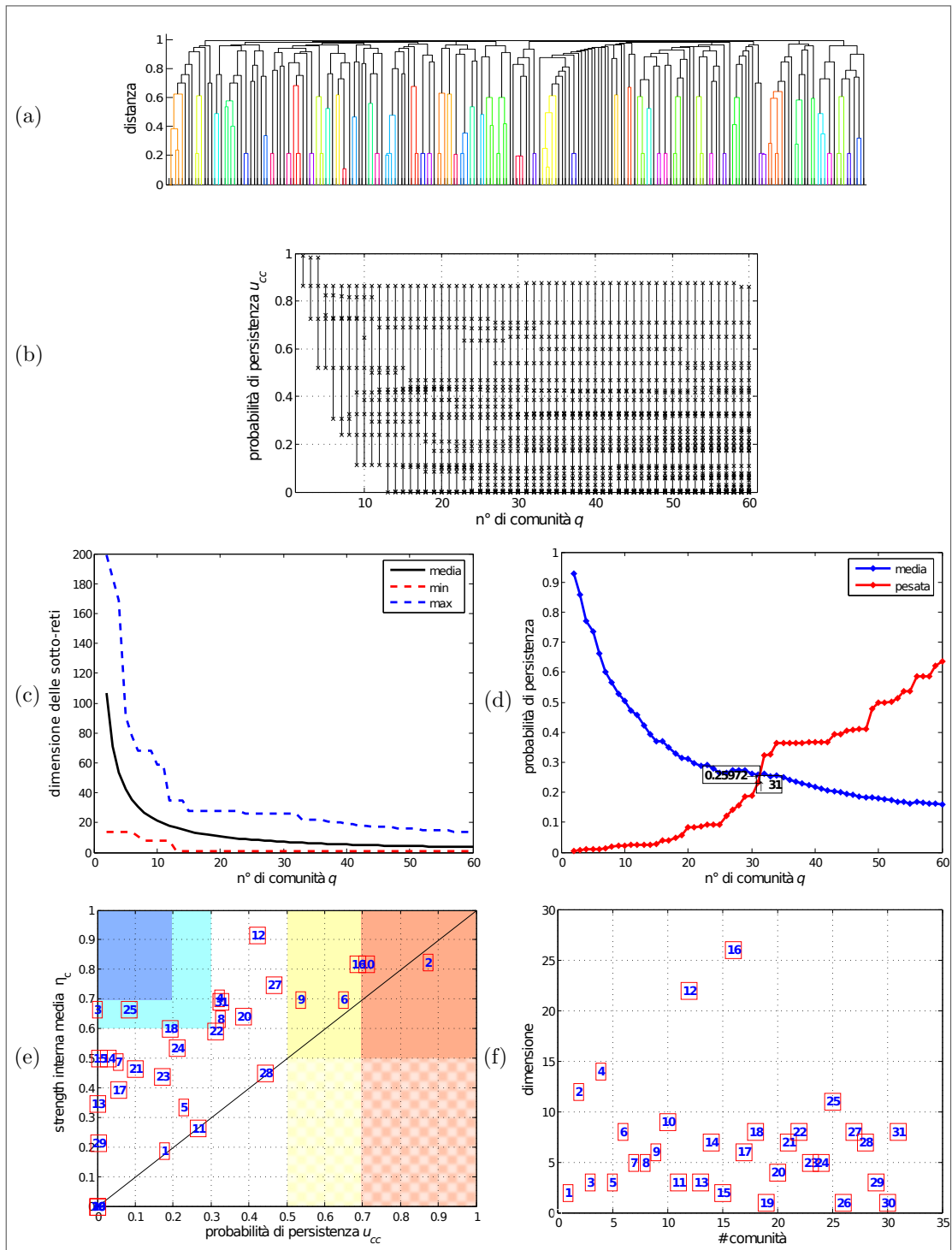


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore TELECOMMUNICATIONS.

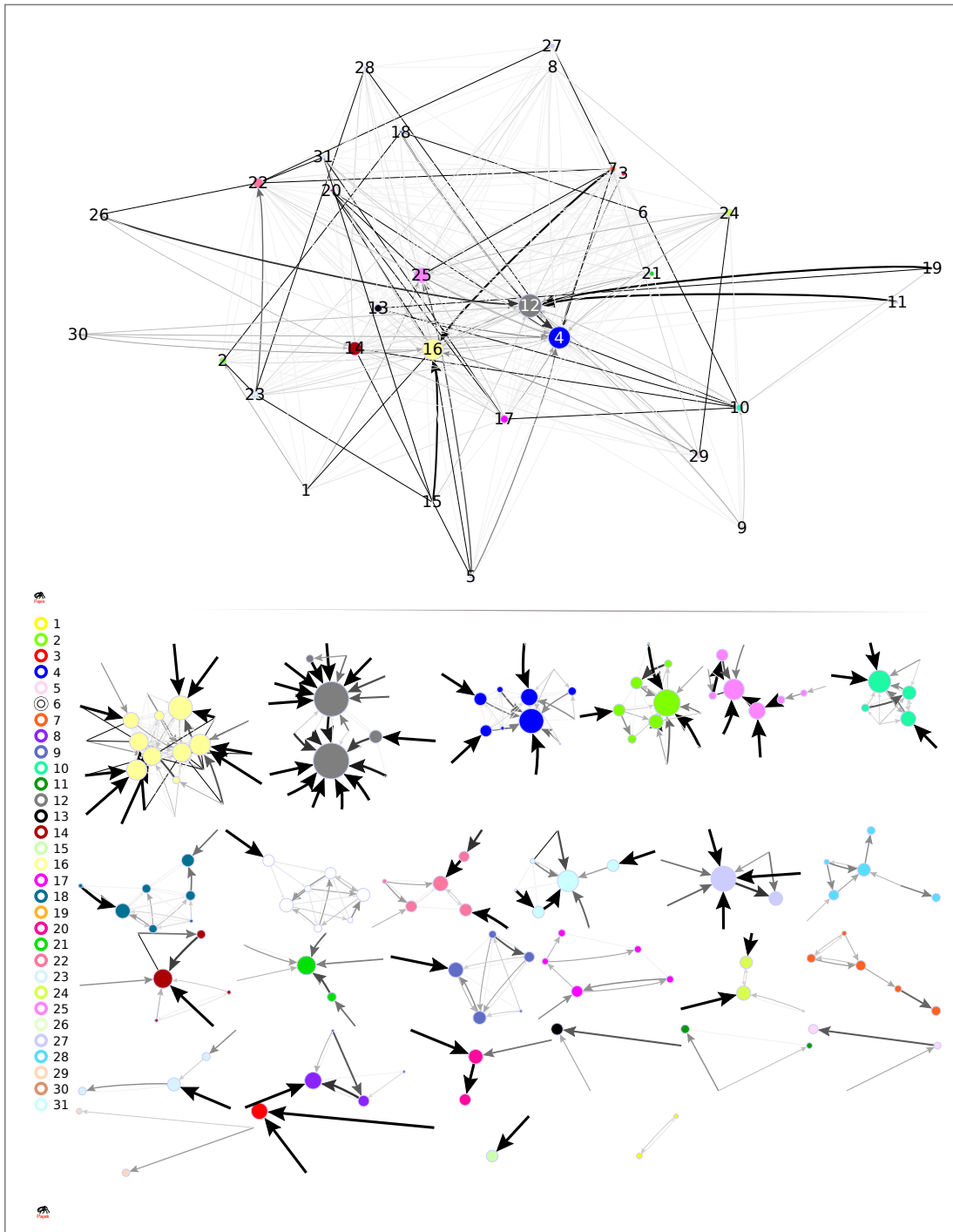
#	U _{cc}	n _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
10	0.77	0.78	9	0.42	0.56	0.88	0.05	0.337
16	0.29	0.60	14	0.33	0.83	0.26	0.67	56,889
8	0.23	0.79	15	0.15	0.22	0.40	0.17	7,814
18	0.19	0.63	11	0.22	0.25	0.13	0.05	1,515
15	0.11	0.71	5	0.40	0.00	0.68	0.07	0,065
26	0.10	0.94	19	0.13	0.32	0.07	0.02	0,456
22	0.06	0.72	10	0.22	0.14	0.01	0.01	0,083
3	0.01	0.64	4	0.50	0.00	0.26	0.03	0,212

Tabella A.20.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore TELECOMMUNICATIONS

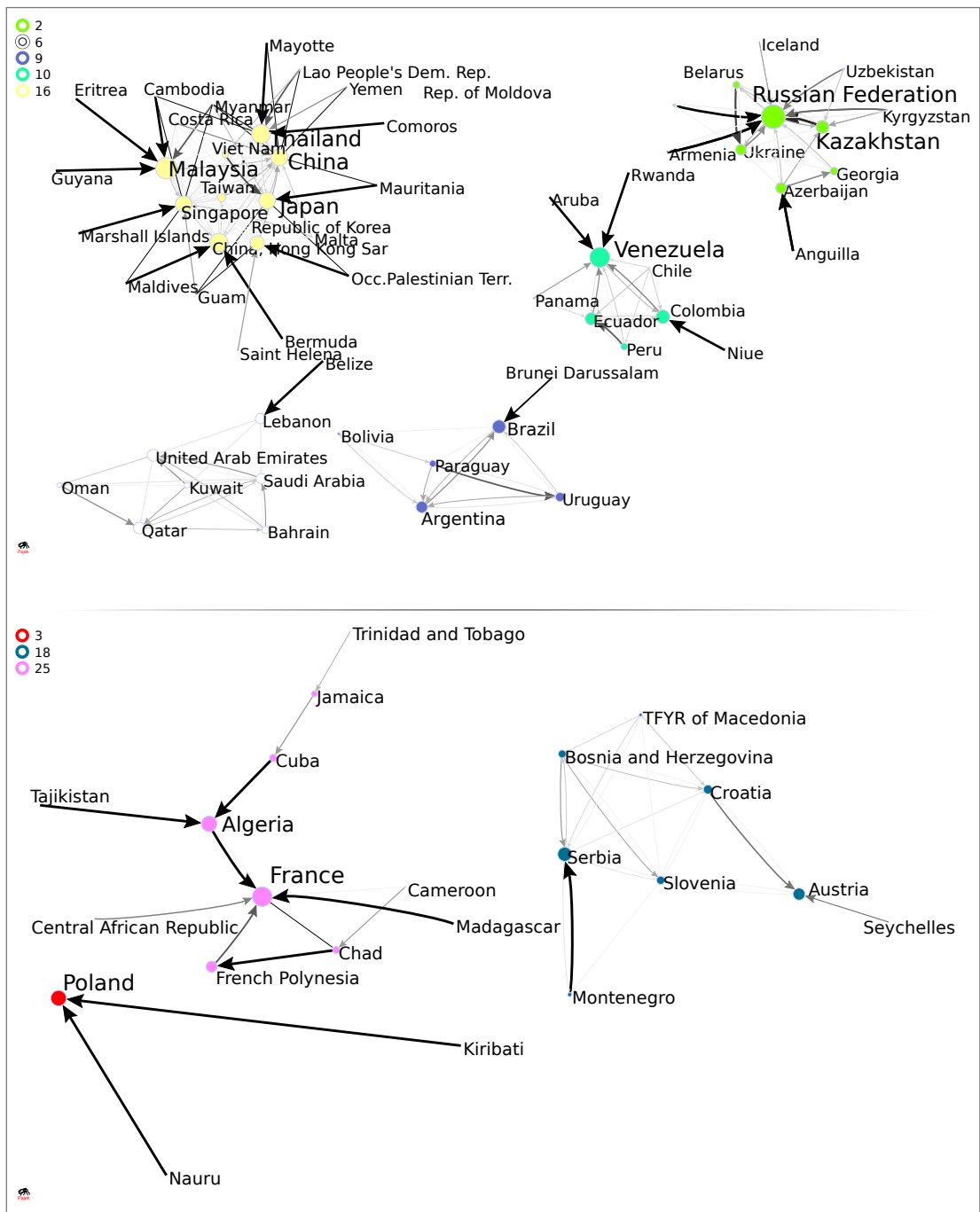
ELECTRICAL MACHINERY



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore ELECTRICAL MACHINERY.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore ELECTRICAL MACHINERY.

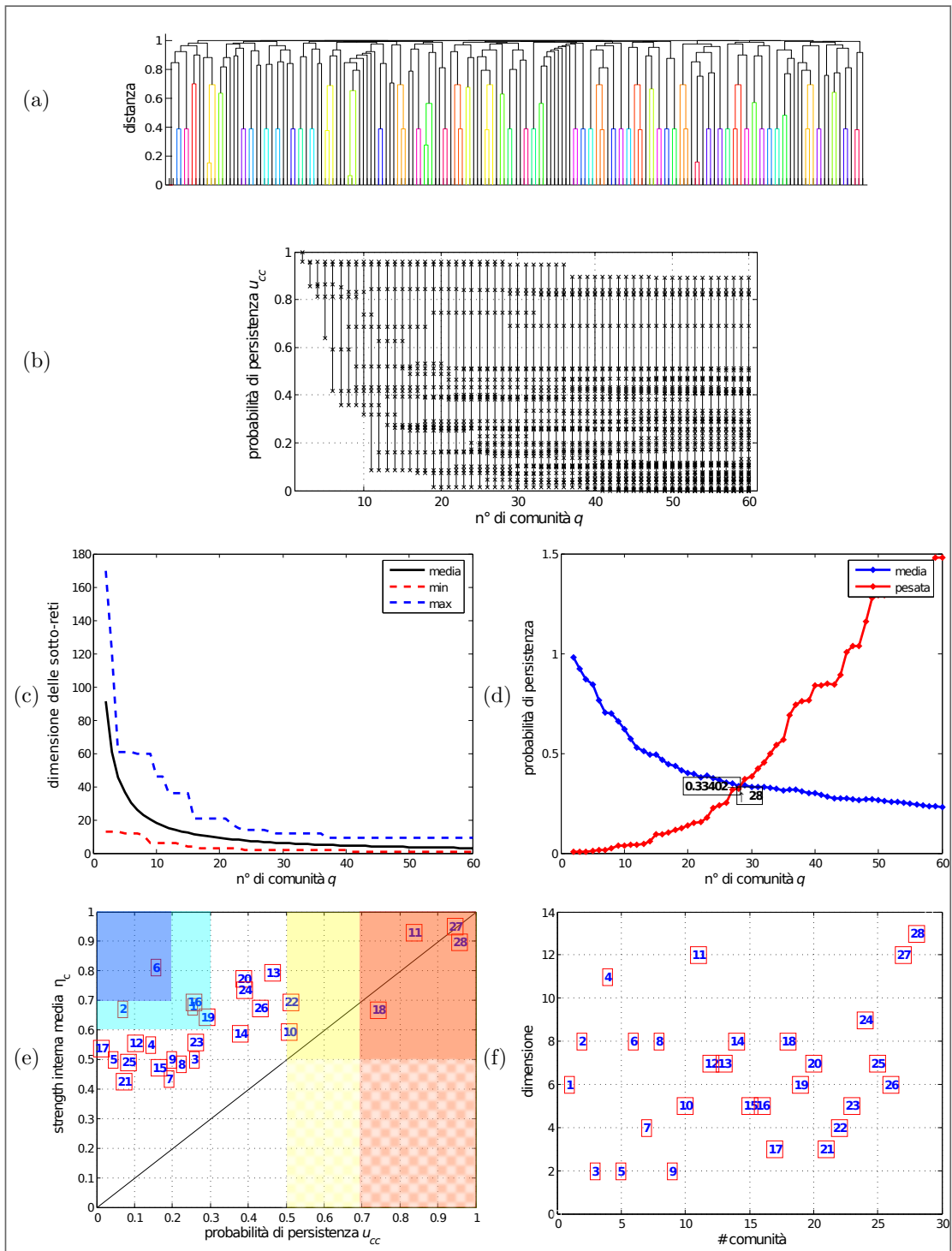


Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore ELECTRICAL MACHINERY.

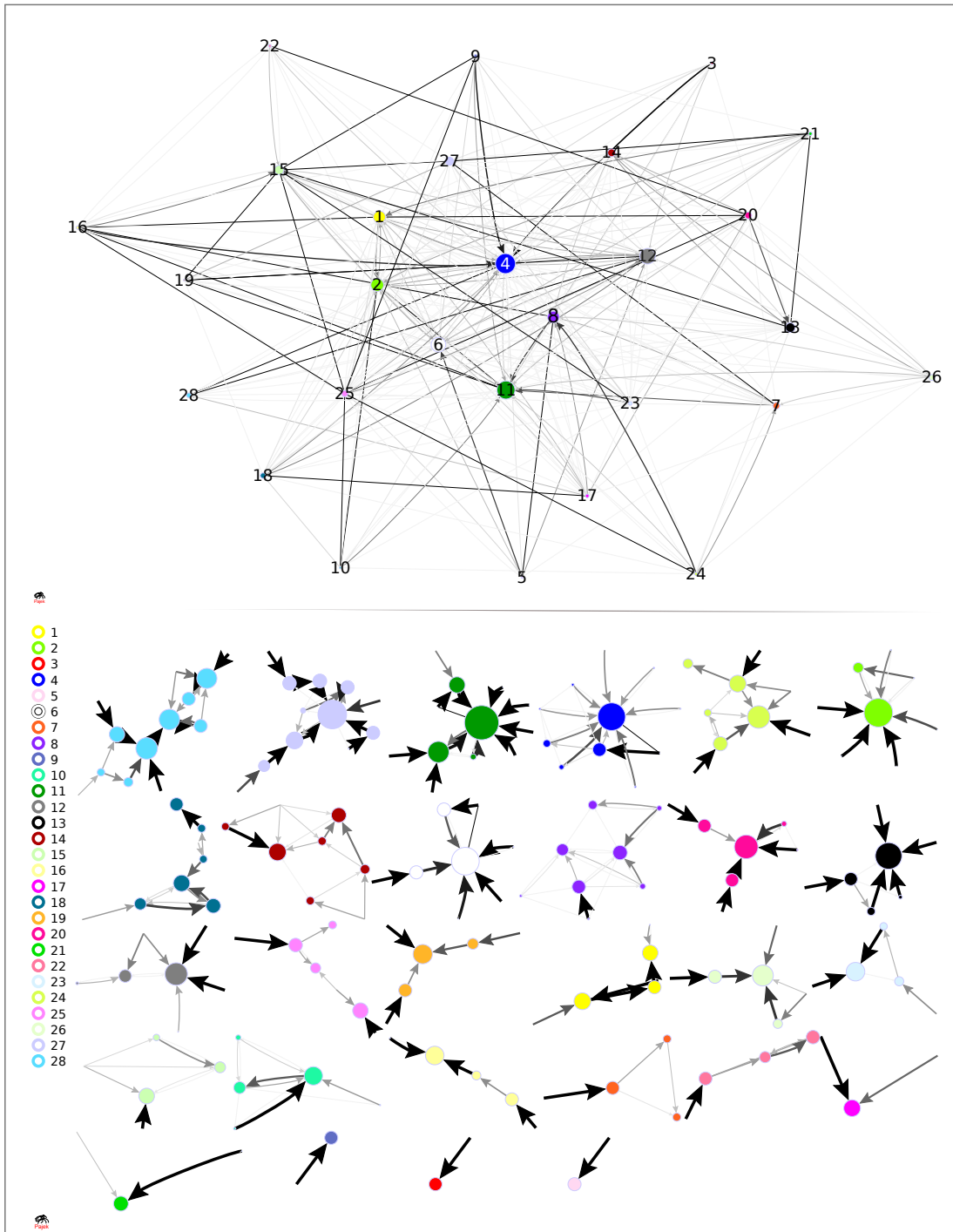
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	<i>clustering</i>	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
2	0.87	0.82	12	0.32	0.56	0.82	0.22	1.808
10	0.71	0.82	9	0.42	0.51	0.74	0.14	0.479
16	0.69	0.82	26	0.22	0.60	0.68	0.77	359.700
6	0.65	0.70	8	0.64	0.70	0.70	0.14	0.924
9	0.54	0.70	6	0.67	0.69	0.44	0.11	0.840
18	0.19	0.60	8	0.54	0.66	0.13	0.13	1.144
25	0.08	0.66	11	0.22	0.25	0.02	0.01	0.341
3	0.00	0.67	3	0.67	0.00	0.00	0.00	0.002

Tabella A.21.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore ELECTRICAL MACHINERY

ROAD VEHICLES



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore ROAD VEHICLES.

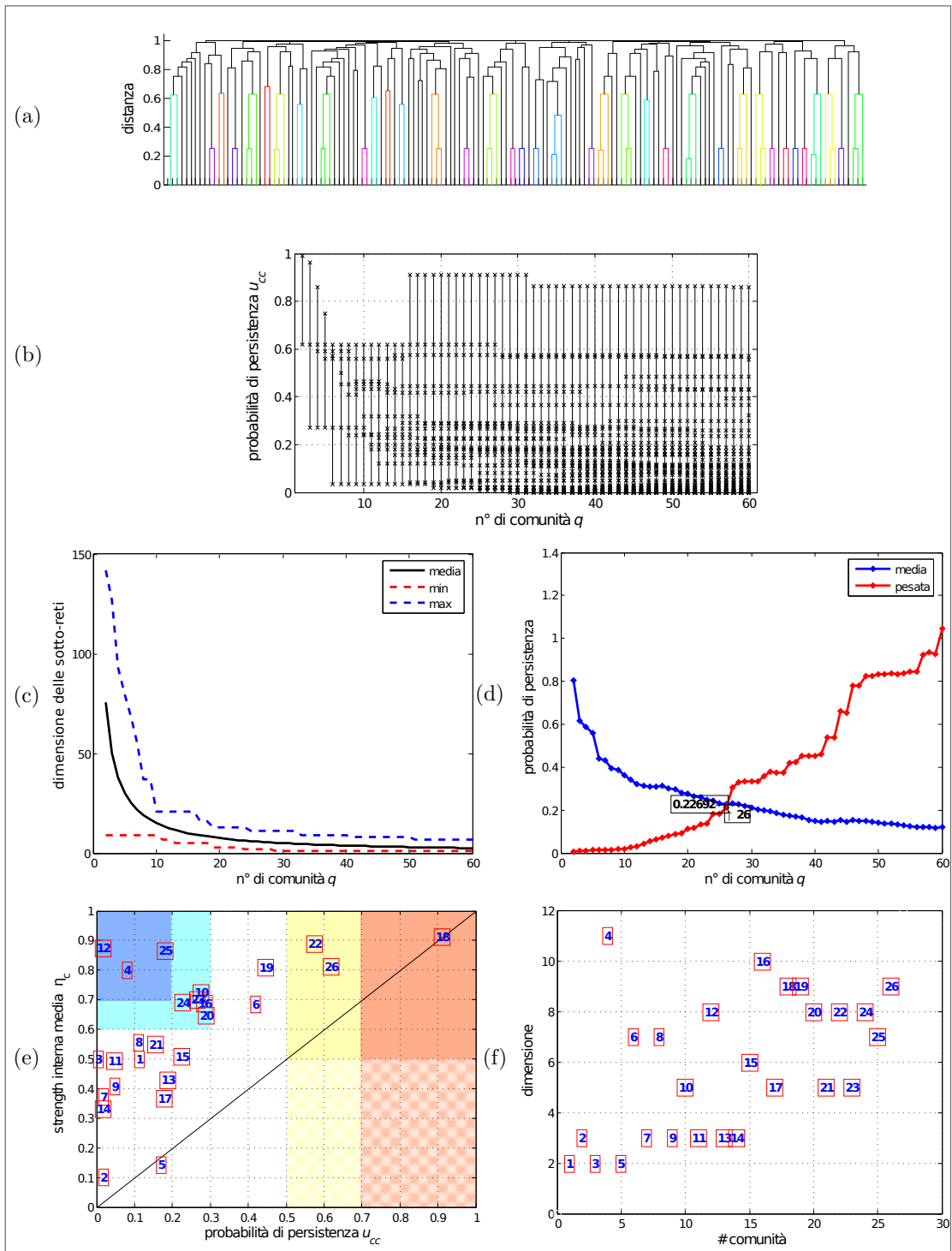


Rappresentazione delle sotto-reti del settore ROAD VEHICLES.

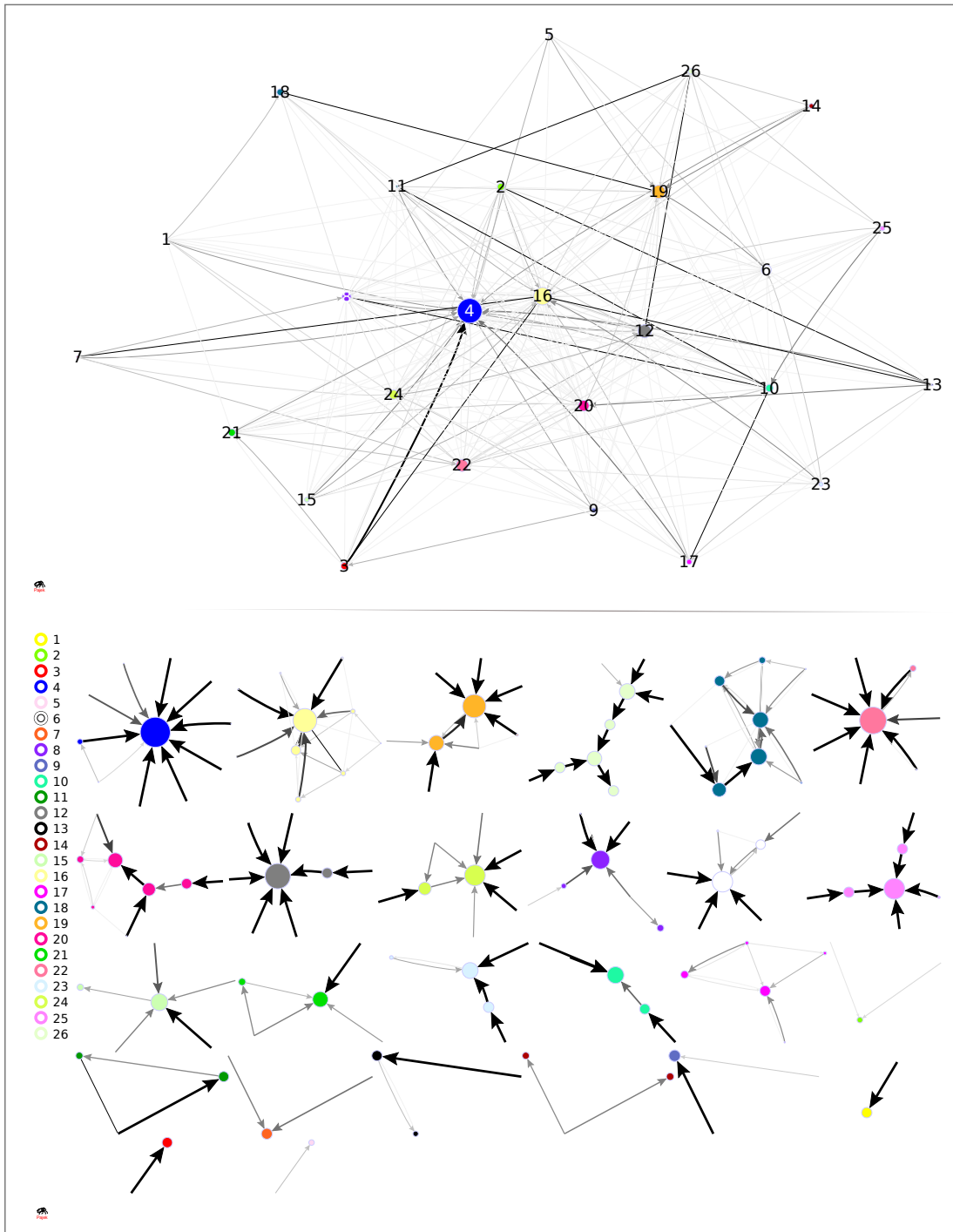
#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	clustering	export <i>within</i>	import <i>within</i>	trade <i>within</i> (mld di \$)
28	0.96	0.90	13	0.19	0.00	0.90	0.03	0.065
27	0.94	0.95	12	0.24	0.42	0.92	0.15	3.079
11	0.84	0.93	12	0.20	0.21	0.87	0.53	156.550
18	0.74	0.67	8	0.29	0.21	0.11	0.09	1.256
22	0.51	0.70	4	0.67	0.58	0.67	0.16	0.526
10	0.51	0.60	5	0.70	0.80	0.52	0.62	6.589
19	0.29	0.64	6	0.33	0.00	0.67	0.01	0.014
16	0.26	0.69	5	0.40	0.00	0.01	0.00	0.008
1	0.25	0.68	6	0.33	0.00	0.01	0.00	0.233
6	0.16	0.81	8	0.29	0.26	0.06	0.03	1.857
2	0.07	0.67	8	0.29	0.26	0.04	0.04	2.243

Tabella A.22.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore ROAD VEHICLES

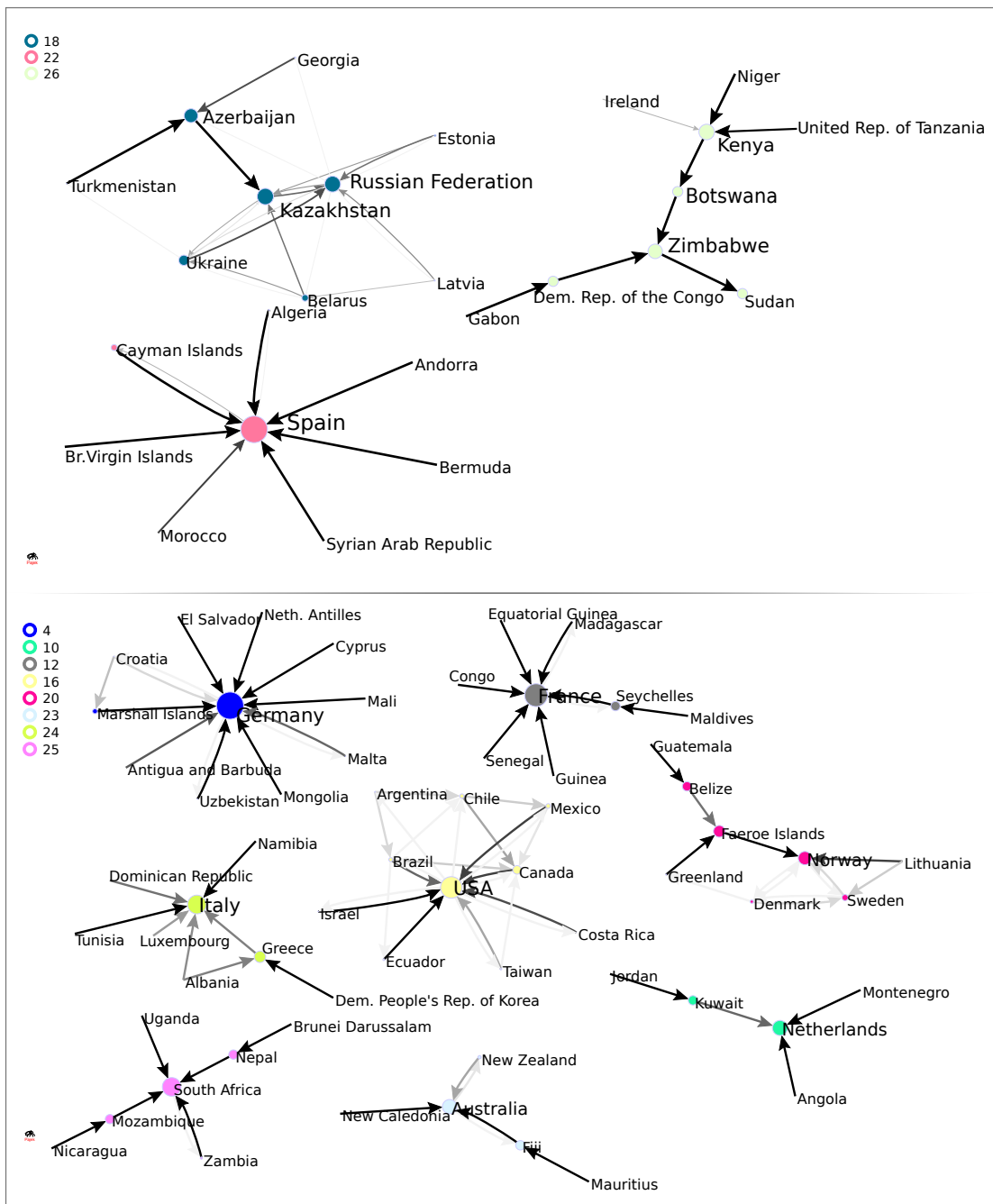
OTHER TRANSPORT EQUIPMENT



Individuazione partizione, comunità e pseudo-comunità per il settore OTHER TRANSPORT EQUIPMENT.



Rappresentazione delle sotto-reti del settore OTHER TRANSPORT EQUIPMENT.



Le comunità (in alto) e le pseudo-comunità (in basso) del settore OTHER TRANSPORT EQUIPMENT.

#	U _{cc}	ρ _c	N _c	densità	<i>clustering</i>	export <i>within</i>	import <i>within</i>	<i>trade within</i> (mld di \$)
18	0.91	0.91	9	0.44	0.59	0.88	0.71	2.193
26	0.62	0.81	9	0.22	0.00	0.32	0.10	0.208
22	0.57	0.89	8	0.25	0.00	0.57	0.27	2.431
20	0.29	0.65	8	0.36	0.29	0.17	0.10	0.533
16	0.28	0.69	10	0.40	0.62	0.25	0.53	17.194
10	0.27	0.72	5	0.40	0.00	0.02	0.01	0.026
23	0.27	0.70	5	0.40	0.00	0.18	0.03	0.117
24	0.23	0.69	8	0.29	0.18	0.07	0.04	0.275
25	0.18	0.87	7	0.29	0.00	0.10	0.02	0.023
4	0.08	0.80	11	0.20	0.18	0.12	0.04	1.590
12	0.02	0.88	8	0.25	0.00	0.00	0.00	0.063

Tabella A.23.: Indicatori delle comunità e pseudo comunità del settore OTHER TRANSPORT EQUIPMENT

