

# Tecnologie costruttive, limiti ecologici e sostenibilità sistemica. L'analisi *em*ergetica per valutare un progetto edilizio tra Sahara e Sahel.

Di [Silvio Cristiano](#) e [Francesco Gonella](#)

Di fronte ai limiti imposti dal nostro pianeta, ci si interroga su come la progettazione possa contribuire a una sostenibilità sistemica al di là di mode e consuetudini. Il difficile contesto africano del Sahara e Sahel è stato visto come un'opportunità per riflettere proprio sul concetto di limite ed imparare a convivervi, in un prossimo futuro, anche in Occidente. Alcune soluzioni di ibridazione tecnologica impiegate in una struttura socio-sanitaria dell'associazione umanitaria Emergency in Sudan sono qui valutate attraverso l'analisi *em*ergetica, cioè un particolare tipo di analisi sistemica in grado di rendicontare sforzi diretti e indiretti compiuti dalla società e dalla natura per realizzare un prodotto o un servizio. Studiando il sistema in esame, la costruzione delle strutture risulta la voce più costosa in termini di energia e materiali. Dal punto di vista *em*ergetico, i pannelli solari termici e il tunnel del vento si rivelano tecnologie con un grande ritorno sull'investimento.

---

## Il concetto di limite per una sostenibilità sistemica nella progettazione

La progettazione e il design non possono non interrogarsi su scenari futuri, concedendo la possibilità di trovarsi di fronte a una minore disponibilità di risorse, come d'altronde già previsto e illustrato negli anni Settanta (Commoner, 1971; Meadows, Meadows, Randers, & Behrens III, 1972). Nonostante tali avvertimenti, tuttavia, oggi il concetto di limite viene spesso circoscritto ad alcune emissioni climalteranti, e si susseguono summit per stabilire obiettivi quantitativi poi per lo più non rispettati (come nel caso del Protocollo di Kyoto del 1995) oppure obiettivi non vincolanti e – se non palliativi per non cambiar nulla come sostiene Spash (2016) – quantomeno ancora privi di una strategia fattuale (come gli Accordi di Parigi del 2015). Accuse ricorrenti sostengono che le problematiche ambientali siano spesso sfruttate a fini di lucro, assorbite dall'unico obiettivo della crescita economica, e di fatto ignorate; è questo il caso della “green economy” (criticata ad esempio da Ortega, 2013) o, più in generale, dello “sviluppo sostenibile”, oggi imperante ma più volte denunciato come un dannoso ossimoro (Bonaiuti, 2011; Latouche, 2004; Springett, 2013). Nonostante l'opulenza che ancora sembra garantita all'Occidente, in un prossimo futuro potremmo trovarci in condizioni di scarsità oggi a noi estranee (o di emergenze ambientali ancora più evidenti). Di fronte all'ambiguità dei modi (e delle mode) che si propongono di affrontare tali problematiche, Brown & Ulgiati (2011) osservano che troppo spesso si vuol solo continuare a fare affari e che la vera questione è “se vogliamo far parte della soluzione o continuare a rappresentare il problema”.

Ciascun prodotto della progettazione e del design si proietta in un arco temporale in cui possono variare le condizioni ambientali e socio-economiche e, soprattutto, ci si può avvicinare agli effetti più tangibili del limite imposto dalla geo-biosfera (allo stesso tempo fornitrice di risorse e serbatoio per gli scarti delle nostre economie). Un edificio costruito oggi, ad esempio, deve tenere in considerazione una possibile alterazione nella disponibilità di risorse, soprattutto le non rinnovabili, oltre che la probabile variazione del clima. Si sono posti questo tipo di domande i progettisti dello studio di architettura TAMassociati e l'associazione umanitaria Emergency Onlus Ong prima di costruire degli ospedali nelle regioni del Sahara e del Sahel, trovandone degli spunti che possono tornarci utili per progettare in

maniera realmente sostenibile anche nella nostra agiata parte di mondo: secondo Pantaleo e Strada (2011), infatti,

«L’Africa costituisce un’opportunità, perché, attraverso le sue mille contraddizioni e arretratezze, mantiene ancora un forte legame con la realtà e la memoria del passato; è un luogo in cui il consumismo rappresenta un miraggio promesso e mai raggiunto. Paradossalmente può essere un laboratorio per tutto il pianeta perché sa ancora convivere, in modo creativo e spesso leggero [...] con quelle condizioni in cui l’occidente potrebbe doversi confrontare nel prossimo futuro».

Costruire in un simile contesto può quindi servire a meditare su un’alternativa al modello di sviluppo dominante, per ripartire da zero, da un livello in cui tutto è da reinventare (Pantaleo & Strada, 2011). In questo articolo si valuta uno dei loro progetti – ossia il Centro Cardiochirurgico Salam di Khartoum – attraverso l’analisi *emergetica*; un modo, cioè, di prendere in considerazione le variabili che concorrono alla sostenibilità di un progetto con un approccio sistemico che include input ambientali e ricadute ecologiche spesso trascurate.

### Introduzione all’analisi eMergetica

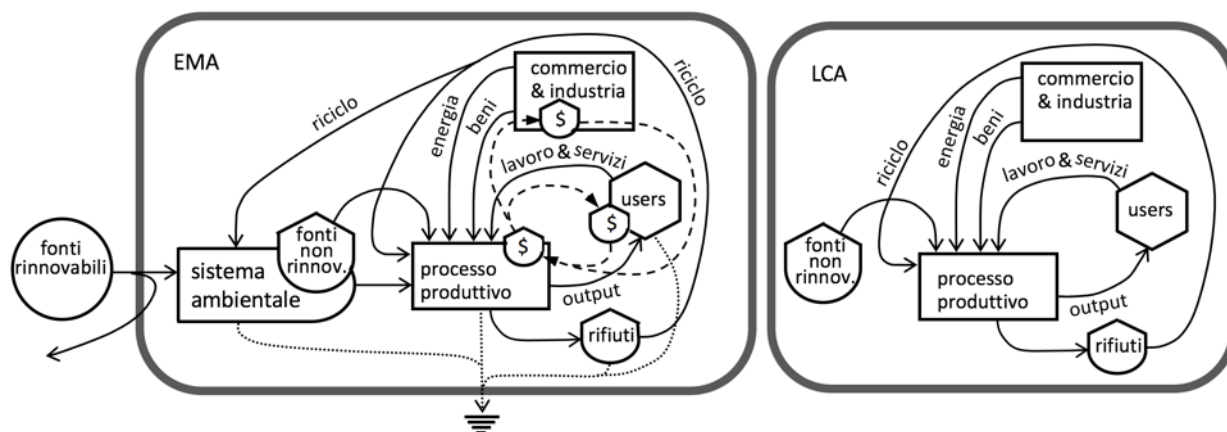
Il termine “*emergia*” è il corrispondente italiano dell’anglosassone “*emergy*”, a sua volta derivato dalla locuzione “EMbodied enERGY” (energia incorporata). Da un punto di vista concettuale, l’analisi emergetica sposta l’attenzione dal “valore” (qualitativo e/o quantitativo) attribuito a un prodotto o un servizio dall’utente (*receiver-side quality*) a quello attribuito rendicontando tutto ciò che a monte è stato necessario “investire” per creare il prodotto o servizio in questione (*donor-side quality*). L’emergia è quindi innanzitutto la grandezza che quantifica la memoria di *quanto è stato investito*, in termini di energia coinvolta direttamente o indirettamente, per realizzare qualcosa. L’idea alla base dell’analisi è quella di trovare il modo di rendicontare quantitativamente in una stessa unità di misura comune tutte le quantità e i flussi che hanno reso o rendono possibile l’esistenza di qualcosa, sia esso un bene, un comparto produttivo, un ecosistema, una comunità o un servizio. Di fatto, i flussi che concorrono alla creazione e mantenimento di un ordine sistemico sono flussi di materia, energia e informazione, a cui vanno aggiunte, nel caso di sistemi socio-economici, le transazioni di denaro, il quale costituisce perciò un’ulteriore grandezza da includere nell’analisi. L’emergia è definita come “[l]’energia disponibile di un tipo usata direttamente o indirettamente nelle trasformazioni che hanno generato un prodotto o un servizio” (Odum, 1996), in particolare, l’energia solare connessa a tutti i contributi energetici da cui è derivata la produzione di una certa risorsa. L’unità di emergia è detta *solar emjoules* (abbreviato *sej*). All’interno del valore emergetico di una risorsa andranno valutati e inclusi i contributi forniti dall’ambiente insieme ai servizi umani risultanti dalle attività antropiche connesse al lavoro necessario alla creazione della risorsa. La metodologia generale per l’analisi emergetica di un sistema è tipicamente organizzata secondo tre passaggi fondamentali:

1. preparazione di un diagramma dell’oggetto di studio, contenente tutti gli *stocks* e i flussi che ne regolano il funzionamento;
2. preparazione di una tabella con l’inventario dei flussi e determinazione dei corrispondenti valori emergetici;
3. calcolo degli indicatori sistemici di cui allo scopo dell’analisi.

Il punto 2. in particolare viene costruito attraverso la conversione delle unità proprie delle quantità in gioco in unità emergetiche, attraverso l’utilizzo di coefficienti appropriati detti di volta in volta *Trasformità* (input emergetico per unità di energia disponibile in output, in  $\text{sej/J}$ ), *Emergia specifica* (emergia per unità di massa di output, in  $\text{sej/kg}$ ), *Emergia per unità di denaro* (emergia impiegata nella generazione di un’unità di prodotto economico, espressa in  $\text{sej/€}$ ,  $\text{sej/\$}$ ,  $\text{sej/¥}$ , ecc.), *Costo emergetico del lavoro* (emergia che supporta un’unità di lavoro direttamente fornita a un processo, in  $\text{sej/€}$  o in  $\text{sej/h}$ ). Il lavoro indiretto richiesto al di fuori della finestra di analisi per fornire gli input a un processo viene di solito misurato in termini di costi del servizio, perciò in  $\text{sej/€}$ .

Il punto 3. rappresenta invece il passo finale dell’analisi, cioè l’interpretazione dei risultati quantitativi. Che si tratti di un sistema produttivo, un ecosistema o altro, l’analisi emergetica e il calcolo di opportuni

indicatori possono fornire una valutazione dello sviluppo tecnologico, dell'utilizzo delle risorse, della sostenibilità nel lungo periodo e in generale della funzionalità sistemica. Tra gli indicatori energetici tipici, particolarmente rilevanti risultano essere il *Rendimento energetico*, che valuta la capacità di sfruttare le risorse fornite “gratuitamente” dall'ambiente a parità di input dal sistema economico, il *Rapporto di carico ambientale*, legato al livello tecnologico nell'uso delle risorse e alla presenza di un elevato stress ecosistemico, l'*Indice di sostenibilità energetica*, che rappresenta una misura integrata della resa economica e della compatibilità ambientale, il *Rapporto di investimento energetico*, che costituisce una valutazione se un certo processo è un buon utilizzatore dell'energia investita rispetto ad altre alternative, l'*Intensità di potenza energetica areale*, che misura la quantità di energia investita per unità di territorio, e l'*Energia pro capite*, rivelatasi un buon metodo di misura dello standard di vita, che si ottiene dividendo l'uso annuale totale di energia di un sistema territoriale (città, Regione, Stato, ecc.) per la sua popolazione. L'analisi energetica (EMA), nei metodi come nell'utilizzo inventariale dei dati, risulta parzialmente sovrapposta ad altre metodologie di indagine socio-economica e ambientale. In particolare, presenta diversi punti di contatto il *Life Cycle Assessment* (LCA) (Ulgiati et al., 2011), che fornisce una valutazione di impatto ambientale attraverso l'identificazione di tutta l'energia e i materiali utilizzati per sostenere un processo o un'attività, a partire dall'estrazione delle materie prime, il loro trasporto, la distribuzione, ecc. fino allo smaltimento finale del prodotto considerato, oltre che tenendo conto delle emissioni ed i rifiuti prodotti lungo tutta la vita del processo considerato. La letteratura ha di recente ampiamente esplorato l'utilizzo combinato dei due metodi di analisi, evidenziandone le peculiarità e le complementarità intrinseche (Buonocore, Franzese, & Ulgiati, 2012; Arbault, Rugani, Tirut-Barna, & Benetto, 2014). In Figura 1 è schematizzato l'ambito di applicazione delle due metodiche sopraccitate paragonato a quello proprio dell'analisi energetica, con i relativi flussi e elementi del sistema. In particolare, l'analisi energetica include come detto i servizi ambientali e il ciclo di denaro connesso al funzionamento del sistema, nonché le perdite di energia, laddove l'LCA isola i contributi diretti al processo produttivo e al suo impatto.



Diagrammi comparati di analisi mediante EMA e LCA.

### Il caso studio del Centro Salam di Khartoum, Sudan

Lo studio di una struttura socio-sanitaria dell'Ong Emergency è orientato a valutare i possibili interventi virtuosi in termini di sostenibilità al fine di una loro riproducibilità in altri contesti. Il caso studio prescelto è un ospedale specialistico in un contesto problematico, ma non in uno scenario di guerra come invece altre strutture della stessa Ong: il Centro Cardiochirurgico Salam di Khartoum, in Sudan. Tale centro, realizzato tra il 2006 e il 2007, è stato progettato con alti standard architettonici volti a ridurre i consumi di risorse non rinnovabili, sfruttando invece le risorse rinnovabili più presenti sul posto: l'energia solare ed il vento, entrambi destinati ad alimentare i sistemi di condizionamento dell'aria. Oltre alla progettazione – curata dallo studio TAMassociati – anche la gestione della struttura è ispirata a una politica di risparmio di risorse, in linea con le scelte di Emergency nell'impiegare

responsabilmente i preziosi fondi raccolti con donazioni spontanee a scopo umanitario.

I diagrammi emergentici forniscono una rappresentazione dei legami sistemici all'interno della struttura studiata, evidenziandone i flussi di materia, energia e informazione. Tutto ciò costituisce una fondamentale base qualitativa per condurre la successiva fase quantitativa di elaborazione dei dati e di calcolo dei flussi emergentici. In Figura 2 è rappresentato il diagramma relativo al nostro caso studio. Il riquadro rettangolare con contorni smussati rappresenta il confine sistemico e costituisce la prima scelta dell'analista emergentico. Al suo interno avvengono i processi ritenuti fondamentali, mentre dall'esterno entrano input di energia, materie prime, prodotti semilavorati o finiti, servizi e lavoro; le fonti di materia, energia e informazione sono simboleggiate da cerchi. Le frecce a linea continua indicano flussi di energia, materia o informazione, mentre le frecce a linea tratteggiata rappresentano degli indicatori di flusso di denaro; va notato come il denaro fluisce in senso opposto alle risorse e va a pagare i servizi per la realizzazione o la semplice fornitura di queste ultime (infatti non si paga ad esempio la natura per il petrolio fornito, bensì chi il petrolio lo estrae e raffina). Gli esagoni rappresentano i consumatori di energia, materia e/o informazioni; le frecce grandi campite di bianco le interazioni, indicative di processi di produzione o trasformazione; i semicerchi sovrastati da due linee spezzate indicano invece i cosiddetti serbatoi, ossia quantità misurabili "immagazzinate" in un sistema. La struttura di Emergency presenta alcune peculiarità, evidenziate con frecce colorate. Ai fini di questo articolo, ci soffermeremo sulle frecce verdi; tali frecce valorizzano le risorse naturali rinnovabili impiegate al fine di ridurre la domanda di risorse non rinnovabili: i servizi ambientali dati dalle aree verdi; i pannelli solari termici (PST) per lo sfruttamento dell'abbondante energia solare; infine, i cosiddetti tunnel del vento (o *badgir*), antica tecnica originaria della Persia per convogliare i venti prevalenti nei sotterranei, abbassandone così la temperatura dell'aria senza bisogno di carburante né grosse tecnologie.

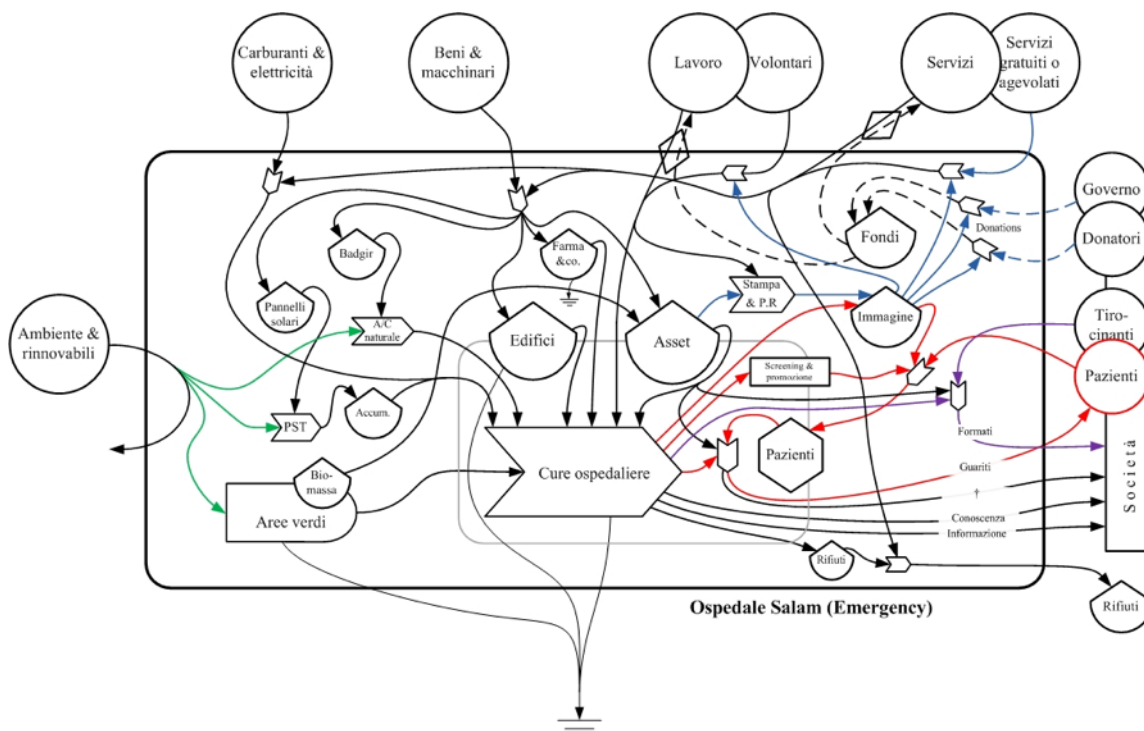


Diagramma emergentico specifico per la struttura socio-sanitaria di Emergency in Sudan.

### Prime valutazioni e possibili sviluppi

I calcoli effettuati per tracciare il "costo" emergentico degli input necessari a realizzare e far funzionare la struttura oggetto di studio sono stati rapportati all'arco temporale di un anno a seguito di un

ammortamento basato sul tempo di vita utile di ciascun elemento che hanno concorso a realizzare. E' stato così possibile confrontare le varie categorie. La categoria che richiede un contributo emergetico maggiore è rappresentata dagli edifici (costruzione e isolamento termico, 7.20 E+17 sej/anno); altre categorie significative sono il consumo di elettricità e combustibili e il consumo di merci (cibo, farmaci, detergenti, etc.). Sulla base di tali calcoli, sono possibili alcuni commenti sugli investimenti tecnologici nonché sui risparmi da questi indotti. Ad esempio, l'emergia investita per realizzare il tunnel del vento secondo la tecnologia tradizionale dei *badgir* persiani (pari a circa l'1% annuo delle risorse necessarie alla costruzione dell'intero edificio) consente un condizionamento naturale dell'aria per circa 9°C corrispondente a un risparmio di elettricità pari a 1.89 E+17 sej/anno: un investimento, cioè, che garantisce un ritorno di oltre 50:1. Analogamente, l'impiego di pannelli solari termici assicura un ulteriore abbattimento di 7/8°C delle temperature dell'aria interna alla struttura sfruttando l'energia rinnovabile del sole, consentendo di risparmiare il gasolio che sarebbe stato bruciato per alimentare dei generatori di elettricità, con un ritorno sull'investimento di oltre 1000:1. Dal momento che la costruzione degli edifici rappresenta una delle maggiori voci di costo in termine di sforzi socio-ambientali, l'ibridazione tra le conoscenze tecnologiche dei progettisti e le tecniche tradizionali sudanesi sembra garantire una certa indipendenza dalle risorse non rinnovabili, e con esse dall'incertezza nella loro disponibilità a medio-lungo termine e dai costi finanziari ad esse associati. Questo conferisce alti livelli di sostenibilità alle strutture. Allo stesso modo, l'analisi emergetica potrà servire a valutare altre soluzioni tecnologiche (le pareti in mattoni in terra locale o le schermature in fibra vegetale) nonché gli altri settori critici dell'ospedale in esame (elettricità, combustibili, merci) e possibilmente a supportare scelte in grado di migliorarne strategicamente le prestazioni in termini di sostenibilità ecologica oltre che finanziaria. Il prossimo passo dello studio sarà quello di determinare quantitativamente i valori di specifici indicatori emergetici di *performance* della struttura, sia a livello di sostenibilità a medio e lungo termine, declinata secondo i tradizionali aspetti ambientali, economici e sociali, sia al fine di individuare criticità e punti di leverage sistemico per la resilienza della struttura stessa.

## Bibliografia

- Arbault, D., Rugani, B., Tiruta-Barna, L., & Benetto, E. (2014). A semantic study of the Emergy Sustainability Index in the hybrid lifecycle-emergy framework. *Ecological Indicators*, 43, 252-261.
- Bonaiuti, M. (2011). From Bioeconomics to Degrowth: Georgescu-Roegen's 'New Economics', in *Eight Essays*. Taylor & Francis.
- Brown, M. T., & Ulgiati, S. (2011). Understanding the global economic crisis: A biophysical perspective. *Ecological Modelling*, 223(1), 4-13.
- Buonocore, E., Franzese, P. P., & Ulgiati, S. (2012). Assessing the environmental performance and sustainability of bioenergy production in Sweden: a life cycle assessment perspective. *Energy*, 37(1), 69-78.
- Commoner, B. (1971). *The closing circle: Man, nature and technology*. Alfred A. Knopf, New York.
- Latouche, S. (2004). *Survivre au développement*. Editions Mille et une nuit, Paris.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *The limits to growth: a report to the club of Rome (1972)*. Universe Books, New York.
- Odum, H.T. (1996). *Environmental accounting: EMERGY and environmental decision making*. Wiley, New York.
- Odum, H.T., & Odum, E.C. (2001). *A prosperous way down*. University of Colorado Press, CO.
- Ortega, E. (2013). Critical analysis of green economy proposals. In Brown, M.T., Sweeney, S., Campbell, D., Huang, S., Kang, D., Rydberg, T., Tilley, D., & Ulgiati, S. (eds.). *Emergy synthesis 7: theory and applications of the emergy methodology* – Proceedings from the Seventh Biennial Emergy Conference, Gainesville FL, 12–14 January 2012. Center for Environmental Policy, University of Florida.
- Pantaleo, R., & Strada, G. (2011). Centro pediatrico di Emergency in Darfur. *Domus*, 949, luglio/agosto

2011.

Raugei, M., Rugani, B., Benetto, E., & Ingwersen, W.W. (2014). Integrating emergy into LCA: Potential added value and lingering obstacles. *Ecological Modelling*, 271, 4–9.

Splash, C. L. (2016). This Changes Nothing: The Paris Agreement to Ignore Reality. *Globalizations*, 1-6.

Springett, D. (2013). Editorial: Critical perspectives on sustainable development. *Sustainable Development*, 21 (2), 73–82.

Ulgiati, S., Ascione, M., Bargigli, S., Cherubini, F., Franzese, P. P., Raugei, M., ... & Zucaro, A. (2011). Material, energy and environmental performance of technological and social systems under a Life Cycle Assessment perspective. *Ecological Modelling*, 222(1), 176-189.