

In: "Atti dei Convegni Lincei 218. Convegno 'Ecosistema Roma', Roma, 14-16 aprile 2004", Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 2005, p. 17-24
Energia, Ambiente, Innovazione, 50, (5), 16-22 (settembre-ottobre 2004)

Il metabolismo della città di Roma

Giorgio Nebbia <nebbia@quipo.it>

Una proposta di contabilità in unità fisiche

Il convegno dell'Accademia dei Lincei sugli ecosistemi urbani (ottobre 2001) ha messo in evidenza che una città si comporta come un grande organismo vivente, con il suo flusso di beni materiali che vengono trasformati al suo interno e ne escono sotto forma di scorie e rifiuti gassosi, liquidi e solidi.

Lo smaltimento delle scorie liquide e solide del metabolismo urbano è sempre stato uno dei problemi dei governanti delle città. La città di Roma, fin dai suoi primissimi secoli, ha istituito degli speciali funzionari, con dignità sacerdotali, addetti alla costruzione e gestione delle fogne e dei rifiuti solidi, di cui esistono ancora oggi discariche in quella che era la periferia della città.

Nella presente relazione il metabolismo della città di Roma del Duemila viene analizzato cercando di misurare il flusso di materiali che attraversano la città. Si tratta di una estensione delle ricerche sulla redazione di una contabilità in unità fisiche dell'economia di un paese. Finora tali ricerche sono state fatte per paesi come la Germania, la Danimarca, l'Italia (*I*), ma già in ricerche precedenti è stato messo in evidenza che tali analisi possono essere estese anche a unità "economiche" abbastanza piccole, come una regione o come è, appunto, una città.

Come prima cosa occorre fissare i confini dello spazio entro cui si vuole condurre l'analisi; nel caso della città di Roma prendiamo la superficie, circa 350 km², compresa entro quello che si chiama "Il grande raccordo anulare", della circonferenza di circa 70 km.

La redazione di un quadro input-output dei flussi di materia attraverso un territorio è basata sul principio di conservazione della massa: fissati i confini dello spazio fisico in cui l'analisi viene condotta, e fissati i settori (branche) fra cui vengono misurati gli scambi di materia e di energia, tutta la massa di materia che entra in circolazione si deve ritrovare come materia in uscita.

Anche per la città di Roma è stata elaborata una matrice intersettoriale che comprende i seguenti principali settori:

Corpi naturali

1. Aria
2. Acqua
3. Suolo

Attività "produttive"

4. Produzione di biomassa vegetale

5. Produzioni industriali
6. Trattamento dei rifiuti
7. Attività commerciali (classificate fra le attività produttive in quanto ricevono e scambiano beni materiali e generano scorie e rifiuti)

Consumi "finali"

8. Trasporti (classificati come consumi "finali" in quanto acquistano beni materiali e generano rifiuti senza generare beni materiali, ma solo un servizio)
9. Servizi: pubblica amministrazione, eccetera
10. Consumi delle famiglie
11. Stocks: comprendono le masse di beni materiali durevoli, a vita lunga (superiore al periodo di un anno a cui si riferisce l'analisi)
12. Importazioni ed esportazioni "al di fuori" del territorio considerato per l'analisi: la città di Roma dentro il raccordo anulare.

Gli scambi da una branca all'altra sono indicati come $X(i,j)$. Tutti i flussi sono indicati come migliaia di t/anno e sono riferiti al 2000. (Tabella 1).

		Air	Water	Soil	Vegetal biomass	Industry	Waste treatment	Trade services	Transportation	Services	Families	Stocks	Exports	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Air	1				100		200	200	800		700			2000
Water	2													
Soil	3				100									100
Vegetal biomass	4	100					100							200
Industry	5													
Waste treatment	6	200					1000						2300	3500
Trade services	7	200					700	500	200		3700	400		5700
Transportation	8	1000												1000
Services	9													
Families	10	3000					1400							4400
Stocks	11						100							100
Imports	12							5000						5000
		4500			200		3500	5700	1000		4400	400	2300	22000

Tabella 1. Tavola intersettoriale dei flussi di materia relativi al metabolismo della città di Roma. Tutti i dati sono in migliaia di tonnellate/anno e sono riferiti al 2000.

Analisi delle varie branche

4. Biomassa vegetale

Dentro la città di Roma non ci sono attività agricole in senso stretto, ma si può calcolare che esistano circa 200 km² sui quali si svolgono attività fotosintetiche che possono andare dai parchi, a spazi verdi in mezzo a strade e abitazioni. Calcolando una intensità della radiazione solare di circa 3.000 MJ/m².anno, una produttività primaria netta di circa 0,2 %, e un "contenuto energetico" di circa 16 MJ/kg di biomassa secca, si può calcolare che la biomassa secca che si forma dentro la città di Roma nel corso di un anno ammonta a circa 100.000 tonnellate.

Per ogni kg di biomassa vegetale secca occorrono circa 1,5 kg di anidride carbonica tratta dall'atmosfera e circa 0,6 kg di acqua che immaginiamo tratta dal suolo, e viene immesso nell'atmosfera circa 1 kg di ossigeno.

Per *grossolano arrotondamento* si è stimato che la formazione di 100.000 t di biomassa secca comporti una richiesta di circa 100.000 t di gas prelevati dall'aria, di circa 100.000 t di acqua e sali prelevati dal suolo e l'immissione di circa 100.000 t di ossigeno nell'atmosfera

Si è stimato che le 100.000 t di biomassa secca prodotta ogni anno nella città di Roma praticamente non vengono assorbite da nessun settore economico e che vengano tutte raccolte come rifiuti e quindi finiscano come input nella branca del trattamento dei rifiuti, X(4,6).

5. "Industria"

La città come tale ha limitate attività "produttive" in senso stretto. Sono presenti attività artigianali o di produzione di merci per servizi (libri, carta stampata, eccetera) e i flussi materiali, abbastanza modesti, relativi a tali attività sono stati inclusi fra i "servizi" (branca 9).

La città di Roma importa la maggior parte dei materiali occorrenti al suo metabolismo: alimenti, carta, carburanti, tessuti e altre merci, materiali da costruzione. La stima di queste grandezze è difficile e per ora bisogna accontentarsi di lasciare vuote le caselle X(i,5) e X(5,j)

6. Trattamento dei rifiuti

Nella presenta analisi si è schematizzato che la trasformazione e lo smaltimento, compreso il riciclo, dei materiali raccolti nelle operazioni di trattamento, X(i,6) abbiano luogo fuori della città. Il flusso dei rifiuti, anche di quelli riciclabili come risultato della raccolta differenziata o come risultato delle attività di autodemolizione, viene contabilizzato quindi come esportazione, X(6,12). In questa massa rientrano circa 1.600.000 t/anno di rifiuti solidi generati prevalentemente dalle attività commerciali X(7,6), dei servizi e famiglie, X(9,6) e X(10,6) e il flusso dei materiali provenienti dagli Stocks di beni durevoli: X(11,6)

7. Servizi commerciali.

La maggior parte degli acquisti della popolazione di una città avviene attraverso dei sistemi commerciali costituiti da negozi all'ingrosso, supermercati, negozi al dettaglio. Nella contabilità dei flussi materiali si hanno quindi delle duplicazioni di flussi.

Le merci consumate dalla città sono in genere importate dall'esterno, $X(12,7)$, in parte da grossisti o depositi che distribuiscono poi le merci ai "negozi" che riforniscono i singoli abitanti. Ciò avviene con i prodotti tessili, con i prodotti alimentari, i carburanti per riscaldamento, eccetera.

Si avranno perciò dei flussi all'interno della branca dei servizi commerciali, $X(7,7)$ e poi dei flussi dai servizi commerciali alla branca dei servizi in genere e delle "famiglie", $X(7,10)$, schematizzabile come:

$$X(12,7) \text{ ---> } X(7,7) \text{ ---> } X(7,10).$$

Si è deciso di contabilizzare anche queste duplicazioni di flussi perché in ciascuno di essi si hanno effetti sull'ambiente che figurano come flussi dai servizi commerciali in parte all'aria, $X(7,1)$, e principalmente ai servizi di trattamento dei rifiuti, $X(7,6)$.

Come vedremo, si può considerare che i carburanti per autotrazione siano importati direttamente dai distributori $X(12,7)$ i quali li vendono al settore dei trasporti, $X(7,8)$.

Il settore commerciale ha bisogno di "beni ambientali", essenzialmente tratti dall'aria come ossigeno per le combustioni delle fonti di energia, $X(1,7)$.

8. Trasporti

I trasporti assorbono essenzialmente carburanti acquistati dalle reti di distribuzione; per semplicità si è calcolato che i servizi commerciali di carburanti importino direttamente dall'esterno i carburanti e li vendano ai consumatori, i quali, utilizzandoli, generano rifiuti che finiscono nell'aria.

Si è schematizzata, quindi, una successione di flussi: $X(12,7) \text{ ---> } X(7,8) \text{ ---> } X(8,1)$

Immaginando che a Roma 300.000 mezzi di trasporto automobilistici percorrano 20 km al giorno, il numero di km percorsi dai mezzi di trasporto è dell'ordine di grandezza di due miliardi all'anno. Immaginando che il consumo di carburante sia di 0,1 kg per km, corrispondente a circa 5-7 km/litro, il consumo di carburante della città si può stimare di circa 200.000 t all'anno: $X(7,8)$.

La combustione di circa 200.000 t/anno di carburanti per autotrazione comporta la sottrazione di circa 800.000 t/anno di ossigeno dall'aria, $X(1,8)$ e l'immissione nell'aria, $X(8,1)$, di circa un milione di t di anidride carbonica, vapore acqueo e altri gas. L'analisi qui esposta costituisce una prima approssimazione che fornisce alcuni ordini di grandezza dei flussi materiali. In analogia a quanto fatto per le ricerche precedenti, si è omesso il flusso dell'azoto che accompagna l'ossigeno tratto dall'aria.

Se si volessero avere informazioni utili ai fini della pianificazione del traffico, per esempio, o dei consumi energetici, sarebbe necessario identificare separatamente i flussi nell'aria dei vari gas provenienti dalle combustioni: oltre all'anidride carbonica, ossido di carbonio, composti dello zolfo, ozono, ossidi di azoto, polveri, idrocarburi cancerogeni, eccetera.

9. Consumi dei "servizi"

E' questo uno dei settori in cui la valutazione è più difficile sia per la varietà delle merci acquistate (carburanti, carta, plastica, tessuti, eccetera) da attività complesse che comprendono uffici pubblici, artigianato, piccolo commercio. Per la grande incertezza sono lasciate in bianco le caselle relative a tali settori i cui consumi, stimati, sono stati compresi in quelli della branca delle "famiglie" $X(7,10)$.

10 . Consumi delle "famiglie"

La principale massa di materiali assorbiti dalle "famiglie" è costituita dagli alimenti richiesti da una popolazione che si può stimare di circa tre milioni di persone; in tale numero sono compresi gli abitanti abituali, gli abitanti temporanei (pendolari che consumano qualche pasto dentro la città), turisti, militari, eccetera. In questa prima approssimazione i servizi di ristorazione sono considerati dentro la branca 10, "famiglie".

Ciascuna persona ha un fabbisogno alimentare di circa 1,5 kg di alimenti (biomassa tale e quale) al giorno, il che corrisponde a circa 0,5 t/anno.persona, pari a circa 1,5 milioni di tonnellate all'anno di sostanze nutritive, in parte accompagnate da materie che vengono rigettate come scarti, per gli abitanti della città di Roma; gli alimenti peraltro sono contenuti in imballaggi di vetro, cartone, plastica, eccetera.

Le "famiglie" (branca 10) non importano direttamente i prodotti alimentari, ma li acquistano attraverso le reti di distribuzione (branca 7) per cui va contabilizzato un flusso $X(7,10)$. La branca 7 (commercio) comprende i mercati generali, le macellerie, le panetterie, eccetera.

Di questa massa di materiali una parte va dal settore della distribuzione alle famiglie, $X(7,10)$, ma una parte va dal settore della distribuzione alla branca della raccolta e trattamento dei rifiuti, $X(7,6)$: circa 300.000 t (imballaggi, scarti di verdura, di macellerie, eccetera). Si tenga presente che una parte degli imballaggi del settore commerciale (soprattutto cartoni) vengono raccolti separatamente e sono assorbiti dalle operazioni di riciclo.

Il flusso di prodotti alimentari dal settore della distribuzione a quello delle famiglie, $X(7,10)$, si può stimare di circa 2.700.000 t comprendenti 2.000.000 t di alimenti e circa 700.000 t di imballaggi trasferiti dalle famiglie al trattamento dei rifiuti $X(10,6)$.

Dei 2 milioni di prodotti alimentari assorbiti ogni anno dalle famiglie circa 600.000 t/anno sono ulteriormente costituiti da scarti di cucina e ristorazione --- trasferiti al settore del trattamento dei rifiuti $X(10,6)$.

Gli scarti e residui dei prodotti alimentari si possono così contabilizzare, in t/anno:

$X(7,6)$ circa 300.000 + altri residui delle attività commerciali

$X(10,6)$ circa 700.000 + circa 600.000 + altri residui domestici

Come si è detto prima, la massa delle sostanze nutritive vere e proprie (biomassa tale-e-quale, con un contenuto medio di acqua del 50 %) si può arrotondare a circa 1,5 milioni di t/anno, il cui metabolismo richiede l'assorbimento dall'aria di circa 0,7 milioni di t di ossigeno e la immissione nell'atmosfera di circa 2,5 milioni di t di anidride carbonica e di vapore acqueo.

Il "consumo" di acqua di una persona in Italia ammonta a circa 100 metri cubi all'anno, di cui circa uno per il metabolismo alimentare tale e quale e il resto per i fabbisogni igienici, di eliminazione dei rifiuti, eccetera.

Per tre milioni di abitanti della città di Roma, ciò corrisponde ad un flusso di circa 300 milioni di tonnellate all'anno di acqua importata dall'esterno, a rigore passando, anche in questo caso, attraverso un distributore commerciale, le imprese acquedottistiche. Si dovrebbe quindi, a rigore, tenere conto di un flusso di acqua importata, poi "venduta" al settore commerciale, poi "venduta" alle famiglie, e da queste restituita al trattamento dei rifiuti e da questo esportata:

$$X(12,7) \text{ ---} \rightarrow X(7,10) \text{ ---} \rightarrow X(10,6) \text{ ---} \rightarrow X(6,12)$$

Gli abitanti umani, nel loro metabolismo, infatti, generano escrementi che vengono smaltiti e trasferiti ai processi di trattamento esterni insieme, più o meno, alla stessa quantità di acqua che è entrata nel processo. Nella presente analisi viene omessa l'indicazione dei flussi totali di acqua, la cui grande quantità "oscurerebbe" la maggior parte degli altri flussi --- tanto più che al flusso di acqua che attraversa la città, stimato in 300 milioni di t/anno, a rigore va aggiunto il flusso di acqua piovana che si può stimare, in media, di altri 300 milioni di t/anno; l'acqua piovana proviene dall'aria, $X(1,i)$, ed "entra" in parte nel suolo, in parte scorre trascinando residui e alla fine figurerebbe in uscita come esportata all'esterno della città.

In questa analisi viene quindi contabilizzata soltanto la massa di acqua, anche in bottiglia --- che le famiglie acquistano dai servizi di distribuzione, $X(7,10)$, i quali a loro volta la importano dall'esterno della città --- necessaria per le funzioni metaboliche, e viene indicato soltanto il flusso dei prodotti solidi del metabolismo umano smaltiti con le acque reflue, prodotti la cui massa è stimata in circa 20 kg/anno per persona, cioè in circa 60.000 t/anno, trasferiti dalle famiglie al trattamento dei rifiuti, $X(10,6)$ e da questo esportate all'esterno del territorio, $X(6,12)$.

La branca delle "famiglie" assorbe, $X(7,10)$, circa 200.000 t/anno di combustibili per il riscaldamento domestico e invernale

La combustione di circa 200.000 t/anno di combustibili fossili, prodotti petroliferi e gas naturale, comporta la sottrazione di circa 700.000 t/anno di ossigeno dall'aria, $X(1,10)$, e l'immissione nell'aria, $X(10,1)$, di circa un milione di t/anno di anidride carbonica, vapore acqueo e altri gas. L'analisi qui esposta costituisce una prima approssimazione che fornisce alcuni ordini di grandezza dei flussi materiali.

I consumi di elettricità sono, ovviamente, privi di massa.

11. Stocks.

E' questo un altro settore di difficile definizione e valutazione. Se si accetta la definizione iniziale di materie e merci a vita lunga, si può schematizzare come flussi in entrata, provenienti dal settore della distribuzione, di cemento, calce, pietre e materiali da costruzione; inoltre rientrano in questa branca i beni durevoli, come elettrodomestici, autoveicoli, mobili, libri, una parte degli indumenti.

Le stime, difficili a livello nazionale, sono ancora più difficili a livello di una città. Qui viene indicato un flusso di circa 400.000 tonnellate/anno in entrata $X(7,11)$; dagli stocks "escono" annualmente dei materiali usati che vengono destinati al trattamento dei rifiuti $X(11,6)$, stimati in circa 100.000 t/anno. Da tale differenza appare che la tecnosfera all'interno della città si rigonfia continuamente

Considerazioni conclusive

L'esame del flusso di materiali nelle varie branche naturali ed economiche indica che il metabolismo della città di Roma genera ogni anno circa 4,5 milioni di tonnellate di gas (anidride carbonica, ossido di carbonio, vapore acqueo, idrocarburi, ossidi di azoto, polveri, eccetera) provenienti dalla combustione di combustibili e dal metabolismo umano, 300 milioni di tonnellate di acqua addizionata di scorie solide, più altri 300 milioni di t di acqua piovana, che fuoriescono dal sistema urbano (fluiscono nei fiumi della città, con o senza trattamento, con il loro carico di

escrementi e rifiuti), circa un milione e mezzo di tonnellate di rifiuti solidi sono esportati e destinati a deposito in discarica o all'incenerimento e circa altri 800.000 t di rifiuti sono esportati al di fuori del territorio urbano e destinati al riciclo o ad entrare in altri cicli di produzione, trasformazione e consumo.

Fra questi si possono calcolare le masse degli autoveicoli, elettrodomestici, eccetera, usati, "estratti" dagli Stocks, X(11,6), e destinati alla vendita al di fuori della città o alla rottamazione.

La matrice input-output presentata in questo articolo non è stata elaborata come semplice esercizio di ecologia urbana, ma indica i molti problemi aperti per chi volesse amministrare i flussi di materiali che attraversano una città come Roma. Innanzitutto va rilevata la carenza di buone informazioni statistiche; quando tali informazioni sono disponibili si tratta di dati aggregati, senza indicazione dei settori di provenienza e di destinazione e delle caratteristiche chimiche, biologiche e merceologiche almeno dei principali aggregati. Sono carenti, per esempio, dati aggiornati sulle caratteristiche del parco di autovetture circolanti, sulla massa di carburanti usati, sulle emissioni di gas nell'atmosfera; i pochi rilevamenti delle condizioni atmosferiche, a cui una amministrazione ricorre eventualmente per intervenire sul traffico, indicano soltanto la concentrazione nell'aria di alcune zone di alcuni degli agenti inquinanti, informazioni ben scarse se si vuole conoscere lo stato dell'aria respirata nel corso di un anno dagli abitanti di una città.

(1) Per una rassegna delle analisi intersettoriali in unità fisiche delle attività economiche si vedano, anche per la letteratura citata: G. Nebbia, "Somiglianze e differenze fra fatti ecologici e fatti economici", in: "Atti dei Convegni Lincei. 168. Atti della XVIII Giornata dell'ambiente. Convegno 'Ecologia e economia', 5 giugno 2000", Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 2001, p. 73-114; G. Nebbia, "Il Prodotto Interno Materiale Lordo dell'Italia", *Economia & Ambiente*, 22, (5/6), 8-17 (settembre-dicembre 2003); *Studi Economici e Sociali*, 38, (4), 19-31 (ottobre-dicembre 2003)