

POLITECNICO DI TORINO

SCUOLA DI DOTTORATO

**Dottorato di Ricerca In Innovazione Tecnologica Per
L'ambiente Costruito
XXV ciclo**

Tesi di Dottorato

**La valutazione della sostenibilità ambientale in
ambiti urbani: bilanci energetici e risorse
locali rinnovabili nella pianificazione di nuovi
distretti**



Edoardo Trossero

Tutore

Prof. Patrizia Lombardi

Cotutore

Prof. Carlo Ostorero

**Coordinatore del
corso di dottorato**

Prof. Marco Filippi

Gennaio 2013

Prologo	7
Pubblicazioni	13
1. Introduzione	14
2. L'ambiente costruito e l'emergenza ambientale	33
2.1. Quale sostenibilità	33
2.2. Le emissioni di gas clima alteranti, monitoraggio e valutazione	40
2.3. L'esplosione urbana del XXI secolo	45
2.4. La Città Sostenibile.....	50
2.5. Criticità nella definizione degli indicatori per la sostenibilità.....	57
3. Efficienza, risparmio energetico ed energia rinnovabile nelle politiche europee per l'ambiente costruito	62
3.1. Le politiche energetiche dell'Unione Europea: la strategia "20 20 20"	65
3.2. L'efficienza energetica nell'ambiente costruito nella normativa europea	67
3.3. Le energie rinnovabili nella normativa europea	71
3.4. Il ruolo delle certificazioni ambientali e la valutazione delle strategie energetiche.....	75
3.5. Gli effetti delle politiche energetiche nelle abitazioni europee	80
3.6. Efficienza, energie rinnovabili ed aumento dei consumi nel panorama europeo	84
4. Efficienza e metabolismo nell'analisi dei sistemi urbani	89
4.1. Efficienza e consumi: il Paradosso di Jevons e l'effetto rebound	89
4.2. La valutazione dell'effetto rebound nelle abitazioni	96

4.3.	Il modello metabolico per l'analisi della sostenibilità.....	100
4.4.	Il modello del metabolismo urbano e le sue applicazioni.....	104
5.	La sostenibilità nei nuovi distretti urbani: analisi comparativa dei sistemi energetici di otto "eco-distretti" europei	110
5.1.	Gli eco distretti come risposta alla crisi ambientale	111
5.2.	La nascita dell'"eco distretto"	113
5.3.	Panoramica su otto eco quartieri europei: il sistema urbano verso la sostenibilità.....	119
5.3.1.	Am Schlierberg - Friburgo (Germania).....	121
5.3.2.	Bedzed - Beddington (Regno Unito)	125
5.3.3.	BO01 - Malmo (Svezia).....	129
5.3.4.	Hammarby - Stoccolma (Svezia)	133
5.3.5.	Greenwich Millenium Village - Londra (Regno Unito)	137
5.3.6.	Solar City - Linz (Austria)	140
5.3.7.	Valderspartera - Saragozza (Spagna)	144
5.3.8.	Viikki - Helsinky (Finlandia).....	147
5.4.	Un'analisi comparativa.....	150
5.5.	Il bilancio energetico dei distretti: consumi delle abitazioni ed energia da fonti rinnovabili locali.....	153
6.	La definizione dell'indice IMSE (Indice Metabolico di Sostenibilità Energetica) per la valutazione dei sistemi energetici	160
6.1.	L'Indice Metabolico di Sostenibilità Energetica "IMSE".....	160
6.2.	La metodologia alla base dell"IMSE"	163
6.3.	L'indice IMSE nella valutazione degli otto distretti analizzati	167
6.4.	Strategie e best practices per la sostenibilità energetica nei distretti analizzati.....	171

7.	Applicazione dell'indice IMSE al caso studio dell'area "Ex Scalo Vanchiglia" nella città di Torino.....	178
7.1.	La "Variante 200" del Comune di Torino.....	179
7.2.	La rigenerazione urbana come transizione verso la sostenibilità.....	185
7.3.	Uno scenario a basso impatto energetico sull'area "Ex Scalo Vanchiglia" ..	190
7.4.	La costruzione dello scenario	195
7.4.1.	Gli edifici	195
7.4.2.	Il Parco Lineare.....	197
7.5.	Le risorse rinnovabili presenti nel distretto.....	198
7.5.1.	Le risorse naturali	198
7.5.2.	Le risorse antropiche	201
7.6.	Le fonti energetiche rinnovabili	204
7.7.	Energia rinnovabile e consumi.....	207
7.8.	L'energia necessaria al distretto	209
7.9.	La valutazione del bilancio energetico	211
7.10.	L'applicazione dell'indice "IMSE" allo scenario proposto	215
7.11.	La valutazione del metabolismo energetico.....	219
7.12.	Discussione dei risultati	221
8.	Conclusioni e sviluppi futuri	226
8.1.	Gli impatti ambientali urbani analizzati attraverso l'analisi metabolica: l'uso delle risorse locali negli eco distretti europei	226
8.2.	L'indice IMSE come strumento per valutazione e la pianificazione energetica degli eco distretti	233
8.3.	L'indice IMSE nella valutazione di uno scenario progettuale di un nuovo distretto.....	236

8.4.	Prospettive e limiti dell'uso degli indici metabolici nell'analisi urbana	244
9.	Bibliografia	253
10.	Sitografia	266

Prologo

Sabato 8 Dicembre 2012, si è chiusa a Doha in Qatar l'ennesima ed ultima conferenza delle Nazioni Unite sul Cambiamento Climatico. Il Qatar è il primo paese al mondo per emissioni pro capite di anidride carbonica, dieci volte superiore alla Cina, cento volte superiore a molti stati africani, proprio quegli stati che saranno fra i primi a risentire degli effetti del cambiamento climatico. Un esempio chiaro e palese di ingiustizia ambientale che anno dopo anno si appresta ad esser la più drammatica ed intollerabile forma di ingiustizia del terzo millennio. Eppure ancora una volta a Doha, come ormai capita da molti anni in tutti i vertici sul clima periodicamente organizzati dalle Nazioni Unite, non si sono raggiunti accordi risolutivi, stringenti, esaustivi. Le emissioni di anidride carbonica continuano ad aumentare a ritmo vertiginoso, il 2,6% solo nell'ultimo anno, sono ormai superiori del 58% rispetto al 1990, la speranza di mantenere l'innalzamento climatico al di sotto della soglia dei 2° centigradi è sempre più vana e lo scenario spettrale di sconvolgimenti ambientali sempre più reale e prossimo. Ma nonostante questo panorama drammatico la strada verso un controllo ed una netta riduzione concordata dei gas clima alteranti appare ancora molto lontana, forse irraggiungibile. A Doha si son trovate per l'ennesima volta quasi duecento nazioni, migliaia di delegati che hanno discusso per ben due settimane, e che, alla fine, son riusciti a mediare solo alcuni blandi accordi che difficilmente possono esser considerati un passo avanti per affrontare l'urgente emergenza climatica.

Il protocollo di Kyoto, l'unico accordo attualmente vincolante, è stato prolungato fino al 2020 ma i Paesi che lo ratificano sono ormai solo una manciata e le loro emissioni corrispondono a solo il 15% di quelle globali. Si spera in un nuovo accordo più inclusivo che possa esser concordato per il 2015 ed entrare in vigore nel 2020, ma non è stato siglato alcun documento vincolante sulle tappe di questo percorso rimandando a data da destinarsi decisioni che anche qualora fossero prese oggi sarebbero prese in modo tardivo.

L'Unione Europea si è impegnata a limitare le emissioni del 20% entro il 2020 ma anche nel caso raggiungesse quel traguardo continuerebbe ad essere tra i principali inquinatori mondiali se si considerano le emissioni pro capite e le emissioni indirette dovute al consumo di merci importate. L'emergenza climatica è sentita dalla maggioranza delle economie avanzate un problema così remoto ed alieno che in questo ultimo vertice non si è sottoscritto alcun accordo vincolante riguardo i cento miliardi di dollari che dal 2020 dovrebbero essere messi a disposizione dalle nazioni più ricche per aiutare le nazioni più in difficoltà verso uno sviluppo a basso impatto. Era una quota, quella dei dieci miliardi, già pattuita nei vertici precedenti ma la recente crisi economica ha legittimato le nazioni più ricche a non prendersi alcun impegno vincolante su se, come e quando impegnare quella cifra. Oggi la quota di aiuti per uno sviluppo a basso impatto è ferma a 10 miliardi all'anno, una cifra risibile se si pensa alla dimensione mondiale del problema da affrontare o che soli dieci caccia militari hanno un prezzo equivalente ed ogni anno nel mondo ne vengono acquistati centinaia.

Un passo significativo è stato certamente compiuto nel vertice appena chiuso a Doha: è stato riconosciuto l'impegno dei paesi più industriali ad aiutare finanziariamente, ma senza alcun vincolo, i paesi colpiti da disastri naturali a causa dell'innalzamento climatico. Se da una parte questa disponibilità può essere un primo passo verso la condivisione ed il riconoscimento di un problema globale dall'altra è una resa all'attuale modello di sviluppo i cui nefasti effetti vengono ripagati con somme di denaro. Un sistema quindi che produce e lavora coscientemente per compensare i danni che arreca a se stesso, un sistema privo della volontà di cambiare e che aumenta ogni anno le proprie contraddizioni, un modello assurdo che in un sistema chiuso e finito e di risorse limitate come quello del pianeta terra non può certo continuare all'infinito e che, questo è uno dei pochi punti fermi, non può certo dirsi sostenibile.

In questo sistema assurdo l'ambiente costruito assume un ruolo di primo piano, sia perché è l'interrelazione più significativa tra l'uomo e la natura sia perché è in continua e veloce espansione a causa dell'aumento della popolazione terrestre e del cambiamento degli stili di vita. Dal momento che una delle certezze da cui partire per l'elaborazione di qualunque teoria della sostenibilità è che il pianeta terra

ha una dimensione fisica finita e limitata parrebbe logico pensare che il primo passo da compiere verso la sostenibilità sia quello di limitare e razionalizzare l'uso del suolo: meno abitazioni, meno spazi pro capite, minor uso del territorio e delle sue risorse per usi antropici e dunque più attenzione per gli equilibri degli ecosistemi. Eppure questi semplici e palesi principi non sono contemplati da quasi nessuna politica o strategia rivolta alla diminuzione degli impatti, si finge di ignorare che la diminuzione degli spazi costruiti unita ad una gestione più razionale e frugale degli stessi potrebbe esser un obiettivo raggiungibile i cui effetti causerebbero nell'immediato una rapida e netta diminuzione degli impatti ambientali. La difficoltà di questo tipo di approccio è data dal fatto che richiede un cambio di paradigma con il quale intendere il concetto di sviluppo e benessere, un cambio di paradigma che mette in discussione la crescita economica, che è il valore alle radici della civiltà industriale. Al contrario, la direzione intrapresa sembra essere un'altra. La crescita infinita, mitologica e indiscutibile, continua ad esser l'ideologia di fondo anche all'interno del settore dell'ambiente costruito: se si demolisce è per ricostruire e possibilmente con una cubatura maggiore, l'aumento dello spazio abitativo pro capite è considerato sintomo di benessere e quindi irrinunciabile, le nuove infrastrutture sempre più invasive ed estese sono ritenute strategiche dunque non passibili di valutazioni di opportunità. In una parola, la cosiddetta opzione zero non è generalmente contemplata nel modello di sviluppo dominante dell'ambiente costruito. Le stesse procedure di valutazione dell'impatto ambientale sono generalmente impostate sul "come" fare una certa opera piuttosto che non sul "se" farla a seconda dell'ammissibilità degli impatti ambientali, sociali ed economici che questa provoca.

Questa concezione di progresso univoco e lineare che è alla base della crescita dell'ambiente costruito sin dagli inizi della rivoluzione industriale sta velocemente modificando la biosfera del pianeta. Una trasformazione così radicale, profonda ed irreversibile che ha portato a definire l'attuale epoca geologica con il nome di "antropocene", ovvero un'epoca in cui il mondo naturale è stato manomesso a tal punto dalla specie dominante da non esser più riconoscibile o adatto alla vita di molte delle altre specie e forse a quella dell'uomo stesso.

All'interno di questo panorama dai forti toni contraddittori vi sono però alcuni bagliori incoraggianti che possono con un po' di ottimismo far sperare in una nuova alba, non così distante e forse ancora in tempo per evitare il collasso dell'umanità e dell'intera biosfera. Negli ultimi anni vi è stata una lenta ma continua presa di coscienza da parte di cittadini, gruppi spontanei, associazioni, centri di ricerca ed Università che autonomamente, ma in modo univoco e coerente, si stanno muovendo verso modelli di vita e consumo più sostenibili ed etici. Le strategie non sono inquadrate in grandi piani planetari elaborati in vertici come quello di Doha bensì in piccole azioni, talvolta addirittura personali, che con semplici accorgimenti possono ridurre significativamente gli impatti soprattutto dei modelli di vita occidentali. Così ad esempio il consumo etico, con la scelta di soli prodotti etici e sostenibili, o la diffusione delle colture organiche che implicano una riscoperta delle relazioni tra uomo e natura, l'uso spontaneo della risorsa solare come fonte energetica nelle abitazioni, l'uso sempre più diffuso di mezzi di trasporto collettivo o che non utilizzano carburanti sono solo alcune delle azioni quotidiane che potrebbero arrivare a coinvolgere una massa critica di cittadini ed incidere quindi sia sugli impatti ambientali sia sulle politiche istituzionali.

Sempre più spesso, nelle economie occidentali industrializzate, la costruzione di nuove grandi infrastrutture considerate dai governi strategiche per il progresso delle nazioni vengono osteggiate da movimenti politico culturali che ne mettono in evidenza idiosincrasie, inutilità, inefficienze ed inefficacia, ma soprattutto che invocano un nuovo modello di sviluppo e benessere che possa esser inclusivo e non fondato sul depauperamento delle risorse. Questi movimenti sono spesso non solo ostativi ma anche propositivi portando istanze di democrazia, partecipazione, condivisione e trasparenza, chiedendo ai governi investimenti su opere diffuse sul territorio, sostenibili o a basso impatto. Forse sarà proprio dalla rete di iniziative spontanee, individuali, indipendenti ma coordinate che nascerà un nuovo modello di sviluppo, un nuovo paradigma, una nuova concezione del vivere il pianeta che metta al centro gli equilibri fra l'uomo e la biosfera piuttosto che non solo produzione e consumo. Il fulcro del cambiamento non potrà che partire dalle città in quanto centri di elaborazione culturale e di trasmissione del sapere ma anche nodi dei conflitti e delle maggiori contraddizioni della società contemporanea.

“La città non è un'entità spaziale con conseguenze sociologiche ma un'entità sociologica che è formata spazialmente” questa considerazione del sociologo urbano George Simmel sintetizza bene le problematiche che qualunque metodologia di analisi urbana puntualmente incontra nel tentativo di definire e controllare processi e dinamiche della città. Il nodo di unione tra ambiente costruito, tecnologie, flussi fisici e valori culturali, modelli sociali e comportamentali è il nesso che alimenta la vita degli insediamenti, più alto è il numero dei cittadini e maggiormente complesse divengono le dinamiche che si innescano.

Negli ultimi cinquecento anni il mondo è diventato progressivamente dominato da una visione del mondo denominata alternativamente meccanicista, riduzionista o determinista; una visione del mondo che concepisce l'uomo come essere vivente in un universo che è un sistema meccanico che può essere ridotto ai suoi elementi costituenti, e nel quale ogni situazione avversa può essere analizzata come un problema isolato con una soluzione corrispondente. Questa visione del mondo diede origine ad una visione scientifica focalizzata sulla scoperta di leggi universali (quali ad esempio le leggi della fisica, della matematica o della chimica) che possono essere usate per predire e quindi per determinare il comportamento delle singole parti, dagli atomi alle galassie. Sebbene questo paradigma scientifico sia stato di estremo successo nel supportare lo sviluppo tecnologico e di conseguenza nel migliorare il benessere umano, ha delle forti limitazioni. Nell'ultimo secolo è diventato evidente come questo paradigma non possa spiegare tutto l'esistente, specialmente nel regno dei sistemi viventi e delle particelle subatomiche. Allo stesso modo l'approccio meccanicista come risposta ad alcuni problemi mondiali sta fallendo a causa del fatto che le metodologie lineari e riduzioniste non possono prevedere o indirizzare le conseguenze non volute inerenti la complessa dinamica dei sistemi che costituiscono la vita sulla terra.

Negli ultimi anni una nuova visione alternativa del mondo si sta sviluppando, in realtà essa è un amalgama di antiche visioni del mondo unite ad un nuovo paradigma scientifico basato sulle scoperte sia della scienza classica che delle nuove scienze. La presa di coscienza che la complessità del reale va affrontata più attraverso lo studio degli equilibri che non dei singoli elementi sta lentamente permeando in tutti gli ambiti del sapere, ad iniziare dalle discipline che si occupano

dell'ambiente costruito, della sua progettazione e della sua gestione. Una nuova visione del mondo che riesca a superare le enormi contraddizioni di quella attuale è urgente e necessaria per comprendere e motivare un cambiamento radicale nei rapporti tra l'uomo e l'ambiente, una nuova visione che possa esser di base per un nuovo paradigma sociale e scientifico. Senza un cambiamento di valori umani che possano supportare un nuovo paradigma orientato alla ridefinizione degli equilibri e delle relazioni tra uomo e natura, qualunque strumento rivolto alla sostenibilità sarà di limitata efficacia e soprattutto il suo impiego sarà vano se finalizzato alla distruzione delle risorse naturali ed all'autodistruzione dell'ecosistema in cui anche l'uomo vive.

Publicazioni

Le pubblicazioni di seguito elencate sono frutto di ricerche propedeutiche all'elaborazione della presente tesi, allo stesso tempo ne costituiscono parte integrante e di approfondimento.

Levra Levron A., Pochettino T., Trossero E., (2011), *Development of technological processes: towards an energy genius loci* in Mediterranean architecture between heritage and innovation: research, interdisciplinary approach and comparison of methods, a cura di Maria Luisa Germanà, University Press : Firenze, pag. 229 – 234

ISBN 978-88-6655-007-5 (online)

ISBN 978-88-6655-003-7 (print)

Trossero E., (2011), Dall'edificio sostenibile al territorio sostenibile: le nuove frontiere della pianificazione di fronte all'emergenza ambientale in ABITARE L'ITALIA TERRITORI, ECONOMIE, DISEGUAGLIANZE XIV CONFERENZA SIU - 24/25/26 MARZO 2011, Politecnico di Torino : Torino, p. 102

ISSN 1723-0993

ISBN 978-88-8202-038-5

Lombardi P., Trossero E., (2011), *Toward a multiscale sustainability assessment of urban distric projects* in "Sb 11 Helsinki" World sustainable building conference October 18 – 21, Vol. 2, pp. 64-65

ISBN 978-951-758-534-7

ISSN 0356-9403

Lombardi P., Trossero E., (2012), *L'indicatore di sostenibilita' energetica per valutare la sostenibilita' urbana: un'analisi comparativa di "eco-distretti" urbani in Europa*, in *Territori, in fase di pubblicazione*

Lombardi P., Trossero E., (2013), *From energy efficiency to energy subsidiarity: toward a new paradigm of urban sustainability* in Smart and Sustainable Built Environment, *in fase di pubblicazione*

Lombardi P., Trossero E., (2013), *"The "energy subsidiary" index for evaluating sustainability in planning and the built environment"* in *Intelligent Buildings International Journal*, *in fase di pubblicazione*

Lombardi P., Trossero E., (2013), *La sustentabilidad en los asentamientos urbanos: el modelo metabólico coo m'etodo de analisis y de evaluación* in *Revista de Arquitectura - Sociedad Central de Arquitectos*, *in fase di pubblicazione*

1. Introduzione

Da ormai diversi anni la maggior parte della popolazione vive in contesti urbani e la tendenza all'urbanizzazione non accenna a diminuire, questo sta comportando gravi squilibri e profondi impatti ambientali che si vanno a sommare a quelli di un progresso fondato sul consumo e sul depauperamento indiscriminato delle risorse naturali (United Nations General Assembly 2005). Di fronte alla drammaticità della scarsità di risorse ed all'emergenza climatica è sempre più evidente come la città sia il luogo privilegiato per la transizione verso modelli di vita, di organizzazione sociale e di consumo più equi e sostenibili (Suzuki 2010, Newman 2008).

L'ambiente costruito, nella sua conformazione, nel suo funzionamento e nei suoi cicli di vita costituisce una parte determinante del processo di transizione. All'interno di questo processo la misura e la valutazione dell'entità, il monitoraggio e la lettura della direzione del cambiamento sono essenziali per raggiungere l'obiettivo. Esse permettono infatti di ottenere punti di riferimento dai quali pianificare strategie, attuare politiche ed esaminarne l'efficacia. Qualunque azione rivolta alla sostenibilità, se non misurabile e priva di riferimenti scientifici certi risulta esser vana, non essendo possibile determinare quanto i risultati raggiunti siano vicini o coerenti agli obiettivi prefissati (Lombardi 2009). Per questo motivo la valutazione, intesa come una procedura scientifica basata su dati, è un elemento chiave nei percorsi rivolti alla ricerca della sostenibilità.

Negli ultimi anni sono stati collaudati diversi strumenti per la valutazione della sostenibilità degli edifici, le più differenti tipologie di costruzioni sono state analizzate nei loro aspetti peculiari: dall'analisi dei materiali dei dettagli e delle tecniche costruttive fino ad arrivare all'analisi dei sistemi energetico-impianistici, con il fine di creare ambienti energeticamente più efficienti, usare materiali a minor impatto e sfruttare le energie rinnovabili (Dall'O' 2011, Rubini 2011, Knowles 2006). A riguardo sono state testate numerose metodologie di valutazione

documentate da una vastissima letteratura. Il risultato di questi studi si è spesso concretizzato in sistemi di certificazione poi adottati dal mercato (Kibert 2012, Carpinelli 2008). Tuttavia gli indicatori di sostenibilità urbana più usati e condivisi forniscono una lettura di una città ancora profondamente lontana dall'aver impatti accettabili per un equilibrio planetario: in particolare i consumi energetici, basati ancora principalmente sulle risorse fossili, sono uno degli aspetti ambientali più preoccupanti e difficilmente sostenibile (Droege 2006, Girardet 2008).

Gli insediamenti urbani sono sistemi sofisticati che richiedono un'analisi legata non solo agli aspetti fisico-tecnici dei singoli edifici ma anche al loro funzionamento "metabolico". Con questo termine viene inteso quell'insieme articolato e composito di relazioni e processi, interrelati tra loro, sia fisici che ambientali, che sono alla base del funzionamento di un contesto urbano. In questo modello i differenti singoli componenti del contesto urbano, come ad esempio gli edifici o gli spazi pubblici, vengono interpretati come un unico organismo vivente dalle funzioni complesse (Wolman 1965).

Questa ricerca vuole essere un contributo al vasto movimento all'interno della Comunità Scientifica che vede nella transizione verso la cosiddetta "low energy society" ovvero una società maggiormente sostenibile basata sui bassi consumi, l'unica vera via di uscita alla crisi sistemica contemporanea. Le città sono sempre di più i luoghi in cui si giocheranno le sorti del pianeta, sia perché ospitano la maggioranza della popolazione terrestre sia perché sono i fulcri di consumi di risorse ed emissioni inquinanti. Ma le città sono anche centri decisionali, di elaborazione e diffusione del sapere, centri di aggregazioni e movimenti politici e culturali. Proprio per questo le decisioni che vengono prese con elefantina lentezza nei vertici mondiali come quello tenuto nel Dicembre 2012 a Doha (*UN Climate Change Conference - COP18*) potrebbero avere invece una risposta più pronta, immediata ed efficace nelle politiche urbane dei prossimi anni.

Le strategie adottate autonomamente dalle amministrazioni urbane hanno la possibilità di coinvolgere i cittadini e di renderli consapevoli di necessità, obiettivi e percorsi da intraprendere con più efficacia di quanto possa essere fatto dalle politiche governative. Infatti le politiche locali, rispetto alle politiche nazionali, hanno la possibilità di essere mirate a contesti particolari caratterizzati

territorialmente, riuscendo così ad essere più incisive ed efficaci nei processi di cambiamento. Inoltre i cittadini agendo sul contesto urbano possono trasformare direttamente l'ambiente a loro più prossimo godendo immediatamente di una migliore qualità della vita (Bosio 2010, Friedman 2009). Certo un coordinamento globale è essenziale soprattutto per i rapporti con le città dei cosiddetti paesi in via di sviluppo e per fissare obiettivi condivisi ma potrebbe esser superato attraverso nuove forme di democrazia partecipativa che grazie alla rete si stanno diffondendo sempre più rapidamente.

Dal momento che il metano ed il petrolio sono elementi entrambi non rinnovabili e sui quali si basa il funzionamento dell'ambiente costruito contemporaneo, il primo passo della transizione urbana deve esser quello di rendere gli insediamenti autonomi rispetto alla dipendenza attuale dai combustibili fossili (Droege 2010, Brown 2009). Un cambiamento ciclopico, soprattutto se si pensa al funzionamento ed all'organizzazione delle megalopoli, ma tuttavia indispensabile. Questo studio affronta la sostenibilità da un punto di fisico ambientale, si pone l'obiettivo di contribuire alla ricerca di nuove metodologie di analisi e valutazione dell'esistente volte alla risoluzione delle criticità che sino ad ora sono state riscontrate nelle strategie, nelle politiche e nel raggiungimento degli obiettivi rivolti alla riduzione dell'impatto ambientale delle attività umane.

La ricerca in particolare si focalizza sull'analisi dei bilanci energetici dei processi dell'abitare all'interno di distretti urbani nel contesto europeo. Dunque l'attenzione non è posta sulla costruzione fisica degli edifici e delle loro tecniche costruttive quanto invece sul loro uso da parte degli abitanti e sulla quantificazione dei flussi energetici necessari alla funzione abitativa. Più specificatamente viene presa in considerazione l'energia utilizzata dal comparto residenziale di un distretto nel suo funzionamento a regime, dunque sono analizzati i flussi energetici di cui un insediamento necessita, su base annuale, per permettere e sostenere le funzioni dell'abitare. Sono compresi quindi i consumi della climatizzazione, delle applicazioni elettriche e dell'illuminazione, dell'acqua calda sanitaria e degli usi cucina. Non viene invece affrontata la questione dell'"energia incorporata", ovvero di quella quantità di energia racchiusa nelle strutture, edifici e materiali, che formano fisicamente la città. Questa forma di energia appartiene più al processo

del costruire, dunque della scelta dei materiali e delle relative tecnologie costruttive, che non invece a quello dell'abitare, è una forma di energia che viene impiegata anteriormente agli inizi dei processi dell'abitare e che ne è quindi esclusa, anche se è certamente significativa e va tenuta in conto in una valutazione globale della sostenibilità. Analogamente sono esclusi i consumi del settore terziario che, sebbene di minore entità rispetto a quelli del settore residenziale (dati EEA - Final energy consumption by sector 2012), costituiscono un elemento importante nel fabbisogno energetico di un distretto, ma appartengono comunque ad una dimensione diversa rispetto a quella strettamente connessa con le funzioni dell'abitare in ambito urbano, su cui questa ricerca si focalizza.

Benchè lo studio utilizzi un approccio tecnico scientifico, si riconosce che gli aspetti sociali ed economici sono essenziali e correlati a qualunque processo o transizione verso la sostenibilità. Dunque la ricerca affronta solo una delle dimensioni del problema e lo studio costituisce un elemento che va considerato organico a molteplici fattori che sono per definizione "esterni" alla verifica scientifica (Brugman 2010, Beatley 1995, Capra 1982).

Inoltre, nonostante il metodo scientifico sia essenziale per qualunque strategia rivolta alla sostenibilità ambientale, sociale ed economica, tuttavia la sola scienza cartesiana non è in grado di effettuare quella radicale trasformazione di cui necessita il pianeta, che può esser supportata solo da una forte condivisione di un nuovo sistema di valori (Chrisna 2009, Fregolent 2002, Capra 1982, 1997). E' sempre più palese che nessun passo avanti significativo può esser fatto senza prima abbracciare un nuovo paradigma che dia nuovi significati al rapporto tra l'uomo e l'ambiente. Solo approdando ad una nuova concezione dei cicli di vita e dell'unità tra il genere umano ed il pianeta si potranno ristabilire gli equilibri che permetteranno la continuazione della vita sulla terra così come l'abbiamo conosciuta (Lovelock 2000).

Il Progetto UNI-Metrics

La metodologia di ricerca applicata in questa tesi è stata sviluppata in parte all'interno del progetto "*UNI-metrics - Value Metrics and Policies for a Sustainable University Campus*" a cui l'autore ha partecipato in qualità di *Phd student*.

UNI - metrics è un progetto finanziato dall'Unione Europea sotto il Settimo Programma Quadro all'interno del Marie Curie Actions IRSES-International Research Staff Exchange Scheme e coordinato dal Politecnico di Torino, gli altri membri partecipanti sono la Cambridge University (UK), la Free University of Amsterdam (NL) e la Hokkaido University (JP).

Obiettivo primario del progetto è quello di rafforzare il partenariato fra le quattro organizzazioni, provenienti da Italia, Regno Unito, Olanda e Giappone, attraverso la condivisione e l'elaborazione del concetto di sviluppo sostenibile e di approccio interdisciplinare alla ricerca.

In particolare la missione pratica di UNI-metrics è di accrescere la sostenibilità ambientale dei Campus Universitari in quanto aree vaste collocate nello spazio urbano ed allo stesso tempo di promuovere la qualità di servizi e strutture universitarie.

UNI-metrics è un progetto multi disciplinare che è basato sull'ipotesi che metriche basate su valori condivisi possono essere definite attraverso l'analisi delle dinamiche di interazione tra attori, edifici e città ed integrate successivamente in politiche rivolte alla sostenibilità.

L'autore della presente ricerca si è occupato, all'interno del progetto, della definizione di indicatori ambientali della sostenibilità che potessero essere adatti o adattabili al contesto dei Campus Universitari.

In particolare il Campus della Hokkaido University di Sapporo in Giappone è stato utilizzato per testare alcuni indicatori ambientali inerenti il "metabolismo urbano", concetto spiegato dettagliatamente nei Capitoli quarto, quinto e sesto della presente ricerca.

Il Campus dell'Università di Hokkaido è costituito da un'area profondamente inserita e connessa nel tessuto urbano della città di Sapporo, che conta circa tre milioni di abitanti, ma allo stesso tempo è delimitato da confini ben precisi ed

ospita al suo interno una pluralità di funzioni e servizi: residenze, aule, sale conferenza, strutture per lo sport, uffici, biblioteche, ristoranti, caffè e negozi. Queste caratteristiche ne fanno una sorta di isola autonoma al centro di Sapporo pur essendo allo stesso tempo parte integrante della città non solo da un punto di vista spaziale ma anche sociale e culturale.

Inoltre tutti i flussi di materiali ed energia in entrata ed in uscita dal Campus sono costantemente monitorati e contabilizzati dall'Amministrazione Universitaria, che ha per tanto a disposizione una dettagliata quantità di dati difficilmente reperibile in altri contesti urbani.

Queste peculiarità hanno permesso di testare su questa area indicatori sulla sostenibilità ambientale validi e significativi anche in altri contesti urbani.

Questa ricerca amplia ed elabora alcuni elementi della metodologia di valutazione della sostenibilità ambientale sperimentata sul Campus della Hokkaido University. Il fine è quello di sperimentare una metodologia di analisi metabolica, attraverso un indice della sostenibilità energetica, che sia implementabile in qualunque contesto urbano, dunque utilizzabile con la stessa validità ed affidabilità in diversi contesti e situazioni.

Il Problema

Nell'ultimo decennio numerose politiche son state intraprese, a livello comunitario rivolte a contenere i consumi e mitigare gli impatti nell'ambiente costruito, in particolare la Direttiva 2002/91/CE, sul rendimento energetico nell'edilizia (G.U.C.E. L 1 del 4 gennaio 2003), la Direttiva 2009/28/CE, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, e la Direttiva 2010/31/UE, sulla prestazione energetica nell'edilizia. (G.U.C.E. L 153 del 18 giugno 2010). Queste direttive sono state poi recepite da molteplici normative sia a livello nazionale che regionale ed hanno avuto un forte impatto sulle tecnologie usate nella nuova edilizia (Rubini 2011, Hong 2006). Tuttavia questo complesso

apparato normativo è rivolto principalmente all'aumento dell'efficienza energetica negli edifici piuttosto che ad un'organica transizione verso un'edilizia a basso impatto. Negli ultimi anni un approfondito ed esteso dibattito attorno al tema della trasformazione dei contesti urbani in ambiti a basse emissioni di CO₂ ed alle relative strategie e politiche per attuarla si è svolto sia all'interno della comunità scientifica sia in ambito politico amministrativo (Jenks 2008, Ferlaino 2005, Geller 2002, Diappi 2000). Nel contesto europeo l'attenzione è stata rivolta soprattutto alle connessioni tra la dimensione ambientale, sociale ed economica dei sistemi urbani ed alle loro possibili sinergie, come dimostrato da documenti di indirizzo politico ed economico elaborati dall'Unione Europea quali *"The European Strategic Energy Technology Plan, Towards a low-carbon future"* (COM(2007) 723 final) e *"Smart Cities and Communities – European Innovation Partnership"*, (C(2012) 4701 final). Le politiche, le strategie e le azioni rivolte alla creazione e valorizzazione di questi nessi urbani sono state definite sotto l'accezione di "smart", sottolineando in questo modo anche l'importanza della dimensione comunicativa nel percorso verso la sostenibilità.

Parallelamente a questi profondi cambiamenti, sia culturali sia legislativi, stiamo assistendo ad una serie di fenomeni ambientali di chiaro segno contrario. A livello globale un continuo aumento di emissioni di CO₂, a dispetto degli accordi del protocollo di Kyoto rende sempre più urgente e drammatica la questione climatica. Nell'Unione Europea le emissioni pro capite dei cittadini continuano ad essere fortemente al di sopra del limite massimo stabilito dal *Intergovernmental Climate Change Panel* per la sicurezza climatica che corrisponde a 1,7 tonnellate di CO₂ all'anno pro capite (ICCP 2007). Sempre nel panorama europeo un consumo energetico tendenzialmente costante, che non accenna a diminuire neppure nel settore dell'ambiente costruito nonostante le numerose innovazioni tecnologiche degli ultimi anni, si contrappone all'obiettivo, adottato dall'Unione, di diminuire del 20% i consumi energetici entro il 2020 (7224/1/07 REV 1: Presidency Conclusions of the European Council of 8/9 March 2007). Quest'obiettivo, riconfermato nel giugno 2010 dal Consiglio Europeo (17/6/2010 Nr: EUCO 13/10), si traduce nel risparmiare 368 Mtoe di energia primaria in relazione alle proiezioni di consumo per il 2020, corrispondenti a 1842 Mtoe.

All'interno di questo panorama sono di particolare interesse i dati inerenti l'efficienza energetica ed i consumi energetici dell'ambiente costruito. Se infatti da una parte abbiamo un costante e sostenuto aumento dell'efficienza in tutti i settori dall'altra non assistiamo ad alcuna discesa dei consumi, che continuano invece ad avere una leggera tendenza all'aumento (dati EEA 2012). Si può dunque dedurre che se l'obiettivo è la diminuzione dei consumi energetici non è l'aumento della sola efficienza energetica che può garantire il risultato. In particolare alla luce di tesi quali il paradosso di Jevons o la teoria dell'"energy rebound" (Khazzoom 1980, Greening 2000, Dimitropoulos 2007), il paradigma efficientista, che vede nell'efficienza del sistema il mezzo prioritario per il raggiungimento della sostenibilità, dimostra oggi forti criticità nell'affrontare adeguatamente le complessità dell'emergenza ambientale.

All'interno delle "idiosincrasie" sopra elencate la definizione di sostenibilità continua ad esser un argomento molto dibattuto che porta in se diverse ambiguità ed errata valutazione ed un conseguente errato approccio alle politiche per la diminuzione degli impatti possono essere concause dei fallimenti degli obiettivi prefissati (Costanza 1997, Daly 1990).

Il panorama sopra descritto evidenzia come oggi sia di urgente attualità affrontare il tema non solo della sostenibilità dell'edificio ma soprattutto della sostenibilità a scala urbana, in particolare del distretto in quanto ambito attuativo di ogni processo di trasformazione. Per questa nuova prospettiva urbana è necessario elaborare strumenti di valutazione ed analisi multi scalari che permettano una lettura d'insieme dei fenomeni, che siano quindi utili in un processo progettuale. Strumenti che sappiano da un lato fornire risposte e soluzioni locali ma che allo stesso tempo abbiano una validità ed una coerenza anche a livello globale.

Questa ricerca si pone come contributo agli studi della sostenibilità dell'ambiente costruito che potrebbe esser definiti di "secondo grado": un passaggio dalla sostenibilità dei singoli elementi del sistema, gli edifici, agli equilibri fisiologici ed olistici del sistema stesso: il quartiere.

Gli Obiettivi

Il panorama sopra raffigurato ci spinge a definire alcuni obiettivi scientifici che siano indirizzati a tracciare il percorso verso la sostenibilità e che al contempo possano esser d'aiuto nell'identificare le correzioni di rotta necessarie.

Innanzitutto è utile definire se il percorso intrapreso, che vede nel continuo aumento dell'efficienza lo strumento prioritario per il raggiungimento della sostenibilità energetica, stia portando nella giusta direzione (Brookes 2000). Dunque se i piani di intervento basati sull'aumento dell'efficienza siano sufficienti a raggiungere gli obiettivi prefissati a scala europea e siano coerenti con un'ideale di sostenibilità globale, o se sia invece necessario definire altre strategie e metodologie di intervento più complesse. L'analisi va estesa al contesto urbano, allargando di scala e di raggio gli studi che fin ora hanno riguardato principalmente l'edificio in quanto oggetto fisico, elemento singolo di un sistema complesso.

Il distretto urbano rappresenta il principale elemento di indagine, in quanto luogo privilegiato dell'abitare per la popolazione mondiale, luogo di attuazione e sperimentazione delle politiche urbane, ambito di relazione tra i diversi portatori di interessi nel contesto cittadino e di facile monitoraggio (Berrini 2010, Bosio 2010, Brugmann 2010, Lombardi 2008).

In questa prospettiva, il fine della ricerca è di definire una metodologia di indagine propedeutica al superamento delle idiosincrasie prima evidenziate create dall'adozione di un approccio efficientista allo sviluppo.

Il campo di indagine è rivolto all'analisi sui cicli energetici dei distretti urbani in quanto ambito dei maggiori impatti ambientali.

La ricerca è rivolta ad indagare e valutare il grado di sostenibilità energetica di un sistema abitativo urbano. Il bilanciamento tra i consumi di energia primaria, l'efficienza media delle abitazioni, e l'uso a fini energetici delle risorse locali e delle sinergie urbane sono gli aspetti che vengono analizzati per la definizione di una metodologia di valutazione del livello di impatto di un sistema di approvvigionamento energetico di un distretto.

In fine, la sperimentazione su di un caso studio consente la verifica di una metodologia attraverso la quale valutare la sostenibilità del bilancio energetico di

un insediamento residenziale urbano, sia in fase di progettazione o di rigenerazione di un distretto, sia in fase di valutazione ex post con il fine di evidenziarne gli ambiti di maggior impatto su cui è necessario ed urgente agire.

L'approccio alla sostenibilità

L'approccio alla sostenibilità dell'ambiente costruito a cui fa riferimento questa ricerca pone come priorità l'analisi sui limiti ambientali, all'interno dei quali viene posta la costruzione della sostenibilità di comunità ed economie. In questo modello il capitale naturale non è considerato come intercambiabile con il capitale umano, ovvero con opere create dall'uomo (Daly 1990, Hart 1999), al contrario il suo mantenimento ed il rispetto degli ecosistemi sono considerate condizioni necessarie per la realizzazione di processi sostenibili.

Alla luce della letteratura inerente il Paradosso di Jevons, applicato alla situazione contemporanea dell'ambiente costruito, e dell'"effetto rebound", nel modello proposto l'efficienza è considerata come una condizione necessaria nella diminuzione degli impatti ma assolutamente non sufficiente.

Il paradigma efficientista, motore delle grandi innovazioni del novecento, è oggi un modello in grave crisi nell'indirizzare e governare i processi di cambiamento verso il raggiungimento degli obiettivi europei e globali prima elencati (Madlener 2009, Dimitropoulos 2007, Brookes 2000 Khazoom 1980). Al paradigma efficientista che mira alla massima efficienza delle singole parti che compongono un sistema, viene sostituito un modello olistico che ricerca invece gli equilibri fra le parti.

L'approccio utilizzato nella ricerca per la definizione di una sostenibilità urbana e dei suoi cicli energetici è quello metabolico, basato sulla misurazione e sulla valutazione dei flussi in entrata ed in uscita da un distretto urbano. Lo studio metabolico del funzionamento urbano risale agli anni '60 (Wolman 1965) ma da allora ha trovato rarissime applicazioni all'interno delle politiche rivolte all'ambiente costruito.

Oggi l'utilizzo aggiornato ed ampliato di questo approccio può essere un valido strumento per valutare gli impatti ambientali con cui un distretto urbano carica territori esterni ad esso. Uno strumento in grado di valutare quanti e quali flussi, con relativi impatti ambientali, sono relegati, per approvvigionamento e smaltimento, a territori esterni al sistema stesso.

Questo modello è utilizzato nella ricerca per effettuare un'analisi che valuta la "sussidiarietà energetica" di un sistema abitativo attraverso un approccio non limitato alla valutazione dell'efficienza del sistema ma al suo intero ciclo. Con "sussidiarietà energetica", specularmente su di un concetto derivato dalla diritto amministrativa, viene qui inteso il grado di sfruttamento delle risorse locali rinnovabili, o la capacità di metabolizzare gli scarti ed i rifiuti in risorse energetiche prima di fare affidamento su forniture o risorse esterne al sistema quartiere.

La Metodologia

Il metodo di analisi della ricerca parte dall'indagine degli ambiti urbani attualmente considerati più avanzati nell'ambito della costruzione sostenibile. Negli ultimi vent'anni sono sorti in Europa numerosi insediamenti, in genere nuove costruzioni su ex terreni agricoli o industriali, che sono stati ritratti dapprima dalle amministrazioni locali compartecipi dei progetti e dagli investitori, in seguito dalla letteratura di settore, come "eco- quartieri". Questi distretti sono stati significativi non solo nella sperimentazione di nuove tecnologie e tecniche costruttive ma soprattutto nella creazione di un nuovo immaginario riguardo la "città sostenibile", o piuttosto riguardo il vivere ecologicamente in un contesto urbano (Cecchini 2010, Colarossi 2010, Suzuki 2010, Babalis 2007, Rossaro 2003).

In questa ricerca sono analizzati otto tra gli eco quartieri europei più conosciuti e discussi. L'analisi è stata indirizzata nel comprendere quali fossero gli obiettivi prioritari, quali le tecnologie usate per raggiungerli e quali le priorità considerate. In particolare, di fronte ai dati che rilevano nel contesto europeo un continuo aumento dell'efficienza energetica nell'ambiente costruito ma una sostanziale stabilità dei consumi (dati Eurostat 2012), l'analisi è rivolta a mettere in relazione

quanto in questi quartieri il raggiungimento degli obiettivi energetici sia è affidato all'efficienza degli edifici, soprattutto energetica, e quanto allo sfruttamento delle risorse rinnovabili recuperabili in sito, o alla creazione di sinergie e cicli chiusi.

Per attuare il processo valutativo sopra descritto è necessario definire un nuovo indicatore di sostenibilità energetica, ovvero un indicatore che riesca ad esprimere e sintetizzare in un unico dato sia l'efficienza energetica sia i consumi, sia l'impiego di risorse locali per ottenere energia rinnovabile. Un indicatore quindi che riesca ad esser significativo sul grado complessivo di sostenibilità energetica di un distretto finalizzato al contenimento dei consumi ed alla diminuzione degli impatti ambientali.

Viene pertanto definito un indicatore di performance, denominato *Indicatore Metabolico di Sostenibilità Energetica "IMSE"*, in grado di leggere le principali funzioni metaboliche energetiche, dato dalla differenza tra consumo medio a metro quadro di energia primaria di un abitazione media del quartiere in oggetto e la quota di questa energia che viene prodotta da risorse rinnovabili locali o da sinergie interne al metabolismo fisiologico del distretto.

Attraverso l'applicazione di questo indicatore vengono individuati e classificati i quartieri più virtuosi, ovvero con una maggiore sostenibilità energetica, una sostenibilità che è quindi data dalla sintesi tra bassi consumi, efficienza, rinnovabilità e sussidiarietà energetica e che si traduce in impatti ridotti per i territori esterni al distretto stesso.

Dei quartieri virtuosi vengono analizzate le strategie applicate e le tecnologie usate valutando ed evidenziando affidabilità, criticità ed eventuale replicabilità.

Le tecnologie e strategie così individuate, profondamente legate alle diverse territorialità, ovvero alle risorse locali, possono avere validità differente a seconda dei contesti dove vengono utilizzate, diventa pertanto necessario testare la loro fattibilità e validità all'interno di un unico contesto reale con caratteristiche definite e valutarne l'efficacia. A tal fine è stato scelto un caso studio su cui applicare, in uno scenario ipotetico, le strategie prima evidenziate e calcolarne, con l'indicatore IMSE, il grado di sostenibilità del sistema energetico.

Il Caso Studio

Il caso studio scelto per la sperimentazione della metodologia di valutazione è lo scenario di un distretto a basso impatto di futura progettazione: un ex area industriale, oggi parte integrante di un tessuto urbano esistente, di cui come dati di progetto si hanno le indicazioni del piano urbanistico per la rifunzionalizzazione dell'area e le richieste dell'amministrazione comunale.

L'area in oggetto è denominata "Ex Scalo Vanchiglia", sita nella parte Nord della Città di Torino, fa parte di un radicale progetto di rigenerazione urbana denominato "Variante 200", dal nome dello strumento urbanistico utilizzato per la sua pianificazione. Di questo distretto oggi sono note solo le destinazioni e gli indici urbanistici, è prevista la totale demolizione dei fabbricati dismessi esistenti, che in gran parte erano stati costruiti come deposito merci per un vecchio scalo ferroviario. E' un caso di rigenerazione urbana che si presta molto bene alla valutazione di possibili scenari futuri, in quanto: è un'area vuota di notevoli dimensioni (850.000 m²) inserita in un contesto urbano consolidato e con un tessuto attivo a cui deve essere connessa, è un'area su cui il Comune prevede l'insediamento di 8.700 nuovi residenti.

Sull'area sono previste destinazioni miste: residenziale e servizi, integrate da una linea di trasporto metropolitana. L'impatto energetico della nuova edificazione sarà quindi considerevole viste le notevoli dimensioni dell'area rispetto alla città di Torino in cui oggi risiedono circa 900.000 abitanti.

La pianificazione energetica e la sua sostenibilità sono quindi un elemento centrale che richiedono grande attenzione e che dovrebbero essere integrate all'interno del progetto complessivo sin dalle fasi iniziali.

La simulazione consiste nel calcolare l'energia ottenibile dalle risorse locali di dell'area in oggetto, tenendo conto del numero di abitanti insediabili e supponendo di utilizzare le strategie e tecnologie adottate negli eco distretti europei presi in esame. La quantità di energia rinnovabile così ottenuta è poi messa in relazione con i consumi medi delle abitazioni del quartiere in un ipotetico scenario costruito secondo le indicazioni e gli indici degli strumenti urbanistici vigenti.

La valutazione è effettuata attraverso l'indice IMSE e poi confrontata con le performance degli eco distretti europei analizzati.

I Risultati Attesi

Questo studio definisce una metodologia di analisi ed un indice ambientale (IMSE) per la valutazione della sostenibilità energetica di un distretto o di un'area urbana confinata. L'indice IMSE, come dimostrato nel caso studio, è significativo sia per distretti in fase di progettazione sia per distretti esistenti e consolidati. L'utilizzo di un unico indice che sintetizza il comportamento energetico delle abitazioni di un distretto, rispetto alla molteplicità di indicatori usati dalla maggioranza dei sistemi di rating, permette di ottenere una metodologia di valutazione più snella e di facile utilizzo. Il test dell'indice sugli eco distretti e successivamente sul caso studio presentato permette di valutarne affidabilità e criticità.

L'indice IMSE, basandosi sul modello metabolico e non unicamente sulle caratteristiche tecnico fisiche delle costruzioni del quartiere, permette inoltre di operare una valutazione che comprende anche aspetti non unicamente tecnici, come ad esempio differenti modi di abitare o differenti stili di vita, che sono valutabili dal consumo medio di energia primaria.

L'indice IMSE e la metodologia con la quale è stato applicato al caso studio definiscono un possibile strumento di valutazione dei bilanci energetici rivolto alla sostenibilità ambientale urbana, ossia uno strumento di semplice uso e facile approccio, basato sul modello metabolico di analisi urbana. L'IMSE è uno strumento con una validità multi scalare, offre la possibilità di valutare la sostenibilità urbana da un punto di vista oggettivo con validità locale e globale, ed è fondato su indicatori quantitativi, quindi oggettivi. La metodologia messa a punto nello studio permette di superare le contraddizioni del paradigma efficientista illustrate in premessa, garantendo una valutazione del grado di sostenibilità energetica urbana basata su indicatori di performance e dunque più utile per il raggiungimento degli obiettivi internazionali prima illustrati. Esso può quindi

costituire un valido supporto in fase di progettazione per la valutazione dei bilanci ambientali di un distretto, per la valutazione ex post nel funzionamento di distretti urbani, e per la focalizzazione dei settori di maggior impatto su cui quindi intervenire in operazioni di retrofit.

Struttura della tesi

Lo studio è strutturato in otto capitoli, ciascuno diviso in paragrafi e sottoparagrafi che delineano il percorso di ricerca nelle diverse fasi: il problema, il modello di approccio, la metodologia, il caso studio, la discussione dei risultati ottenuti, i limiti riscontrati e le prospettive future.

Nel capitolo di apertura dal titolo "**L'ambiente costruito e l'emergenza ambientale**" viene descritta e documentata la situazione emergenziale in cui si trova oggi il pianeta terra a causa delle emissioni di anidride carbonica, con particolare riferimento al coinvolgimento ed alle responsabilità dell'ambiente costruito. Viene evidenziato come ancora oggi il concetto di sostenibilità sia alquanto labile, in via di ulteriore definizione e privo di una condivisione globale ed univoca. I problemi da affrontare sono molteplici: se da una parte la definizione di sostenibilità deve essere costruita su di un solido supporto scientifico dall'altra è necessario che valori quali democrazia ed equità ne legittimino la validità di regola universale, sia a livello locale che a livello globale. A questo scenario si affianca un fenomeno sempre più evidente ed esteso costituito dall'inurbamento che negli ultimi decenni ha raggiunto livelli mai verificatisi nell'intera storia dell'umanità. La popolazione mondiale, ed in particolare quella europea, è sempre più concentrata nelle città di medie dimensioni, dunque i centri urbani sono destinati ad essere il fulcro sia dei maggiori impatti ambientali sia il luogo privilegiato in cui attuare processi virtuosi rivolti alla sostenibilità.

Tuttavia pur essendo scientificamente chiari e provati i devastanti impatti ambientali della città sviluppatasi nel periodo industriale, un modello ancora oggi

dominante, sono ancora alquanto incerte le metodologie rivolte alla costruzione ed alla valutazione della sostenibilità urbana.

In questo processo assumono un ruolo fondamentale gli indicatori che, come dimostrato dai dati raccolti, sono spesso plasmati sulla lettura di determinati impatti ambientali perdendo poi di significato nella complessità degli equilibri eco sistemici. E' dunque necessario definire nuovi indicatori ambientali che siano equamente significativi ed efficaci a livello locale, a livello globale ed alle diverse scale di progetto. E' inoltre necessario definire nuovi indicatori della sostenibilità che, superando la settorialità, siano rivolti a cogliere la complessità olistica dei fenomeni eco ambientali.

La tesi prosegue con il capitolo **"Efficienza, risparmio energetico ed energia rinnovabile nelle politiche europee per l'ambiente costruito"** in cui viene fatta un'analisi delle politiche per l'ambiente costruito che l'Unione Europea ha attuato negli ultimi anni in risposta all'emergenza ambientale descritta nel capitolo precedente. In particolare viene evidenziato come la strategia normativa alla base delle politiche attuate sia principalmente indirizzata all'aumento dell'efficienza senza imporre analoghi vincoli in favore della diffusione delle energie da fonte rinnovabile.

Questo tipo di strategia ha presentato sino ad ora una bassa efficacia: i dati dimostrano infatti che nell'Unione Europea un aumento generalizzato dell'efficienza energetica nell'ambiente costruito non ha condotto ad alcuna significativa diminuzione nel consumo di energia primaria. Le politiche adottate non si sono sino ad ora rilevate sufficienti per il raggiungimento dell'obiettivo di diminuzione dei consumi del 20% che l'Unione Europea si è posta. Inoltre le strategie impiegate hanno privilegiato l'efficienza energetica sulla diffusione dell'energia rinnovabile non alleviando affatto la dipendenza dei centri urbani dai combustibili fossili.

Nel capitolo **"Efficienza e metabolismo nell'analisi dei sistemi urbani"** è analizzato il fenomeno, illustrato nel capitolo precedente, che vede l'aumento dell'efficienza slegato dalla diminuzione dei consumi.

Il *Paradosso di Jevons* e la teoria cosiddetta dell'*Energy rebound* vengono utilizzati come strumenti di lettura ed analisi dell'attuale panorama energetico dell'ambiente costruito. Viene evidenziato come gli indicatori dell'efficienza forniscano una visione parziale e miope della questione energetica nell'ambiente costruito e come questi non siano sufficienti e significativi nel misurare l'impatto ambientale di un sistema urbano.

In risposta alle criticità evidenziate viene qui proposto un nuovo approccio alla sostenibilità urbana basato sul modello metabolico, ovvero un modello di analisi focalizzato sui flussi in entrata ed in uscita, sia di materia che di energia, da un contesto urbano. Questa metodologia è indirizzata all'analisi ed alla misura degli scambi che un sistema urbano ha con l'ambiente esterno e dei processi di trasformazione di materia ed energia che si svolgono al suo interno.

Attraverso l'applicazione di questo modello vengono poi analizzati i sistemi ed i bilanci energetici di otto eco distretti europei, scelti in base alla notorietà che questi hanno avuto nella letteratura scientifica e per l'influenza che hanno esercitato, grazie alla grande eco avuto nei media, nella definizione dell'idea di città sostenibili nell'immaginario collettivo degli ultimi decenni.

Per ogni distretto sono analizzati i consumi energetici del settore abitativo e la provenienza ed il tipo di energia utilizzata con particolare riferimento all'utilizzo delle risorse rinnovabili locali. Per ogni distretto sono esaminate le tecnologie usate, i risultati raggiunti e le criticità riscontrate. Quest'analisi permette di evidenziare e classificare le diverse strategie impiegate per diminuire gli impatti ambientali dei sistemi energetici nella costruzione dei primi sedicenti "eco distretti" europei.

Nel capitolo seguente ***"La definizione dell'indice IMSE (Indice Metabolico di Sostenibilità Energetica) per la valutazione dei sistemi energetici"*** viene definito un indice metabolico, ovvero basato su di un approccio metabolico all'analisi urbana, per la misurazione della sostenibilità di un sistema energetico. L'indice, denominato IMSE (Indice Metabolico di Sostenibilità Energetica), è rivolto alla misura della percentuale di energia rinnovabile ottenuta da risorse locali presente nel bilancio energetico di un distretto. Questo indice misura il grado di

autonomia energetica di un distretto e dunque il grado di impatto ambientale che questo riversa al di fuori dei propri confini.

L'indice IMSE viene impiegato e testato nella valutazione dei sistemi energetici degli otto eco distretti europei analizzati nel capitolo precedente. Attraverso i risultati ottenuti vengono individuate sia tecnologie e le strategie più virtuose impiegate nell'ottenere un basso impatto energetico sia identificati quei distretti che, pur progettati con il fine di avere un basso impatto ambientale, presentano forti criticità nella sostenibilità dei propri sistemi energetici.

Nel successivo capitolo **"Applicazione dell'indice IMSE all'area 'Ex Scalo Vanchiglia' nella città di Torino"** le strategie più efficaci utilizzate nella realizzazione degli eco distretti precedentemente analizzati vengono applicate nella costruzione di uno scenario basato sulla rigenerazione di un distretto urbano.

Tenendo conto degli indici e della normativa urbanistica vigente nel Comune di Torino viene ipotizzata la rigenerazione di un quartiere della città indirizzata ad ottenere, tramite lo sfruttamento delle risorse rinnovabili locali, il minimo impatto energetico ambientale.

La metodologia usata consiste nell'operare un inventario delle risorse disponibili, sia antropiche che naturali, sul territorio del distretto ipotizzando un'edificazione coerente con il piano esecutivo dell'area e con il numero di abitanti insediabili previsti dagli strumenti urbanistici comunali.

Successivamente viene calcolata la quantità di energia producibile dalle risorse rilevate attraverso l'implementazione delle strategie e delle tecnologie adottate nei distretti virtuosi europei analizzati nel capitolo precedente. Vengono poi stimati i consumi del settore abitativo attraverso l'analogia con i consumi medi degli edifici della Città di Torino.

Infine l'indice IMSE è utilizzato per la valutazione del grado di sostenibilità del sistema energetico dello scenario prospettato ed è testato nella sua funzione di strumento meta progettuale offrendo la possibilità di valutare a priori l'efficacia di determinate scelte architettoniche, tipologiche e tecnologiche.

Nell'ultimo capitolo "**Conclusioni e sviluppi futuri**" vengono evidenziate le peculiarità dell'analisi urbana metabolica ed i vantaggi che questa offre rispetto alle analisi rivolte alla misura dei singoli elementi che compongono la complessità urbana. Le valutazioni attraverso l'indice IMSE della sostenibilità energetica dei distretti europei analizzati e dello scenario ipotizzato nella città di Torino vengono qui messe a confronto, paragonate e classificate. In questo modo è possibile evidenziare, attraverso una nuova prospettiva di analisi, efficacia ed efficienza delle tecnologie e delle strategie usate per diminuire gli impatti energetici. L'indice IMSE e l'analisi metabolica si pongono quindi come nuovi strumenti di analisi e valutazione capaci di offrire una nuova lettura della sostenibilità ed una via di uscita dalle criticità metodologiche della valutazione efficientista della sostenibilità.

La ricerca si conclude con la proposta di nuove prospettive di lavoro a supporto e completamento del metodo di analisi metabolico. Queste consistono nella formazione di banche dati in formato GIS sulle risorse locali antropiche e naturali sfruttabili a fini energetici, sulla creazione di strumenti di valutazione che sappiano inglobare ed estendere il metodo metabolico ad ulteriori ambiti di funzionamento urbano quali ad esempio il ciclo dell'acqua, dell'anidride carbonica o del cibo.

L'approccio metabolico alla sostenibilità urbana integrato con le tecnologie dell'informazione e della comunicazione potrebbe costituire un'utile piattaforma nella costruzione delle cosiddette "Smart Cities". L'approccio progettuale che sottende le smart cities costituisce oggi il concetto più avanzato di città sostenibile, in questa strategia la disponibilità e la qualità della comunicazione del sapere e del capitale sociale ed intellettuale vengono considerati prioritari. Il processo di trasformazione verso la sostenibilità viene attuato attraverso la creazione di sinergie con i campi della comunicazione, della mobilità, dell'ambiente e dell'efficienza energetica, con grande attenzione per le connessioni esistenti tra questi settori, la ricerca e l'impresa.

2. L'ambiente costruito e l'emergenza ambientale

2.1. Quale sostenibilità

Il concetto di sostenibilità è ancora oggi molto vago nonostante sia uno degli argomenti più discussi negli ultimi anni sia a livello scientifico, sia a livello divulgativo che mediatico. D'altro canto i concetti ed i processi con cui oggi viene intesa la sostenibilità sono molteplici ed oltre ad avere diverse scale di ampiezza appartengono a diverse discipline spesso molto lontane tra loro nella tradizione della ricerca scientifica. Il dialogo tra questi settori è possibile e necessario ma ancora agli albori delle sue possibilità. Il concetto di sostenibilità rimanda implicitamente alla definizione di un nuovo paradigma che sappia offrire una visione olistica dell'esistente, slegata dalla visione per settori e discipline che ha separato la conoscenza umana in filoni spesso non comunicanti tra loro e causa quindi di un sapere parziale e talvolta miope di fronte alla complessità della realtà (Capra 1982).

La ricerca della sostenibilità è in un certo senso una sfida alla complessità, una ricerca di equilibri tra l'uomo e l'ambiente, tra gli ecosistemi terrestri e il metabolismo delle attività umane. Un equilibrio che ad iniziare dalla separazione tra oggetto e soggetto operata da Cartesio nel XVII secolo inizia ad essere trascurato in quanto l'attenzione viene focalizzata sull'oggetto trascurando tutto ciò che è intorno. E' proprio Cartesio a definire con ambiente ciò che circonda l'oggetto operando una divisione che sarà fatale nella epistemologia e nella cultura economica degli anni successivi. Se l'ambiente è infatti l'intorno perde di importanza e di legami con l'oggetto, le relazioni tra ambiente ed oggetto sono in secondo piano e trascurabili. Da qui il sapere tecnologico ed economico che ha accompagnato per secoli le società occidentali e che ha considerato l'ambiente come una risorsa infinita da cui attingere risorse ed in cui scaricare rifiuti,

l'ambiente visto come un palcoscenico infinito su cui il genere umano svolge le proprie attività. La sostenibilità è quindi la ricerca dell'unità, dell'inscindibilità tra ambiente e oggetto, la visione della realtà che dall'osservazione dell'oggetto si sposta a quella dell'equilibrio, o meglio degli equilibri. Proprio per il fatto che una nuova visione del rapporto uomo ambiente richiede un cambiamento di paradigma la definizione di sostenibilità è molto difficile attraverso le categorie scientifiche e di pensiero che hanno accompagnato l'età industriale e di cui è figlio il sapere del nostro tempo.

Gran parte delle politiche, delle azioni e delle strategie istituzionali messe in atto a livello globale e locale per fronteggiare il cambiamento climatico e diminuire quindi gli impatti della società sul pianeta, fanno in genere riferimento alla definizione di "sviluppo sostenibile" elaborata nel lontano 1987 dalla Commissione Brundtland in un rapporto intitolato *Our common future*. La Commissione Brundtland fu istituita allora dalle Nazioni Unite proprio con il compito di analizzare e proporre soluzioni per sanare le contraddizioni ambientali e sociali del modello di sviluppo imperante, per la prima volta venne preso in considerazione un modello alternativo di sviluppo e venne formulata la ormai nota definizione: "lo sviluppo sostenibile è uno sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni".

Nonostante questo concetto sia il più diffuso in tutti gli ambiti in cui viene presa in considerazione la sostenibilità è tuttavia una definizione molto discussa e criticata. Pur avendo il merito di aver racchiuso per la prima volta in un concetto le criticità dell'attuale modello di sviluppo, è tuttavia una visione della sostenibilità parziale e generica. E' basata unicamente sulla categoria dei "bisogni" di difficile definizione, di difficile misurabilità e sicuramente non oggettiva, inoltre si rivolge ad un possibile futuro mettendo implicitamente in secondo piano l'importanza degli equilibri del presente. La maggiore criticità di questa definizione è data dal fatto che racchiude il concetto di sostenibilità in una prospettiva di sviluppo, più che non in quella di benessere in equilibrio con le risorse del pianeta. Una prospettiva che da adito a pericolosi fraintendimenti dal momento che la parola "sviluppo" è in genere legata al concetto di crescita, proprio quella crescita infinita su cui sono basate tutte le teorie economiche e che viene oggi ampiamente messa in

discussione a livello sia economico, sia sociale che scientifico (Latouche 2005, Daly 2005).

Un'idea più scientifica di sostenibilità, dunque più legata ad una dimensione fisica ed oggettiva del problema, può essere ottenuta attraverso l'elaborazione dei concetti di "capacità di carico" e di "capitale naturale". La sostenibilità può essere infatti intesa come la gestione dell'esistente e del suo divenire in rapporto ed in equilibrio con la capacità di carico del pianeta. Con capacità di carico è inteso il massimo carico sopportabile all'infinito da una frazione di territorio (Catton 1987) o anche il massimo numero di individui di una specie insediabili per un tempo indefinito in un determinato habitat senza danneggiarne permanentemente la produttività. Ovviamente la capacità di carico non dipende esclusivamente dal numero di individui bensì anche dal loro carico, ovvero dal metabolismo loro proprio e dai processi che mettono in atto. È evidente che nell'età industriale il carico antropico è diventato via via maggiore essendosi aggiunto al metabolismo della popolazione umana anche quello dei processi industriali, in crescita continua, mentre parallelamente il pianeta ha invece diminuito la sua capacità di carico a causa del danneggiamento degli ecosistemi della biosfera, ad iniziare dalla diminuzione dell'area coperta dalle foreste e dall'acidificazione degli oceani. Questi due fenomeni contrapposti fanno sì che il numero di individui insediabili e quindi la capacità di carico planetaria sia di anno in anno minore, al contrario gli esseri umani sul pianeta sono invece in continuo aumento (Rees 1992).

Il concetto della capacità di carico è indissolubilmente legato con quello di capitale naturale, intendendo con questo termine l'estensione del concetto economico di capitale ai beni ed ai servizi relativi all'ambiente naturale, con . Capitale naturale si intende l'insieme degli ecosistemi che produce una serie di beni e servizi naturali per il futuro (Costanza 1997, Wakernagel 1997). Per esempio un insieme di alberi o di pesci producono nuovi alberi e nuovi pesci per il futuro, un flusso che può durare all'infinito ed essere completamente sostenibile. Il capitale naturale può anche fornire servizi come lo stoccaggio di acqua o il controllo dell'erosione, nonché la possibilità di riciclare biologicamente rifiuti ed emissioni. Dal momento che la capacità di carico grava e dipende dalle risorse che gli ecosistemi possono offrire più il capitale naturale è produttivo e più la

capacità di carico può essere elevata e viceversa. Inoltre perchè il flusso di servizi degli ecosistemi sia continuo e bilanciato è necessario che gli stessi ecosistemi funzionino interconnessi come un unico intero sistema, la struttura e la diversità dei sistemi sono dunque un elemento fondamentale perchè il capitale naturale possa essere preservato (Costanza 1992,1997).

Il capitale naturale inoltre non va considerato come statico ma è invece relativo al carico a cui è sottoposto un territorio (Brandon 2005). Ad esempio con il crescere degli abitanti di un insediamento dovrà anche crescere il relativo capitale naturale per continuare a permettere lo stesso flusso di beni e servizi. Ovviamente è molto complesso calcolare quali potrebbero essere gli equilibri tra i vari ecosistemi per continuare a garantire lo stesso flusso di beni e servizi naturali, e anche per questo, affidandosi al principio di precauzione, il capitale naturale in una prospettiva sostenibile va preservato con la massima attenzione (Rees 1997)

Se applichiamo il concetto di capitale naturale a quello di sostenibilità si può chiamare eco sistema sostenibile quello in cui ogni generazione eredita un'adeguata quantità di capitale naturale non inferiore a quello ereditato dalle generazioni precedenti. Questa declinazione della sostenibilità focalizzata sul capitale naturale prende il nome di "sostenibilità forte" (Daly 1990) differenziandosi così dalla "sostenibilità debole" che persegue invece il mantenimento di un equilibrio tra capitale umano, ovvero manufatti, e capitale naturale.

Il problema della concettualizzazione della sostenibilità è che spesso viene accomunata ad una serie di assunti che ne snaturano e ne falsano la prospettiva. Ad esempio si considera che la sostenibilità possa esser perseguita attraverso il semplice soddisfacimento dei criteri, definiti su base politica, del cosiddetto sviluppo sostenibile. In questa assunzione vi è un'idea riduzionista di sostenibilità più legata alla contrattazione politica che non ai limiti fisici del pianeta. Vi è poi una concezione utopica della sostenibilità che si prefigge di risolvere tutti i problemi del pianeta attraverso il perseguimento di un certo tipo di sviluppo corretto, denominato "sviluppo sostenibile", che presenta soluzioni parziali ad alcune delle contraddizioni presenti nel modello classico di sviluppo dell'età industriale. Questo genere di sviluppo che, per compiersi, dovrebbe seguire i criteri di una determinata agenda politica, viene finalizzato ad una serie di risultati utopici quali

ad esempio l'eliminazione della povertà, che è stato uno degli obiettivi inseriti nell'agenda del *UN Millenium Development Goals* del 2002. Declinare il concetto di sostenibilità in questo modo sposta l'attenzione dalle le relazioni tra il genere umano e la biosfera, che costituiscono il problema più contingente degli impatti ambientali sul pianeta, ad una generica agenda politica rivolta alla risoluzione di una serie di contraddizioni dell'attuale società non risolvibili in un tempo definito e contingente (Du Plessis 2009).

Un altro assioma spesso presente nell'interpretazione del concetto di sostenibilità è quello per cui i problemi sociali ed economici posti come base per il progetto di uno sviluppo sostenibile siano universalmente validi, condivisi e riconosciuti; quando invece molto spesso sono di fatto il prodotto di un processo ispirato ideologicamente e profondamente negoziato largamente dominato dai valori del mondo industrializzato, ad esempio spirito d'impresa, propensione al profitto, sicurezza materiale ed interesse personale (Dia 1992).

Infine un altro assunto che spesso sottende il concetto di sostenibilità è che questa possa essere perseguita attraverso un approccio "problema – soluzione", dunque che la sostenibilità possa esser raggiunta attraverso un insieme di soluzioni che vengono date ciascuna ad ogni singolo problema. Questo approccio è tipico sia dei trattati internazionali che si sono occupati di sostenibilità sia dei principali sistemi di valutazione o certificazione (*LEED, BREEAM, SBTOOL*, et al.) Al contrario, la sostenibilità è un problema sistemico e dunque va affrontata e studiata non solo come un insieme di singoli problemi a cui corrispondono le rispettive soluzioni ma anche come un insieme di relazioni ed interrelazioni tra i diversi problemi in un sistema dinamico e continuamente mutante (Capra 1997, Newman 2008, Moffat 2008). Da questo punto di vista la sostenibilità non è un aggregato di soluzioni sociali economiche e tecnologiche ma piuttosto un processo che deriva dalle relazioni di questi sistemi.

Un ulteriore mancanza nella declinazione della sostenibilità nelle strategie di trasformazione della società contemporanea è che spesso viene applicato un modo di pensare statico a processi che sono invece fortemente dinamici. Questo approccio porta alla ricerca di un equilibrio statico ed ottimale che sia sostenibile, nel quale i tassi di consumo sono armonizzati dalle restrizioni poste dai sistemi

naturali sui consumi stessi, in realtà lo sviluppo dei sistemi umani non può mai essere statico o esser un processo uniforme che si muove verso una società ottimale. Un qualunque stato ottimale sarebbe infatti uno stato duraturo, infinito, senza che alcun cambio sia più possibile, impedendo così un continuo adattamento alle situazioni ed agli equilibri mutati.

Il solo fatto che la popolazione mondiale sia in continuo aumento fa sì che gli equilibri degli ecosistemi, ed il relativo capitale naturale, siano in continuo e rapido cambiamento. La popolazione aumenta di circa 94.000.000 di persone ogni anno, agli attuali tassi di produzione solo per soddisfare le loro esigenze alimentari ogni anno sono necessari tanti ettari in più quanti sono tutti quelli coltivati in Francia, ovvero circa 17.100.000 ettari (Rees 1992). Negli Stati Uniti è previsto entro il 2050, ovvero nei prossimi quarant'anni, un incremento della popolazione di circa 93 milioni di persone (dati UN 2012), che corrisponde ad un aumento annuo medio del 0,8%. Dal momento che tutti i nuovi abitanti si presume abiteranno in una superficie confinata climatizzata anche se la climatizzazione di tutto il patrimonio immobiliare degli Stati Uniti dovesse avere un aumento dell'efficienza media annua dello 0,8%, un tasso molto alto che richiederebbe ingenti lavori di retrofit, per i prossimi quarant'anni non si avrebbe alcun miglioramento riguardo ai consumi energetici totali impiegati per la climatizzazione. La climatizzazione è ovviamente solo uno dei tanti settori energetici che sarebbero coinvolti dall'aumento della popolazione.

Dal momento che la popolazione mondiale è in continuo mutamento la società sostenibile può esser concepita solo in un senso dinamico, capace ad un continuo adattamento alle condizioni mutevoli, (Bossel 1998) non è possibile pensare ad una soluzione che sia efficace nella situazione odierna e che continui ad essere valida nel corso degli anni. L'attenzione va posta sugli equilibri, sulle dinamiche e non sulla fotografia della situazione in un certo momento.

Si può affermare che il termine sostenibilità continua ad assumere significati differenti per persone e soggetti differenti. In ogni caso la maggioranza delle interpretazioni converge sul fatto che sostenibile è un livello di benessere e di qualità della vita simile per tutti gli abitanti del pianeta che può esser perseguito senza metter in pericolo o danneggiare la continuità funzionale dei servizi offerti

dagli ecosistemi e specialmente i sistemi di supporto alla vita offerti dalla natura. Da questo punto di vista la sostenibilità ambientale è quello stato o condizione del sistema socio ecologico mondiale che permette l'esistenza continua e sicura dell'Homo Sapiens nell'ecosistema.

Tuttavia, le interpretazioni attualmente dominanti del concetto di sostenibilità, come quelle che si possono trovare nei documenti delle Nazioni Unite (United Nations World Commission on Environment and Development 1987) o del *World Business Council for Sustainable Development* (World Business Council for Sustainable Development 1999), sono basate su una separazione tra uomo e natura in cui la sostenibilità ambientale è principalmente vista come una costrizione dello sviluppo economico, tecnologico e sociale del genere umano che va affrontata con compromessi e con un aumento generalizzato dell'efficienza. Secondo queste interpretazioni la sostenibilità è composta da tre dimensioni: quella ambientale, quella sociale e quella economica. Questi tre ambiti costituiscono i tre pilastri della sostenibilità ed hanno tutti pari importanza e peso (United Nations General Assembly 2005).

In questa prospettiva lo sviluppo sostenibile è visto come l'insieme di processi che dovrebbero ottimizzare il raggiungimento degli obiettivi attraverso tutti e tre gli aspetti della sostenibilità. Questa concezione della sostenibilità fa sì che l'attenzione venga focalizzata principalmente sulla qualità della vita misurata attraverso una nozione idealizzata, ed appartenente ad una specifica cultura, di società perfetta. In questa interpretazione la biosfera è vista solamente attraverso il suo valore d'uso per le imprese umane o per le sue minacce al benessere dell'umanità, il proteggerne le funzioni pertanto è un processo che viene sottoposto all'analisi costi-benefici. Questo approccio considera il mondo come l'uomo vorrebbe che fosse perdendo completamente la complessità dei fenomeni legati al rapporto tra uomo e ambiente (Du Plessis 2009).

2.2. Le emissioni di gas clima alteranti, monitoraggio e valutazione

Il problema più contingente della sostenibilità ambientale è dato dalle emissioni eccessive dei cosiddetti gas clima alteranti nell'atmosfera, ovvero gas che sono in grado di alterare il naturale effetto serra dell'atmosfera e dunque di aumentare notevolmente la temperatura media del pianeta. Dato per certo dalla maggioranza della comunità scientifica che la temperatura media della terra si sta alzando per cause antropiche l'obiettivo più urgente è di contenere questo innalzamento al di sotto dei 2° centigradi onde evitare sconvolgimenti imprevedibili degli equilibri della biosfera (ICCP 2007).

Malgrado gli sforzi di riduzione promessi da molti paesi industrializzati e malgrado la fase di crisi economica, le emissioni di CO₂ continuano a crescere drammaticamente. Nonostante il miglioramento dell'intensità energetica in tutti i processi industriali, nonostante il miglioramento dell'efficienza di tutti i comparti produttivi e di tutti i settori dell'ambiente costruito, le tonnellate di anidride carbonica scaricate nell'atmosfera continuano ad aumentare di anno in anno andando progressivamente a segnare nuovi record. Le numerose politiche energetiche, strategie ambientali e miglioramenti tecnologici non sono sin ora bastati per cambiare la direzione di un progresso che porta verso una prevedibile catastrofe, altri fattori sono intervenuti che hanno vanificato qualunque sforzo per un contenimento delle emissioni. Ad esempio tra il 1970 ed il 2004 la diminuzione dell'intensità energetica nella produzione di beni e servizi, pari al 33%, ha avuto sulle emissioni globali un impatto minore che non l'effetto combinato della crescita di popolazione, pari al 69%, e della crescita del prodotto globale lordo, pari al 77%; entrambi fattori che guidano la crescita delle emissioni di CO₂ in quanto strettamente collegati con i consumi energetici (IPCC 2007).

Tra il 2010 ed il 2011 l'aumento di emissioni di gas serra in atmosfera è stato del 1,2%, confermando un tasso di crescita costante negli ultimi dieci anni mentre le sole emissioni di CO₂ sono cresciute del 3% raggiungendo il livello massimo di emissioni mai verificatosi di 34 miliardi di tonnellate all'anno. Il trend delle emissioni di origine antropica è in continua crescita da quanto è iniziato il

monitoraggio e probabilmente lo è stato sin da quanto è iniziata l'era industriale, ovvero da oltre duecento anni.

Dall'inizio dell'era industriale, più o meno collocabile intorno al 1750, circa 375 miliardi di tonnellate di carbonio sono state emesse nell'atmosfera sotto forma di CO₂, principalmente a causa della combustione di combustibili fossili. Di questa enorme quantità circa la metà è rimasta nell'atmosfera mentre il resto è stato assorbito dalla biosfera terrestre e marina. Anche qualora le politiche messe in atto riuscissero idealisticamente ad eliminare totalmente le emissioni questi miliardi di tonnellate di CO₂ aggiunta negli anni rimarranno nell'atmosfera per secoli causando un ulteriore riscaldamento del pianeta ed avendo un impatto su tutte le forme di vita terrestri. Di fronte a questo scenario è palese che le emissioni dei prossimi anni non potranno che aggravare la situazione.

Fino ad ora l'assorbimento di carbonio da parte delle risorse naturali, oceani e foreste principalmente, è riuscito a neutralizzare circa la metà delle emissioni antropiche di CO₂ in atmosfera ma non è detto che questo continuerà in futuro. Gli oceani ad esempio si stanno acidificando a causa dell'assorbimento cospicuo di CO₂ con possibili ripercussioni per le catene alimentari acquatiche e per le barriere coralline. Ci sono molte interazioni possibili tra l'CO₂, la biosfera terrestre e gli oceani, una situazione in evoluzione e costantemente monitorata ma di non facile previsione (Jos 2012).

Secondo i rilievi effettuati dalla *World Meteorological Organization* (WMO 2012) nel 2011 l'ammontare dei gas serra nell'atmosfera ha raggiunto un nuovo record, 473 ppm. Tra il 1990 ed il 2011 c'è stato un aumento del forzante radiativo del 30%, la CO₂ è responsabile dell'80% di questo aumento ed ha raggiunto una concentrazione di 390 parti per milione, 140% superiore ai livelli pre industriali. Secondo gli scenari elaborati dall'*Intergovernmental Climate Change Panel* per far sì che la temperatura media globale non si alzi sopra i 2° centigradi, e non si vada quindi incontro a sconvolgimenti della biosfera difficilmente prevedibili ma sicuramente dagli impatti devastanti, la presenza in atmosfera di gas clima alteranti dovrebbe rimanere al di sotto di 445 ppm mentre quella di anidride carbonica al di sotto delle 350 ppm. L'obiettivo di riportare la CO₂ presente nell'atmosfera al di sotto delle 350 ppm è sempre più lontano ogni anno che passa

anche perché all'inarrestabile crescita delle emissioni si accompagna una devastazione sempre maggiore dei bacini naturali di assorbimento, principalmente gli oceani e le foreste.

Le emissioni di anidride carbonica sono molto differenziate a seconda delle diverse nazioni. La Cina, ad esempio, a causa del suo sviluppo economico tumultuoso e ad una forte propensione alla crescita, è il maggior responsabile di emissioni con il 29% dello share, seguono poi gli Stati Uniti con il 16%, l'Unione Europea con l'11%, l'India con il 6%, la Federazione Russa con il 5% ed il Giappone con il 4%. E' evidente come una manciata di Paesi siano in gran parte responsabili del destino climatico di un intero pianeta. Nel 2011 tuttavia si sono avuti decrementi delle emissioni nei principali paesi industrializzati, l'Unione Europea ha diminuito le emissioni del 3%, gli Stati Uniti ed il Giappone del 2%. Questa decrescita è dovuta in primo luogo alla crisi economica, in parte alle politiche di mitigazione adottate ed infine all'inverno mite. Oggi le emissioni dei paesi appartenenti all' OECD (Organizzazione per la Cooperazione Economica e lo Sviluppo), ovvero i paesi con le economie più ricche e sviluppate, sono responsabili solo più di un terzo delle emissioni globali con una tendenza leggera alla diminuzione. Al contrario le emissioni dei Paesi con economie emergenti come la Cina e l'India sono in continua crescita, in questo caso son cresciute nel 2011 rispettivamente del 9% e del 6%.

In ogni caso è importante sottolineare che nonostante la forte crescita delle emissioni dei Paesi con un forte tasso di sviluppo economico, Cina ed India in primis, i Paesi occidentali continuano ad essere i maggiori responsabili se le emissioni vengono misurate pro capite e non per nazione. Usando questo secondo metodo di valutazione gli Stati Uniti sono i maggiori inquinatori, qui infatti ciascun abitante è responsabile ogni anno della liberazione in atmosfera di ben 17,3 tonnellate di CO₂, in Europa, nonostante la significativa recente diminuzione, le emissioni raggiungono le 7,5 tonnellate pro capite mentre in Cina, nonostante il vertiginoso aumento del 9% dell'ultimo anno, le emissioni si attestano sulle 7,2 tonnellate annue a persona dunque ancora dietro quelle europee (Jos 2012). Altre economie emergenti in continuo aumento di emissioni come Brasile ed India non sono neanche paragonabili ad Europa e Stati Uniti o agli altri maggiori paesi

industrializzati se le emissioni vengono misurate con un indicatore pro capite, ovvero dividendo la somma delle emissioni di uno Stato per il numero dei suoi cittadini. Va inoltre tenuto conto delle emissioni che non vengono prodotte direttamente dai paesi ma di cui sono responsabili le loro economie, ad esempio le emissioni dovute alla fabbricazione di merci che vengono poi esportate o importate. Ad esempio nel 2004 il 23% delle emissioni globali di CO₂, ovvero 6.2 gigatonnellate di CO₂, sono state relative a merci commercializzate a livello internazionale. Questo fenomeno ha riguardato particolarmente le esportazioni di merci dalla Cina e da altri paesi emergenti verso Paesi a sviluppo avanzato. Nel 2004 In Svizzera, Svezia, Austria, Regno unito e Francia più del 30% delle emissioni relative ai consumi sono state importate, con un importazione netta a cittadino europeo di oltre 4 tonnellate di CO₂, superando le emissioni importate dagli Stati Uniti che corrispondono per lo stesso anno a 2,4 tonnellate a cittadino. Al contrario il 22,5% delle emissioni cinesi, sempre nel 2004, sono state prodotte per la manifattura di merci da esportare ad altri paesi (Davis 2010).

Questa differenza di prospettive, ovvero una visione del mondo per nazioni e per individualità, cambia radicalmente le responsabilità della crisi ambientale e dunque l'eticità e la giustizia delle politiche da adottare. Uno dei processi verso la sostenibilità è anche quello di iniziare a pensare il pianeta popolato da individui con pari dignità piuttosto che non come un equilibrio geopolitico di un insieme di stati nazione.

In una dimensione democratica della società, quale dovrebbe essere quella di una società sostenibile, ogni essere umano ha diritti e doveri analoghi a quelli degli altri esseri umani che popolano il pianeta, le responsabilità vanno condivise in modo egualitario, così come le risorse. Dunque le politiche da adottare andrebbero pianificate tenendo sempre in conto l'impatto pro capite piuttosto che non quello nazionale dei diversi stati.

Questa ambiguità nella misurazione degli impatti e delle relative responsabilità è alla base della difficoltà dell'individuazione di indicatori coerenti e condivisi nella valutazione di politiche progetti e strategie rivolte alla sostenibilità, spesso anche il solo uso errato di differenti indicatori porta ad una visione miope riguardo alla comprensione della complessità del problema degli impatti ambientali.

Se osserviamo l'emergenza ambientale da un punto di vista che sia focalizzato sull'individuo piuttosto che sugli stati nazione, o sulla situazione geopolitica, si delinea un'Unione Europea profondamente responsabile non solo delle proprie emissioni, ma anche di parte di quelle della Cina e di altri paesi emergenti da cui annualmente importa tonnellate di merci.

In una visione democratica della sostenibilità è quindi necessario che l'Europa, nonostante i progressi già ottenuti, migliori ancora il contenimento delle proprie emissioni puntando ad un ideale traguardo che vedrebbe le emissioni annuali egualmente distribuite tra gli abitanti della terra e quantitativamente contenute in modo da far sì che la concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera rimanga sotto le 350 ppm. Una concentrazione che secondo l'*Intergovernmental Climate Change Panel* dovrebbe riuscire ad evitare un innalzamento superiore ai 2° centigradi della temperatura media, una situazione non ottimale ma che potremmo definire di contenimento del danno (ICCP 2007). Perché la biosfera non sia alterata dalle emissioni di CO₂ sarebbe infatti necessario un livello di concentrazione della CO₂ inferiore ai 280 ppm, un livello stimato come stabile per la vita e l'equilibrio degli ecosistemi terrestri ma attualmente irraggiungibile con l'odierno assetto socio economico.

In particolare il settore energetico, riconosciuto come uno dei più critici riguardo alle emissioni di CO₂ è uno dei temi più urgenti da affrontare. All'interno della questione energetica assumono un ruolo prioritario le città con i loro bilanci energetici, fulcro di emissioni sia dirette che indirette (ICCP 2007). Se infatti rappresentassimo il pianeta con un colore più o meno scuro a seconda delle localizzazioni delle emissioni di CO₂ noteremmo un colore tendenzialmente uniforme con dei veri e propri punti neri, molto circoscritti, in corrispondenza dei centri urbani del pianeta, nella *Figura 1* è illustrata la situazione delle emissioni degli Stati Uniti nel 2002, sono chiaramente identificabili i centri urbani.

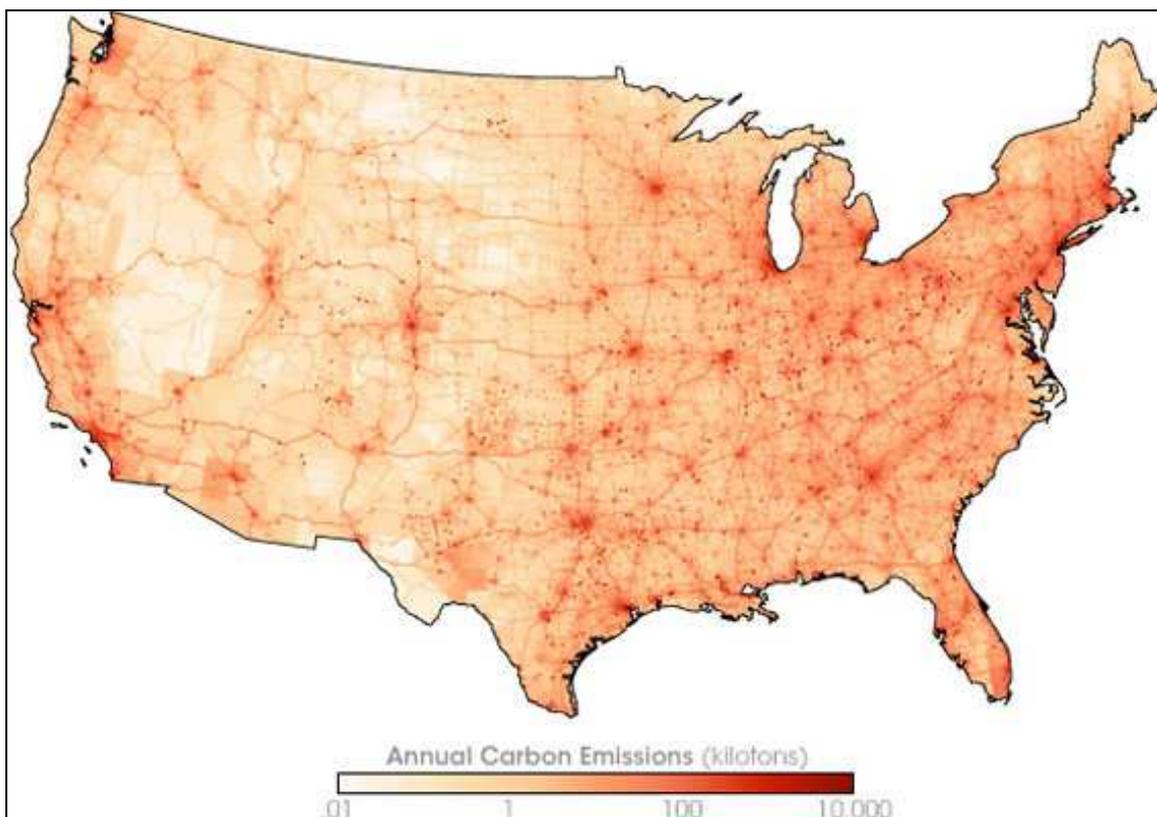


Figura 1. Mappa delle emissioni di anidride carbonica degli Stati Uniti nel 2002

2.3. L'esplosione urbana del XXI secolo

L'inizio del ventunesimo secolo è stato caratterizzato dall'evidenza sempre più marcata di due fenomeni di portata planetaria e profondamente legati tra loro: l'impatto delle attività umane sugli ecosistemi terrestri ed il processo di urbanizzazione.

Il vincitore del Premio Nobel per la chimica Paul Crutzen ha usato il termine "anthropocene" per definire l'era attuale, sottolineando come gli effetti dell'attività umana sugli equilibri naturali del pianeta siano arrivati ormai ad una tale portata ed incisività sulla litosfera da poter definire una nuova era geologica successiva all'holocene che è l'era geologica con cui vengono classificati gli ultimi diecimila anni. L'anthropocene non ha una chiara data di inizio ma se ci si basa sulle

osservazioni dei cambiamenti avvenuti nell'atmosfera si può collocare all'inizio della rivoluzione industriale, ovvero nel tardo diciottesimo secolo. Il genere umano ha aumentato da 10 a 1000 volte il normale tasso di estinzione di altre specie, e dalla rivoluzione industriale in poi ha aumentato la concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera da 280 a 390 parti per milione, una concentrazione che tende ancora oggi ad aumentare e che in circa duecento anni ha subito una variazione che equivale a quella verificatasi nel passato in milioni di anni. Gran parte di questo fenomeno è dovuto all'uso di combustibili fossili ovvero carbone, petrolio e gas nonché alla produzione di cemento ed alla deforestazione. Proprio queste cause sono legate al secondo grande fenomeno mondiale dell'era contemporanea: il processo di urbanizzazione.

La concentrazione della popolazione umana nei centri urbani, sebbene sia una realtà da migliaia di anni iniziata con il concentramento in piccoli villaggi dei raccoglitori-cacciatori, è aumentata in modo vertiginoso con l'avvento dell'era industriale. Nel 2008, secondo le osservazioni delle Nazioni Unite, si è avuto un importante punto di svolta per quanto riguarda il rapporto tra l'uomo, l'abitare e l'ambiente, in questo anno infatti il numero di persone residenti nelle città del pianeta ha eguagliato quello delle persone residenti in territori rurali o non urbanizzati. Il pianeta si è quindi trasformato in una rete di città sempre più grandi e dense e sempre più interconnesse che ospiteranno nei prossimi anni una parte sempre crescente della popolazione terrestre attraverso un processo di modernizzazione ed industrializzazione. Il grande flusso di persone che oggi si sposta dalla campagna verso i centri urbani continuerà per decenni, sempre secondo le stime delle Nazioni Unite, e riguarderà soprattutto i paesi cosiddetti "emergenti" e la realtà asiatica. Questo fenomeno non è attribuibile unicamente al richiamo delle opportunità economiche delle città ma anche dalla perdita di terreni coltivabili e dal degrado di campi e pascoli dovuto allo sviluppo industriale, all'inquinamento, ed all'acquisto di terreni fertili a fini speculativi da parte di soggetti estranei alle comunità rurali.

Tra il 2011 ed il 2050 è previsto che la popolazione sul pianeta aumenti di 2,3 miliardi passando da 7 a 9,3 miliardi (United Nations 2011), allo stesso tempo la popolazione che vive in aree urbane è prevista aumentare di 2,6 miliardi,

passando così da 3,6 miliardi nel 2011 a 6,3 nel 2050. Quindi è previsto che le aree urbane assorbiranno tutta la crescita di popolazione dei prossimi quattro decenni ed allo stesso tempo attrarranno ulteriore popolazione dalle campagne. Come risultato conseguente si avrà una diminuzione progressiva della popolazione rurale che nel 2050 raggiungerà una decrescita di 0,3 miliardi rispetto all' attuale.

Il processo di intensa urbanizzazione che stiamo vivendo si è avviato agli inizi del ventesimo secolo nei paesi più industrializzati ed ha poi continuato con ritmo sostenuto coinvolgendo il panorama mondiale. Per questo oggi in Europa e negli Stati Uniti si ha la più grande concentrazione di cittadini che vivono in centri urbani, rispettivamente del 73% ed 80%, queste percentuali sono destinate a crescere fino a raggiungere nel 2050 l'82% ed il 90%.

La tendenza maggiore all'urbanizzazione si verifica attualmente in Africa, dove la popolazione urbana è prevista aumentare dai 414 milioni di oggi ad 1,2 miliardi nel 2050, ed in Asia dove l'aumento è stimato da 1,9 miliardi a 3,3 miliardi. I problemi sociali, abitativi e di approvvigionamento energetico sono le sfide maggiori che si pongono davanti a questi aumenti vertiginosi. Anche se a tassi meno significativi la tendenza all'urbanizzazione è prevista aumentare anche nei paesi più industrializzati, tra cui Europa e Stati Uniti, tanto che nel 2050 si prevede che in questi paesi i cittadini residenti nelle città raggiungeranno l'86% della popolazione totale, quindi una concentrazione maggiore rispetto alla media mondiale che si stima invece sarà del 67%.

L'attenzione riguardo al problema urbano si concentra spesso sulle cosiddette "megacities", ovvero centri urbani con popolazioni superiori ai 10 milioni di abitanti, a causa del loro dinamismo e della loro visibilità. Tuttavia le megacities costituiscono solo una piccola parte di ciò che è la questione urbana a livello planetario. Secondo i dati del 2011 esistono attualmente 23 megacities che ospitano solo il 9,9% della popolazione urbana mondiale mentre più del 50% di questa vive in città con meno di mezzo milione di abitanti, il 61% vive invece in città sotto il milione di abitanti che costituiscono dunque il modello di residenza urbana più diffuso sul pianeta.

Le percentuali di distribuzione della popolazione urbana nelle città che hanno categoria di grandezza diversa cambia molto a seconda della regione a cui si fa riferimento. Ad esempio in Europa il 67% degli abitanti urbani vive in cittadine al di sotto del mezzo milione di abitanti e solo il 9,6% vive in metropoli con più di 5 milioni di abitanti.

Da questo quadro, i cui dati sono tratti dal *World Urbanization Prospects* elaborato dalle Nazioni Unite (United Nations 2011), è evidente come la città sia l'elemento centrale attorno a cui ruota il rapporto tra l'uomo e l'ambiente nel terzo millennio. Dall'epoca industriale si è avviato un processo di urbanizzazione vorticoso, non ancora terminato, che ha radicalmente trasformato non solo la conformazione fisica dell'ambiente costruito del pianeta ma anche modelli e stili di vita. Questo processo, insieme al modello industriale di sviluppo, ha portato ad enormi impatti sul pianeta che, evidenziati dalla categoria dell'anthropocene, sono arrivati oggi ad un livello di insostenibilità conclamato. Il pericolo dell'innalzamento climatico oltre i 2° centigradi non è che il più urgente problema da risolvere ma i cicli biologici del pianeta sono sconvolti a tal punto che si stanno verificando cambiamenti drastici e non del tutto prevedibili. Gli ecosistemi naturali che per milioni di anni erano variati ad un ritmo migliaia di volte inferiore a quello attuale sono destinati a portare ingenti cambiamenti nei rapporti socio economici della società, cambiamenti di cui ora riusciamo a vedere gli inizi, quali ad esempio il numero in tendenziale aumento dei disastri naturali con il relativo massiccio aumento del capitale economico per farvi fronte (International Disaster Database - Université Catholique de Louvain, Brussels – Belgium 2011). Negli Stati Uniti ad esempio è stato calcolato che tra gli anni cinquanta e gli anni novanta l'esborso assicurativo per fatti climatici si è sestuplicato, fino a raggiungere i 6 miliardi di dollari annui (Mills 2005), in Cina il solo inquinamento atmosferico è responsabile ogni anno della spesa di 50 miliardi di dollari, mentre in Europa la stessa spesa è di circa 70 miliardi di dollari (Geller 2002).

Gli effetti di questo rapido processo di devastazione degli equilibri naturali non sono ancora del tutto noti ma alcuni elementi nel quadro sopra rappresentato sono evidenti e richiedono strategie chiare e definite con cui possano essere affrontati. L'anthropocene ed in particolare il modello di sviluppo seguito alla rivoluzione

industriale ha portato a drammatici inconvenienti non più sostenibili a cui bisogna porre rimedio con una drastica riduzione degli impatti. L'impatto più drammaticamente urgente da ridurre è costituito dalla concentrazione di gas clima alteranti, ed in particolare dell'anidride carbonica, nell'atmosfera. La mancata riduzione della concentrazione di questi elementi nell'atmosfera porterebbe infatti ad un innalzamento climatico con effetti imprevedibili e disastrosi ad iniziare dalla scomparsa degli insediamenti costieri per l'innalzamento del livello degli oceani. Quest'emergenza è accompagnata da un fenomeno correlato ed altrettanto impattante costituito dall'urbanizzazione continua e indiscriminata. Un processo che dalla rivoluzione industriale in poi è stato accompagnato e supportato dall'uso massiccio di risorse fossili. Tutte le città contemporanee devono la loro crescita vertiginosa ed il loro funzionamento all'uso di quantità enormi di combustibili di origine fossile che provengono dall'esterno dei confini urbani, talvolta da migliaia di chilometri di distanza. Questo flusso continuo in entrata e la combustione all'interno dei confini urbani provoca impatti e squilibri ambientali, ma anche sociali ed economici, enormi. Questa dipendenza vitale ed esasperata da fonti energetiche estranee ai contesti urbani è stata sottovalutata per decenni, le metodologie di analisi urbana del novecento hanno per lo più tralasciato la questione energetica urbana (Droege 2006) ma oggi non è più possibile non affrontarne l'insostenibilità.

Il funzionamento delle città contemporanee è una delle principali fonti di emissione di CO₂ sia in modo diretto che indiretto, affrontare quindi la questione dell'urbanizzazione in modo organico e completo, da una nuova prospettiva, cercando un nuovo paradigma di sviluppo, è una necessità del ventunesimo secolo non più derogabile. In Europa in modo particolare, uno dei territori più urbanizzati del pianeta, sono necessarie metodologie che riescano a valutare le strategie comunitarie e valutarne gli effetti a posteriori.

Questa ricerca vuole essere un contributo alla costruzione di metodi di valutazione della sostenibilità ambientale che, in una dimensione europea, riescano a delineare scenari ed obiettivi reali e coerenti con una visione globale egualitaria e democratica della sostenibilità.

2.4. La Città Sostenibile

Se la definizione della sostenibilità ambientale in quanto tale è molto discussa e di difficile sintesi ancor di più lo è la definizione di sostenibilità urbana, ovvero quali sono le caratteristiche, le peculiarità, le dinamiche o le tecnologie costruttive ed impiantistiche che possono rendere una città sostenibile dal punto di vista ambientale. A questi requisiti andrebbero poi aggiunti anche gli aspetti sociali ed economici che, in un complesso equilibrio dinamico, dovrebbero essere organici e coerenti con i requisiti ambientali così da rendere una città perfettamente inserita nell'ecosistema terrestre, senza traumi, forzature, esaurimento di risorse o deterioramento.

Oggi le città sono al centro del dibattito sulla sostenibilità in quanto ospitano la maggioranza della popolazione terrestre e sono in continua espansione come, illustrato nei paragrafo precedente. Tuttavia la superficie coperta dai centri urbani è molto limitata, corrisponde a circa il 2% della superficie terrestre e nonostante l'espansione continua delle città continuerà anche in futuro ad essere una minima parte della superficie terrestre. Ciò nonostante i centri urbani sono i nodi di maggior consumo di risorse del pianeta. Come sempre più spesso viene affermato la grande sfida al contenimento del cambiamento climatico del pianeta si gioca in gran parte nelle città, è lì che vanno attuate politiche, strategie e progetti di rinnovamento.

Le città sono il centro della crescita economica, delle relazioni sociali, e conservano il bagaglio culturale delle conquiste umane ma allo stesso tempo sono nodi di puro consumo, agiscono come buchi neri entropici della società industriale (Rees 1999). Attraverso la fornitura di cibo, energia, materie prime e territorio per i bisogni delle città il genere umano si è trasformato in una forza ambientale di proporzioni planetarie e le città si sono trasformate nell'ultimo secolo nel fenomeno centrale attorno a cui ruota l'umanità (Newman 2008). Tuttavia proprio per questo in questi territori spazialmente limitati in cui si concentra gran parte dell'umanità vi sono le più grandi opportunità per i cambiamenti necessari per la transizione verso una società sostenibile.

Verso la metà degli anni novanta la ricerca della sostenibilità in ambito urbano si diffonde a livello globale ed assume contorni multidisciplinari, investendo sia la comunità scientifica sia il mondo accademico sia le istituzioni locali e nazionali.. Sin dalla Conferenza di Rio nel 1992 e poi nel *World Cities Summit* del 1996 il ruolo delle città nella crisi dell'ambiente globale è apparso nell'agenda politica, anche se inizialmente con una posizione di secondaria importanza e rivolto più agli addetti ai lavori che non agli organismi decisionali. Soprattutto negli ambiti scientifici e accademici il tema dell'insostenibilità del modello attuale di città, interamente basato sui combustibili fossili, inizia ad essere tema ampiamente dibattuto ed assume una posizione centrale e prioritaria verso la metà degli anni novanta. In particolare sono pubblicati due testi di diffusione mondiale che si interrogano per la prima volta su come sia possibile riconvertire le città: "The Gaia atlas for cities" di Herbert Girardet pubblicato nel 1992 e "Small Cities for a small planet" dell'architetto Richard Rogers pubblicato nel 1995. Gli autori di questi due volumi affrontano per la prima volta il tema della trasformazione e gestione urbana in una prospettiva sostenibile concreta, organica e realizzabile. La città ideale non è più vista nella tradizione utopica di tradizione rinascimentale, nonché poi ottocentesca, come un organismo nuovo, perfetto, progettabile e realizzabile dal nulla, bensì invece come possibile trasformazione dell'esistente con una forte attenzione all'equilibrio delle dimensioni ambientali sociali ed economiche.

Un interessante idea di città sostenibile è quella definita dall'architetto Peter Droege, autore della "Città rinnovabile" pubblicato nel 2006, una delle riflessioni più dettagliate sulla sostenibilità urbana e sulla necessaria transizione delle metropoli attuali. Secondo Droege, una città sostenibile, e dunque completamente rinnovabile, è una città che innanzitutto non usa combustibili fossili o nucleari per il funzionamento e l'alimentazione di se stessa e neanche come energia contenuta all'interno dei materiali da costruzione di cui è costruita o con cui sono costruite le sue infrastrutture e i mezzi di trasporto. Droege si prefigura una realtà di ambiti urbani in cui i piccoli insediamenti rurali son capaci di fornire un surplus di energia rinnovabile alle città più grandi ed all'economia, e tutto questo attraverso un processo di transizione dei processi economici e sociali che garantisca equilibrio, giustizia ed eguaglianza (Droege 2010).

Non esiste un'unica metodologia per l'analisi e la gestione della transizione delle attuali città verso insediamenti a basso impatto. Moltissimi sono i fattori che incidono sul cambiamento, e richiedono dunque soluzioni e strategie diverse. Innanzitutto il clima e le risorse locali sono fattori guida per qualunque processo di sostenibilità e vanno quindi analizzati dettagliatamente prima di intraprendere qualunque azione rivolta al cambiamento. Inoltre sono da prendere in considerazione i rapporti tra la città e l'ambiente circostante, la sua dipendenza dal sistema globale del commercio la struttura ed il livello di coinvolgimento della società civile. Tutti questi fattori rendono la definizione ed il perseguimento della città sostenibile un processo molto complesso e soprattutto dinamico.

Un fattore di forte impatto che è però comune a tutti gli insediamenti urbani, ed in modo particolarmente evidente alle metropoli dei paesi industrializzati, è la passività della città, la sua dipendenza da territori esterni. Una dipendenza che si è andata ad acuire dall'inizio della rivoluzione industriale in poi ed ha oggi raggiunto livelli non più sostenibili ed è pertanto la criticità principale che deve essere affrontata nelle politiche urbane rivolte alla transizione. La città è un organismo dipendente da altri territori per la sua stessa definizione, ad iniziare dalla dipendenza alimentare per proseguire poi con quella energetica (Rees 1996), tuttavia il controllo degli impatti è possibile proprio attraverso il controllo e la gestione degli equilibri della sua dipendenza da elementi esterni. Sino ad ora i flussi in entrata ed in uscita dalla città non sono stati mai tenuti in considerazione nei processi di pianificazione urbana, l'ambiente è sempre stato considerato una risorsa infinita da cui la città poteva attingere liberamente risorse e riversare rifiuti senza soluzione di continuità. Una visione dello sviluppo urbano che deriva direttamente dalla concezione economica dell'epoca industriale in cui l'economia fluttua libera in una crescita continua priva di alcun limite o di costrizione ambientale (Daly 1986). Al contrario la sostenibilità della città è da perseguire proprio attraverso la ricerca degli equilibri tra insediamenti e territori, tra riserve di risorse e capacità di assorbimento dei rifiuti da parte dei territori in cui le città sono inserite. La sostenibilità urbana va quindi fondata sulla consapevolezza della necessità di un equilibrio tra gli insediamenti urbani ed il resto del pianeta,

andando a ricercare e ristabilire un rapporto olistico che restituisca un equilibrio tra gli insediamenti ed il resto del pianeta.

Nel corso degli ultimi trent'anni diversi sono stati gli approcci attraverso i quali la comunità scientifica, il mondo accademico, ed alcune tra le amministrazioni locali più avanzate hanno cercato di affrontare i devastanti impatti provenienti dal funzionamento e dall'espansione degli insediamenti urbani contemporanei. L'approccio più seguito e diffuso è stato quello prestazionale, seguito in particolare dai numerosi metodi di certificazione della sostenibilità urbana che ultimamente sono stati introdotti sul mercato (*Leed Neighborhood, Breeam Communities, Casbee for urban Area* tra i più noti). Queste metodologie di valutazione sono basate in gran parte su indicatori qualitativi, incoraggiano quindi le buone pratiche ma non hanno un controllo quantitativo della riduzione degli impatti ambientali che da queste derivano. Ad esempio attrezzare un distretto con piste ciclabili è considerato in questo tipo di certificazioni un fattore a vantaggio della sostenibilità, quindi valutato positivamente, ma non è invece preso in considerazione quante emissioni di CO₂ possono in realtà evitare le piste ciclabili o a che effettiva diminuzione dei consumi di carburanti possono portare. Gli strumenti di certificazione utilizzano nei contesti urbani metodologie desunte dagli strumenti di certificazione della sostenibilità degli edifici e pertanto basati su una semplificazione talvolta eccessiva e su di un riduzionismo della complessità delle dinamiche che spesso è fuorviante nei risultati. Inoltre per la loro struttura gli strumenti di certificazione spingono progettisti e pianificatori a concentrarsi sulla presenza di tutta una serie di fattori e requisiti tecnici piuttosto che invece sulle relazioni dei processi dell'abitare e sulla loro complessità (Owen 2010).

Oltre agli strumenti di certificazione, basati su un approccio esigenze-requisiti-prestazioni applicato all'interno del sistema edilizio, negli ultimi anni si sono moltiplicati gli studi e le ricerche che hanno affrontato il tema della complessità urbana in modo più vasto ed organico, cercando di leggerne i funzionamenti ad una scala maggiore rispetto a quella dei singoli edifici o dei singoli elementi (Berrini 2010, Bosio 2010, Carpinelli 2008, Dematteis 2005, Diappi 2000). Un nuovo tema di analisi urbana che, fino agli inizi degli anni novanta, era stato

incredibilmente trascurato ma che è invece imprescindibile se il fine è quello di capire il funzionamento urbano per diminuirne gli impatti.

Uno degli studi più interessanti riguardo alla misurazione e valutazione della sostenibilità di un centro urbano e dei suoi impatti riguarda l'area della Greater Londra, che con i suoi 7,4 milioni di abitanti costituisce la più grande e popolata area urbana dell'Unione Europea (Chambers 2002). Questo studio cerca infatti di catalogare l'energia ed i materiali consumati da Londra e dai Londinesi e di mappare, dove possibile, i flussi di queste risorse (*Fig. 2*).

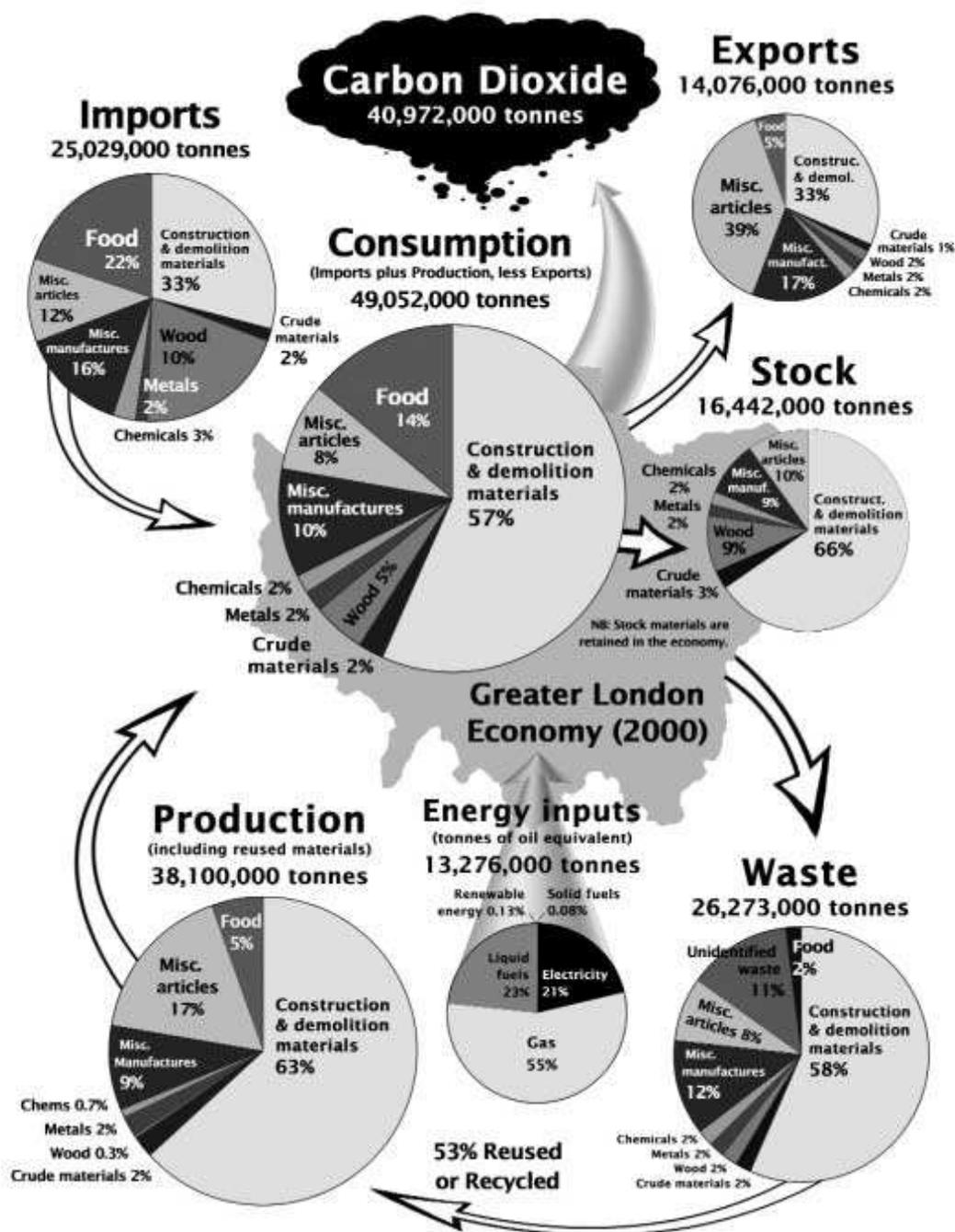


Figura 2. Riassunto dei flussi di materia ed energia attraverso Londra nell'anno 2000 (City Limits - A resource flow and ecological footprint analysis of Greater London – Chambers 2002)

Il metodo dell'impronta ecologica è poi usato per effettuare una valutazione del grado di sostenibilità della metropoli, mettendo a confronto e quantificando il territorio necessario al metabolismo di Londra con il territorio necessario al

metabolismo di altre regioni. Le conclusioni dello studio ritraggono la metropoli londinese come un'enorme organismo parassita rispetto al territorio circostante. La città di Londra è rappresentata attraverso il suo impatto ambientale che, misurato con l'impronta ecologica, si ripercuote sia a scala globale che locale. La quantità di energia e materiali assorbita dalla città, e i relativi rifiuti espulsi, sono così ingenti da determinare un'impronta ecologica di 49 milioni di ettari globali che equivalgono a 42 volte la biocapacità dell'area londinese ed a ben 293 volte la sua area geografica. Questo significa che per il solo funzionamento dell'area londinese è necessaria un'area equivalente a due volte l'intera superficie della Gran Bretagna. E' quindi evidente che gli impatti della metropoli londinese non solo si riversano sulla città e sui confini limitrofi ma anche su territori molto lontani compresi in una scala globale. Per rientrare nel concetto di sostenibilità espresso dal metodo dell'Impronta Ecologica i londinesi dovrebbero ridurre la loro impronta dell'80%, una cifra irraggiungibile se non con un cambio radicale di paradigma che porti al rinnovamento di tutti i processi, le dinamiche, gli equilibri che determinano il funzionamento della città. Un altro importante fattore confermato dallo studio sui consumi londinesi è quello relativo al ruolo preminente dell'edilizia e delle infrastrutture all'interno del bilancio dei flussi: i materiali da costruzione costituiscono per massa il maggiore flusso di merci in entrata nell'area metropolitana ed inoltre le abitazioni sono responsabili dei maggiori consumi sia di gas metano sia di elettricità.

Questa ricerca sulla capitale britannica offre un interessante punto di vista sulle complesse dinamiche dei processi urbani, inoltre è una prova del fatto che i dati attuali attualmente disponibili riguardo al funzionamento dei grandi centri urbani sono ampiamente sufficienti per dimostrare la forte insostenibilità delle grandi metropoli e di conseguenza il loro enorme impatto devastante sugli equilibri eco sistemici.

Nello studio sui flussi che attraversano l'area londinese come nelle ricerche che tentano di quantificare gli impatti dei centri urbani gli indicatori ambientali assumono un ruolo centrale, è infatti proprio su questi che sono fondate le diverse metodologie di lettura degli impatti, dei consumi, delle emissioni degli insediamenti urbani. L'implementazione di nuovi indicatori mirati alla comprensione della

sostenibilità urbana permette infatti la lettura di fenomeni e processi in atto sino ad ora inediti ma particolarmente interessanti per una comprensione più esaustiva della città contemporanea.

Proprio per questo in qualunque approccio alla sostenibilità non si può prescindere dall'iniziare con una definizione precisa e metodologica di un set di indicatori.

2.5. Criticità nella definizione degli indicatori per la sostenibilità

Una delle criticità più principali inerente gli indicatori della sostenibilità è data dal fatto che non esiste ancora un quadro certo e definito rispetto al concetto di sostenibilità e dunque alle strade percorribili per raggiungerla. Questa indeterminatezza fa sì che anche gli indicatori non siano chiaramente definiti. Nonostante il ruolo degli indicatori della sostenibilità sia ritenuto globalmente fondamentale sin dalla redazione dell'Agenda 21 (un piano volontario non vincolante di buone pratiche sulla sostenibilità elaborato dalle Nazioni Unite nel 1992) non si ha ancora oggi, dopo oltre due decenni, una struttura coerente e costante nel tempo che inquadri una serie di indicatori certi e condivisi che costituiscano la base di riferimento per ogni progetto o processo che ambisca ad essere sostenibile. Al contrario, sistemi di indicatori, indici, unità di misura e tecniche di monitoraggio vengono invece spesso create arbitrariamente con la finalità di raggiungere taluni obiettivi piuttosto che altri. Proprio per questo negli ultimi anni il numero degli indicatori di sostenibilità si è moltiplicato. Da una parte gli indicatori che si rifanno al concetto di "sostenibilità debole" si sono concentrati nel tentativo di trasformare il prodotto interno lordo in un nuovo indicatore di sostenibilità, dall'altra gli indicatori inerenti la "sostenibilità forte" hanno gravitato intorno al concetto di capitale naturale, ovvero quella quota di capitale ambientale che non può essere sostituita da altre quote di capitale per svolgere le stesse funzioni (Brandon, Lombardi 2005).

Gli indicatori usati negli strumenti di certificazione e spesso nella valutazione di politiche e programmi sono in gran parte indicatori di strategia, dunque rivolti a verificare l'esistenza o meno di alcune peculiarità o la rispondenza di taluni requisiti piuttosto che non a misurare una grandezza o una particolare performance. D'altro canto il programma di Agenda 21, da cui si è avviata la problematica degli indicatori di sostenibilità, era incentrato sulle strategie più che non sulla misurazione delle performance. Pertanto nei set di indicatori attualmente usati la presenza di elementi ad alta efficienza energetica o di tecnologie ecologicamente innovative viene monitorata e valutata generalmente con più peso rispetto ai consumi reali di energia.

Un'altra delle maggiori criticità riguardo all'elaborazione ed all'applicazione degli indicatori inerenti la sostenibilità è che spesso vengono studiati "ad hoc" per monitorare un determinato fenomeno o valutare l'efficacia di una certa scelta strategica, senza essere inseriti in un quadro di riferimento preciso e senza un'idea di sostenibilità largamente condivisa che li supporti (Bossel 1998, Lombardi 2009). La maggior parte degli indicatori attualmente usati sono stati sviluppati dai Governi o da organismi intergovernativi per i loro specifici fini e bisogni, questo processo ha grande rilevanza politica ma spesso non coglie le trasformazioni che effettivamente stanno avvenendo alla base della società.

Nella ricerca di indicatori rivolti alla valutazione della sostenibilità sorgono alcune criticità tuttora irrisolte. Ad esempio se da una parte vi è la necessità di una serie di indicatori strutturati e condivisi a livello globale, in modo da essere comparabili ed utilizzabili in diversi contesti con la stessa efficacia e significato, dall'altra è difficile applicarli nei processi verso la sostenibilità che sono invece decentrati, differenti nelle pratiche e nelle strategie, in continuo mutamento e senza alcun ordine o gerarchia predeterminata (Lombardi 2007).

Il capitolo 40 di Agenda 21 riconosce che gli indicatori che misurano singole emissioni di inquinanti non forniscono un chiaro dato sugli impatti globali, non sono né sufficienti né indicativi, ed esplicita la necessità dell'elaborazione di indicatori che riescano a cogliere gli effetti che diversi inquinanti, interagendo tra loro, possono avere sugli ecosistemi naturali nel breve e nel lungo periodo. Da allora numerosissimi indicatori, strumenti e set di indicatori sono stati elaborati,

sperimentati, applicati a nessuno di questi si è ancora affermato come punto di riferimento e guida. La loro integrazione nei processi decisionali e di pianificazione è appena agli albori, presenta ancora enormi lacune ed incertezze metodologiche ed inoltre è spesso soggetta ad una totale mancanza di volontà politica.

Gli indicatori della sostenibilità dovrebbero essere innanzitutto uno strumento per rispondere ad alcune questioni centrali riguardo la sostenibilità, il suo rapporto con i contesti urbani, e le strategie ed i processi necessari per la transizione verso una società a basso impatto.

I problemi aperti e tuttora insoluti, nonostante siano ormai stati evidenziati dalla comunità scientifica da una ventina d'anni (Rees 1992), potrebbero essere sintetizzati in tre domande fondamentali a cui è necessario fornire una risposta per dirigersi verso un percorso coerente di transizione, gli indicatori dovrebbero avere proprio il compito di tracciare questo percorso. La prima questione è inerente a quali siano le condizioni ecologiche necessarie per la sostenibilità urbana e se queste siano condizioni che vengono attualmente controllate, gestite monitorate o semplicemente fungano da corollario per scelte politiche focalizzate sul progresso, la crescita e la competizione. La seconda domanda è inerente il deterioramento dell'ambiente ed il conseguente cambiamento climatico, è necessario chiedersi se ancora oggi sia ragionevole parlare di sviluppo urbano sostenibile senza considerare le implicazioni del fatto che tutte le regioni urbane simultaneamente si affidano alla produttività ecologica di qualche altro luogo. Infine date le considerazioni sulla capacità di carico e sul capitale naturale bisognerebbe identificare quali sono le forme urbane e la scala spaziale a cui far riferimento nelle future trasformazioni urbane.

In questa ricerca viene analizzata la sola sostenibilità ambientale, dal momento che qualunque ipotesi di sostenibilità, perché possa dirsi tale, deve esser supportata da un saldo, coeso, coerente e solidale contesto economico e sociale è evidente che questa ricerca si pone come un contributo parziale alla definizione della sostenibilità urbana. Gli aspetti qui analizzati non ne sono che una piccola componente che va poi relazionata, strutturata e resa organica alle altre dimensioni ambientali nonché sociali ed economiche. Tuttavia il contesto ambientale, in una visione entropica del funzionamento degli insediamenti,

contiene il conteso sociale ed economico, non ne è esterno ed assume quindi una valenza prioritaria.

Dagli studi ecologici di Odum (Odum 1971, 1996) a quelli economici di Georgescu-Roegen (Georgescu-Roegen 1971), per proseguire con quelli socio economici di Daly (Daly 1991) è evidente come la dimensione ambientale non è una dimensione esterna ai contesti sociale ed economico con cui ha relazioni obbligate, ma piuttosto è una dimensione che li contiene ed in un certo senso ne è anche il limite. Da questo punto di vista è in errore la classica rappresentazione grafica degli equilibri della sostenibilità che vede tre insiemi (ambientale, sociale ed economico) di eguale dimensione e gerarchia, separati tra loro ed uniti da un equilibrio di relazioni. Al contrario l'insieme ambientale contiene al suo interno tutte le relazioni economiche e sociali che non potrebbero aver luogo se non in una dimensione fisico spaziale ben precisa che è appunto quella ambientale (Hart 2002). Proprio le complesse relazioni economiche e sociali che si sviluppano all'interno dell'insieme ambientale sono alla base di qualunque tentativo di costruzione della sostenibilità.

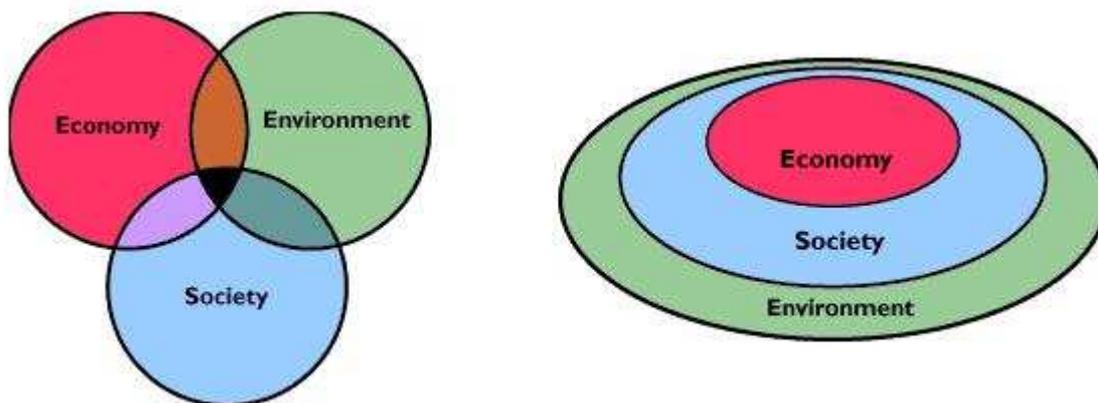


Figura 3. Confronto tra la rappresentazione "classica" della sostenibilità e quella proposta da Maureen Hart in cui l'economia e la società sono interne e supportate dall'ecosistema ambientale

Come illustrato nel secondo paragrafo di questo capitolo il più urgente e drammatico degli impatti ambientali oggi è costituito dall'emissione di gas clima

alteranti nell'atmosfera, gran parte di questo impatto proviene dal comparto energetico e gran parte dei consumi energetici avvengono negli insediamenti urbani. Come riportato dai dati delle Nazioni Unite prima illustrati (United Nations - Department of Economic and Social Affairs, 2012) gli impatti più ingenti non sono dati tanto dalle megalopoli in continua fase di crescita bensì dalle numerose cittadine di medie dimensioni che si stanno moltiplicando sul pianeta e che costituiscono il tipico tessuto europeo.

3. Efficienza, risparmio energetico ed energia rinnovabile nelle politiche europee per l'ambiente costruito

Il settore dell'ambiente costruito ed in particolare delle abitazioni è da sempre uno dei settori più energivori, sia nei contesti urbani che extra urbani. L'energia richiesta è andata via via aumentando nel corso dei secoli, con una fortissima crescita negli ultimi cent'anni, sia per il cambiamento degli stili di vita, sia per la dimensione delle abitazioni, sia per l'aumento della popolazione.

Oggi in Europa il settore edilizio, intendendo con questo termine tutti gli edifici per residenze e servizi pubblici e privati, consuma circa il 40% del totale dell'energia finale consumata sul territorio europeo, il solo settore residenziale è responsabile di circa il 27% dei consumi (Elaborazione dati Eurostat 2010).

Dal momento che il settore dell'energia è uno di quelli maggiormente impattanti per l'ambiente, in particolare è responsabile del 38% delle emissioni di anidride carbonica (Eurostat 2008), è evidente che il consumo energetico nelle abitazioni sia una questione prioritaria da affrontare nella ricerca di un'edilizia che sia sostenibile.

Proprio per la loro forte richiesta energetica le abitazioni europee sono responsabili da sole del 26% dell'emissione di anidride carbonica in Europa (Eurostat 2008). Questo dato è aggravato dal fatto che la percentuale di energia rinnovabile è ancora molto bassa sul totale consumato da un'abitazione media europea. Dunque il problema principale che si pone è di diminuire considerevolmente i consumi ed aumentare contemporaneamente la produzione di energia rinnovabile con il fine di ottenere impatti ambientali minori o ancora meglio nulli. Questa necessità non è solo di interesse europeo ma investe il mondo intero, pertanto è necessario che le scelte rivolte a diminuire gli impatti ed

aumentare la sostenibilità abbiano uno sviluppo ed un'applicazione a livello locale ma siano sempre coerenti con i più vasti orizzonti globali.

Numerosi sono gli scenari elaborati negli ultimi dieci anni che prefigurano strategie per una drastica riduzione dei consumi ed un parallelo aumento delle energie rinnovabili con il fine di contenere l'innalzamento climatico. Ad esempio lo "Scenario 450" del *World Energy Outlook 2009*, che prefigura di riuscire a raggiungere sul lungo termine una concentrazione atmosferica della CO₂ di 450 ppm così da avere una probabilità del 50% di contenere l'aumento della temperatura media globale entro 2 gradi centigradi, prevede una crescita della quota delle fonti rinnovabili nella produzione mondiale di energia elettrica dall'attuale 18% al 37% nel 2030. Le sole fonti non-idroelettriche crescono in questo scenario dal 2% attuale al 18%. Nello "Scenario 450" il 23% della riduzione delle emissioni al 2030 rispetto allo scenario di riferimento è dovuta alle fonti rinnovabili (incluso un 3% dai biocombustibili per il trasporto) che danno quindi il secondo contributo più importante alla riduzione delle emissioni dopo l'efficienza energetica. E' da sottolineare che questo scenario non è riferito ad una idillica sostenibilità ma solamente a contenere l'aumento della temperatura media globale al di sotto di un livello che altrimenti creerebbe impatti ambientali drammatici e difficilmente prevedibili (IPCC 2007).

Di fronte a questa prospettiva è dunque urgente e necessario che sia gli organismi sovranazionali, sia i governi nazionali che le amministrazioni locali, elaborino, di comune accordo, piani di intervento urgente basati su chiare strategie d'intervento e politiche sia nel settore pubblico che in quello privato. E' inoltre necessario che i risultati e gli obiettivi di queste politiche siano attentamente e costantemente monitorati con il fine di effettuare periodicamente una valutazione atta a cambiare o correggere eventuali percorsi intrapresi che si rilevassero non efficaci o addirittura controproducenti.

Fin dalla fine degli anni ottanta gli approcci scientifici all'edificio sostenibile hanno spesso seguito la teoria della cosiddetta "Trias Energetica" (Van den Dobbelen 2008, Lysen 1996) una strategia basata su tre azioni fondamentali da compiersi in qualunque processo rivolto alla sostenibilità dell'ambiente costruito: 1) aumentare l'efficienza energetica, 2) soddisfare le richieste usando

energia rinnovabile, 3) sopperire la restante domanda con energia non rinnovabile usata in modo efficiente e pulito (Lysen 1996). Il primo passo va qui inteso con la finalità principale di diminuire i consumi, piuttosto che non di aumentare la produzione di beni o servizi, e potrebbe quindi comprendere non solo la componente tecnologica ma anche quella relativa ai comportamenti ed agli stili di vita rivolti ad una maggior frugalità energetica. La diminuzione dei consumi, e quindi del carico energetico richiesto, dovrebbe poi permettere, passando al secondo punto, di soddisfare l'intera richiesta con le sole energie rinnovabili lasciando all'energia proveniente da combustibili fossili il compito di sopperire ai picchi di domanda. E' quindi evidente che in questa strategia assume un ruolo fondamentale l'investimento finanziario e culturale nelle rinnovabili, fino ad ora relegate ad un posto marginale nel panorama energetico mondiale, che dovrebbero andare di pari passo con l'aumento dell'efficienza energetica. Parallelamente vanno avviate politiche per il risparmio energetico che riescano progressivamente a contenere e ridurre i consumi in modo che siano più facilmente soddisfabili con le sole rinnovabili.

Nonostante questa teoria sia ormai ritenuta valida e condivisa a livello unanime, sia nella comunità scientifica sia in larghi strati dell'opinione pubblica, nonostante sia stata da guida per la ricerca e lo sviluppo tecnologico degli ultimi decenni, i risultati raggiunti nel concreto, analizzati nei paragrafi seguenti, dimostrano che i tre passi teorizzati sono stati raramente compiuti con pari peso ed importanza nella realtà dell'ambiente costruito, nello sviluppo dei centri urbani e nei nuovi insediamenti. In particolare il primo ed il terzo punto, ovvero l'efficienza energetica e l'uso più efficiente e pulito dell'energia non rinnovabile, hanno assunto un ruolo centrale sia nelle politiche pubbliche che nel mercato delle costruzioni relegando l'energia rinnovabile ad un posto secondario, quando non ad una totale assenza. Questo squilibrio ha portato forti scompensi nell'efficacia della cosiddetta "Trias Energetica", inficiandone gli obiettivi ed evidenziando come la valutazione delle strategie e della loro efficacia unita al monitoraggio attento dei risultati siano un elemento centrale del processo di transizione verso la sostenibilità.

3.1. Le politiche energetiche dell'Unione Europea: la strategia "20 20 20"

Per far fronte alla limitazione delle emissioni, al risparmio energetico ed all'aumento della quota di energia rinnovabile, l'Unione Europea ha deliberato ed attuato numerose politiche che, al momento, convergono nella cosiddetta strategia del "20-20-20". Questa consiste in tre obiettivi che, attraverso una complessa serie di politiche attuate dagli stati membri, dovrebbero essere raggiunti entro il 2020. Il primo consiste nella riduzione del 20% delle emissioni di CO₂ rispetto ai livelli del 1990, il secondo è l'aumento dell'efficienza energetica con il fine di conseguire un risparmio del 20% del consumo totale di energia ed il terzo è dato dall'incremento della quota del consumo energetico proveniente dalle energie rinnovabili fino a raggiungere la quota del 20% sul totale dell'energia consumata.

La riduzione delle emissioni di CO₂ ha come riferimento, in sintonia con il protocollo di Kyoto, il livello di emissioni del 1990, e dunque la diminuzione del 20% è riferita a quell'anno. Il secondo obiettivo, la riduzione del 20% dei consumi, è stato fissato nel 2007. Il Consiglio europeo dell' 8-9 marzo 2007 ha definito l'obiettivo come il risparmio del 20% dei consumi energetici rispetto alle proiezioni di consumo per il 2020, stimate dalla Commissione nel Libro verde sull'efficienza energetica "Fare di più con meno" del giugno 2005. In tale documento, come nel successivo piano d'azione (COM (2006) 545 del 19 ottobre 2006), l'obiettivo chiave di risparmio energetico è legato all'aumento dell'efficienza energetica intesa sia con riferimento all'offerta (produzione, trasporto e distribuzione di calore e elettricità) sia alla domanda (edilizia, apparecchiature, trasporti), e consiste nel ridurre, da qui al 2020, del 20% il livello tendenziale di consumo totale di energia primaria. Dal momento che nell'Energy Efficiency Action Plan (EEAP) del 2006 è stato calcolato che la previsione tendenziale dei consumi per il 2020 si attesta sui 23.260 TWh perché questo obiettivo sia raggiunto nel 2020 sul territorio europeo non dovrebbero esser consumati più di 18.678 TWh, che corrispondono esattamente al 15% in meno dell'energia primaria consumata nel 2005. In altre parole l'Unione Europea deve impiegare tecnologie e strategie da qui ai prossimi otto anni per ridurre i consumi di 4.582 TWh. Questo "Pacchetto Clima ed Energia" è stato condiviso dal Parlamento Europeo e dal Consiglio nel

Dicembre 2007 ed è diventato legge comunitaria nel Giugno del 2009. Tuttavia il Consiglio Europeo non ha reso vincolante l'obiettivo della diminuzione dei consumi così come invece accade per gli altri due obiettivi del 20-20-20, ovvero la riduzione di emissioni di CO₂ ed il raggiungimento del 20% di energia rinnovabile sul totale dei consumi. Dunque l'obiettivo di risparmio energetico è l'unico dei tre per cui non sono previste sanzioni per gli Stati membri nel caso in cui non venga raggiunto, un particolare che lo colloca in secondo piano rispetto agli altri due e che impone un ordine gerarchico alla strategia 20 – 20 – 20.

Riguardo l'obiettivo della riduzione della CO₂ l'Unione Europea ha fatto ulteriori passi avanti elaborando la cosiddetta "Road map 2050" uno scenario europeo e globale riguardo le prospettive energetiche del prossimo futuro. Questo documento delinea possibili strategie per la trasformazione dell'attuale società in un nuovo modello socio economico a basse emissioni di CO₂, in questo scenario la proposta è di arrivare a ridurre dell'80 – 95% le emissioni entro il 2050 (COM(2011) 112 final).

Nonostante i buoni propositi della Road Map 2050 riguardo al taglio delle emissioni clima alteranti il secondo punto della strategia 20 - 20 - 20, ovvero il risparmio di più di 4.500 TWh annuali entro l'anno 2020, non sarà probabilmente raggiunto rendendo molto più ardua la sostenibilità energetica europea.

Dalle prospettive delineate dall' *Energy Efficiency Action Plan* (EEAP) del 2011 si prevedono per il 2020 risparmi di 1.105 TWh grazie alle attuali politiche sull'efficienza energetica, di 233 TWh grazie alle politiche sulle energie rinnovabili e di 814 TWh dovuti alla crisi economica, per un totale di 2.152 TWh, dunque un risultato assai lontano dai previsti 4.582 TWh della strategia 20 – 20 – 20. Pertanto si prevede che la riduzione dei consumi, pur tenendo conto della crisi economica che certo non può essere contemplata nelle strategie per una società a basse emissioni, non sarà superiore al 9%, come riportato dal documento "Impact Assesment" (SEC(2011) 277 final). Lo stesso documento stima che per raggiungere l'obiettivo prefissato sarebbe necessario triplicare gli investimenti e le politiche sin ora messe in atto. E' importante ricordare che il taglio dei consumi energetici vorrebbe anche dire eliminare l'emissione di 740 Mt di CO₂ per cui non raggiungere quest'obiettivo ha tra gli impatti principali il fatto di rendere più

difficile il perseguimento del primo obiettivo della strategia 20 – 20 – 20, ovvero il taglio delle emissioni.

La diminuzione dei consumi è talmente remota dall'essere perseguita che la Presidenza del Parlamento Europeo del 25-26 Marzo 2010 ha cercato di ridefinire l'obiettivo spiegando che è da intendersi come *“dirigersi verso l'aumento del 20% nell'efficienza energetica”* piuttosto che raggiungere il previsto taglio del consumo, rendendo ancora più debole la legislazione in merito al taglio dei consumi.

Nel settore dell'ambiente costruito le previsioni sono ancora più negative, si stima infatti che procedendo con le attuali politiche ed economie si avrà nel 2020, in riferimento al 2008, un aumento dei consumi del 4,4% nel settore residenziale e dell' 1% nel settore terziario, come previsto dalla relazione *“Impact Assesment”* facente parte dell' *Energy Efficiency Plan 2011* (SEC(2011) 277 final) .

Dunque da questo panorama si deduce che l'Europa si trova in una situazione in cui il continuo aumento dei consumi di energia rende difficile il perseguimento di qualunque politica sulla sostenibilità energetica. Nei prossimi paragrafi vengono analizzate le strategie da cui hanno avuto origine le politiche europee per la sostenibilità energetica e quali sono stati i risultati riscontrati nel settore dell'ambiente costruito.

3.2. L'efficienza energetica nell'ambiente costruito nella normativa europea

Negli ultimi dieci anni l'Unione Europea ha affrontato la questione ambientale in innumerevoli iniziative, normative, regolamentazioni. Il fatto che un organismo sovranazionale potesse coordinare le azioni rivolte alla mitigazione degli impatti ambientali ha dato un forte impulso alla formazione di una cultura ambientale europea fondata su valori condivisi e piani prestabiliti.

Tuttavia le politiche pubbliche sono state rivolte innanzitutto a decretare norme stringenti, vincolanti ed impositive riguardo all'aumento dell'efficienza relegando invece le rinnovabili ad un'opportunità la cui scelta è stata, ed è, supportata da

incentivi finanziari, promozioni e sgravi fiscali, dunque demandata a scelte volontaristiche.

In particolare in Europa con la Direttiva 2002/91/CE sulle prestazioni energetiche degli edifici viene avviata una severa regolamentazione dell'efficienza nell'edilizia, la direttiva è accompagnata da una lunga serie di norme che sanciscono metodologie di calcolo e valutazione omologando i differenti approcci fino ad allora usati. Questa Direttiva per la prima volta nella legislazione europea rende obbligatori dei requisiti minimi di prestazione energetica sia per gli edifici di nuova costruzione sia per gli edifici esistenti soggetti a ristrutturazione. Inoltre vengono presi in considerazione i consumi globali dell'edificio in energia primaria, traducendo i diversi vettori energetici domestici in un'unica dimensione fisica misurabile. L'edificio viene interamente valutato per l'energia impiegata per il riscaldamento ed il raffrescamento degli ambienti, per il riscaldamento dell'acqua e per l'illuminazione, tutti fattori connessi ad un uso standard dell'unità abitativa.

I requisiti minimi prescritti dalla Direttiva 2002/91/CE sono obbligatori e dunque hanno un effetto immediato sia sulle nuove costruzioni, sia sul mercato immobiliare, sia sul patrimonio esistente sottoposto a ristrutturazione. Gli stati membri dell'Unione sono obbligati a recepire tale direttiva sotto forma di norme nazionali che possono eventualmente essere anche più stringenti e severe ma che non possono essere meno vincolanti dei limiti indicati dalla regolamentazione comunitaria.

La Direttiva 2002/91/CE ha dato l'avvio ad una lunga serie di normative europee, nazionali e regionali che, anno dopo anno, stanno trasformando l'ambiente costruito in un settore con un'efficienza in continuo aumento. Nella risoluzione del 31 gennaio 2008, il Parlamento europeo ha invitato a rafforzare le disposizioni della direttiva 2002/91/CE e in varie occasioni, come ad esempio nella risoluzione del 3 febbraio 2009 sul secondo riesame strategico della politica energetica, ha anche chiesto di rendere vincolante l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica del 20 % entro il 2020.

Questo nuovo apparato normativo ha portato una profonda metamorfosi che non ha riguardato soltanto la tecnologia impiantistica ma anche la morfologia e la composizione architettonica sancendo in pochi anni una veloce trasformazione sia

dei materiali e delle tecniche costruttive sia delle forme architettoniche. L'alta coibentazione, la risoluzione dei ponti termici, i serramenti e le vetrate a bassa trasmittanza, le strategie progettuali per ottenere il massimo guadagno solare si sono concretizzate in nuove forme e tipologie architettoniche. Ad esempio elementi compositivi quali le serre solari, ampie falde esposte a sud, balconi ed aggetti staccati dal corpo principale dell'edificio o vetrate schermate sono state fino agli inizi del terzo millennio caratteristiche di un certo tipo di edilizia sperimentale eco compatibile, con l'entrata in vigore delle nuove norme stanno diventando elementi compositivi dell'edilizia comune.

Le recenti politiche e le nuove misure proposte nel piano d'azione europeo si basano sulle consultazioni effettuate per la redazione del Libro verde sull'efficienza energetica "Fare di più con meno" (COM(2005) 265 def.) approvato dall'Unione il 22 Giugno del 2005. I punti principali sollevati nell'analisi e le risposte alle questioni del Libro Verde sull'efficienza energetica fanno riferimento alla necessità di migliorare la disponibilità e la qualità dell'informazione sul consumo di energia e sulle tecnologie e tecniche a basso consumo e sottolineano come l'efficienza energetica nel settore edilizio sia una delle priorità assolute. In questo documento si evidenzia come nel settore residenziale le maggiori opportunità di risparmio siano date dall'isolamento di muri e tetti, mentre per gli edifici commerciali grande importanza riveste il miglioramento dei sistemi di gestione dell'energia. Enormi opportunità di risparmio energetico sono date anche da un miglioramento degli elettrodomestici e di altre apparecchiature che utilizzano energia. L'ambiente costruito è considerato nelle strategie elaborate dall'Unione Europea un settore imprescindibile per il risparmio energetico per il fatto che la sua potenzialità di risparmio sull'uso finale globale di energia è stimata essere del 27% per quanto riguarda l'edilizia abitativa e del 30% per quanto riguardano i servizi, come affermato dal "Piano d'azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità" approvato il 19 Ottobre 2006 (COM(2006)545 definitivo).

Il lungo iter dell'efficienza energetica nell'ambiente costruito avviato dalla Direttiva 2002/91/CE, che promuove nel mondo delle costruzioni e nel relativo mercato immobiliare una forte evoluzione verso tassi di efficienza sempre più alti

giunge, dopo otto anni dall'emanazione della prima regolamentazione, alla Direttiva 2010/31/UE che sancisce l'obbligo a partire dal 2020 per tutti gli edifici costruiti sul territorio dell'Unione Europea di essere ad "energia quasi zero".

La Direttiva esplicita che per edificio ad "energia quasi zero" si intende un edificio ad altissima prestazione energetica, non viene però specificata una quantità massima di consumi la cui regolamentazione viene demandata invece ai vari stati membri dell'Unione. Secondo la Direttiva la prestazione energetica di un edificio è determinata sulla base della quantità di energia, reale o calcolata, consumata annualmente per soddisfare le varie esigenze legate ad un uso normale dell'edificio. Corrisponde al fabbisogno energetico per il riscaldamento ed il rinfrescamento, ovvero l'energia necessaria per evitare un surriscaldamento, che consente di mantenere la temperatura desiderata dell'edificio e di coprire il fabbisogno di acqua calda nel settore domestico. Quest'ultimo atto legislativo, in ordine cronologico, che impone gli edifici ad energia quasi zero pone termine alla corsa verso l'aumento dell'efficienza nelle costruzioni. Se infatti in futuro venisse anche ulteriormente aumentata l'efficienza fino a rendere obbligatoria una tipologia di edifici che non consumano affatto energia dalla rete il risparmio energetico dovuto alla maggiore efficienza sarebbe ormai così risicato da metterne in discussione l'opportunità economica, perlomeno stante le attuali condizioni tecnologiche.

E' evidente che, pur non specificando una precisa tipologia o tecnologia, il riferimento della Direttiva 2010/31/UE agli edifici ad "energia quasi zero" è riferito alle cosiddette case passive che hanno consumi che, nella media europea, si attestano sui 15 kWh/(m² anno) per la climatizzazione invernale, 15 kWh/(m² anno) per quella estiva e su un picco di domanda non superiore ai 10W/m² (Passivhaus Institut 2010). Ovviamente il carico energetico è determinato dai Gradi Giorno e dunque queste cifre possono variare notevolmente a seconda delle diverse collocazioni geografiche ma il concetto di fondo è che la casa passiva, avendo un notevole isolamento ed una altissima efficienza, riesce ad essere scaldata senza impianti convenzionali ma solamente, ad esempio, attraverso il sistema di ventilazione dotato di scambiatori di calore.

La Direttiva suggerisce anche che il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze, tuttavia non esprime alcun vincolo od obbligatorietà per questo tipo di strategia, lasciando la scelta alla volontà legislativa degli stati membri o all'iniziativa di costruttori, committenti e progettisti.

Nel panorama legislativo europeo delle costruzioni si è quindi passati in poco più di dieci anni da una completa deregolamentazione ad un obbligo di costruire solamente edifici a massima efficienza, tanto efficienti da essere quasi esenti da consumi energetici se paragonati all'edilizia media europea dell'ultimo secolo. Una casa ad energia quasi zero ha infatti un consumo teorico di climatizzazione che arriva ad essere anche dieci volte inferiore al consumo dell'abitazione media del patrimonio edilizio europeo. Basti pensare ad esempio che le abitazioni italiane, che in quanto a consumi energetici si collocano nella media europea, adoperano circa 120 kWh/(m² anno) per il solo riscaldamento e 43 kWh/(m² anno) per i consumi elettrici (Elaborazione dati ISTAT).

Nel settore delle costruzioni, oltre che da questi vincoli normativi, l'efficienza energetica è stata perseguita anche grazie ad altre due direttive molto vincolanti finalizzate ad ambiti diversi: la direttiva 2005/32/CE relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia, e la direttiva 2006/32/CE concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia.

3.3. Le energie rinnovabili nella normativa europea

La regolamentazione delle energie rinnovabili ha inizio in Europa con la direttiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 27 settembre 2001, sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità, seguita poi dalla direttiva 2003/30/CE dell'8 maggio 2003, sulla promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei

trasporti. Queste due normative sanciscono e categorizzano i tipi di energia considerata rinnovabile e elaborano definizioni tecniche che saranno poi usate ufficialmente anche nelle successive regolamentazioni. La direttiva 2003/30/CE, usando il condizionale nel testo ufficiale, proclama che gli Stati membri dell'Unione dovrebbero, provvedere affinché il 5,75 %, calcolato sulla base del tenore energetico, di tutta la benzina e del diesel per trasporti immessi sui loro mercati entro il 31 dicembre 2010, sia composto da bio carburanti. Queste due prime direttive vengono abrogate ed aggiornate da una direttiva più organica e completa che classifica tutte le tecnologie utilizzate per le energie rinnovabili, la Direttiva 2009/28/CE del 5 giugno 2009. Questa sancisce gli obiettivi generali del raggiungimento del 20 % della quota di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia della Comunità e del 10 % della quota di energia da fonti rinnovabili sul consumo di energia per autotrazione in ogni Stato membro entro il 2020, specificando che tale quota è da intendersi come percentuale sull' energia finale da ottenere a partire da fonti rinnovabili in generale e non soltanto da biocarburanti. La Direttiva si occupa anche di tradurre l'obiettivo complessivo comunitario del 20% in obiettivi individuali per ogni Stato membro, viene effettuata una ripartizione in base alla diversa situazione di partenza e delle possibilità dei diversi Stati, compreso il livello dell'energia da fonti rinnovabili nel momento di emanazione della Direttiva e il mix energetico utilizzato. L'aumento totale richiesto dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili tra gli Stati membri è ripartito sulla base di un aumento uguale della quota di ogni Stato membro ponderato in funzione del rispettivo PIL e modulato in modo da tenere conto della situazione di partenza, tutti i calcoli vengono effettuati in termini di consumo finale lordo di energia. Il punto di partenza per i calcoli è il 2005, trattandosi dell'anno più recente per il quale sono disponibili dati affidabili sulle quote nazionali di energia da fonti rinnovabili.

Nonostante nella direttiva venga specificata l'opportunità di fissare livelli minimi per l'uso di energia da fonti rinnovabili negli edifici per il rispetto delle prescrizioni minime di rendimento energetico previste dalla direttiva 2002/91/CE, non viene poi emanata alcuna norma vincolante a riguardo. Tutto viene demandato ai singoli Stati che entro il 31 dicembre 2014, nelle regolamentazioni e nei codici in materia

edilizia, la Direttiva specifica “ove opportuno”, devono imporre l'uso di livelli minimi di energia da fonti rinnovabili in tutti gli edifici nuovi e negli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni rilevanti. Viene specificato che tali livelli minimi possono essere raggiunti anche mediante il teleriscaldamento o il teleraffrescamento prodotti utilizzando una quota significativa di fonti di energia rinnovabile. Oltre a questo rimando non viene fatto altro riferimento alle energie rinnovabili negli edifici, viene solo specificato che dal momento che i sistemi energetici passivi utilizzano la progettazione degli edifici per generare energia, e questa viene considerata energia risparmiata, per evitare il doppio computo, l'energia generata in tal modo non dovrebbe essere presa in considerazione ai fini del calcolo della percentuale di energia rinnovabile.

Dunque ogni politica, iniziativa o strategia per incentivare l'uso di energia rinnovabile ricavata da fonti locali in loco viene demandata agli Stati membri ed alle Regioni. In conclusione a parte gli obiettivi obbligatori del 20 % di energia da fonti rinnovabili sul consumo di energia complessivo della Comunità e del 10 % per quanto riguarda la quota di biocarburanti sul consumo di benzine e diesel per autotrazione entro il 2020, non sono contemplate altre prescrizioni obbligatorie e gli edifici sono esclusi da qualunque regolamentazione. Un approccio molto differente rispetto alla sequenza di Direttive europee sull'efficienza che si sono basate invece su una successione di limiti stringenti ed obbligatori e hanno investito in modo massiccio il mondo delle costruzioni.

A fronte dell'apparato normativo prima analizzato tutto rivolto a supportare ed a promuovere l'efficienza energetica, non si è avuta un altrettanto stringente normativa per la raccolta di energie rinnovabili in sito, ovvero una regolamentazione con quote limite obbligatorie sull'energia rinnovabile all'interno dei consumi dell'ambiente costruito. Il secondo punto della “Trias Energetica” citata all'inizio di questo capitolo è rimasta una voce secondaria nella veloce metamorfosi del comportamento energetico delle costruzioni. L'energia rinnovabile è stata in un certo senso considerata esterna al mondo dell'edilizia mentre, in realtà, la raccolta di energia in sito è sempre più una necessità. Le ricerche più attuali sulla sostenibilità dell'ambiente costruito convergono infatti nell'affermare che l'edificio capace di auto produrre energia è una delle soluzioni da perseguire

per la diminuzione degli impatti e delle emissioni di gas clima alteranti (Droege 2006, Butera 2007, Girardet 2008).

Nonostante la genericità della Direttiva 2002/91/CE oggi esistono molte regolamentazioni, soprattutto a livello locale, che impongono l'uso dei pannelli solare termici per l'acqua calda sanitaria. In genere i regolamenti richiedono che una percentuale minima del consumo annuale di acqua calda provenga da tecnologie di sfruttamento dell'energia solare. Tuttavia l'energia consumata per il riscaldamento dell'acqua costituisce oggi in Europa solo il 12% dell'energia globalmente consumata nelle abitazioni (EEA 2009) per cui gli effetti ottenuti da queste meritevoli regolamentazioni sono poco incidenti nel bilancio energetico complessivo.

Questo squilibrio che vede le rinnovabili come fanalino di coda nelle politiche per la sostenibilità non si verifica solo in Europa ma è un problema di dimensione mondiale. L'incidenza delle energie rinnovabili sui consumi di energia primaria mondiali è infatti ferma al 13% (IEA 2010). Le energie rinnovabili si stanno espandendo rapidamente, ad esempio si stima che nel 2035 il 44% dell'energia elettrica che sarà prodotta in più rispetto ad oggi proverrà da fonti rinnovabili (IEA 2011), tuttavia la loro presenza in confronto con quella dei combustibili fossili continua ad essere minima rispetto all'urgenza delle problematiche ambientali.)

Tra il 1990 ed il 2009 il consumo totale di energia rinnovabile è più che raddoppiato in Europa con un aumento del 116% che corrisponde ad un tasso di crescita annuo medio del 4,1%. L'energia eolica ed il solare fotovoltaico sono stati i settori in maggiore crescita con un aumento, nello stesso periodo, rispettivamente del 31% e del 45,3%, seguiti dal solare termico con un aumento del 12% (EEA 2012). Tuttavia nonostante questa forte crescita l'energia rinnovabile in Europa si è attestata al 12,5 % nel 2010 ed è in continuo tendenziale aumento ma ad un tasso inferiore all' 1% annuo (Eurostat 2010). Questo tasso di crescita mette a rischio l'obiettivo di ottenere il 37% di energia rinnovabile sul totale dei consumi entro il 2030, un obiettivo considerato minimo dall' Intergovernmental Climate Change Panel in quanto offrirebbe una buona percentuale di probabilità di riuscire a contenere l'aumento climatico al di sotto dei 2°centigradi (ICCP 2007).

3.4. Il ruolo delle certificazioni ambientali e la valutazione delle strategie energetiche

I sistemi complessi che regolano la compatibilità ambientale o il basso impatto di un edificio o di una struttura costruita, generano molte difficoltà nel definire oggettivamente e tecnicamente cosa sia l'architettura eco-compatibile e quali siano i mezzi e le tecnologie più appropriate per realizzarla.

Negli ultimi dieci anni, tuttavia, è stata condotta a livello internazionale un'attività di ricerca molto intensa per lo sviluppo di sistemi di valutazione, di metodologie di analisi, di controllo e di misura atte a definire la compatibilità ambientale. I risultati di queste ricerche sono poi stati declinati in sistemi che con un approccio esigenziale – prestazionale mirano ad attribuire una certificazione energetico ambientale agli edifici. Questi sistemi sono nati con la doppia finalità di aumentare il numero di nuovi edifici e di ristrutturazioni con un livello di compatibilità ambientale maggiore della media e di permettere agli utenti e agli investitori di ottenere un'indicazione precisa della prestazione dell'edificio. Uno degli effetti del sistema delle certificazioni è anche quello di definire in modo più oggettivo, sia nell'ambito della ricerca sia all'interno del mercato immobiliare, in che cosa consiste la qualità ambientale di una costruzione. Negli ultimi anni numerose istituzioni governative hanno iniziato a considerare questi sistemi sia come uno dei metodi più efficaci per spingere il mercato immobiliare verso una maggiore sostenibilità e verso più elevati standard qualitativi, sia come uno strumento per evidenziare o valorizzare la sensibilità ai temi ambientali delle Amministrazioni Pubbliche, in particolare riguardo agli edifici di proprietà pubblica o finanziati con fondi pubblici. Parallelamente il mercato immobiliare è sempre più spinto a ricercare nella certificazione un valore aggiunto per la quotazione degli edifici ed a considerare la certificazione come uno strumento di marketing grazie alla crescente consapevolezza nell'opinione pubblica dell'emergenza ambientale e della necessità del risparmio energetico. Questi fattori, insieme agli investimenti di molte società private, hanno portato ad una rapida diffusione delle certificazioni nonostante ancora oggi riguardino solo una minima parte del patrimonio immobiliare esistente.

Dunque al forte apparato normativo descritto nei paragrafi precedenti, improntato più verso il miglioramento dell'efficienza energetica che non verso la transizione ad una società basata sull'uso delle energie rinnovabili, si è aggiunta l'incentivazione verso la sostenibilità dell'edificio portata dall'introduzione delle Certificazioni ambientali. I sistemi di valutazione delle prestazioni energetico-ambientali per l'ambiente costruito utilizzano indicatori di sintesi, di tipo qualitativo/quantitativo e sistemi di giudizio pesato, rapportati a valori di riferimento *benchmarks*, che sono definiti tramite l'assegnazione di punteggi. Le certificazioni ambientali costituiscono un sistema volontario e basato sul consenso, per la progettazione, costruzione e gestione di edifici sostenibili ad alte prestazioni; possono essere utilizzate su ogni tipologia di costruzione e promuovono un sistema di progettazione integrata che riguarda l'intero edificio. Negli ultimi anni le certificazioni ambientali sono state elaborate per aumentare la scala di analisi e oggi sono anche rivolte alle dimensioni del quartiere o del distretto urbano.

Attualmente esistono decine di sistemi e metodologie per la certificazione energetica ambientale degli edifici, tutte sono comunque basate su un metodo che premia l'utilizzo delle tecnologie per il risparmio nel consumo delle risorse, questo ha permesso una rapida diffusione nell'edilizia e la commercializzazione nel mercato immobiliare di tutta una serie di tecnologie atte alla diminuzione degli impatti ambientali che solo fino a pochi anni fa erano destinate ad edifici sperimentali o dimostrativi.

Gli strumenti di certificazione hanno avuto origine nei paesi più industrializzati e si sono sviluppati parallelamente nel corso degli anni fino ad essere alquanto simili nelle metodologie di calcolo nonostante le differenti aree geografiche da cui provengono. I metodi più evoluti a livello internazionale sono : il *BREEAM* (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method* - Regno Unito), il *LEED* (*U.S. Green Building Council* – Stati Uniti d'America), il *GBTool* (*Green Bulding Challenge* - Canada) ed il sistema *CASBEE* (*Japan Green Building Council/ Japan Sustainable Building Consortium*).

Il sistema *BREEAM* è stato elaborato dall' *EAC* (*Environmental Assesement Consortium*), organizzazione impegnata nel campo della progettazione ambientale e dell'efficienza energetica, in collaborazione con il *BRE* (*Building Research*

Establishment), una delle principali organizzazioni del Regno Unito impegnata nella ricerca nel campo delle costruzioni. Il sistema *BREEAM*, uno dei primi ad avere origine, nasce nel 1990 con la finalità di valutare la compatibilità ambientale degli edifici per il terziario, il *BRE* ha adeguato in seguito lo schema del metodo a molteplici tipologie edilizie creando di conseguenza diverse versioni.

Il sistema *LEED* è stato ideato dall' *EPA – Science and Technology Center* (Kansas City – Kansas) e oggi è gestito dall' *US-GBC (U.S. Green Building Council)*, sezione statunitense dell'associazione internazionale *Green Building Challenge*. Il sistema di valutazione, nato nel 1998, è simile a quello utilizzato dal *BREEAM*, cambiano solo le categorie in cui vengono raggruppati i requisiti, ed i valori di pesatura e punteggio. Il sistema *CASBEE* è invece nato in Giappone ed è rivolto alle condizioni climatiche e geografiche dei paesi asiatici.

Il *Green Building Tool* è un metodo più evoluto e flessibile dei precedenti, è alla base di numerosi altri metodi di valutazione come ad esempio il sistema adottato da molti enti pubblici italiani, denominato *ITACA*. Il *Green Building Tool* è sviluppato dal *Green Building Council* che è un network composto da Istituti ed Enti pubblici e privati appartenenti a più di 20 Nazioni il cui obiettivo è elaborare e sperimentare un metodo per la valutazione della performance ambientale degli edifici che possa divenire in futuro uno standard di riferimento a livello mondiale. Il progetto *GBC* è controllato dall' *iISBE (International Initiative for a Sustainable BuiltEnvironment)*, organizzazione no-profit il cui principale obiettivo consiste nel promuovere l'adozione di politiche, metodi e strumenti per favorire lo sviluppo di un ambiente costruito più sostenibile. L'associazione è stata fondata nel 2000 da un gruppo internazionale di ricercatori attivi nel campo dell'architettura eco-compatibile e conta attualmente rappresentanti di tutti i continenti.

La caratteristica principale, che lo differenzia rispetto ai sistemi precedentemente illustrati, è di non essere legato, per quanto riguarda i valori di riferimento, il mix energetico e le tipologie costruttive, ad una regione geografica specifica. Il *GBTTool* consente infatti l'attribuzione esplicita dei *benchmarks* e dei pesi, in relazione alle condizioni locali in cui è applicato. Queste cambiano in funzione del clima, delle condizioni economiche e culturali, delle priorità ambientali

definite in sede politico-istituzionale, del mix energetico caratteristico della rete di produzione e distribuzione dell'energia.

I sistemi di certificazione ambientale degli edifici hanno avuto il merito di aumentare la consapevolezza ambientale di costruttori, progettisti, professionisti del settore ed anche degli acquirenti delle abitazioni, con il risultato che oggi i nuovi edifici costruiti che hanno una forte visibilità, sia fisica che mediatica, sia per dimensioni sia per la funzione che hanno, sono in gran parte certificati. I sistemi di certificazione inoltre hanno diffuso la conoscenza di metodi di riciclo delle demolizioni attivando quindi filiere per il riutilizzo di macerie o materiali di scarto dei processi edilizi ed hanno contribuito ad aumentare la qualità dei componenti edilizi. Tuttavia presentano forti criticità non ancora risolte, ad esempio svolgono la loro funzione solo quasi nella fase progettuale non occupandosi poi di una valutazione in itinere che possa accompagnare il tempo di vita dell'edificio con le sue trasformazioni e gli eventuali usi diversi rispetto al progetto originario. Le certificazioni, essendo tutte un sistema a punti, spesso spingono i progettisti a sviluppare il progetto con la prospettiva di ottenere il massimo punteggio, e dunque la certificazione, piuttosto che ad organizzare razionalmente strategie e soluzioni per ottenere un basso impatto ambientale nel contesto in cui si trovano ad operare. Spesso in questo modo vengono enfatizzate le tecnologie più sofisticate quando invece un approccio *low tech* porterebbe a risultati più interessanti, economici e adatti al contesto. Un punto di debolezza che accomuna tutti i sistemi di certificazione è che, per effettuare la valutazione, devono obbligatoriamente tracciare un confine che spesso separa il contesto esaminato, sia questo un edificio o un distretto urbano, dal suo intorno, quando invece è necessario che tutti i processi di sostenibilità, perchè siano tali, debbano avere una validità sia locale che globale.

Anche l'impostazione dei sistemi di certificazione ha contribuito a dare un forte impulso all'aumento dell'efficienza energetica spesso a discapito dell'investimento nelle energie rinnovabili.

Ad esempio nella certificazione *LEED Building (GBC Home 2001)* su 80 punti (Certificazione Platino) che corrisponde al massimo grado ottenibile con questo sistema, l'efficienza energetica viene valutata sino a 20 punti mentre la produzione

autonoma di energia da fonti rinnovabili in sito si attesta ad un massimo di 7 punti ottenibile con la produzione di appena il 21% dell'elettricità consumata. Nella certificazione *BREEAM (Multi Residential 2008)* su un massimo di 19-21 punti riservati alle valutazioni di comportamento energetico 15 vengono legati alle emissioni di CO₂ relative all'efficienza energetica e solo 3 sono riferiti all'energia rinnovabile prodotta localmente. Nel *CASBEE (CASBEE for new construction 2010)* le energie rinnovabili locali hanno, nel complesso sistema di calcolo, un peso molto modesto rispetto all'efficienza ed ottengono il massimo punteggio riservatogli con la produzione di appena 4,2 kWh/(m² anno) rinnovabili, dunque, nel migliore dei casi, meno di un decimo dell'energia necessaria all'edificio. Nel metodo *Sbtool*, declinabile regionalmente e quindi molto flessibile, sono destinati nella versione italiana (Protocollo *ITACA Nazionale 2011*) 10 punti alla valutazione di efficienza e altrettanti 10 punti alla valutazione dell'utilizzazione delle energie rinnovabili ma le energie rinnovabili hanno poi un peso complessivo nel capitolo consumo di risorse del 10% mentre le misure per l'efficienza energetica raggiungono da sole il peso del 30%.

In conclusione si può affermare che i sistemi di certificazione ambientale non sono esaustivi come strumenti di garanzia della sostenibilità dei progetti. Offrono piuttosto un sistema di incentivi basato su una serie definita di valori che favoriscono i progetti che aderiscono ad una certa visione della sostenibilità molto in sintonia con le logiche del mercato immobiliare. Viene premiata l'adozione di tutte le tecnologie atte all'aumento dell'efficienza ma è tenuta in poca considerazione la trasformazione dell'edificio in un organismo che si sappia autoalimentare, sebbene sia proprio questa trasformazione quella più promettente per lo sviluppo di nuovi modi di abitare eco compatibili. Inoltre nessun sistema di certificazione tra quelli più diffusi prende in considerazione che l'impatto più grande è dato dai metri cubi costruiti, dunque tutti gli sforzi per minimizzare questo fattore dovrebbero essere quelli più premiati, ancor prima dell'efficienza e delle strategie energetiche. In realtà la crescita della cubatura non è considerata oggetto di valutazione da parte di questi sistemi pur essendo uno dei fattori più pericolosi e difficilmente controllabili.

3.5. Gli effetti delle politiche energetiche nelle abitazioni europee

Come già accennato all'inizio del capitolo il settore edilizio europeo, intendendo con questo termine tutti gli edifici per residenze e servizi pubblici e privati, consuma circa il 40% del totale dell'energia finale assumendo quindi un ruolo centrale in qualunque politica energetica. In particolare il solo settore residenziale è responsabile di circa il 27% dei consumi totali (Elaborazione dati Eurostat 2010) rendendo evidente il fatto che non è possibile alcuna politica di riduzione del consumo nell'ambiente costruito senza affrontare in primo luogo la questione delle abitazioni.

Nell'Unione Europea (EU 27) nel periodo tra il 1990 ed il 2009 l'efficienza energetica nel settore delle abitazioni è cresciuta del 24% ad un tasso medio dell'1,4% annuale, i calcoli statistici che hanno portato a questi risultati sono stati effettuati analizzando il comportamento energetico degli impianti per riscaldamento, per il riscaldamento dell'acqua, per la cottura dei cibi e dei congelatori, dei refrigeratori, delle lavastoviglie e delle televisioni.

Il netto miglioramento nell'efficienza è stato possibile soprattutto grazie alle nuove tecnologie di climatizzazione ed isolamento, imposte dalla nuova normativa europea, ed al miglior funzionamento delle apparecchiature elettriche. Ad esempio gli appartamenti costruiti nel 2009 consumano in media il 40% in meno rispetto a quelli costruiti nel 1990, così la diffusione di elettrodomestici ad alta efficienza che raggiungeva appena il 6% nel 1990 ha raggiunto il 94% nel 2009 (EEA 2012).

Nello stesso periodo però i consumi finali delle abitazioni sono aumentati dell'8% ad un tasso medio annuale dello 0,4%, i soli consumi elettrici sono cresciuti ad un tasso molto più veloce di circa l'1,7% annuo. Solo negli ultimi anni, tra il 2005 ed il 2009 si è verificata una lieve inversione di rotta con una diminuzione dei consumi di energia finale dello 0,6% all'anno, causata in parte anche dall'attuale crisi economica (EEA 2012). Nel settore terziario, che incide meno riguardo i consumi totali rispetto a quello abitativo, l'aumento è stato ancora più brusco e marcato, tra il 1990 ed il 2009 i consumi energetici son saliti infatti del 29,7%, solo tra il 2005 ed il 2009 si è avuta una leggera diminuzione anche questa dovuta probabilmente alla crisi economica (EEA 2012).

In ogni caso la tendenza chiaramente in atto, come si evince dalla *Figura 4* e dalla *Figura 5*, vede due fenomeni contemporanei e paradossalmente contrapposti. Da una parte un aumento considerevole dell'efficienza nel settore edilizio, soprattutto per quanto riguarda la climatizzazione degli ambienti, un'efficienza che si concretizza sia nelle nuove abitazioni sia in azioni di retrofit sull'esistente che, va ricordato costituisce la maggioranza del patrimonio edilizio europeo. Dall'altra un continuo tendenziale aumento della superficie costruita e dei consumi, anche se fluttuante e molto limitato, che va in contro tendenza sia rispetto all'aumento generalizzato dell'efficienza sia rispetto agli obiettivi di risparmio energetico che si è data l'Unione Europea.

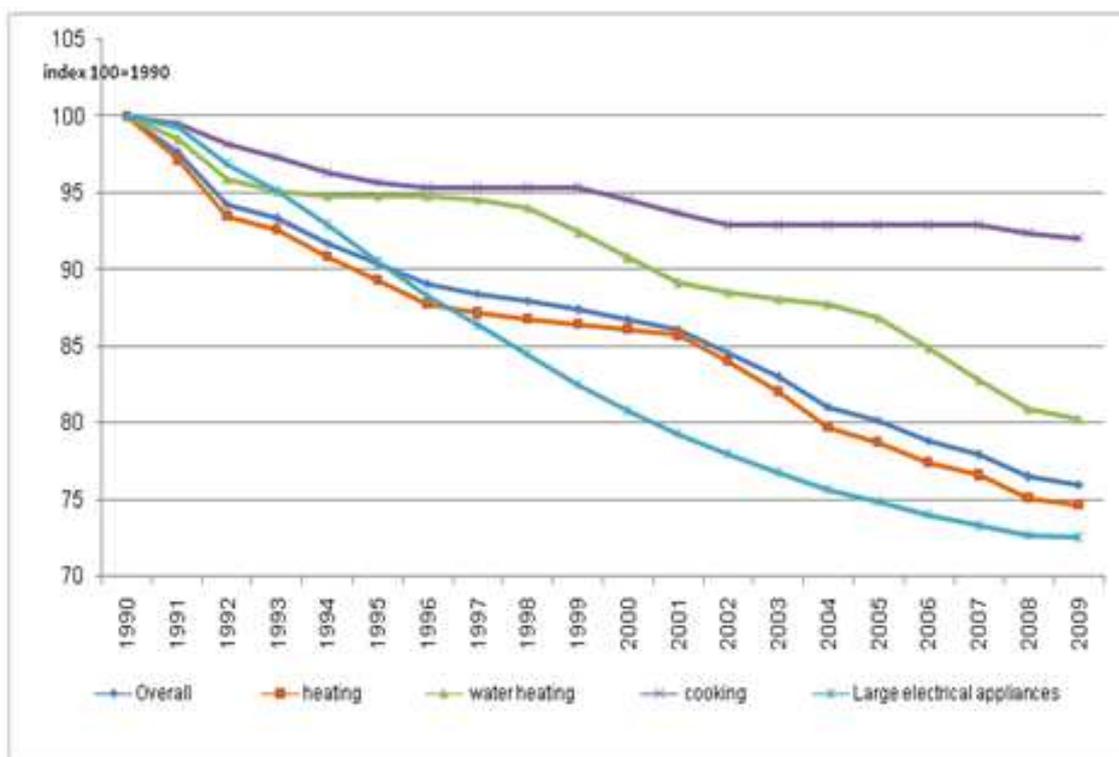


Figura 4. Indice europeo dell'efficienza nelle abitazioni ODEX EU – 27 – Fonte Eurostat

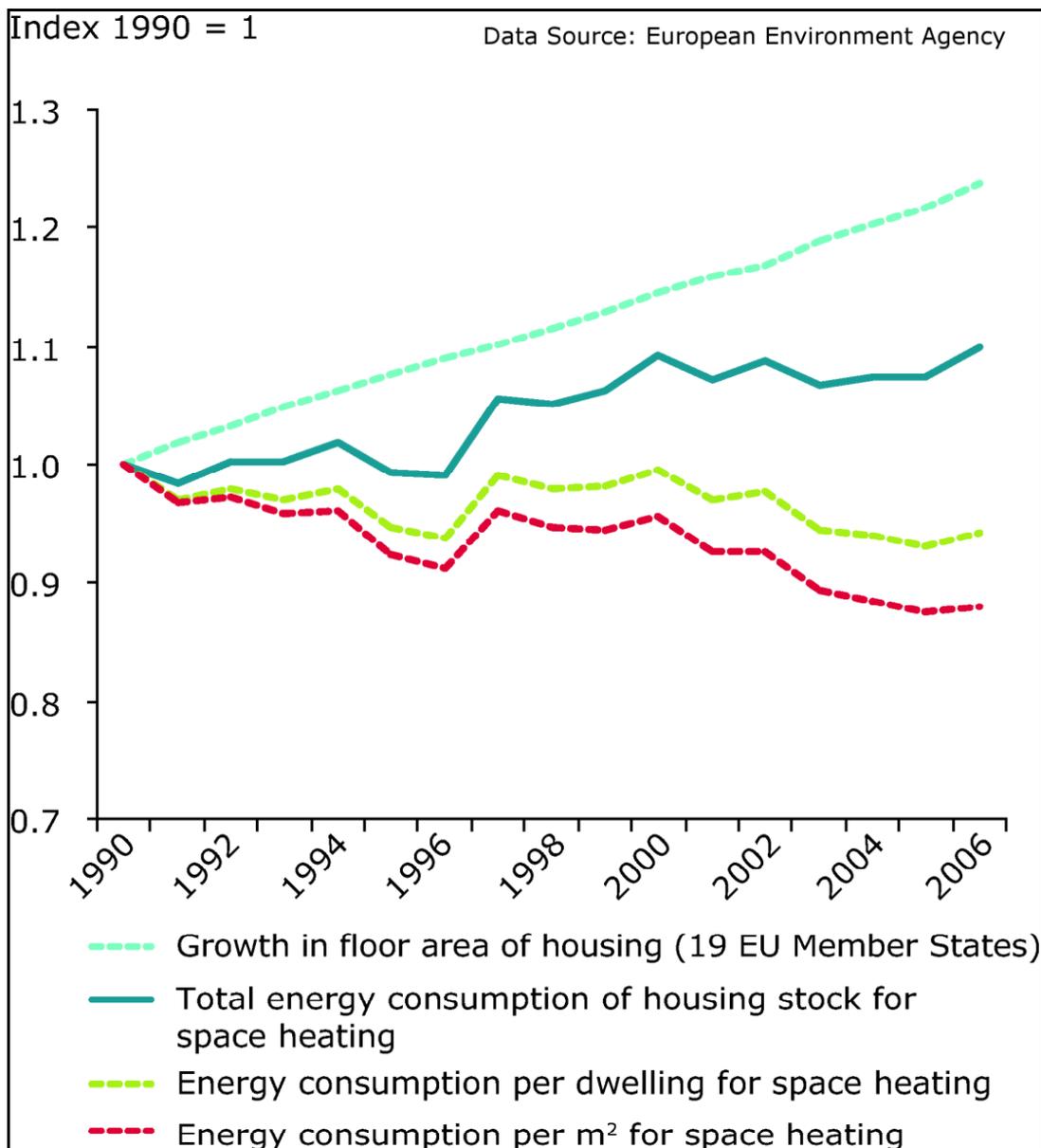


Figura 5. Confronto tra aumento di superficie, consumi di riscaldamento ed efficienza – Fonte EEA

Negli ultimi dieci anni si è verificato anche un cambiamento nelle proporzioni dei vari settori di consumo interno alle abitazioni. In particolare la climatizzazione che è il settore domestico a più alto impatto energetico, è scesa dall'occupare il 74% dei consumi dell'abitazione nel 1990 al 68% nel 2009. Questo a vantaggio dell'energia elettrica utilizzata per illuminazione e per le applicazioni elettriche che

è invece aumentata, nello stesso lasso di tempo, dal 10% al 20%. Questo cambiamento è dovuto da una parte alle normative, agli incentivi ed alla promozione di edifici più isolati e con impianti di riscaldamento più efficienti, dall'altra all'uso sempre più massiccio di apparecchiature elettriche nella vita quotidiana, ad esempio con l'introduzione della domotica che non in tutte le applicazioni riesce a contenere i consumi elettrici. Il settore dell'acqua calda sanitaria è invece quello che rimane più costante confermandosi come fonte del 12% del consumo totale di energia di un abitazione media europea.

Tutti risultati ottenuti nel panorama energetico dell'ambiente costruito europeo sono frutto delle considerazioni e delle strategie enunciate nell' *Action Plan for Energy Efficiency Realising the Potential* (COM (2006) 545 del 19 ottobre 2006), in cui la necessità di diminuire i consumi è sostanzialmente affidata all' aumento dell'efficienza energetica. In quel documento vi è un assunto, non esplicitato, che equipara l'aumento dell'efficienza alla diminuzione dei consumi, o meglio che vede la diminuzione dei consumi come un effetto diretto e causale dipendente dall'aumento dell'efficienza. In realtà i risultati prima evidenziati dimostrano che l'assunto è fondamentalmente sbagliato, o per lo meno non sufficiente a raggiungere gli obiettivi prefissati. Nel documento *Impact Assessment che accompagna l'Energy Efficiency Plan 2011* (SEC(2011) 277 final) vengono tratte alcune conclusioni sul perché le numerose politiche per la promozione dell'efficienza non abbiano portato ai risultati sperati. Vengono imputate due cause principali, quella economica e quella regolamentaria. Per quanto riguarda la prima viene evidenziato come i cittadini facciano spesso scelte basate sul minor prezzo dell'energia e non sempre queste scelte coincidono con gli interessi sociali, inoltre vi è una diffusa mancanza di conoscenza ed informazione sui vantaggi dell'efficienza, compresa la mancanza di conoscenza professionale da parte di costruttori, architetti, ingegneri, impiantisti ed addetti alla vendita. Il fallimento viene anche imputato al fatto che occorrono investimenti iniziali cospicui che porteranno a guadagni in un tempo piuttosto lungo. Sul fronte regolamentare viene sottolineato come i progressi della sostenibilità energetica siano difficili da tracciare e da comunicare, pertanto tutto l'apparato normativo soffre di difficile visibilità; così come viene denunciata la mancanza di un unico apparato normativo

che comprenda obblighi ed incentivi. Tra le criticità più evidenti non elencate dall'*Impact Assessment dell'Energy Efficiency Plan 2011* (SEC(2011) 277 final) vi è il conflitto tra la crescita economica, che fino ad oggi è ancora legata ai consumi energetici, e l'obiettivo del risparmio. Una delle politiche più attive dell'Unione Europea è infatti quella di incentivare su ogni piano ed in ogni modo la crescita economica, e dunque dei consumi, con investimenti e strategie ben più capillari e finanziariamente importanti che non quelli riservati per la diminuzione del consumo energetico. Finché la crescita economica determinerà la crescita del consumo di risorse ogni suo incentivo va in netta contrapposizione rispetto al tentativo di diminuire il consumo energetico. Ne è la dimostrazione che la crisi economica che ha fermato la crescita negli ultimi anni ha anche determinato un improvviso leggero calo dei consumi energetici. Il tema della crescita e delle risorse è di fondamentale importanza per qualunque discorso legato alla sostenibilità ma data la complessità e l'ampissima letteratura sull'argomento non viene trattato nella presente ricerca.

3.6. Efficienza, energie rinnovabili ed aumento dei consumi nel panorama europeo

Se si analizzano i diversi settori di consumo energetico in Europa è evidente come il miglioramento dell'efficienza energetica sia un fattore comune a tutti, con tassi che variano da settore a settore ma sempre con una tendenza al miglioramento. Ad esempio il settore dei trasporti ha avuto tra il 1990 ed il 2009 un aumento dell'efficienza pari allo 0,9% all'anno con un miglioramento che in totale raggiunge il 16%, grazie soprattutto alle nuove tecnologie usate nella costruzione di autovetture e di aeroplani. Nello stesso periodo il consumo energetico del settore è cresciuto globalmente dell'1,3% con un aumento generalizzato di tutti i mezzi di trasporto (EEA 2009). Nello stesso periodo si è avuto un aumento ancora più marcato nell'efficienza della produzione industriale, questa è infatti aumentata del 30% con un tasso medio dell'1,8% annuo ma con notevoli differenze tra i vari

stati. In qualunque ambito della produzione industriale si è verificato un significativo aumento dell'efficienza energetica eccetto che in quello tessile. L'unica lieve flessione riguardo l'indice di efficienza energetica nell'industria si ha nel 2009 dovuto comprensibilmente alla crisi economica che porta ad usare strutture e macchinari non a pieno regime e quindi con un'efficienza minore (EEA 2012). Tuttavia anche in questo settore i consumi non seguono il miglioramento dell'efficienza: tra il 1999 ed il 2009, nonostante la crisi, la diminuzione del consumo nell'uso finale dell'energia nel settore industriale è stata appena del 16% con un tasso medio dell' 1,6% ovvero circa la metà rispetto all'aumento di efficienza. Tra il 2009 ed il 2010 si è nuovamente avuto un fortissimo aumento pari al 9% che dimostra come i consumi, anche nel settore industriale, abbiano una tendenza alla diminuzione nel corso degli anni ma con fluttuazioni notevoli (Eurostat 2012).

Dunque, come dimostrato dai dati sopra riportati, la tendenza in atto in Europa, simile a quella di tutti i paesi industrializzati, vede un aumento generalizzato dell'efficienza in tutti i settori accompagnato da un generico aumento dei consumi energetici che conferma le forti criticità delle politiche attualmente in campo finalizzate al risparmio energetico, in particolar modo nel settore dell'ambiente costruito.

I termini "efficienza energetica" e "risparmio energetico" sono spesso stati usati con lo stesso significato, soprattutto nei documenti politici e programmatici dell'Unione Europea, negli atti e nei programmi delle Amministrazioni Statali e Regionali. In realtà sono termini che posseggono significati fisici ben diversi. Efficienza energetica significa infatti che viene usata una minore quantità d'energia per mantenere un livello equivalente di attività economiche e servizi. Il risparmio energetico è invece un'assoluta diminuzione dei consumi energetici che può essere ottenuta sia con l'aumento dell'efficienza energetica, sia con il cambio di comportamenti e stili di vita sia con la diminuzione delle attività economiche. O meglio da una miscela, in vario modo dosata, di queste tre componenti. Esistono molti esempi di risparmio energetico in cui non è presente un aumento dell'efficienza, come ad esempio avviene quando si scalda meno una stanza in

inverno, si modera l'utilizzo dell'auto, o si abilitano modalità di risparmio nell'uso degli apparecchi elettronici.

Benchè i maggiori impegni dell'Unione siano stati rivolti all'aumento dell'efficienza, è da evidenziare che questa non è automaticamente causa diretta di una globale riduzione dei consumi. Ciò è dimostrato dal fatto che benché tutti gli indici di efficienza energetica siano in aumento il consumo globale di energia non tende a diminuire. E' inoltre da sottolineare che anche le politiche dell'unione rivolte ad un cambio di comportamento della vita dei cittadini hanno in genere avuto come scopo ultimo la diffusione di una maggiore efficienza piuttosto che non quella di una riduzione dei consumi. Ad esempio le certificazioni energetiche degli edifici, delle apparecchiature elettriche e delle autovetture hanno reso consapevoli gli acquirenti della maggiore efficienza di ciò che andavano ad acquistare ma senza garantire un risparmio energetico o un comportamento energeticamente più frugale. Così anche gli incentivi fiscali e finanziari sono sempre stati rivolti ad un aumento dell'efficienza piuttosto che ad un taglio dei consumi. Paradossalmente il maggior contributo al taglio dei consumi si è avuto con l'aumento dei prezzi dell'energia e con l'attuale crisi economica, che è certo la sconfitta di qualunque politica sociale, culturale ed economica.

Questi dati apparentemente contraddittori, ovvero l'aumento notevole e continuo dell'efficienza energetica non corrisposto da un'auspicabile e prevedibile diminuzione dei consumi, sono causati da complessi fenomeni non riconducibili solamente a questioni tecniche. Sono spesso più legati a dimensioni socio culturali ed economiche che devono essere prese in considerazione in qualunque strategia di riduzione degli impatti energetici. Ad esempio l'aumento della dimensione delle abitazioni, il maggior livello di comfort a cui il cittadino medio europeo è abituato e l'uso massiccio di apparecchiature elettriche nella vita quotidiana ha sicuramente inficiato gran parte dei benefici dovuti alla maggiore efficienza. Anche il riscaldamento centralizzato se utilizzato senza una forte responsabilizzazione da parte degli utenti può produrre aumenti dei consumi energetici. Secondo l'*European Environmental Agency* la diffusione della tecnologia che prevede un unico impianto per il riscaldamento uniforme dell'intera abitazione, sistema che nel 2009 era ormai presente nell'85% delle abitazioni con un trend in continua

crescita, ha portato un aumento dei consumi medio intorno al 25% in confronto ai sistemi a riscaldamento che avevano un unico generatore di calore nella stanza principale centrale.

In conclusione dai dati fin qui riportati si può affermare che in Europa l'efficienza nelle costruzioni è stata considerata prioritaria ma a discapito della raccolta di energie rinnovabili, creando un panorama sbilanciato rispetto agli scenari che venivano prefigurati dall'applicazione della strategia della "Trias Energetica" illustrata all'inizio del capitolo. Gli effetti dell'apparato normativo per l'imposizione dell'efficienza e la spinta data dal settore delle certificazioni ambientali han portato a profondi e rapidi cambiamenti nella tecnologia energetica dell'Unione Europea che non sono però stati accompagnati da un cambio altrettanto rapido dell'origine dell'energia usata, ovvero da una traslazione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili.

L'obiettivo del 20% di energia rinnovabile entro il 2020 sarà raggiunto ma con difficoltà e, inoltre, visto il continuo peggioramento delle emissioni mondiali di gas ad effetto serra, l'obiettivo più importante dovrebbe esser spostato al raggiungimento del 37% di energia rinnovabile entro il 2030, come delineato dallo scenario proposto dall' *Intergovernmental Climate Change Protocol*, la più autorevole organizzazione mondiale nel campo del cambiamento climatico. Un obiettivo non ottimale ma minimo, che porterebbe il pianeta ad una maggior probabilità di non esser soggetto all'aumento temperatura media oltre i 2° centigradi.

Inoltre a questo profondo squilibrio che si è venuto a creare è andato ad aggiungersi un tendenziale aumento dell'energia primaria usata ogni anno in netto e per certi versi drammatico contrasto con tutte le politiche europee di diminuzione degli impatti ambientali che auspicano invece una tendenziale diminuzione del consumo totale di energia primaria, l'energia primaria consumata in Europa è addirittura aumentata del 2,8% tra il 2000 ed il 2010. Come è stato illustrato nei paragrafi precedenti il settore delle abitazioni è uno dei settori in cui si è avuto uno dei più grossi aumenti dell'efficienza energetica, che continua ad aumentare ad un tasso elevato, ma a cui non è corrisposta alcuna diminuzione dei consumi.

In realtà il paradosso che vede un aumento dell'efficienza non accompagnato dalla diminuzione dei consumi è noto da tempo e si è già manifestato nella storia in diverse epoche e cicli economici, come sarà illustrato nei capitoli seguenti.

4. Efficienza e metabolismo nell'analisi dei sistemi urbani

4.1. Efficienza e consumi: il Paradosso di Jevons e l'"effetto rebound"

Lo scenario energetico che è stato illustrato nei Capitolo 2 può esser in parte spiegato grazie ad una teoria economica del XIX secolo, detta il “paradosso di Jevons” e da successivi studi ed implementazioni che studiarono l'evolvere dello stesso fenomeno sotto il nome di “effetto rebound”.

La prima persona nella storia che studiò la relazione tra l'aumento dell'efficienza ed i consumi di risorse fu William Stanley Jevons (1835 -1882) un economista inglese che oggi viene considerato uno dei fondatori dell'economia ecologica. Nel suo libro *The coal question* pubblicato nel 1865 identificò quello che diventò poi il più noto paradosso dell'economia ecologica, detto “paradosso di Jevons”.

Jevons osservò che con l'aumento dell'efficienza industriale nell'uso del carbone, che permetteva quindi di produrre più unità di merci per unità di carbone, si aveva un aumento del consumo del carbone e non una diminuzione come invece ci si sarebbe aspettati. Jevons analizzò il fenomeno e dedusse che fosse causato da due fattori che agivano in modo complementare. Il primo, che è ispirato all'economia classica, è riferito alla diminuzione del costo del carbone per unità di merce in caso di aumento dell'efficienza del combustibile. Il secondo, che segue invece un ragionamento di politica economica, è costituito dal fatto che in un economia capitalistica l'imprenditore è spinto ad aumentare i profitti attraverso sia la diminuzione del carbone utilizzato per ogni unità di merce sia aumentando l'entrate attraverso l'espansione dei servizi e delle merci prodotte e vendute e, quindi, aumentando la richiesta ed il consumo di risorse.

La tesi principale di Jevons, che diede l'avvio ad innumerevoli studi di economia ecologica, è riassunta in poche frasi del suo libro più conosciuto "The coal question" in cui scrive:

"...il fatto che si supponga che l'uso economico di combustibile sia equivalente ad una diminuzione dei consumi crea una forte confusione. In realtà è vero il contrario... Ogni qualvolta si effettua un miglioramento dei motori si accelererà il consumo di carbone..." (Jevons 1866)

Jevons cita l'esempio dell'industria scozzese dell'acciaio:

"... la riduzione a meno di un terzo di quanto avveniva prima del consumo di carbone per tonnellata di acciaio, è stato seguito... da un incremento di dieci volte del consumo totale, per non parlare dell'effetto indiretto dell'acciaio a buon mercato che ha accelerato il consumo di carbone in altri settori dell'industria..." (Jevons 1866)

Secondo Jevons la vecchia macchina di Savory per pompare acqua al di fuori delle miniere di carbone non consumava molta energia perché il suo tasso di consumo era così alto che veniva usata pochissimo. E' stato solo con il miglioramento meccanico ideato da Watt che i motori a vapore si diffusero in tutte le miniere di carbone, facilitando così una maggiore produzione di carbone a prezzo inferiore che a sua volta era usato nei motori a vapore per tutta una serie di nuove funzioni. Ad esempio per pompare aria all'interno degli altiforni per aumentare le temperature e ridurre così la quantità di carbone necessaria al riscaldamento, tutto questo con il risultato di produrre acciaio ad un prezzo più contenuto. Il costo ridotto dell'acciaio favorì una maggior produzione di motori a vapore creando così un ciclo virtuoso di crescita che agì positivamente anche sullo sviluppo delle ferrovie che a loro volta abbassarono i prezzi di trasporto di acciaio e carbone aumentandone così la domanda.

Leonard Brookes, che alla fine degli anni settanta era a capo dell' Autorità per l'Energia Atomica della Gran Bretagna, riprendendo in parte le teorie di Jevons,

sostenne per primo nell'epoca contemporanea del capitalismo avanzato che i tentativi di abbassare i consumi attraverso l'aumento dell'efficienza non avrebbero fatto altro che aumentare la richiesta energetica all'interno dell'economia (Brookes 1978). In un successivo scritto (Brookes 2000) evidenziò come fossero antiproducenti le politiche che miravano ad una riduzione dei consumi attraverso le imposizioni di severi criteri di efficienza per poi lasciare i consumatori liberi di qualsivoglia scelta sul libero mercato riguardo all'uso delle risorse. Brookes sostiene che qualunque azione rivolta all'aumento dell'efficienza energetica porta, nell'economia, ad una generale riallocazione delle risorse: gli imprenditori ed i fornitori di servizi esaminano infatti tutti i costi, non solo quelli energetici, in relazione ad un vincolo imposto su di un combustibile, o un vettore energetico, e questo porta a complesse reazioni nella sfera economica del libero mercato il cui risultato finale non è la globale diminuzione della domanda per quel combustibile bensì l'aumento.

Nel 1992 l'economista Harry Saunders riprese e rafforzò la tesi di Brookes, egli dimostro che, sotto molti aspetti, il postulato di Daniel Khazzoom e Leonard Brookes era coerente alle teorie neo-classiche della crescita economica, ovvero le teorie di accumulazione di capitale, progresso tecnologico e crescita di lungo corso. Saunders sottolineò come l'aumento della produzione economica spinge una crescita globale dell'economia che a sua volta è collegata ad una maggiore richiesta globale di energia. Egli notò come a livello microeconomico un aumento di efficienza comporta una diminuzione dei consumi ma ad un livello macro economico l'effetto maggiore è una spinta alla crescita economica che a sua volta fa crescere i consumi energetici. Saunders è il primo economista che sostiene esplicitamente che, tenendo conto sia della micro che della macro economia, il progresso tecnologico che tende verso l'aumento dell'efficienza porterà ad un aumento finale dei consumi (Saunders 1992).

Un modo per capire il Paradosso di Jevons è osservare che l'aumento dell'efficienza con cui una risorsa è utilizzata provoca la diminuzione nel prezzo di quella risorsa se questa è misurata con cosa si può ottenere con la stessa. Generalmente la diminuzione del prezzo di una merce o un servizio provoca l'aumento della domanda, quindi se ad esempio un combustibile potrà svolgere

uno stesso lavoro con un prezzo minore si avrà un aumento nella richiesta di quel combustibile. In questo caso l'aumento della richiesta e quindi del consumo di combustibile, ovvero di un vettore energetico, viene denominato "effetto rebound".

Effetto rebound è un termine che oggi viene impiegato per definire una serie di meccanismi che riducono il potenziale del risparmio energetico derivato dall'aumento di efficienza energetica. Un esempio potrebbe essere quello dell'automobilista che acquista una vettura che consuma meno, quindi più efficiente, con il presupposto di sfruttare il vantaggio economico per poter fare più chilometri ed usarla più spesso.

La natura ed il funzionamento dell'effetto rebound costituiscono una fonte di dibattito tra gli economisti da lungo tempo (Greening 2000). Ad un livello micro la questione è se ci si possa aspettare che i miglioramenti nell'efficienza tecnica nell'uso dell'energia possano portare ad una diminuzione dei consumi dell'ammontare definito da calcoli tecnici ingegneristici o se invece rientrino nella complessità del sistema altri fattori che possano, su un livello macro, cambiare il risultato ottenuto nella singola parte.

L'effetto rebound fu analizzato per la prima volta negli anni ottanta dall'economista Daniel Khazzoom che elaborò il Paradosso di Jevons sul caso dei consumi energetici della società (Khazzoom 1980). Da allora è stato discusso ed ampliato in molteplici studi in cui è stato messo in evidenza come qualora anche non ci fosse l'effetto rebound per una fornitura particolare di energia (ad esempio se tutti gli automobilisti decidessero di non usare del tutto le loro nuove vetture più efficienti delle vecchie) ci sono diverse ragioni per cui la diminuzione dei consumi energetici nell'economia sono ben diversi rispetto a quelli suggeriti dai calcoli ingegneristici. L'aumento dell'efficienza energetica in una società complessa e articolata che basa tutto il suo funzionamento sull'uso dell'energia provoca diversi fenomeni estesi anche ad altri settori oltre che a quello tecnologico. Questa serie di altri fenomeni, chiamati *indirect rebound effects* vengono infatti messi in atto nella complessità sociale ed economica. Per esempio il denaro risparmiato per la minor spesa di energia potrebbe esser impiegato nell'acquisto di un maggior numero di beni e servizi che richiederebbero direttamente, per essere prodotti, un

incremento del consumo energetico, oppure l'aumento dell'efficienza potrebbe far scendere i prezzi dell'energia ed aumentarne così la domanda.

All'interno del settore dell'ambiente costruito, ad esempio, tutte le azioni di retrofit e di maggior isolamento degli edifici aumentano la domanda di una nuova serie di materiali e componenti edili che, per essere prodotti, richiedono un incremento del consumo di energia. Allo stesso modo il miglioramento dell'isolamento termico di una casa può portare ad aumentarne la temperatura interna piuttosto che a ridurre i consumi, o addirittura può portare gli inquilini ad impiegare il denaro risparmiato in viaggi in aereo aumentando così i consumi nel settore dei trasporti (Sorrell 2009).

L'effetto rebound esprime quindi la sommatoria di tutti questi effetti, sia diretti che indiretti, ed indica generalmente una percentuale dell'energia risparmiata rispetto a quanto i calcoli ingegneristici avevano previsto. Ad esempio un effetto rebound del 20% significa che il 20% dei risparmi previsti su un particolare miglioramento tecnologico sono stati neutralizzati dai fattori prima illustrati. Un effetto rebound pari al 100% significa che gli attesi miglioramenti dall'aumento dell'efficienza sono stati totalmente assorbiti dall'effetto rebound sia in modo diretto che indiretto. Può anche verificarsi il fenomeno cosiddetto del *backfire* quando l'effetto rebound è superiore al 100%, ovvero quando un miglioramento nell'efficienza tecnologica provoca nell'economia globale un aumento dei consumi. Un esempio di questo ultimo caso può esser quello del settore dell'auto, dai dati disponibili è dimostrato che tra il 1984 ed il 2001 la flotta delle automobili private degli Stati Uniti ha aumentato di ben il 16% l'efficienza, intesa come chilogrammi/chilometro per litro, ma nello stesso periodo a causa del fatto che sono aumentate il numero di vetture circolanti, in particolare di grossa cilindrata, e son aumentati i chilometri percorsi si ha avuto un parallelo aumento dei consumi di carburante, rendendo indirettamente l'aumento dell'efficienza una fattore negativo per l'ambiente (York 2006). Analogamente in Europa tra il 1990 ed il 2010 il consumo di carburante per il trasporto su gomma è aumentato del 27% (Eurodata 2010) nonostante le autovetture abbiano anche qui avuto un miglioramento netto dell'efficienza e lo stesso è accaduto per i motori dei veicoli pesanti.

Negli ultimi anni il dibattito sull'effetto rebound sembra essersi spostato verso il campo della macro economia, dove l'evidenza empirica è in genere inesistente e non esiste una singola metodologia condivisa che riesca a valutare il fenomeno ad alti livelli di aggregazione. Il problema maggiore che viene affrontato è che le iniziative per l'aumento dell'efficienza energetica vengono considerate in genere come assolutamente efficaci sotto tutti i punti di vista nelle agende internazionali sulle politiche energetiche senza tenere in alcun conto le complesse dinamiche sociali ed economiche che vanno a scatenare ai livelli macro economici.

Come in tutti i processi di valutazione anche nell'analisi dell'effetto rebound va stabilito un periodo di tempo determinato ed un confine del territorio di analisi, sia questo fisico che immateriale, come ad esempio può essere il confine di un certo settore economico o di un certo mercato particolare. Se si analizza con un approccio ingegneristico il risparmio energetico di un edificio in cui è stata migliorata la coibentazione e gli impianti sono stati sostituiti con modelli più efficienti si può ottenere una cifra che è in realtà fuorviante se paragonata con l'effetto sui consumi a livello macroeconomico che innumerevoli interventi di quel tipo hanno causato nella dimensione più ampia dell'economia della regione, o nazionale o addirittura globale.

Se il fine è quello di contenere gli impatti ambientali, che sono quindi legati al consumo mondiale di energia, è inoltre errato fare considerazioni a livello nazionale dal momento che un miglioramento tecnologico su un determinato prodotto può portare delle variazioni sui mercati internazionali o sui prezzi dell'energia che a loro volta potranno generare altri effetti rebound diretti o indiretti in altre nazioni ed in altri mercati.

E' comunque importante sottolineare che gli esempi riportati da Jevons si riferiscono ai primi anni di sviluppo e di miglioramento dell'efficienza in tecnologie ad energia intensiva per la produzione di merci con altissime potenzialità di diffusione e di uso in numerose applicazioni. E' quindi possibile che gli stessi fenomeni non si riproducano analogamente nella fabbricazione e commercializzazione di merci frutto di tecnologie mature, a basso impiego di energia e con uno stretto campo di applicazioni. Così le stesse conseguenze potrebbero non verificarsi nel miglioramento di tecnologie che forniscono servizi

energetici con una bassa elasticità di prezzo e dove l'energia rappresenta solo una piccola parte del costo totale (Sorrell 2009).

Il riconoscimento dell'effetto rebound e delle reali conseguenze dell'applicazione di regolamentazioni che impongono un innalzamento dell'efficienza energetica nei settori dell'economia è di fondamentale importanza in tutti i processi valutativi di efficacia delle politiche energetiche. La grande maggioranza dei programmi energetici governativi sono in genere errati per il fatto che tengono solo conto delle quantità ingegneristiche dell'energia, senza mai fare alcun riferimento all'effetto rebound, assumono quindi implicitamente che esso sia uguale a zero mancando di una prospettiva globale sulle dinamiche economiche. Anche prendere in considerazione l'effetto rebound diretto sarebbe comunque insufficiente nel definire una politica energetica. L'obiettivo finale dovrebbe essere quello di misurare l'effetto totale di rebound, diretto ed indiretto, analizzare quindi l'aumento di merci e servizi che il miglioramento dell'efficienza in un settore ha causato a livello macro economico, allo stesso modo dovrebbe rientrare la domanda creata da nuovi consumatori, la domanda di nuovi servizi o prodotti e l'eventuale abbassamento dei prezzi.

Oggi non solo non vi sono metodologie diffuse e condivise per il calcolo totale dell'effetto rebound, diretto ed indiretto, ma lo stesso concetto di effetto rebound è definito in modo diverso a seconda delle ricerche e dei diversi approcci adottati. Vi sono strumenti che possono definire l'effetto rebound diretto a livello macroeconomico ma mancano quelli per il calcolo di dati aggregati a livello superiore. E' evidente dagli studi effettuati che gli aumenti di efficienza tecnologia espandono le possibilità della produzione, grazie ad essi vi è la possibilità di consumare più prodotti, energia ed anche lavoro. E' altrettanto evidente che almeno negli ultimi duecento anni i consumi di energia sono aumentati, i prezzi dell'energia sono scesi e sicuramente l'efficienza energetica è aumentata. Tuttavia non sono ancora note con precisione le correlazioni tra questi fattori e se siano determinati da causalità, e da quale tipo di causalità.

Alla luce delle teorie di Jevons e dell'effetto rebound si desume che l'assunto alla base di qualunque teoria economica dovrebbe essere che l'efficienza genera crescita economica e la crescita è legata al consumo di materia e di energia, non

è quindi una crescita immateriale ma è vincolata obbligatoriamente alle risorse del pianeta che sono indiscutibilmente limitate.

Il “Paradosso di Jevons” e l’effetto rebound assumono una centrale importanza all’interno di tutte le strategie rivolte alla sostenibilità. Infatti se l’aumento d’efficienza non è direttamente collegato alla diminuzione del consumo di risorse le politiche che promuovono l’aumento dell’efficienza come principale e talvolta unico antidoto all’aumento dei consumi possono rivelarsi assolutamente inadatte allo scopo e dare l’avvio a fenomeni a larga scala non controllati di cui non si conosce l’esito.

In tutte le politiche in cui si impone o si finanzia un certo aumento dell’efficienza energetica andrebbero quindi sempre stimati gli effetti rebound indiretti che queste azioni hanno sull’economia globale. Questo processo è indispensabile per poter effettuare valutazioni, tracciare scenari e compiere scelte oculate. Altrimenti prendendo in considerazione la sola efficienza ed i calcoli ingegneristici a questa correlata è impossibile valutare a priori gli effetti delle politiche energetiche che potrebbero essere inefficaci o addirittura controproducenti mettendo in grave pericolo sia il raggiungimento degli obiettivi per la riduzione degli impatti sia la stessa sicurezza climatica del pianeta (Madlener 2009).

4.2. La valutazione dell’effetto rebound nelle abitazioni

L’effetto rebound che investe tutti i settori dell’economia influisce quindi anche sul settore delle costruzioni, dove, sia dal punto di vista dell’isolamento, sia per quanto riguarda gli impianti per la climatizzazione o l’illuminazione, si è assistito negli ultimi anni ai notevoli aumenti dell’efficienza, come illustrato nei paragrafi precedenti. Anche in questo settore tuttavia è molto difficile calcolare gli effetti rebound indiretti mentre più facilmente calcolabili attraverso attenti monitoraggi sono gli effetti del rebound diretto. Tuttavia non esistono molti studi in merito, soprattutto sono rari gli studi effettuati negli ultimi dieci anni e che possano quindi essere messi in relazione con le politiche energetiche illustrate nei paragrafi

precedenti. Questo tipo di studi presentano un' intrinseca difficoltà dovuta al fatto che necessitano di lunghi monitoraggi sia delle abitazioni sia del comportamento degli abitanti e questo oltre ad essere oneroso si scontra spesso con il diritto alla privacy. Inoltre nei pochi studi effettuati i monitoraggi sono stati fatti su cittadini che si sono resi disponibili a fornire i propri dati, scelti su base volontaria, e non rappresentano sempre un campione significativo.

La maggior parte degli studi riguardo all'effetto rebound diretto sono focalizzati sul riscaldamento e sul risparmio di energia ottenibile grazie ad un aumento dell'efficienza dovuta al maggiore isolamento degli ambienti climatizzati o all'uso di impianti con prestazioni migliori. Ad esempio è stato rilevato in uno studio inglese che in un monitoraggio di un edificio in cui era stato installato il riscaldamento centrale, dunque molto più efficiente che non il riscaldamento autonomo per ogni alloggio, i consumi erano superiori di ben il 40% rispetto a quelli previsti. Questo a causa del fatto che molti inquilini continuavano ad usare le vecchie stufe a gas per ottenere una temperatura maggiore degli ambienti rispetto a quella preventivata dai calcoli (Bell 2000). L'aumento della temperatura interna di una abitazione di anche un solo grado può portare ad un aumento dei consumi del 10%. In un altro studio inglese sono state analizzate 3489 abitazioni in seguito ad interventi di retrofit, le abitazioni sono state scelte nelle città di Birmingham, Liverpool, Manchester, Newcastle, e Southampton in modo che avessero tipologie e contesti differenti, ma tutte hanno fornito dei risultati fortemente diversi rispetto alle stime ricavate dai calcoli ingegneristici. L'isolamento delle pareti ha portato ad un risparmio sul riscaldamento del 10 – 15% nonostante ne fosse previsto uno del 45% - 49%, così l'installazione di sistemi a riscaldamento centralizzato più efficienti non ha portato a risparmi significativi a causa del fatto che il funzionamento del nuovo impianto era accompagnato da una apertura più frequente delle finestre nelle abitazioni (Hong 2006). Sempre in Gran Bretagna l'effetto diretto del rebound nelle costruzioni è stato calcolato in uno studio relativo alle abitazioni sul territorio nazionale (DEFRA 2002), è stato dimostrato che i risparmi dei consumi, in seguito ad operazioni di retrofit ed aumento dell'efficienza energetica, erano inferiori rispetto a quanto preventivato del 10-30% per quanto riguarda i consumi del riscaldamento, del 10-40% per quanto riguarda l'acqua

calda sanitaria e del 5-12% per l'illuminazione. Sempre sull'illuminazione uno studio sul miglioramento dell'efficienza delle tecnologie dimostra che sul lungo periodo, ovvero negli ultimi trecento anni, l'effetto rebound è stato esattamente del 100%, ovvero ha vanificato completamente i risparmi portati dal miglioramento dell'efficienza (Tsao 2010).

Uno studio olandese si concentra invece sugli effetti delle interazioni che le diverse politiche energetiche hanno avuto nel settore delle abitazioni. Questo particolare effetto rebound, più simile ad un effetto indiretto che non diretto, è stimato abbia vanificato dal 13 al 30% del risparmio dei consumi calcolati per ogni singola politica. Dunque una sinergia negativa non calcolata né prevista nella valutazione dell'efficacia delle singole politiche prima che queste fossero varate (Boonekamp 2006).

In uno studio del *Centre for Research on Indoor Climate and Health* di Glasgow viene elaborata una metodologia teorica di calcolo dell'effetto rebound diretto legato al riscaldamento delle abitazioni, secondo questa teoria il fattore di riduzione dei vantaggi calcolati sulla base del miglioramento dell'efficienza delle abitazioni si attesta sul 50% (Sanders 2006).

Altri studi svolti in Svezia (Carlsson-Kanyama 2005) ed in Brasile (Cohen C. 2005) nel settore delle costruzioni hanno evidenziato come i consumi di energia indiretti delle abitazioni siano maggiori di quelli diretti e per tanto gli effetti di rebound indiretti assumono un ruolo fondamentale nella valutazione dell'efficacia di una politica energetica. In nessuno studio europeo sono per ora stati calcolati gli effetti indiretti di rebound in seguito alle politiche energetiche varate nell'ultima decina d'anni. Gli studi elencati dimostrano che il fattore più preoccupante è costituito dal rebound indiretto che però è anche quello più difficilmente individuabile e misurabile dal momento che i suoi effetti possono talvolta avere una dimensione globale (Dimitropoulos 2007).

E' importante notare che nessuno dei fattori evidenziati dalle ricerche sopra elencate è mai stato preso in considerazione nella valutazione delle politiche energetiche europee destinate all'ambiente costruito. Ne sono stati usati nel verificare l'efficacia di politiche perseguite in passato o per determinare scenari futuri, la fattibilità dei progetti o il valore degli obiettivi.

Di fronte alla scarsa efficacia ed al fallimento di alcuni obiettivi delle politiche europee, in primis quello riguardo alla diminuzione dei consumi energetici nell'ambiente costruito, diventa quindi di primaria importanza dotarsi di nuovi strumenti e metodologie di valutazione che possano essere d'aiuto, guida ed indirizzo per le future politiche e per gli eventuali cambi di rotta nel percorso verso la sostenibilità. I nuovi strumenti di valutazione della sostenibilità energetica dovrebbero tener conto innanzitutto della "Trias energetica" citata all'inizio di questo capitolo, ovvero del fatto che la raccolta sul posto di energie rinnovabili è un fattore che, in una politica energetica tesa a diminuire gli impatti, deve andare di pari passo con l'efficienza energetica e non esserne invece messa in ombra o essere considerata di secondaria importanza, soprattutto tenendo conto che gli effetti dell'aumento dell'efficienza sono sempre mitigati quando non addirittura neutralizzati dagli effetti diretti ed indiretti di rebound.

I nuovi strumenti dovrebbero essere capaci di valutare non soltanto gli effetti diretti, circoscritti e strettamente fisici delle politiche energetiche ma leggere invece, in un contesto più ampio, i reali effetti ed impatti che queste hanno sull'ambiente. A questo dovrebbe aggiungersi la capacità di essere multi scalari, ovvero di permettere di effettuare delle valutazioni che, se fatte con un obiettivo focalizzato su una scala piccola non perdano di significato quando vengono aggregate per una valutazione a scala maggiore. Se ad esempio viene valutato un singolo impianto o un edificio dovremmo usare strumenti capaci di mettere in conto anche gli effetti indiretti sulla macro economia e sull' ambiente che il sistema valutato comporta. Quindi gli effetti sia a livello urbano che territoriale, ogni azione va valutata con gli effetti causati nel contesto più prossimo ma anche spostando gli orizzonti più lontano, verso territori che con l'economia globalizzata possono essere facilmente coinvolti.

In un sistema in continua espansione e con una richiesta di energia in continuo aumento diventa di fondamentale importanza neutralizzare gli effetti collaterali negativi creati dall'aumento d'efficienza onde riuscire ad ottenere reali abbassamenti dei consumi. Per far ciò è necessario disporre di modelli di analisi che travalichino la visione troppo stretta focalizzata sulla singola unità o sul singolo problema ma riescano invece a comprendere la complessità del sistema

intero. Attraverso l'uso di nuovi modelli di indagine è possibile superare le attuali criticità riscontrate nelle politiche energetiche, e solo con nuovi strumenti di valutazione che utilizzino questi modelli è possibile effettuare delle previsioni sull'effetto di azioni volte ad abbassare gli impatti ambientali.

Il modello metabolico, che è illustrato nel capitolo seguente, è usato in questa ricerca come riferimento per una metodologia di indagine per l'analisi del comportamento dei sistemi complessi all'interno di sistemi gerarchicamente superiori. Nei capitoli seguenti questo particolare modello viene usato per l'analisi di otto distretti eco sostenibili europei ed applicato poi all'analisi della sostenibilità energetica su di un ipotetico scenario costruito sulla rifunzionalizzazione di un'area urbana nel comune di Torino.

4.3. Il modello metabolico per l'analisi della sostenibilità

Come è stato riportato nell'introduzione di questa ricerca i maggiori impatti dell'uomo sulla terra vengono provocati dalle città, luoghi che concentrano in poca superficie, circa il 2% delle terre abitabili del pianeta, la maggioranza della popolazione umana. E' per questa ragione che in questi luoghi viene consumata la maggior parte dell'energia e proprio in questi luoghi le politiche energetiche riversano in particolar modo i propri effetti, siano essi efficaci, contraddittori o addirittura dannosi. Proprio per questo le città ed in particolare le aree metropolitane possono essere lette come organismi complessi e concentrati in punti nodali che necessitano di quantità sempre crescenti di energia, di cibo e di acqua. Dunque per definire delle metodologie di valutazione e degli indicatori che possano essere significativi per superare le criticità dell'enfasi efficientistica illustrata nei paragrafi precedenti è fondamentale partire dall'analisi urbana. E' attraverso la lettura urbana che possono essere capiti i processi che ne regolano il complesso funzionamento, quei processi che travalicano spesso i confini metropolitani e che sono responsabili degli impatti ambientali non solo sul territorio urbano ma anche su aree distanti e non urbanizzate. Sempre attraverso l'analisi

urbana possiamo definire strumenti di valutazione che siano allo stesso tempo significativi nella valutazione della corretta applicazione della teoria della “Trias Energetica”, che abbiano una validità multi scalare, e che comprendano gli effetti di rebound delle politiche energetiche. Questi tre fattori uniti in una metodologia di analisi e valutazione possono costituire uno strumento utile per la lettura effettiva degli impatti energetici superando la parzialità di molti indicatori usati nella valutazione attuale delle politiche energetiche. Come è stato illustrato nel capitolo precedente giudicare ad esempio il livello di sostenibilità energetica attraverso il solo grado di efficienza raggiunto può essere fuorviante e portare a ingenti errori di valutazione in una visione a larga scala del fenomeno.

In questa prospettiva uno dei modelli più interessanti di analisi delle realtà urbane è costituito dal modello metabolico, un apparato concettuale che fa riferimento agli equilibri degli ecosistemi naturali.

I sistemi naturali hanno acquisito nei processi evolutivi durati millenni la capacità di usare flussi unidirezionali di energia per supportare i cicli materiali, al contrario le economie industrializzate si sono evolute rapidamente sulla base di flussi unidirezionali di materia. L'energia è degradata nella trasformazione della materia e come risultato i prodotti residuali sono espulsi come materiale di scarto e flussi lineari di energia sono dissipati in forma di calore non utilizzato.

Le leggi della termodinamica forniscono una base per la quantificazione fisica dell'interazione tra i sistemi naturali ed i loro territori. Il principio del bilancio di massa, basato sulla prima legge della termodinamica, specifica che la massa in entrata deve essere uguale alla massa in uscita in ogni passo del processo di qualunque sistema fisico, questo implica che il sistema di trasformazione dei materiali produca inevitabilmente dei prodotti di scarto. Pertanto l' esternalità associate alla produzione ed al consumo sono diffuse e pervasive e crescono con il crescere dell'economia. L'economia può quindi essere considerata come un sistema di elaborazione della materia nel quale entrano materiali utili a bassa entropia, questi sono sottoposti ad una serie di cambiamenti nel loro stato energetico ed entropico e, dopo un certo periodo di tempo, sono dissipati nell'ambiente materiali ad alta entropia o rifiuti.

Le leggi fisiche che obbligano alla conservazione di massa e di energia e all'irreversibilità entropica implicano che rifiuti ed energia dispersa, generalmente sotto forma di calore, siano inevitabili nel corso della produzione e del consumo all'interno del ciclo economico; per diminuire il livello di entropia non si può far altro che riciclare parte degli scarti, cioè trasformarli in materiali utili in entrata nel sistema. L'ammontare del materiale di scarto, comparato con la dimensione delle scorte del capitale fisso o delle materie prime, è una funzione dell'efficienza del riciclo e fa sorgere la domanda riguardo a quanto deve essere grande la scorta di materiale di scarto per permettere un costante livello di materiali utili in entrata in un sistema stabile guidato da un illimitato flusso esogeno di energia. La prima legge della termodinamica può dunque essere molto utile nell'analisi di un sistema urbano per comprendere il bilancio di massa che va però unito, in un processo di valutazione esaustivo al bilancio di energia che è relativo alla seconda legge della termodinamica.

La seconda legge della termodinamica, o legge dell'entropia, specifica che l'entropia di un sistema isolato accresce autonomamente e l'energia disponibile viene spontaneamente dissipata, ovvero che l'entropia dell'universo cresce costantemente perché c'è un continuo ed inarrestabile processo di degradazione qualitativa dell'ordine verso il caos. I sistemi fisici sia, isolati che aperti, sono soggetti alle stesse forze di decadimento entropico e qualunque sistema differenziato e complesso ha una naturale tendenza ad erodere, dissipare e disfarsi.

La ragione per cui i sistemi aperti auto organizzati non collassano è data dal fatto che sono capaci di importare materia ed energia disponibili dagli ambienti in cui sono collocati, che vengono usati per mantenere l'integrità e l'equilibrio interno. I sistemi che funzionano in questo modo esportano agli ambienti che gli ospitano anche l'entropia prodotta sotto forma di rifiuti e di disordine fisico.

La seconda legge della termodinamica suggerisce anche che tutti i sistemi di livello superiore crescono e si sviluppano, ovvero accrescono la propria energia interna, con un processo di crescita entropica che avviene all'interno di sistemi più grandi da cui vengono ospitati. La crescita di qualunque sistema avviene quindi

alle spese di sistemi gerarchicamente più grandi in cui viene aumentato il disordine, ovvero l'entropia.

Il modello metabolico analizza i bilanci di massa e di energia, attraverso le leggi della termodinamica, di sistemi complessi e ne evidenzia equilibri e squilibri. Attraverso il modello metabolico è quindi possibile calcolare il grado di entropia delle attività umane circoscritte ad un ambito spaziale e valutarne l'impatto ambientale.

Nel diciannovesimo secolo con l'aumentare dilagante dell'urbanizzazione, dell'industrializzazione e con il complessificarsi della struttura economica e sociale il modello metabolico è stato impiegato, soprattutto in ambito accademico, per la spiegazione di fenomeni che venivano affrontati solo parzialmente ed in modo fuorviante dal modello meccanicistico, più semplice e lineare. Nel modello meccanicistico gli elementi analizzati sono considerati separati dall'insieme, sono sistemi chiusi, al contrario nel modello organicista, che è alla base dell'analisi metabolica, la parte analizzata è considerata un sistema aperto, che si mantiene viva e funzionante attraverso intense transazioni con l'ambiente circostante che, a sua volta, si compone parzialmente di organismi. Così l'intera biosfera, il nostro eco-sistema planetario, è un sistema dinamico e fortemente integrato di forme viventi e non viventi. Anche se questo tessuto presenta molti livelli e gerarchie, tra questi livelli esistono transazioni ed interdipendenze molto strette.

Un eco sistema urbano può essere considerato analogo ad un organismo e l'emergere dei problemi ambientali urbani possono essere attribuiti ad un suo incompleto meccanismo di metabolizzazione. Questa incompletezza può diventare un circolo vizioso e portare ad ulteriori disordini metabolici di origine urbana.

La città può essere considerata un ecosistema, inserito in un ecosistema di un livello superiore, che contiene organismi, ovvero edifici ed infrastrutture, che a loro volta hanno un'autonomia considerevole, ma sempre relativa ad altri sistemi, e che si integrano nel funzionamento del tutto. In pratica il modello metabolico urbano implica la definizione di un quadro dagli orizzonti molto ampi che comprende gli input, gli output e lo stoccaggio di energia, acqua, alimenti, materiali e rifiuti per una intera regione urbana. La nozione di metabolismo urbano è ispirata ad un'analogia con il metabolismo degli organismi o dall'analogia tra la città e gli

ecosistemi. Le città sono simili ad organismi nella misura in cui consumano risorse reperibili nei dintorni, più o meno lontani, ed espellono rifiuti, in pratica trasformano le materie prime in ambiente costruito, biomassa umana e materiale di scarto. Le città sono paragonabili ad ecosistemi in quanto la loro sostenibilità è relativa alle analogie che il loro funzionamento ha con gli ecosistemi naturali che si autoregolano in un equilibrio stabile e completo. Gli ecosistemi naturali sono energeticamente autosufficienti, usano solo risorse energetiche sostenibili, e conservano la propria massa materica operando complessi processi di riciclo. Più le dinamiche ed i processi urbani si avvicinano a queste caratteristiche ecosistemiche più le città possono diminuire i propri impatti ed ottenere un maggior livello di sostenibilità. La città contemporanea è generalmente molto distante da questo modello, in particolar modo lo sono i grossi nuclei metropolitani, caratterizzati dal creare un flusso unidirezionale di materia utile ed energia, in entrata, e di materia degradata, in uscita, con un processo lineare e continuo che dalla rivoluzione industriale fino ai giorni nostri è stato in continua crescita ed evoluzione.

4.4. Il modello del metabolismo urbano e le sue applicazioni

Il concetto di metabolismo urbano fu concepito la prima volta nel 1965 da Abel Wolman, un ingegnere americano che si occupava principalmente di risorse idriche. Nel suo studio seminale *The metabolism of cities* Wolman usò i dati nazionali statunitensi sull'acqua, il cibo e l'uso di carburante, insieme ai tassi di produzione di liquami fognari, rifiuti ed inquinanti atmosferici per determinare le quantità pro capite in ingresso ed in uscita da un'ipotetica città americana di un milione di abitanti (Wolman 1965). Il suo approccio nel determinare i flussi di materiale, persino con l'omissione di importanti input come ad esempio quello dell'elettricità, del materiale per le infrastrutture e di altre merci di lunga durata, aiutò a focalizzare l'attenzione riguardo gli impatti sull'intero sistema del consumo di prodotti e della generazione di rifiuti all'interno di un contesto urbano.

Pochi anni dopo lo studio di Wolman un ecologo statunitense, Howard Odum, elaborò un interessante apparato concettuale che andò ad integrare ed ampliare l'approccio metabolico sullo studio delle città (Odum 1971). Odum partendo dal presupposto che la fonte primaria di energia per tutti gli ecosistemi terrestri è costituita dal sole elaborò una metodologia capace di misurare, e quindi comparare, con un'unica unità di misura i metabolismi di tutti i sistemi. Odum creò la teoria dell'Energia, introducendo due nuovi termini utili nello studio dei processi della sostenibilità: "emergia" e "trasformabilità". Emergia è l'energia totale di un certo tipo che è necessaria, sia direttamente che indirettamente, per formare una risorsa, un prodotto, un servizio, la sua unità sono i solar emjouls (sej). La trasformabilità è invece l'input di emergia per unità disponibile di energia in uscita. Per esempio se 10.000 sej sono necessari per creare una biomassa legnosa con la potenza calorifica di 1 Joule allora la trasformabilità solare di quella biomassa legnosa è di 10.000 sej/J. L'emergia specifica è l'emergia per unità di massa ed è espressa in emergia solare per grammo (sej/g). Le risorse materiali possono dunque essere valutate usando le unità di misura dell'emergia. Per i flussi finanziari l'emergia per unità di denaro è usata per rappresentare l'emergia che è richiesta per la creazione di un'unità di prodotto economico (espressa come sej per unità corrente), in questo modo è possibile convertire i flussi monetari in unità di emergia. Questa metodologia permette di riportare tutti gli elementi del metabolismo urbano ad un'unica unità di misura, e quindi a renderli comparabili, infatti fattori chiave di conversione per creare un sistema di valori che siano direttamente comparabili sono la trasformabilità (sej/J) per flussi di energia, l'emergia specifica (sej/g) per flussi di massa e l'emergia per unità di denaro (ad esempio sej/euro) per i flussi monetari. Analogamente la trasformabilità solare è la trasformabilità richiesta per trasformare queste quantità in emergia solare equivalente. Odum e ed i suoi colleghi e molti ricercatori che hanno lavorato su questa teoria, hanno calcolato negli ultimi decenni il grado di trasformabilità di molti prodotti e servizi, oggi è possibile calcolare i valori energetici per la maggior parte delle forme di energia e di risorse, più grande è la trasformabilità e più energia solare sarà necessaria per creare un prodotto. L'analisi emergetica permette di comparare differenti flussi usando un'unica unità di misura (overo

il "solar emjoule") per tutti i flussi di materia, di energia e di denaro all'interno di un sistema, rende quindi possibile una valutazione integrata di valori economici ed ecologici che son presenti in un sistema permettendo uno studio integrato di tutti i processi presenti all'interno del metabolismo urbano. Perché un sistema urbano contemporaneo funzioni sono necessari i principali flussi energetici di energia rinnovabile, di energia non rinnovabile e di merci e materiali introdotti dall'ambiente esterno e l'esportazione di rifiuti o scarti.

Le metodologie di analisi di Wollman ed Odum acquisirono una forte notorietà in ambito accademico ma non furono mai utilizzate nella pianificazione urbana o territoriale, né nell'elaborazione di politiche energetiche. Fu solo all'inizio degli anni novanta che il metabolismo urbano iniziò ad essere visto come un utile strumento per la costruzione e la valutazione di processi sostenibili all'interno delle realtà urbane (Girardet 1992).

Le città possono essere interpretate come sistemi complessi che continuamente dissipano e degradano materia ed energia proveniente da sistemi territoriali più vasti, di dimensioni regionali ma anche globali. Analogamente nelle città vengono anche sfruttati servizi e funzioni degli eco sistemi di livello superiore che subiscono quindi un degrado antropico per permettere lo svolgersi delle funzioni urbane.

Il concetto di metabolismo urbano può essere usato per valutare e misurare il metabolismo socio economico al livello della città e delle sue interazioni con l'esterno. Rappresenta un approccio olistico alla pianificazione territoriale. Il fatto di esplorare l'interazione tra flussi di risorse, processi di trasformazione urbana, flussi di rifiuti e anche livelli di qualità della vita definisce il metabolismo urbano come la somma totale dei processi tecnologici e socio economici che avvengono nelle città e che hanno come risultato la crescita, la produzione di energia, e la dissipazione dei rifiuti.

L'analisi del metabolismo urbano offre quindi una visione inclusiva e sistemica della città riuscendo a cogliere i nessi e le relazioni dei vari processi che, al contrario, sono spesso assenti in metodologie rivolte a cogliere il funzionamento delle singole parti del sistema, o di particolari processi, ma che perdono una visione d'insieme. Per questo motivo gli indicatori riferiti ai processi metabolici

costituiscono un utilissimo strumento nelle valutazioni della sostenibilità di un insediamento. Nonostante gli studi sul comportamento metabolico delle città siano abbastanza numerosi, soprattutto per quanto riguarda i bilanci di materia, tra i più recenti sono da sottolineare ad esempio quelli su Vienna (Hendricks 2000), Hong Kong (Warren-Rhodes 2001), Londra (Chartered Institution of Wastes Management 2002), Città del Capo (Gaddon 2002), Shenzhen City in China (Yan 2007) e Parigi (Barles 2009), gli indicatori di sostenibilità ambientale riferiti al metabolismo sono raramente usati nei processi di elaborazione e valutazione delle politiche ambientali.

Uno dei tentativi di sistematizzare l'analisi metabolica attraverso una serie di indicatori è quello attuato all'interno della ricerca *Developing a pragmatic approach to assess urban metabolism in europe* (Minx 2010) condotto all'interno di una serie di studi promossi dall'*Environmental Energy Agency* con l'obiettivo di integrare le varie iniziative di monitoraggio dei sistemi urbani europei con un nuovo strumento che potesse colmare le lacune e provvedere una base integrata di informazioni utile ai futuri sviluppi della sostenibilità. In questo studio viene individuato un sistema di indicatori metabolici suddiviso in quattro categorie: clima ed energia, acqua, rifiuti ed uso del suolo. Tuttavia gli stessi autori sottolineano la parzialità del loro lavoro e la difficile praticabilità della metodologia adottata. I dati utilizzati per gli indicatori sono di difficile reperimento, generalmente non aggiornati e talvolta non comparabili, inoltre i dati sono spesso riferiti ai confini amministrativi che non coincidono con l'ampiezza dei processi in atto che si tenta di monitorare.

Nella definizione di indicatori del metabolismo urbano vi è innanzitutto un problema di unità di misura, ovvero di unità condivise e riconosciute per la lettura dei fenomeni, da cui deriva una forte carenza di indicatori capaci di leggere il comportamento metabolico nel suo insieme. Pertanto anche nelle politiche o negli studi rivolti alla sostenibilità ambientale gli indicatori riferiti alle singole parti della città e non al suo insieme sono quelli più usati, e si ritrovano all'interno dei sistemi di certificazione o nei processi di valutazione delle politiche ambientali.

Mancano strumenti capaci di utilizzare metodologie che diano risultati comparabili nelle analisi dei metabolismi e che siano basate su indicatori oggettivi universalmente riconosciuti ed usati nella misurazione dei processi metabolici.

Un recente studio su di un'area di una regione irlandese definisce ad esempio un indicatore per la misurazione dell'efficienza metabolica attraverso l'analisi del rapporto tra il consumo dei prodotti e la generazione dei rifiuti (Browne 2011). Un indicatore di questo tipo, che legge quindi l'inefficienza metabolica dei processi mettendo in relazione rifiuti e materie prime, può essere molto utile per fattori impattanti di determinati settori all'interno dei cicli produttivi di una città, può essere usato come un indicatore complementare con i tassi di riciclo e la generazione di rifiuti per interpretare la creazione di rifiuti come una funzione del volume di produzione materiale nel metabolismo urbano o anche in quello delle abitazioni o dell'intera società.

In conclusione si può affermare che lo studio del metabolismo urbano è a tutti gli effetti parte integrante degli studi che cercano di analizzare lo stato dell'ambiente, il suo evolversi ed i suoi limiti. E' capace di fornire dati e misure che sono molto indicative del grado di sostenibilità di una città o di un distretto o di un quartiere, e può essere applicato a qualunque tipo di insediamento. Il metabolismo urbano include in se informazioni sull'efficienza energetica, il ciclo dei materiali, lo smaltimento o riciclo dei rifiuti e le infrastrutture di un sistema urbano. I parametri del metabolismo urbano possono fornire degli indicatori significativi di sostenibilità urbana in quanto sono scientificamente validi, rappresentativi, reattivi, importanti nella pianificazione, basati su dati che sono comparabili nel tempo, facilmente comprensibili e non ambigui.

L'analisi metabolica può quindi essere usata a tutti gli effetti per costruire nuovi strumenti di definizione e valutazione delle politiche ambientali urbane e può fornire stimoli per concepire nuove direzioni e nuovi obiettivi nelle politiche atte alla limitazione degli impatti

Nella valutazione della sostenibilità urbana e nello studio dei percorsi per una transizione verso una città a basso impatto definire degli indicatori metabolici può dunque fornire nuove prospettive di analisi e comprensione dei fenomeni. L'utilizzo di set di indicatori e di indici capaci di esprimere il rapporto tra ciò che la città è capace di produrre di per se stessa per il proprio sostentamento e ciò di cui ha invece bisogno come fornitura esterna, proveniente da altri luoghi, da altri territori, costituisce una metodologia di lettura urbana che può superare le contraddizioni

evidenziate nel capitolo precedente tra modello efficientista e comportamento reale dei sistemi urbani. Tale metodologia sposta l'attenzione dal funzionamento dei singoli elementi che compongono un insediamento ai rapporti organici che legano gli elementi dell'insediamento stesso. Questi rapporti assumono un ruolo molto significativo in quanto sono alla base della generazione dei flussi in entrata ed uscita dal contesto urbano, fonte di impatti ambientali su territori esterni alla città, talvolta notevolmente lontani ma i cui effetti sono comunque da includere in una metodologia efficace di valutazione della sostenibilità.

5. La sostenibilità nei nuovi distretti urbani: analisi comparativa dei sistemi energetici di otto “eco-distretti” europei

In questo capitolo vengono analizzati otto eco distretti europei attraverso una analisi comparativa, il modello metabolico urbano prima descritto viene utilizzato per l'esame dei sistemi energetici dei diversi quartieri. In seguito viene definito un nuovo indice della sostenibilità energetica che è in grado di cogliere il grado di sostenibilità dei processi metabolici interni al distretto che ne determinano il comportamento energetico. Questo indice denominato “IMSE” (indice di sostenibilità energetica) viene poi utilizzato per valutare i bilanci energetici dei distretti analizzati. Il fine della metodologia è di comprendere quali strategie e quali tecnologie possono fornire l'aiuto più efficace e determinante per uno scenario di sostenibilità energetica urbana.

I distretti scelti come casi studio sono otto eco quartieri europei di recente costruzione: il distretto di Am Schlierberg in Germania, Bedzed nel Regno Unito, Bo01 e Hammarby in Svezia, il Greenwich Millenium Village inserito nel tessuto urbano londinese, Solar City in Austria, Viikki in Finlandia e Valderspartera in Spagna. Tutti questi distretti contengono un mix di funzioni che vanno da quella predominante abitativa, al terziario, a strutture per i servizi e per eventi culturali; sono legati, fisicamente, socialmente e culturalmente, a grandi e consolidati ambiti urbani, sono tutti all'interno del territorio europeo e per questo facilmente comparabili essendo sia soggetti a condizioni climatiche simili sia legati a un contesto socio politico comune. Inoltre i distretti scelti per lo studio sono tutti stati costruiti negli ultimi quindici anni con un chiaro intento sperimentale ma allo stesso tempo sono stati soggetti alle dinamiche ed alle condizioni del mercato immobiliare. Si presentano tutti, pertanto, come reali modelli di sviluppo urbano,

profondamente legati al contesto a cui appartengono e replicabili sia nelle diverse metodologie di progettazione sia nelle tecnologie costruttive adottate.

5.1. Gli eco distretti come risposta alla crisi ambientale

La città è sempre stata ed è tuttora l'elemento più energivoro nel rapporto tra l'uomo e l'ambiente, è sempre stato un organismo fortemente dipendente da territori esterni, fondamentale un organismo che non può essere ne autosufficiente ne autonomo e la cui impronta ecologica è sempre superiore ai propri confini territoriali. Con l'epoca della rivoluzione industriale gli squilibri tra la città e i territori esterni ad essa hanno però iniziato ad acuirsi, un fenomeno che ha raggiunto nel novecento un livello difficilmente sostenibile per molti anni ancora. Basti pensare ad esempio all'accurata analisi svolta sulla città di Londra che dimostra come l'impronta ecologica della sola capitale inglese ha raggiunto oggi una superficie che è più grande del doppio di tutta la superficie della Gran Bretagna (Greater London Authority 2003).

La città vive grazie ai flussi di varia natura, principalmente energia, cibo e acqua che costantemente provengono dall'esterno e che ne garantiscono la sopravvivenza e contemporaneamente emette flussi che vengono generalmente dissipati in territori esterni ad essa, come ad esempio emissioni inquinanti, acque reflue e rifiuti. Tali flussi possono essere più o meno massicci a seconda del grado di efficienza dell'uso delle risorse dell'organismo urbano ma anche e soprattutto a seconda del grado di autosufficienza della città, ovvero di autoproduzione degli stessi flussi ad essa necessari, come evidenziato nell'illustrazione del modello metabolico nel Capitolo 4.

La produzione di energia rinnovabile in loco, la raccolta dell'acqua piovana, le diverse forme di agricoltura urbana sono tutte forme di riduzione dei flussi in entrata e di alleggerimento del peso ambientale dell'organismo urbano su altri territori, così come la creazione di cicli chiusi per il riutilizzo dei rifiuti o per l'uso del calore prodotto da processi di lavorazione industriale o da macchinari di diversa

natura. Tutti i processi di refrigerazione, per esempio, producono grosse quantità di calore generalmente non utilizzato e disperso nell'atmosfera con grande aumento del fenomeno delle isole di calore nei mesi estivi; l'utilizzo di questo calore, se raccolto con le tecnologie appropriate e riutilizzato, porta da una parte ad una diminuzione del flusso di energia in entrata e dall'altra ad una sensibile diminuzione della temperatura locale nei mesi più caldi. Uno studio che si basa su questi principi è stato fatto nella pianificazione energetica della città di Rotterdam attraverso un metodo chiamato *Rotterdam Energy approach and planning* che si focalizza, attraverso un'attenta analisi exergetica, sul riuso dei flussi di calore che sono emessi dagli edifici. Questo metodo si basa sull'inventariare i flussi generalmente dissipati nell'ambiente, come ad esempio il calore sottratto agli uffici o ai supermercati per raffrescarli o quello creato per il raffreddamento di una pista di pattinaggio sul ghiaccio, per poi convogliarlo dove necessita: ad esempio nel riscaldamento degli edifici o nel riscaldamento dell'acqua di una piscina (Tillie 2009).

Molti dei processi prima elencati non sono però attuabili, per ragioni tecniche o per mancanza di efficienza ed efficacia, sulla piccola scala, sull'edificio o sulle aree a questo limitofe. La riduzione dei flussi e la creazione dei cicli chiusi inizia ad essere efficiente quando gestita sulla scala ampia del distretto o della città, quando si viene a creare una massa critica capace di avviare sistemi di risparmio o di recupero.

Come in ogni processo di valutazione anche nell'analisi della sostenibilità urbana il fattore determinante è costituito dalla scelta degli indicatori. E' necessaria l'elaborazione di metodologie atte alla definizione di indicatori che siano significativi nella lettura del funzionamento urbano ed abbiano una validità multi scalare, ovvero abbiano una loro oggettiva validità a scala urbana ma non perdano di significato nella scala dell'edificio e in quella territoriale. Successivamente è poi necessario procedere alla sistematizzazione dei diversi indicatori all'interno di strumenti utili alla valutazione ed alla comparazione dei distretti e delle loro relazioni territoriali, strumenti che possano essere di facile impiego anche per le strutture demandate all'elaborazione di politiche pubbliche ed alla pianificazione urbana e territoriale.

Questa parte della ricerca è rivolta ad un'analisi delle caratteristiche degli eco quartieri scelti, un'indagine sui fattori che determinano l'"ecologicità" dei distretti stessi: dalle tecnologie, alle strategie adottate alla densità abitativa, agli obiettivi preposti. In particolare l'osservazione è rivolta a riconoscere le sinergie atte a raccogliere energia rinnovabile con processi attuabili in un ambiente urbano, ovvero quei processi virtuosi che ottimizzano il metabolismo diminuendo o addirittura azzerando la richiesta di risorse all'esterno. Successivamente viene definito un indice di sostenibilità energetica con cui i distretti scelti vengono analizzati per valutarne criticità e strategie particolarmente efficaci. L'analisi dei bilanci energetici è scelta come obiettivo prioritario in quanto il settore energetico è particolarmente significativo all'interno del funzionamento di un contesto urbano per il suo impatto ambientale ed è il maggior responsabile del cambiamento climatico. Oggi le città emettono circa il 70% delle emissioni clima alteranti ed il 61% di queste è legato al settore energetico (IEA 2008). La crescita maggiore delle emissioni globali di gas clima alteranti fra il 1970 e il 2004 proviene infatti dal settore energetico con un aumento del 145% (IPCC 2007). Il tema qui affrontato, occupandosi esclusivamente degli impatti ambientali dei consumi energetici, è naturalmente un elemento parziale rispetto ad una visione olistica della sostenibilità urbana, è un tassello importante, centrale, in un processo di valutazione molto complesso che connette in un delicato insieme olistico gli aspetti ambientali, sociali ed economici.

5.2. La nascita dell'"eco distretto"

Gli anni novanta del ventesimo secolo sono il periodo in cui la comunità scientifica prende atto della insostenibilità ambientale della città contemporanea a causa del suo espandersi continuo e della sua totale dipendenza dai combustibili fossili, tutto ciò avviene in ambito accademico lasciando una certa indifferenza nelle istituzioni preposte ai governi urbani. Le amministrazioni delle principali città mondiali sono assolutamente inerti di fronte alla sempre maggiore evidenza,

supportata da un'ampia documentazione scientifica, della non sostenibilità ambientale dei sistemi urbani contemporanei. Un immobilismo simile a quello seguito ai Rapporti al Club di Roma, con la successiva pubblicazione de "I limiti dello sviluppo" (Meadows 1972), quando di fronte all'urgenza di prendere provvedimenti per limitare il depauperamento delle risorse i governi e gli organismi sovranazionali avevano reagito con una pachidermica passività, quasi un rifiuto nel prendere atto dell'impossibilità di perpetuare all'infinito un certo tipo di sviluppo basato su un indiscriminato saccheggio delle risorse.

Nel 1992 Herbert Girardet pubblica *The Gaia Atlas of Citities* (Girardet 1992) in cui sottolinea l'espandersi smisurato delle metropoli privo di limiti e di razionalità nello sfruttamento delle risorse dei territori circostanti. Analizza le cause sociali ed economiche dell'esplosione urbana ed ipotizza strategie per garantire un dignitoso livello di vita alle popolazioni urbane insieme ad una diminuzione degli impatti ambientali. L'analisi di Girardet è concentrata soprattutto sugli aspetti metabolici della città ovvero la diminuzione degli scarti, il loro riuso, la creazione di cicli chiusi. Nella sua analisi c'è un chiaro riferimento al modello metabolico di lettura urbana ideato da Wolman circa trent'anni prima (Wolman 1965) ed illustrato nei Capitolo 4, l'attenzione di Girardet è rivolta ai processi interni della città, i processi metabolici che ne determinano la vita ma che allo stesso tempo, se non gestiti propriamente, sono causa di devastanti impatti ambientali.

Pochi anni dopo William Rees ed Mathis Wackernagel, già autori della celebre metodologia di analisi dell'impronta ecologica, pubblicano un breve saggio (Rees 1996) in cui sostengono che la città non potrà mai essere sostenibile in quanto concepita come consumatrice di risorse naturali e produttrice di scorie e rifiuti. Una sorta di buco nero entropico che è al centro degli impatti ambientali più consistenti, soprattutto per la sua crescita continua senza un governo ed una pianificazione di lungo periodo. Negli stessi anni l'architetto Richard Rogers scrive un saggio, che ha una grande diffusione, intitolato *Citities for a small planet* (Rogers 1997) in cui riprendendo il tema della non sostenibilità della città contemporanea, anche dal punto di vista sociale ed economico, cerca di abbozzare alcuni temi innovativi su cui costruire, o meglio trasformare, la città contemporanea. Rogers sostiene che le città vadano riportate all'interno dei cicli della natura, dunque va ricercato un

nuovo equilibrio dinamico tra società, città e natura, e questo deve avvenire tramite politiche pubbliche che siano mirate alla partecipazione all'educazione ed all'innovazione. Rogers riflette sia sul metabolismo della città sia sulla sua organizzazione spaziale, individuando la densità come un elemento centrale nella costruzione della città sostenibile, abbozza delle strategie progettuali basate sulla creazione di un tessuto urbano molto compatto, policentrico e dotato di un mix di funzioni diverse in modo da diminuire il carico della mobilità sulle lunghe tratte. Contestualmente alla pubblicazione di questo saggio Richard Rogers è stato incaricato della redazione del masterplan della Greenwich Peninsula a Londra, uno dei distretti che sarà analizzato nei paragrafi seguenti.

Negli anni novanta parallelamente agli studi scientifici che dimostrano l'insostenibilità o per lo meno la non durabilità dei processi urbani della città contemporanea si inizia timidamente a diffondere una coscienza ecologica, che anche grazie agli organi di informazione di massa si fa lentamente strada tra la popolazione. La coscienza della insostenibilità ambientale del vivere urbano e soprattutto la presa d'atto che la città è fonte di una bassa qualità della vita a causa del danno ambientale che infligge, ha portato alla richiesta sociale e culturale, ma dai forti riflessi economici, di un nuovo modello di città. Una città adatta al nuovo millennio ed alla nuova era che sappia coniugare le comodità e le opportunità urbane ad un alto livello di qualità della vita e ad un rapporto più stretto con la natura e con i suoi cicli. Un legame questo che a partire dalla rivoluzione industriale per giungere fino all'ultimo decennio del ventesimo secolo è stato completamente negato dal modello di città razionalista. Un modello di città compartimentata, dedicata alla produzione industriale o al commercio, basata e cresciuta su uno smodato uso di combustibili fossili provenienti in genere da migliaia di chilometri di distanza.

Negli anni novanta la città diventa centrale nel processo di studio della sostenibilità e parallelamente agli studi sull'impatto ambientale dei grandi insediamenti si inizia a definire un immaginario di ciò che la città potrebbe essere per ritrovare equilibri interni e sintonia con la natura. Un immaginario che non è più utopistico o visionario come accadeva ad esempio già negli anni settanta nella sostenibilità dei progetti di Paolo Soleri che ideava insediamenti completamente

slegati dal contesto esistente, ma che è invece capace di confrontarsi con la realtà urbana quotidiana delle metropoli contemporanee.

L'assurda condizione della città novecentesca, le sue contraddizioni e i devastanti impatti, sono spiegati dettagliatamente da Peter Droege nel testo *Renewable city* (Droege 2006) in cui viene analizzato come sia stato proprio l'uso indiscriminato dei combustibili fossili ad aver causato le maggiori idiosincrasie della città contemporanea e soprattutto ad aver abbassato inesorabilmente il livello della qualità della vita di chi la città la abita.

Dalla fine degli anni novanta le teorie e gli allarmi lanciati dai sempre più numerosi studi inerenti l'insostenibilità delle metropoli ed un lento ma continuo avanzare di istanze sociali che chiedono maggior rispetto per l'ambiente naturale, hanno iniziato ad evolvere in alcuni progetti sperimentali che si sono concretizzati soprattutto all'interno o nei pressi delle grandi città Europee.

In questi nuovi progetti l'attenzione è stata posta sul distretto come elemento su cui costruire la sostenibilità urbana. Per la prima volta nella storia contemporanea si è iniziato ad interpretare la città come un sistema complesso e la sua costruzione come un processo che non deve solamente preoccuparsi dell'edificazione fisica degli edifici e delle infrastrutture ma che al contrario deve soprattutto preservare gli equilibri della metropoli con l'ambiente naturale esogeno ed endogeno. Dunque gli elementi del progetto sono stati arricchiti da una visione olistica del complesso urbano, una strategia, o meglio più strategie, che puntino ad un minor consumo di risorse, ad una ridotta emissione di rifiuti e contemporaneamente consentano alla natura di permeare la metropoli e di compiere i propri cicli anche all'interno del tessuto urbano.

E' da sottolineare che questi ambiziosi progetti hanno riguardato tutti nuove parti di città, per la maggior parte espansioni dell'edilizia residenziale e terziaria, che nel migliore dei casi sono sorte su vecchie aree industriali e nel peggiore su ex aree agricole. L'immaginario della città sostenibile e le istanze di una maggior vivibilità urbana si sono quindi concretizzate nella maggioranza dei casi su di un'ulteriore espansione dell'edificato piuttosto che su una più sensata rigenerazione della città esistente. Nonostante infatti la popolazione europea sia in sensibile diminuzione la costruzione di nuova cubatura a fini residenziali continua

imperterrita a scapito del suolo non urbanizzato, che è un elemento fondamentale per il mantenimento degli equilibri naturali. In Italia ad esempio sono stati costruiti dieci milioni di metri quadri a fini residenziali solo nel 2009 (fonte dati: ISTAT) nonostante sotto il profilo demografico l'Italia si confermi uno dei paesi con il più basso tasso di natalità al mondo. Le nuove edificazioni, sia in Italia che nel resto d'Europa, sono legittimate in parte dalla diffusione di nuclei familiari più piccoli rispetto al passato, e che quindi richiedono unità abitative più numerose, e dalla continua immigrazione, ma in ogni caso non è giustificato l'abbandono di milioni di vecchi edifici che richiederebbero, da un punto di vista di strategie rivolte al risparmio delle risorse ed alla diminuzione dei consumi, una rifunzionalizzazione piuttosto che l'abbandono o l'abbattimento.

Dunque gli esempi più "mediatizzati" di sostenibilità urbana che hanno iniziato a diffondersi alla fine degli anni novanta rivolti all'aumento della cubatura piuttosto che al recupero ed al riuso hanno intrapreso una strategia già critica in partenza: la grossa partita sul risparmio energetico nell'edilizia si giocherà molto più sul patrimonio edilizio esistente che non su quello da costruirsi dal momento che i metri cubi climatizzati dell'edilizia già esistente sono molti di più di quelli costruibili nei prossimi anni.

In ogni caso questi primi "eco distretti" costituiscono un importante passaggio di scala nella ricerca e sperimentazione di nuovi equilibri ecologici tra la natura e l'ambiente costruito. L'assunto di base presente in tutti questi progetti è che non basta un insieme di edifici certificati come sostenibili per determinare la sostenibilità di un contesto urbano. E' necessario un approccio più complesso e radicale che focalizzi l'attenzione non solo sugli edifici e sui loro impianti tecnologici ma soprattutto sulle loro relazioni e sulle relazioni che i cittadini sviluppano con il proprio contesto urbano.

Con questa ambizione da metà degli anni novanta hanno iniziato a sorgere numerosi distretti urbani che fin dalle prime fasi sono stati accompagnati da un intensa attività pubblicistica internazionale che prometteva per i futuri abitanti un ridotto impatto ambientale ed un alto livello di qualità della vita. Tali distretti, genericamente nati con un determinante sostegno di soggetti pubblici locali e nazionali, sono stati definiti "eco-distretti" e costituiscono oggi il tentativo più

avanzato di elaborazione teorica ed di applicazione dei principi della sostenibilità nell'ambiente costruito. Il proposito di questi progetti è infatti quello di traslare la scala della sostenibilità dalla dimensione dell'edificio a quella dell'intero quartiere, allargando in questo modo quei confini virtuali che dobbiamo necessariamente tracciare nei processi di costruzione olistica di un qualsivoglia sistema.

Nonostante il proliferare di progetti "eco urbani" ed il grande impatto mediatico che questi hanno avuto sia nella letteratura di settore sia all'interno dell'informazione generalista vi è tutt'oggi una grave carenza di riscontri scientifici e dati oggettivi sui quali poter costruire una valutazione dell'effettiva sostenibilità delle varie realizzazioni. Tanta è stata l'enfasi documentaristica data alla loro progettazione e costruzione, spesso con toni trionfalistici, e tanto è stato blando, nella maggioranza dei casi, il monitoraggio dei risultati effettivamente raggiunti. Ad eccezione del distretto di Bedzed, costruito nel Regno Unito nei pressi della cittadina di Beddington, che è stato sottoposto ad un lungo ed attento monitoraggio di cui son stati ampiamente pubblicati i dati, poche sono state le pubblicazioni inerenti una valutazione tecnica dei risultati ottenuti in confronto con quelli attesi, le criticità riscontrate e l'andamento dei consumi energetici misurato con metodologie scientifiche.

Si verifica quindi un evidente idiosincrasia tra lo studio della sostenibilità dei singoli edifici, contesto profondamente normato, consolidato, ampiamente discusso nella letteratura di settore e ricco di dati scientifici derivati dai monitoraggi sui quali elaborare nuovi sviluppi, e lo studio della sostenibilità urbana, ancora da esplorare e monitorare; un campo particolarmente ricco di complesse connessioni tra gli aspetti ambientali, sociali ed economici.

Da una parte vi è infatti ancora oggi la carenza di strumenti consolidati, affidabili e testati atti alla valutazione degli impatti a scala urbana, dall'altra la complessità del processo di valutazione ad un ambito così esteso implica il coinvolgimento di un vasto numero di competenze, saperi e discipline che rende il processo assai complesso ed oneroso e, soprattutto, richiede un approccio multidisciplinare che fatica molto, sia negli ambiti delle politiche pubbliche sia nella ricerca accademica, ad avere legittimazione ed un proprio riconoscimento.

Eccetto alcuni rari casi virtuosi la maggioranza degli "eco distretti" realizzati ripone la validità dei propri assunti all'interno di una dichiarazione di intenti pre progettuale e di modelli di simulazione non supportati poi da verifiche oggettive altrettanto scientifiche e scrupolose.

E' pertanto evidente che di fronte ad una carenza di dati certi, quantificabili, misurabili e soprattutto comparabili è difficile giungere ad una valutazione scientifica del funzionamento delle diverse realizzazioni e soprattutto è difficile ottenere feed back che siano di stimolo ed indicazione per tracciare futuri percorsi di sviluppo e sperimentazione.

5.3. Panoramica su otto eco quartieri europei: il sistema urbano verso la sostenibilità

L'indagine che segue si svolge analizzando in modo comparativo otto "eco distretti" europei tutti sorti tra la fine degli anni novanta ed il primo decennio del ventunesimo secolo. Sono quindi distretti che utilizzano tecnologie e tipologie costruttive contemporanee, sono tutti composti da condomini multipiano e dunque presentano una densità edilizia relativamente alta, soprattutto in confronto agli insediamenti urbani pianificati con l'"housing" di origine anglosassone. Tutti sono inseriti in città già esistenti con un tessuto sedimentato, o ne sono appendici, ne costituiscono fisicamente una periferia pur avendo acquistato una loro autonomia multifunzionale ed identità, sono molto lontani dunque dai quartieri d'espansione residenziale degli anni settanta ed ottanta che fungevano spesso da meri dormitori a servizio delle grandi città europee. In tutti i distretti oltre all'attenzione agli impatti ambientali vi è stato, fin dalla fase progettuale, un tentativo di costruire una comunità urbana, dunque una forte attenzione per il processo sociale che accompagna sempre la nascita di nuovi insediamenti. In tutti i progetti è presente la convinzione che qualunque strategia tecnica di sostenibilità è inerte se non accompagnata da una precisa presa di coscienza ambientale della comunità e dal senso di appartenenza e partecipazione attiva alla vita del quartiere.

La scelta dei distretti è stata fatta in base alla documentazione prodotta da ciascuno, e dall'eco che la loro costruzione ha avuto sia sulla letteratura specializzata che sulla stampa generalista o sui diversi media. Tra tutti i quartieri sedicenti "ecosostenibili" costruiti in Europa negli ultimi vent'anni sono stati scelti i distretti che a loro carico avevano più pubblicazioni o citazioni, o materiale audiovisivo informativo o propagandistico. E' stato scelto questo criterio perché si è ritenuto importante focalizzare la ricerca proprio su quei progetti che hanno influenzato di più l'immaginario comune, che hanno assunto una forte valenza simbolica diventando sinonimo di sostenibilità urbana e di conseguenza hanno influenzato successivi studi, ricerche e nuove sperimentazioni in corso d'opera. Se da una parte questo metodo premia ed evidenzia la capacità di comunicazione dei soggetti promotori, ovvero committenti, architetti, imprese, enti pubblici e privati, dall'altra focalizza l'attenzione su quei progetti che sono stati oggetto di ingenti finanziamenti pubblici per la ricerca e l'innovazione, dunque che hanno avuto un ruolo forte e centrale nel percorso reale che l'edilizia europea sta compiendo verso la sostenibilità dell'ambiente costruito. Tra quelli che possedevano queste caratteristiche sono stati ulteriormente selezionati quelli comparabili per i dati forniti dai progettisti o enunciati nella fase progettuale, sono stati eliminati quei progetti la cui sostenibilità non è stata legata ad alcuna dato quantitativo o di performance ma solamente a scelte strategiche come l'utilizzo di molta coibentazione, dei pannelli solari o di un'alta efficienza degli impianti o la presenza di piste ciclabili.

Attraverso questi criteri sono stati scelti i distretti di Am Schlierberg in Germania, Bedzed nel Regno Unito, Bo01 e Hammarby in Svezia, il Greenwich Millenium Village inserito nel tessuto urbano londinese, Solar City in Austria, Viikki in Finlandia e Valderspartera in Spagna.

L'analisi comparativa illustrata nelle pagine seguenti pur evidenziando i diversi obiettivi e le diverse strategie messe in atto, dalla riduzione di CO₂ al risparmio dell'acqua alla tutela della biodiversità, è comunque focalizzata sui sistemi energetici ed in particolare sulle strategie atte allo sfruttamento delle risorse rinnovabili locali. In una valutazione basata sul modello metabolico illustrato nel Capitolo 4 è infatti fondamentale comprendere quali sono i flussi di cui il quartiere

si nutre e quali di questi provengono dall'esterno, quali dall'interno, quali appartengono a cicli chiusi e quali invece producono scarti da smaltire. Il sistema energetico è il flusso più impattante in quanto è quello che, nelle città contemporanee, grava maggiormente sui territori esterni, nonché il maggior responsabile delle emissioni di CO₂ (IEA 2008). Nei grossi centri urbani tutta l'energia proviene infatti dall'esterno: da migliaia di chilometri di distanza nel caso dei combustibili fossili, che oltre ai correlati impatti ambientali sono anche responsabili di precari equilibri geopolitici, e da centinaia o migliaia di chilometri nel caso dell'elettricità prodotta dalle centrali idroelettriche o nucleari, con perdite di circa il 7% nella distribuzione e nella trasmissione (Bunch 1982).

Il sistema della mobilità non è preso in considerazione in questo studio, sebbene costituisca circa un terzo dei bilanci energetici delle grandi città e la mobilità costituisca parte integrante del concetto di insediamento urbano. L'analisi di questa ricerca è però focalizzata alla comprensione delle relazioni virtuose tra i consumi dell'edilizia residenziale, dunque dell'abitare, e le risorse locali demandando l'analisi delle tecnologie e modalità dei trasporti ad altri studi.

5.3.1. *Am Schlierberg - Friburgo (Germania)*

Friburgo, una città nel sud ovest della Germania, è stata spesso considerata la capitale dell'ambientalismo europeo per la sua pratica ventennale di sperimentazione di politiche e strategie ambientali. E' una cittadina di circa 200.000 abitanti popolata soprattutto da studenti che frequentano la locale all'università. Il quartiere più conosciuto di Friburgo per la sua storia di avanguardia nella sostenibilità urbana è sicuramente Vauban, un distretto nato su una vecchia area militare dell'esercito francese, situato a sud della città a circa 3 km di distanza dal centro. A partire dal 1992 la Municipalità ha riqualificato l'area secondo criteri di eco-compatibilità perpetuando una tradizione di case passive già all'epoca abbastanza diffuse a Friburgo. Il programma di sviluppo, avviato dal

Comune nei primi anni novanta e completato nel 2008, ha creato edilizia residenziale per 5000 abitanti in equilibrio con spazi dedicati al lavoro e servizi in modo da limitare gli spostamenti e il fenomeno del pendolarismo urbano. Parte integrante del quartiere Vauban, anche dal punto di vista filosofico, è il distretto Am Schlierberg dell'architetto Rolf Disch. L'edificazione di quest'area ha inizio nel 1999 e termina nel 2006 con la costruzione di un totale di 59 appartamenti per 170 residenti. Si tratta dunque di un distretto molto piccolo ma che per la dislocazione territoriale compatta e coesa e per la sua organizzazione viaria interna offre un ottimo esempio di modello urbano.

La città di Friburgo con i suoi 1.100 kWh/m² di insolazione annua è una delle città con maggiore irraggiamento solare di tutta la Germania e per questo l'architetto Disch, ideatore del distretto, ha focalizzato l'intero progetto sullo sfruttamento dell'energia solare. Gli edifici, a due o tre piani fuori terra, sono disposti in maniche con il lato lungo rivolto a sud in modo da avere sulla copertura a falda asimmetrica il massimo dell'insolazione. Le falde esposte a sud sono completamente ricoperte da pannelli solari fotovoltaici creando un'estetica architettonica innovativa anche se seminascosta dai numerosi alberi presenti tra il costruito. Gli edifici possiedono un isolamento termico molto efficiente ed un impianto di ventilazione dotato di scambiatore di calore che consente di riscaldare l'aria fredda invernale esterna con quella calda ed esausta. Grazie a queste caratteristiche l'energia necessaria per la climatizzazione di questi edifici, pari a 22kWh/(m² anno) equivale a circa un decimo del consumo medio di un'abitazione tradizionale di Friburgo. L'energia termica necessaria è fornita da un impianto centrale a cogenerazione che funziona all'80% a biomassa legnosa ed al 20% a metano. Al riscaldamento contribuisce anche il sole che in inverno penetra dalle aperture esposte a sud, mentre, in estate, il tetto solare e i balconi ombreggiano le finestre e, pertanto, le temperature rimangono sempre in un intervallo di comfort.

Grande attenzione è anche stata riposta sulla scelta dei materiali cercando di optare per quelli a più basso impatto ambientale: la struttura portante delle case e gli elementi di tamponatura sono in legno mentre i balconi sono in metallo, montati come elementi indipendenti davanti alle facciate sud in modo tale da non creare ponti termici.

La strategia guida di tutto il progetto è stata quella di ottenere la massima superficie esposta all'irraggiamento solare, evitando le ombreggiature sia sulla copertura che sulle facciate a sud, da questa logica è scaturita la dislocazione degli edifici, la particolare forma delle coperture e le successive scelte progettuali. Nell'edificazione così concepita ad ogni appartamento corrisponde per ogni metro quadro riscaldato una superficie fotovoltaica di $0,36 \text{ m}^2$, capace di una potenza di 46 Wp , nei soli edifici a tre piani fuori terra questo rapporto scende a $0,22 \text{ m}^2$ di fotovoltaico per ogni metro quadro.

L'obiettivo del progetto è di raccogliere annualmente con i pannelli fotovoltaici tanta energia quanta ne è consumata dalle abitazioni. Il fine è quindi quello di ottenere un bilancio energetico nullo, ovvero pareggiando in energia primaria: la somma dell'energia termica utilizzata per il riscaldamento sommata a quella dell'energia elettrica utilizzata per l'illuminazione e per le apparecchiature degli appartamenti, con l'elettricità prodotta dai pannelli.

Da un attento monitoraggio effettuato attraverso dei sensori che registrano i consumi, sia elettrici che per il riscaldamento, posti in venti delle abitazioni del quartiere, è stato rilevato che ogni metro quadro di superficie costruita del distretto produce $36 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ anno})$ di energia primaria in più rispetto a quella che consuma. E' interessante sottolineare che questo bilancio attivo non è valido per ogni singolo appartamento del distretto ma solo calcolando consumi e raccolta di energia totali tra tutti gli appartamenti presenti. Le unità abitative che si trovano alle estremità delle maniche edificate, infatti, hanno una dispersione termica maggiore e dunque non riescono a produrre altrettanta energia quanta ne consumano, così come avviene per gli appartamenti negli edifici a tre piani fuori terra che godono di una minor superficie fotovoltaica per ogni metro quadro climatizzato. Il risultato del bilancio energetico attivo è reso dunque possibile dalla sinergia che si viene a creare con la particolare disposizione compatta degli appartamenti che permette minime dispersioni e massima superficie esposta all'irraggiamento solare e dunque compensa, nell'insieme, quelle unità abitative che hanno un bilancio energetico negativo. Risultati simili non sarebbero raggiungibili in contesti di case isolate mono o bi familiari che non potrebbero minimizzare le dispersioni.

Nel distretto di Am Schlierberg il consumo energetico termico, ovvero per riscaldamento e acqua calda, è così basso che costituisce solo il 30% dell'energia primaria totale utilizzata, il 70% è costituita dai consumi delle applicazioni elettriche delle case. Questo dato mette in evidenza come data l'alta efficienza impiantistica e tecnologica degli appartamenti i consumi sono determinati soprattutto dal modello di comportamento dell'utenza e da come questa utilizzi quotidianamente elettrodomestici, apparecchiature elettriche ed illuminazione.

Da un'accurato monitoraggio svolto nel 2008 è stato rilevato che il distretto produce con il solo fotovoltaico il 45% in più dell'energia primaria che consuma. In Am Schlierberg è dimostrato che attraverso il solo uso del fotovoltaico in modo intensivo è possibile ottenere ottimi risultati di sostenibilità energetica, tuttavia le alte prestazioni raggiunte sono rese possibili dal fatto che il riscaldamento venga supplied in parte dal metano ed ovviamente il distretto sia collegato alla rete elettrica, diversamente il fotovoltaico che è una forma intermittente di raccolta di energia potrebbe difficilmente alimentare l'intero metabolismo di un quartiere urbano.

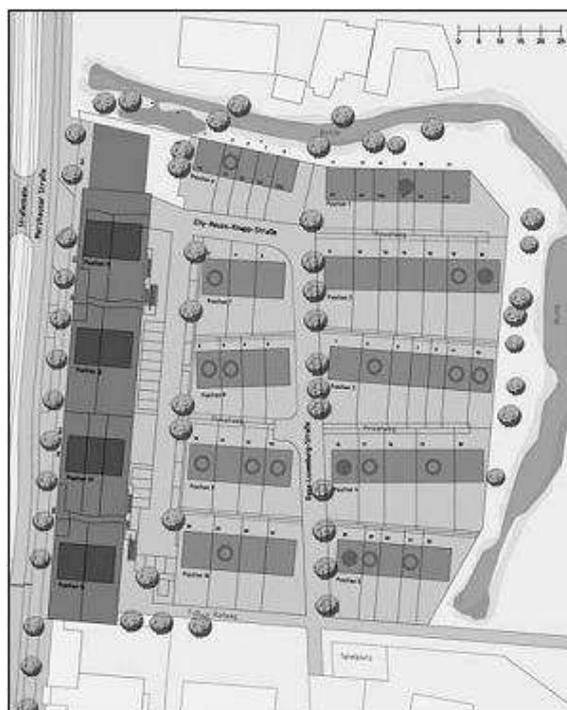


Figura 6. Planimetria del distretto di Am Schlierberg

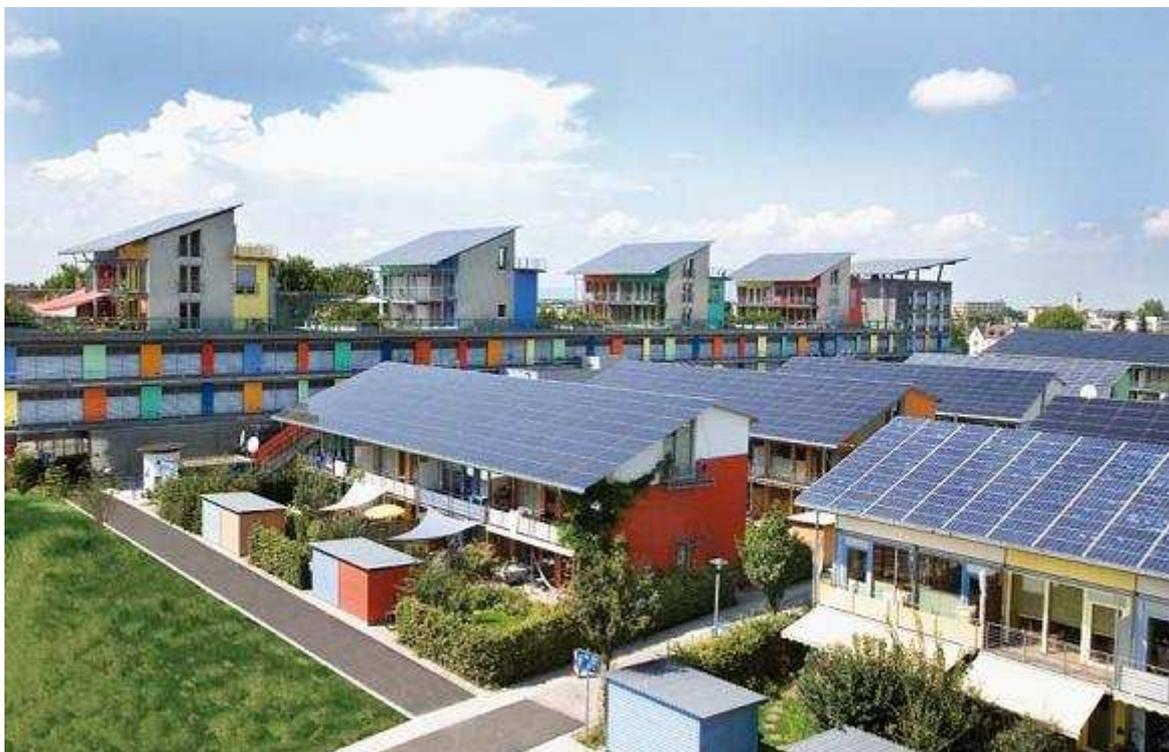


Figura 7. Le coperture degli edifici sono studiate per avere la massima superficie esposta a sud

5.3.2. **Bedzed - Beddington (Regno Unito)**

Il quartiere di Bedzed è senza dubbio il più celebre e documentato “eco distretto” europeo. Grazie anche alla vasta letteratura ed all’abile capacità comunicativa dei promotori è, a dieci anni dalla sua costruzione, ancora considerato uno dei modelli più riusciti di insediamento eco compatibile. Il nome Bedzed è un acronimo che deriva da *Beddington Zero (Fossil) Energy Development*, Beddington è la cittadina a sud di Londra in cui è stato costruito il distretto. Il progetto è opera dell’architetto Bill Dunster e del *Bio Regional Development Group*, un’impresa sociale che offre servizi e consulenze rivolti alla sostenibilità.

Nel distretto di Bedzed sono stati affrontati e documentati tutti gli aspetti della

sostenibilità inerenti l'ambiente costruito. Una metodologia puntuale e complessa ha affrontato l'impatto ambientale provocato in ogni settore dal nuovo insediamento cercando di ridurlo al minimo: dai materiali costruttivi al cantiere, dalla tipologia delle abitazioni alla presenza di verde, dalla questione energetica ai trasporti all'uso dell'acqua. Parallelamente è stato compiuto un attento studio economico comparativo con il fine di dimostrare che insediamenti come Bedzed, pur costando leggermente di più di un insediamento tradizionale, hanno nel corso del tempo costi di gestione nettamente inferiori.

Il quartiere è composto da 82 appartamenti e 3.000 m² adibiti a spazio per attività lavorative o commerciali, l'edificazione è terminata nel 2002 e successivamente si è avviato un meticoloso processo di monitoraggio. Nonostante le dimensioni ridotte Bedzed è una realtà urbana che affronta la sostenibilità in tutte le sue componenti: una netta riduzione nei consumi di riscaldamento, di acqua, di elettricità e dei rifiuti da portare alla discarica sono alcuni degli obiettivi dichiarati nel progetto. L'obiettivo più ambizioso è stato, fin dalla fase di ideazione, di divenire un distretto energeticamente autonomo.

La sostenibilità di Bedzed è ricercata anche nei materiali usati nell'edificazione, questi sono quasi tutti materiali locali, quando possibile riciclati, e a basso impatto ambientale. La loro scelta è stata ampiamente e pubblicamente documentata, il loro impatto è stato misurato scientificamente attraverso l'analisi con il metodo dell'Impronta Ecologica o dell'Analisi del Ciclo di Vita che hanno costituito strumenti per la selezione. Nelle relazioni che accompagnano il progetto viene dichiarato che gli impatti ambientali sia diretti che indiretti dei materiali e delle tecniche di costruzione di Bedzed sono stati il 20 – 30% più bassi rispetto alla costruzione di un distretto residenziale comune.

La sostenibilità del quartiere di Bedzed è stata valutata ex post dai promotori del progetto con una metodologia d'analisi molto precisa e severa che ha analizzato, sia dal punto di vista degli utenti che da quello dell'impresa costruttrice, i costi ed i benefici delle varie misure prese per la sostenibilità monetizzando i risultati. E' stato stimato che il costo di un appartamento di Bedzed è circa il 15% superiore del costo di un comune appartamento nella stessa zona ma in compenso ha spese energetiche e di mantenimento nettamente inferiori.

Gli edifici che compongono Bedzed sono costituiti da 3 piani fuori terra, disposti su maniche lunghe orientate verso sud in modo da poter acquisire il massimo acquisto termico dall'irraggiamento solare. Tutti gli edifici sono areati con una ventilazione naturale che grazie ad appositi camini raccoglie l'aria esterna, la preriscalda in inverno tramite uno scambiatore di calore, per poi immetterla negli spazi climatizzati. Nel lato sud delle maniche è collocata la parte residenziale, mentre il lato nord ospita gli spazi lavorativi, tutti gli edifici sono dotati di giardini pensili che aumentano la superficie vegetata del quartiere. La climatizzazione degli spazi necessita di una media di 16 kWh/(m² anno) che unita all'energia richiesta per l'acqua calda sanitaria totalizza una richiesta di energia che è solo il 12% di quella media delle abitazioni britanniche per le stesse funzioni. I consumi elettrici sono invece pari a 34,4 kWh/(m² anno) con una riduzione di oltre il 35% rispetto al consumo medio delle abitazioni di Sutton, quelli di acqua calda e riscaldamento di 48 kWh/(m² anno), dunque il consumo totale medio di energia primaria di un'abitazione di Bedzed è di 82,4 kWh/(m² anno).

Una centrale di cogenerazione che serve il distretto fornisce sia il riscaldamento che l'acqua calda sanitaria e parte dell'elettricità. La centrale è alimentata a biomassa grazie alla legna ricavata dalla potatura e dalla manutenzione degli alberi del circondario, la tecnologia usata è quella della gassificazione che permette alti rendimenti, il funzionamento di questo impianto produce, nell'arco annuale, tutta l'energia termica ed elettrica necessaria a Bedzed. A questa energia si somma poi quella raccolta dai 777 m² di pannelli fotovoltaici disposti sulle coperture delle costruzioni, secondo le stime effettuate il distretto dovrebbe produrre dal fotovoltaico circa 88 Mw/h di elettricità all'anno che corrisponde a circa il 30% dell'elettricità consumata. Il distretto è quindi collegato alla rete elettrica per sopperire ai picchi di domanda e per riversare l'eventuale elettricità in eccesso.

In Bedzed sono previsti sistemi sia per il recupero delle acque piovane che per lo smaltimento di quelle reflue in modo da ottimizzare il ciclo metabolico dell'acqua del distretto e alleviare il sistema idrico di fornitura e smaltimento, in questo modo il consumo d'acqua è circa la metà rispetto a quelli medi del Regno Unito.

Bedzed è stato uno degli insediamenti più monitorati dopo la sua costruzione, tanto da creare addirittura dei disagi agli stessi abitanti. Sono stati misurati sia i consumi energetici e dell'acqua sia i costi di mantenimento e delle forniture, sia il bilancio economico ed il valore di mercato degli appartamenti costruiti. Rispetto a quanto enunciato dalle fasi progettuali il distretto ha raggiunto gli obiettivi prefissati, per quanto riguarda il bilancio energetico, sebbene il quartiere produca tutta l'energia di cui ha bisogno, si sono registrati consumi leggermente superiori alle aspettative.

Negli ultimi anni la centrale a cogenerazione alimentata da biomassa è però stata fermata in quanto antieconomica, il problema maggiore è dato dalla dimensione troppo piccola della centrale per ottenere risultati economici soddisfacenti, dunque finché la centrale a biomassa non sarà sostituita con una più economicamente vantaggiosa l'unica fonte di energia rinnovabile interna al quartiere rimane oggi quella dei pannelli fotovoltaici.



Figura 8. Gli edifici sono progettati in modo da avere la massima superficie possibile esposta a sud



Figura 9. Le superfici esposte a sud sono ampiamente vetrate in modo da ottenere i massimi guadagni solari possibili

5.3.3. **BO01 - Malmö (Svezia)**

Il distretto BO01 è un “eco distretto” costruito a ridosso della cittadina di Malmö in Svezia. E’ frutto della prima *European Housing Exposition* tenutasi in Svezia nel 2001, anno in cui è stata terminata la costruzione del primo lotto del distretto. L’idea alla base del progetto era di applicare i concetti sperimentali degli eco villaggi, già discretamente diffusi in Svezia, ad un contesto profondamente urbano, non distante dalla città di Copenaghen e fisicamente unito a questa dal ponte e dal tunnel di Oresund. La città di Malmö ha 260.000 abitanti, un’importante università meta di molti studenti stranieri ed è al centro di un reticolo di importanti vie di comunicazione che la connettono al resto della Svezia.

L'idea alla base di BO01 è stata di costruire un “eco distretto” in un luogo centrale e con molta visibilità per la Svezia come esempio per un nuovo modello di urbanizzazione che potesse esser presa ad esempio, il distretto fu infatti chiamato “La Città di domani” in occasione dell'*European Housing Exposition*.

L'area prescelta è in un territorio soggetto ad una profonda rigenerazione in seguito alla sua cessata funzione industriale a supporto del porto, ha una superficie di 25 ettari e si affaccia su Copenaghen, di fronte al ponte Oresund. Il programma di costruzione comprendeva 600 appartamenti, parchi e infrastrutture pubbliche, all'epoca dell'inaugurazione e durante lo svolgimento dell'*European Housing Exposition* furono costruiti anche una decina di stand temporanei. Il progetto è stato in parte finanziato con fondi pubblici che sono stati impiegati per tutte le infrastrutture e le tecnologie inerenti la sostenibilità. I fondi sono stati concessi con l'obbligo di monitorare il successivo funzionamento del quartiere così da diventare una fonte di preziosi dati per la costruzione di successivi e più avanzati distretti eco compatibili.

Grande attenzione è stata data alla disposizione dei diversi edifici: sul lato costiero e perimetrale sono stati disposti gli edifici più alti in modo che operino da schermo ai freddi venti invernali provenienti dal mare. Nella parte interna dell'area sono stati invece collocati isolati composti da edifici bassi ed aree verdi che, in questo modo, sono più riparati e raccolti. Tutta la pianificazione è stata effettuata cercando di utilizzare una grande varietà compositiva e morfologica per evitare la monotonia che spesso affligge i quartieri residenziali pianificati e costruiti su di un unico disegno. Gli edifici hanno tutti un'altezza che varia da uno a otto piani salvo una torre a venticinque piani. Il quartiere è ricco di spazi verdi che sono stati progettati per preservare la biodiversità di flora e fauna che si sta lentamente ristabilendo nell'area da quando è cessata l'attività industriale. Le acque piovane sono raccolte e gestite all'interno del distretto stesso attraverso una serie di canali a cielo aperto e di stagni, così da non appesantire la rete comunale del sistema di smaltimento acque.

Il sistema di raccolta dei rifiuti di BO01 è stato pensato con il fine di diminuire al minimo la produzione, massimizzare il riciclo ed il riuso ed ottenere energia dagli scarti del metabolismo del quartiere. I rifiuti organici sono raccolti sia con bidoni

presenti in ogni isolato sia attraverso i lavandini con un sistema di triturazione che immagazzina i rifiuti in depositi sotterranei per esser poi utilizzati come fonte di biogas. Una rete pneumatica estesa a tutto il distretto permette di raccogliere i rifiuti automaticamente senza bisogno di un servizio apposito con mezzi pesanti. A sua volta il biogas ottenuto è utilizzato, insieme al metano fossile, per alimentare i mezzi del trasporto pubblico locale.

Il sistema di approvvigionamento energetico di BO01 è studiato con il fine di rendere il quartiere autosufficiente attraverso una fornitura sicura e stabile. Questo è anche permesso dagli accorgimenti progettuali degli edifici che riescono a garantire un consumo totale di energia primaria pari a 105 kWh/(m² anno). L'autosufficienza è raggiunta su di un bilancio annuale, ovvero in alcune stagioni il quartiere cede energia alla città di Malmo ed in altre ne riceve dalla rete elettrica.

Il riscaldamento è ottenuto grazie a pompe di calore la cui sorgente calda è costituita sia dai 1.900 m² di collettori solari disposti sui tetti, sia dalle falde sotterranee e dall'acqua di mare. Le pompe di calore sono poi alimentate da una turbina eolica da 2 MW piazzata nelle immediate vicinanze del quartiere e da 120 m² di pannelli fotovoltaici collocati sulle costruzioni. Il calore proveniente dall'energia solare viene anche immagazzinato stagionalmente nel terreno attraverso tubi immersi nella roccia.

Il distretto BO01 è in espansione, rispetto al nucleo originario sono stati edificati diversi lotti circostanti su un territorio di circa 140 ettari, attualmente sono stati costruiti 8000 appartamenti che vengono alimentati da fonti rinnovabili: energia solare ed energia eolica principalmente.

Negli anni 2002 e 2003 è stato effettuato un monitoraggio sui consumi del quartiere e sulla raccolta di energia rinnovabile che ha dimostrato un consumo annuale di energia elettrica di 5,16 MWh a fronte di una produzione di soli 4,7 MWh, dunque con un bilancio leggermente peggiore della prevista parità. In compenso la raccolta di energia termica attraverso le pompe di calore e il solare termico è risultata essere il 30% superiore rispetto ai consumi registrati.

5.3.4. Hammarby - Stoccolma (Svezia)

Il quartiere di Hammarby Sjostad è un distretto della città di Stoccolma, sorge su un'area di proprietà pubblica di 200 ettari, di cui 40 occupati dall'acqua. Il terreno ha ospitato in passato per lungo tempo insediamenti industriali a servizio del porto assumendo un livello di inquinamento da oli e metalli pesanti molto alto. L'area prima di essere urbanizzata ha richiesto quindi un'intensa e costosa opera di bonifica che ne ha permesso un nuovo utilizzo.

L'area è sulle rive di un canale ed in prossimità del lago Sjo attorno al quale si sviluppa l'insediamento che ha infatti una forte identità proprio nella sua relazione con l'acqua. L'obiettivo del progetto iniziale, nato a partire dal 1996, era di costruire un distretto che avesse un impatto inferiore del 50% rispetto agli impatti di insediamenti analoghi di Stoccolma dei primi anni novanta, il quartiere di Hammarby sarà completamente ultimato nel 2018 e conterrà 11.000 appartamenti dove vivranno oltre 25.000 persone.

Hammarby Sjostad è stato edificato attorno ad una rete di spazi verdi e di parchi che penetra gli spazi abitativi, ad ogni appartamento sono destinati infatti 25-30 m² di spazio verde ad una distanza non superiore a 300 m. Gli spazi verdi sono stati collocati in modo che possano godere di un buon irraggiamento solare così da essere vivibili anche d'inverno e da preservare la biodiversità, un fattore questo a cui è stata data molta importanza nella progettazione dei parchi del quartiere.

Hammarby è servito da una rete di servizi pubblici che vanno da un tram che percorre l'intero quartiere lungo il corso centrale ad una serie di bus ad un servizio di traghetti gratuiti che rendono possibile il collegamento con il centro di Stoccolma.

Gli edifici del quartiere, adibiti ad appartamenti a spazi commerciali e a servizi, hanno un'altezza massima di 7 piani eccetto una torre residenziale di 13 piani. I materiali da costruzione utilizzati sono stati scelti attraverso una precisa disciplina riguardo la loro sostenibilità e la loro tossicità, i materiali naturali sono quelli più usati sia all'interno che all'esterno delle abitazioni.

Grande importanza è stata data all'uso passivo dell'energia solare, sono infatti presenti molte facciate a doppia vetrata e molti alloggi sono dotati di ventilazione

meccanica controllata, in questo modo il progetto stima di ridurre i consumi per riscaldamento e raffrescamento del 50%.

Il progetto prevedeva inizialmente l'obiettivo di un consumo medio degli appartamenti di 60 kWh/(m² anno) di cui 20 per i soli consumi elettrici. Successivamente l'ambizioso obiettivo fu cambiato e fissato invece a 100 kWh/(m² anno). Da un rilevamento del 2005 è risultato che in realtà i consumi sono vicini ai 110 kWh/(m² anno) dovuti al fatto che lo stile di vita degli abitanti si discosta da quello previsto in fase di progetto. Su alcuni edifici sono presenti pannelli solari termici o fotovoltaici, questi ultimi raccolgono un quantitativo annuo di 63 MWh elettrici equivalenti alla domanda di 38 appartamenti, dunque poco incidente come quantitativo sul bilancio energetico complessivo.

Nella pianificazione di Hammarby è stata data molta importanza al recupero degli scarti, ovvero al creare cicli chiusi per il recupero di ciò che viene espulso dal metabolismo urbano: le acque bianche di scarico degli appartamenti sono usate come sorgente calda per le pompe di calore che forniscono il riscaldamento, a sua volta l'acqua di scarico è usata per il raffreddamento.

Le soluzioni ambientali integrate possono essere lette come un ciclo ecologico che collega nel funzionamento metabolico i diversi cicli dell'energia, dell'acqua, dei rifiuti e delle acque nere. Quest'organizzazione interna al quartiere è stata denominata dai promotori del progetto "Modello Hammarby" sottolineando il fatto che è un modello esportabile in tutti i contesti urbani.

Nel distretto è stato costruito un impianto di trattamento delle acque reflue che produce biogas dagli scarichi delle acque nere e dai rifiuti organici riuscendo così a fornire combustibile per i bus ed i taxi del quartiere oltre che alle cucine di circa 1.000 appartamenti. I rifiuti sono raccolti attraverso un sistema automatico di raccolta basato su una rete pneumatica sotterranea che rende possibile l'eliminazione di gran parte degli appositi mezzi pesanti dalle strade. Lo stesso impianto, che utilizza il 50% in meno dell'energia rispetto agli impianti tradizionali, è in grado di recuperare il 95% del fosforo che è poi reimpiegato come fertilizzante.

Nelle relazioni del progetto di Hammarby viene dichiarato che il distretto produce a pieno regime metà dell'energia che consuma. Esaminando la

provenienza dell'energia prodotta si evince però che l'80% è recuperata dalle acque reflue e fornita dall'inceneritore dei rifiuti e non può quindi essere considerata energia rinnovabile. Sottrarre energia alle acque reflue ha infatti un alto valore exergetico ma non trasforma in energia alcuna risorsa locale. La combustione dei rifiuti è invece un processo lineare con un'entropia altissima che degrada irrimediabilmente materiali attraverso un impianto che produce calore ed elettricità. Questo complesso, che è situato a sud di Stoccolma, genera con un discusso impatto ambientale il 47% del calore e dell'energia elettrica necessarie al distretto. Il calore per il riscaldamento è estratto in parte dalle acque di scarico attraverso pompe di calore che producono simultaneamente dell'acqua raffreddata che è usata nella rete di raffrescamento di Hammarby, ottenendo così un'alta efficienza exergetica del sistema.

Dunque il sistema energetico di Hammarby grava in gran parte sulla combustione dei rifiuti che porta con sé il problema di smaltimento delle polveri tossiche raccolte dai depuratori, dei fumi e delle scorie, problemi non ancora completamente risolti dalle attuali tecnologie. L'efficienza di questa fonte di energia andrebbe confrontata quindi anche con un bilancio energetico ed ambientale di smaltimento delle polveri tossiche, circa 50 kg ogni tonnellata di rifiuti, e di riuso delle scorie. Inoltre il metabolismo urbano è ovviamente meno impattante se il volume di rifiuti non riciclati è minimo o addirittura nullo, dunque, è da sottolineare che la scelta di questa strategia energetica preclude altre eventuali strategie sulla drastica riduzione, o eliminazione, dei rifiuti non differenziati e non riciclabili adatti quindi ad essere utilizzati come combustibile.



Figura 12. Il distretto di Hammarby è in forte relazione con l'acqua da cui trae anche il nome

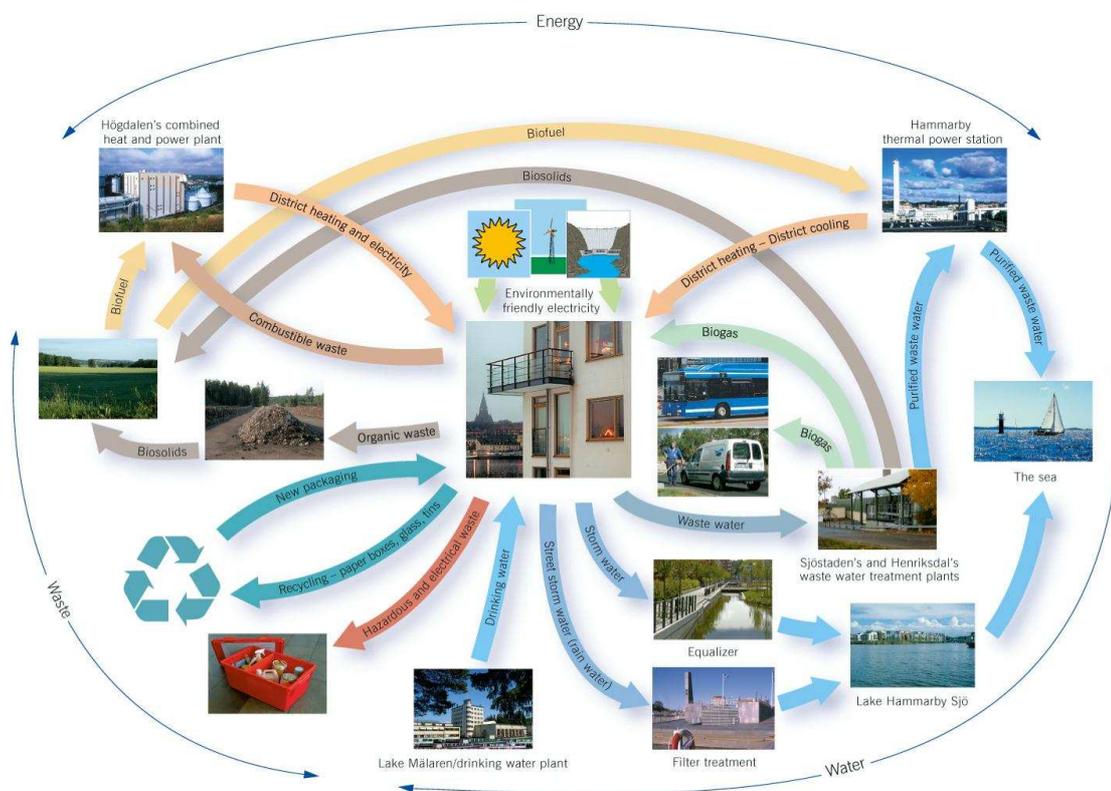


Figura 13. "Il modello Hammarby"

5.3.5. Greenwich Millenium Village - Londra (Regno Unito)

La penisola Greenwich nella città di Londra ospitava un tempo gli impianti per la fornitura del gas alla città, in seguito alla dismissione degli impianti l'area rimase inutilizzata e, dopo anni di abbandono, passata di proprietà pubblica, è stata sottoposta ad un radicale processo di rigenerazione attraverso un progetto avviato nel 1997. L'occasione per rivitalizzare l'area fu offerta dalla New Millenium Experience, una grande esposizione organizzata nella città di Londra per l'avvento del nuovo millennio. L'obbiettivo era quello di creare un moderno distretto residenziale ricco di molteplici attività, dal commercio ai servizi agli spazi socio culturali, che fosse un esempio di distretto sostenibile e di nuovo modello di comunità urbana per il terzo millennio. L'intera operazione è stata gestita dalla *English Partnerships*, oggi *Homes and Communities Agency*, un'agenzia statale creata per la riqualificazione di aree industriali abbandonate mediante l'attivazione di processi sostenibili. Nel 1996 la Richard Rogers Partnership vinse un concorso per la pianificazione urbana della parte orientale della penisola con un progetto di masterplan basato sull'attenzione alla sostenibilità ambientale. Le prerogative del progetto prevedevano una forte attenzione al fattore climatico, al controllo dei consumi, alla riduzione della dipendenza dall'auto e ad una maggiore efficienza nella costruzione edilizia tutto questo supportato ed integrato da un processo sociale inclusivo che sviluppasse un forte legame tra cittadini e quartiere.

L'area edificata era pesantemente inquinata dalle precedenti attività industriale per cui prima dell'edificazione fu necessario un lungo e costoso lavoro di bonifica, un'operazione molto delicata per pericolo di contaminazione del vicino Tamigi che alla fine restituì alla città un territorio di 120 ettari fino ad allora completamente escluso.

Il progetto per l'area fu affidato originariamente all'architetto Ralph Erskine che propose un quartiere con diverse funzioni, dalle residenze ai servizi, ampi spazi verdi, ed una forte attenzione all'orientamento in modo da sfruttare al massimo gli apporti solari per il riscaldamento. La costruzione del distretto prevedeva diverse fasi in successione e ad ogni fase il progetto di Erskine fu profondamente modificato soprattutto attraverso un'intensificazione della cubatura presente nel

distretto. Si passò infatti dai 1.377 appartamenti del primo progetto alla realizzazione di ben 2.956 abitazioni per una popolazione insediabile di 6.000 – 7.000 nuovi cittadini. Attualmente sono ancora in previsione nuove edificazioni sulle aree attigue fino ad arrivare ad un totale di 25.000 abitanti con attività lavorative per 24.000 persone. Inoltre gran parte degli obiettivi di sostenibilità presenti nel progetto originale, ad esempio l'obiettivo di creare un quartiere ad emissioni clima alteranti nulle o di ridurre dell'80% il consumo di energia primaria, furono rivisti in modo meno ambizioso nelle successive varie fasi di costruzione.

Il distretto si compone di edifici di differenti altezze, i più alti, tra i sei ed i dodici piani, sono disposti a nord, come barriera verso i venti gelidi invernali, spostandosi verso sud si hanno edifici sempre più bassi per permettere un irraggiamento adeguato degli spazi verdi tra le costruzioni. I parametri utilizzati per valutare la qualità ambientale degli edifici comprendono aspetti propri sia della fase di costruzione sia di quella di gestione dell'ambiente costruito, e considerano come requisito imprescindibile per l'intero intervento il raggiungimento del livello più alto della certificazione ambientale rilasciata secondo il protocollo *BREEAM-Ecohomes*: una metodologia di valutazione molto diffusa e collaudata in modo particolare nel Regno Unito dove ha avuto origine.

Gli spazi pubblici aperti che percorrono da nord a sud l'intero quartiere occupano circa un sesto dell'area fornendo una trama attorno alla quale sono stati costruiti sia gli edifici residenziali che i servizi, un sistema di raccolte acque piovane permette l'irrigazione degli spazi verdi. La riva sul Tamigi è stata trasformata in un percorso ciclo pedonale che unito ad una fitta rete di percorsi dovrebbe permettere una mobilità agevole e salutare senza l'uso dell'auto. Il quartiere è collegato al sistema di trasporto pubblico cittadino attraverso un'estensione della linea metropolitana *Jubilee Line* e del *London Transport Interchange* per quanto riguarda il trasporto sul fiume.

Nel distretto non sono presenti particolari tecnologie o strategie per raccogliere energia rinnovabile in loco. Alcuni edifici sono attrezzati con pannelli solare termici per il riscaldamento dell'acqua ma sono quasi trascurabili in confronto alla richiesta termica del distretto. Per ovviare al problema della sostenibilità energetica la società di costruzione e gestione del distretto *Greenwich Millennium*

Village Ltd ha siglato un contratto con la *Green Energy UK plc*, società che fornisce tramite la rete energia da fonti rinnovabili, per l'alimentazione di tutti gli spazi pubblici. Il riscaldamento e l'elettricità per le abitazioni è invece fornita da una centrale di cogenerazione unica per tutto il quartiere ed alimentata a metano.

La sostenibilità energetica del quartiere è affidata solamente all'efficienza sia delle costruzioni, che hanno un basso consumo a metro quadro per il riscaldamento, sia delle apparecchiature usate nelle abitazioni o nell'illuminazione. Un programma di monitoraggio con analisi cadenzate in concordanza con le fasi costruttive effettuato dalla *Richard Hodkinson Consultancy* dichiara che i consumi di energia primaria sono del 65% inferiori rispetto ad un normale edificio di civile abitazione dotato di riscaldamento elettrico e costruito tradizionalmente. Sempre in base a questo modello l'energia utilizzata nei materiali di costruzione è inferiore del 37% ed il consumo di acqua del 33%.



Figura 14. Il distretto del Greenwich Millenium Village ha un'alta densità abitativa: 224 ab/ha



Figura 15. La tipologia prevalente è quella di edifici condominiali a sei o otto piani fuori terra

5.3.6. *Solar City - Linz (Austria)*

Solar City è un progetto promosso dall'amministrazione comunale della città di Linz. E' nato per rispondere a due urgenti necessità: da una parte il bisogno di sperimentare modelli urbani innovativi che potessero essere d'esempio per nuovi insediamenti in Austria, e che quindi rispondessero ad una serie di criteri molto stringenti riguardo il consumo di risorse e gli impatti ambientali, dall'altra la necessità di creare nuovi alloggi a basso prezzo a causa della fortissima richiesta nella città di Linz. Al tempo della redazione del progetto circa 12.000 persone erano in cerca di alloggio a Linz, che ha una popolazione di circa 200.000 abitanti, questa domanda inevasa creava un intenso pendolarismo con le cittadine nella cintura. Per la realizzazione del progetto fu scelta l'area di Linz-Pichling in quanto

già di proprietà della Municipalità e destinata sino ad allora a zona agricola; nel lungo processo di progettazione furono coinvolti architetti di fama internazionale tra cui Norman Foster, Renzo Piano, Richard Rogers e Thomas Kerzog. Dal 2004 il distretto è collegato al centro della città di Linz, che dista circa 2 km, con una linea tramviaria.

Il primo stadio del progetto iniziò nel 1992, in varie fasi successive venne ampliato e completato l'insediamento fino ad essere terminato nel 2006 con un totale di 1.294 appartamenti su una superficie di 32 ettari. Tutte le costruzioni sono state in parte finanziate dall'Amministrazione Pubblica con il fine di creare appartamenti a basso prezzo per circa 3.500 nuovi abitanti in 73 edifici, oltre alle residenze furono costruiti negozi, servizi sociali e culturali, una scuola, un asilo ed un impianto sportivo.

Gli edifici residenziali hanno un'altezza variabile tra i due e i quattro piani e la loro disposizione favorisce la massima insolazione dal momento che dal punto di vista energetico il distretto di SolarCity si affida soprattutto all'uso passivo dell'energia solare. Sono presenti grandi aperture vetrate verso sud per far penetrare l'irraggiamento all'interno degli alloggi, su alcune facciate sono costruite serre solari alte sei metri in modo da poter abbassare il carico energetico per il riscaldamento invernale, tutti gli appartamenti hanno un consumo per la climatizzazione che va dai 21 ai 28 kWh/(m² anno). L'energia termica è fornita da una centrale a cogenerazione che funziona all'85% a biomassa e riesce a fornire il 17% dell'energia necessaria al riscaldamento del quartiere. Su tutte le abitazioni sono poi presenti pannelli solare termici che hanno una copertura totale di 3.500 metri quadri arrivando così a soddisfare il 47-48% delle domanda, i pannelli fotovoltaici sono invece molto meno diffusi ed hanno nel contesto del bilancio energetico del quartiere una funzione quasi trascurabile.

Una forte attenzione è stata riposta negli spazi verdi e nel rispetto della piana alluvionale di Traun Danube che è un'area naturale protetta nell'immediata prossimità del distretto.

Grande importanza fu data fin dall'inizio alla dimensione sociale del progetto cercando di unire l'innovazione tecnologica delle costruzioni ad un nuovo modello abitativo e di relazioni urbane. Nel 2007 è stato avviato un monitoraggio sul grado

di soddisfacimento e sui modelli di vita dei cittadini per delineare una valutazione soprattutto sociologica del nuovo quartiere.

Nel distretto è presente anche un sistema locale di smaltimento acque reflue in modo da non appesantire le condotte fognarie già esistenti o costruirne altre. In alcuni edifici e nella scuola elementare è attivo un sistema per il recupero delle urine che vengono successivamente utilizzate come fertilizzante grazie al loro alto contenuto di fosforo, potassio ed azoto. La parte solida delle acque reflue viene invece trasformata in compost e poi utilizzata per i giardini del quartiere o per le coltivazioni attigue. L'acqua piovana è invece raccolta in canali di scolo ed assorbita dagli spazi verdi così da non creare in caso di piogge intense ed abbondanti la saturazione del sistema di raccolta.

Nel complesso il quartiere di Linz non adotta particolari tecnologie per ottenere energie rinnovabili da risorse locali, a parte i pannelli solare termici presenti su tutti gli edifici che forniscono circa la metà dell'energia necessaria per l'acqua calda sanitaria, le altre richieste energetiche sono affidate alla rete elettrica o alla centrale di cogenerazione esterna al distretto e che serve anche parte della città di Linz.



Figura 16. SolarCity sorge nell'immediata prossimità di un'area naturale protetta costituita dalla piana alluvionale di Traun Danube



Figura 17. Particolare attenzione è stata riservata all'equilibrio ecosistemico delle aree verdi del quartiere

5.3.7. Valderspartera - Saragozza (Spagna)

Il distretto di Valderspartera sorge a 4,5 km a sud del centro di Saragozza, in una zona periferica ma ben collegata attraverso i mezzi pubblici. La sua costruzione ha inizio nel 2002 con un piano elaborato dagli uffici tecnici della Municipalità di Valderspartera che si prefiggeva di introdurre criteri di progettazione bioclimatica ed eco compatibile in un nuovo quartiere residenziale modello.

Il quartiere copre un'area di 234 ettari, prima occupata da edifici militari, ed ospita 24.000 residenti, è quindi un'area di vaste dimensioni anche in rapporto con la città di Saragozza in cui vivono 675.000 abitanti. Il distretto è a destinazione prettamente residenziale con aree dedicate a servizi sportivi e per il tempo libero, 51 ettari sono occupati da condomini multipiano che ospitano un totale di 9.687 appartamenti di cui 5.930 destinati ad edilizia sociale. L'edificazione di Valderspartera è stata possibile grazie alla creazione di una Società di costruzione all'80% a capitale pubblico. Il terreno è stato acquisito con un accordo con il Ministero della Difesa, già proprietario dell'area che era usata in passato a scopi militari, in base ad un piano di edificazione ben preciso che prevedeva l'obbligo dell'uso di criteri bioclimatici per tutte le costruzioni.

La città di Saragozza gode di un clima molto variegato con temperature estreme sia estive che invernali accompagnate da forti venti. Per questo la progettazione architettonica e la disposizione degli edifici è stata finalizzata sia ad acquisire guadagno solare in inverno sia raffrescamento con ventilazione naturale in estate. Gli edifici sono collocati con una posizione est-ovest in modo da ottimizzare i guadagni solari sulle facciate principali esposte a sud sulle quali sono state costruite delle serre, apribili d'estate, per ottimizzare gli apporti solari invernali. La disposizione rigidamente geometrica ed ortogonale permette di utilizzare gli edifici più alti, 8 piani fuori terra, come barriere ai venti a protezione dei retrostanti isolati composti da edifici di sei piani.

Nella progettazione del quartiere è stata data particolare importanza al ciclo dell'acqua con la creazione di laghetti artificiali per la laminazione o la

refrigerazione, o l'inserimento di piscine condominiali per il raffrescamento estivo e la raccolta dell'acqua piovana.

L'innovazione tecnologica più significativa introdotta è il sistema di raccolta pneumatica dei rifiuti, il primo della Spagna, che consiste nell'installazione di una rete sotterranea di tubazioni speciali costruite per trasportare automaticamente i rifiuti ad un centro di raccolta. La rete, molto capillare, ha un'estensione di 13 km ed arriva in prossimità di ciascuno degli edifici costruiti. Questo sistema elimina i veicoli pesanti per la raccolta ed anche i bidoni lasciati all'angolo delle strade o nei cortili, tuttavia non è ancora stato pubblicato alcuno studio sulla convenienza ambientale di tale tecnologia.

Per quanto riguarda la questione energetica in Valderspartera l'attenzione è stata posta soprattutto all'efficienza del riscaldamento degli appartamenti che godono di un ottimo isolamento e vengono riscaldati da un impianto centrale a metano.

Il consumo medio per il riscaldamento delle abitazioni è di 25 kWh/(m² anno), nettamente inferiore al consumo medio di un'abitazione di Saragozza, grazie alla grande attenzione riposta nella coibentazione ed al fatto che il carico termico è alleggerito dal calore raccolto dalle serre in facciata. L'unica attenzione alle energie rinnovabili è posta nel riscaldamento dell'acqua sanitaria: sui tetti degli edifici del quartiere sono collocati circa 9.000 m² di pannelli solare termici, equivalenti a circa 0,9 m² ad appartamento, che forniscono circa un terzo dell'acqua calda necessaria. Dunque un modesto apporto al bilancio energetico dell'intero quartiere, In Valderspartera non sono presenti altre particolari tecnologie per lo sfruttamento delle risorse rinnovabili locali, l'approvvigionamento energetico è affidato quasi totalmente alle forniture della rete elettrica e del metano. Le centrali sono situate all'esterno del distretto e sono alimentate a carbone ed a gas.

Non esistono al momento della stesura di questa ricerca dati pubblici inerenti il monitoraggio dei consumi o delle emissioni del distretto ma è in corso un monitoraggio del 5% degli edifici attraverso un sistema di fibra ottica che raccoglie e cataloga i dati sulle forniture dell'acqua, dell'elettricità e del metano.



Figura 18. Il distretto sorge a 4,5 km a sud del centro di Saragoza con cui è collegato con un efficiente servizio di trasporto pubblico



Figura 19. Gli edifici più alti, 8 piani, sono posti perimetralmente a protezione dei freddi venti invernali

5.3.8. Viikki - Helsinki (Finlandia)

Eko Viikki è un distretto ecologico situato ad Helsinki ad 8 km dal centro storico, con cui è collegato da una serie di servizi pubblici, è stato il primo distretto sostenibile ad esser costruito in Finlandia grazie al finanziamento del Governo finlandese. Il distretto sorge su un'area ex area agricola e di verde incolto di 23 ettari, molto vicina ad un'area naturalistica tutelata, contiene 64.000 m² di superficie costruita ed ospita 1.900 residenti con una serie di servizi che vanno da un magazzino di alimentari, ai ristoranti ad un centro per la salute a due asili completi di un centro di formazione per insegnanti, sono presenti anche cinque centri per le attività socio culturali della comunità.

Il masterplan dell'area fu elaborato nel 1994 attraverso un concorso internazionale, successivamente, nel 1996, fu bandito un altro concorso per gli edifici in cui il punteggio era stabilito in base ad un metodo che premiava le diverse strategie adottate per diminuire l'impatto ambientale. Per valutare la sostenibilità dei vari lotti è stato elaborato uno strumento di valutazione ambientale chiamato *Skanska Finland's Ecometer* a cui sono stati sottoposti tutti i progetti esecutivi, ogni progetto poteva esser accettato solo se raggiungeva un prefissato punteggio minimo.

E' da notare che all'epoca non esistevano ancora strumenti e metodologie di certificazione ambientale per l'edilizia adatti alla Finlandia dunque il processo fu innovativo e sperimentale. Una peculiarità del progetto è costituita dal fatto che tutti i lotti costruiti hanno a disposizione delle aree per la coltivazione degli orti con il fine di promuovere l'autoproduzione alimentare. Per questo lo strato superficiale di suolo fertile che è stato rimosso dalle aree da edificarsi è stato riportato nei lotti destinati ad esser coltivati. Il progetto è stato realizzato per fasi successive secondo il masterplan con lotti affidati ad architetti diversi a cui veniva però chiesto di collaborare tra loro nella stesura dei progetti. Gli edifici, la cui fase progettuale è stata ultimata nel 2004, sono quindi frutto del lavoro collettivo e condiviso di molteplici architetti.

Una grande attenzione è stata riposta nel scegliere solo materiali da costruzione finlandesi, anche se nessuno di loro proviene dalle immediate

vicinanze di Helsinki. Per questo e per l'alta efficienza degli edifici e degli impianti i costi di costruzione sono stati più alti del 5% rispetto all'edificazione comune in Finlandia, tuttavia i risparmi previsti per il ridotto consumo energetico dovrebbero arrivare al 30%, sempre rispetto all'abitazione media finlandese. Ogni edificio consuma per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria 105 kWh/(m² anno) grazie all'esposizione studiata per massimizzare l'irraggiamento solare e grazie alla spessa coibentazione che aumenta l'efficienza. Inoltre sempre per il risparmio energetico sono state costruite lavanderie e saune comuni. L'obiettivo prefissato è di contenere del 30% le emissioni di anidride carbonica.

I pannelli solare termici sono disposti solo su alcuni edifici per un'estensione totale di 1.248 m², riescono a produrre il 25% del calore necessario ad un sistema di riscaldamento centralizzato collegato a 368 appartamenti e circa un terzo dell'acqua calda necessaria. Su di un solo edificio sono disposti pannelli fotovoltaici per una potenza di 24 kW, trascurabile quindi se confrontata con il bilancio energetico dell'intero quartiere. La maggior parte delle misure per la sostenibilità energetica sono raggruppate in due diverse strategie: l'uso del solare passivo, attraverso un certo orientamento degli edifici e la costruzione di serre sulle facciate, e l'uso di una alta coibentazione unita a sistemi di ventilazione naturale con scambiatori di calore. A parte il sole non sono utilizzate altre risorse rinnovabili locali a scopo energetico.

Il funzionamento di Eko Viikki è stato monitorato per due anni tra il 2002 ed il 2003, ne è risultato che il consumo termico medio di un appartamento del distretto, riscaldamento ed acqua calda, è di 120 kWh/(m² anno), quindi superiore ai previsti 105 kWh/(m² anno) ma ugualmente inferiore del 25% rispetto al consumo di un abitazione media finlandese, il consumo medio di elettricità negli appartamenti è invece risultato essere di 45 kWh/(m² anno).

Eko Viikki basa dunque la propria sostenibilità energetica sull'uso passivo dell'energia solare e sull'alta efficienza sia delle costruzioni sia degli impianti. Non essendo presente alcuna forma attiva di autosostentamento energetico, ovvero di sfruttamento delle risorse locali, il metabolismo del quartiere è alimentato unicamente dalla rete elettrica e dalla rete del gas.



Figura 20. Il distretto è composto da edifici bassi e compatti

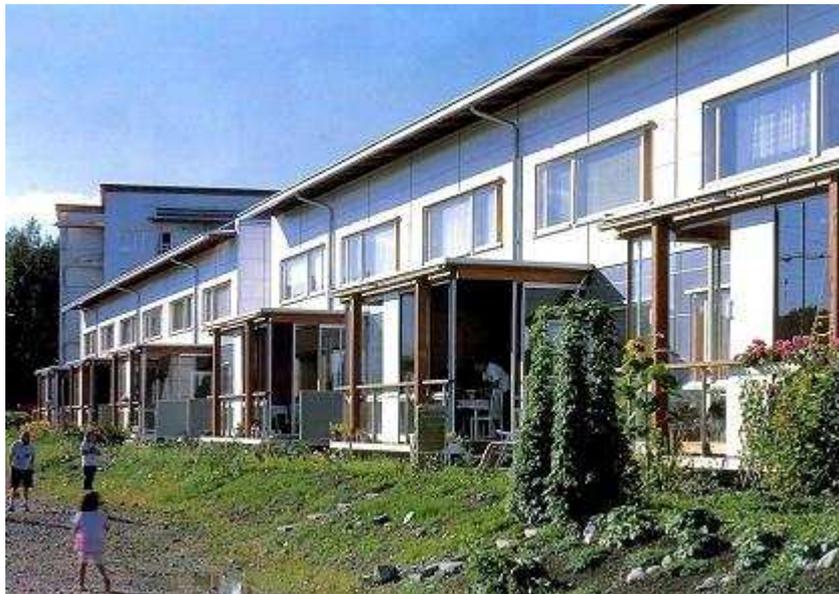


Figura 21. Le facciate a sud delle abitazioni hanno ampie superfici vetrate per aumentare i guadagni solari

5.4. Un'analisi comparativa

I quartieri scelti hanno tutti avuto un'ampia enfasi mediatica in fase di progettazione e durante la loro costruzione, i progetti sono stati ampiamente illustrati e talvolta dibattuti nella letteratura di settore in fase di progetto o immediatamente dopo la loro inaugurazione ufficiale per poi passare quasi inosservati durante la loro fase di vita attiva e di funzionamento a regime. I dati raccolti e riassunti nelle pagine precedenti sono quindi spesso lacunosi e imprecisi perchè frutto di metodologie di calcolo non omogenee e inoltre provenienti da fonti differenti. Molta della letteratura utilizzata nell'elaborazione dei profili dei diversi distretti appartiene più alla categoria della letteratura propagandistica o pubblicitaria che non a quella tecnica ed è quindi spesso carente di fonti scientifiche e metodologie di calcolo esplicite. Pertanto nello svolgere l'analisi comparativa si è dovuto in alcuni casi confrontare dei dati ottenuti con metodologie differenti con un evidente possibile margine d'errore. Solo nei casi di Bedzed e Solarsiedlung Freiburg Am Schlierberg sono stati pubblicati dati esaustivi di cui è stata anche illustrata la metodologia di acquisizione. Questi monitoraggi sono stati effettuati con il fine di studiare se e quanto il comportamento del quartiere avesse raggiunto gli obiettivi prefissati o rispecchiasse i dati derivati da modellazioni elaborate in fase di progetto e costituiscono pertanto il dato scientifico di maggiore interesse.

Tutti i distretti analizzati hanno avuto un contributo pubblico significativo fin dalle fasi di ideazione e progettazione. Dall'analisi di questi esempi scaturisce che la sostenibilità in ambito urbano non ha per ora avuto la possibilità di essere sperimentata se non con la guida e talvolta il supporto determinante delle Pubbliche Amministrazioni. L'intervento pubblico si manifesta in modo differente a seconda dei distretti, ad esempio nel caso di BO01 sono state finanziate esclusivamente le infrastrutture e le tecnologie rivolte alla eco compatibilità, mentre nel caso di Valderspartera il capitale impegnato nell'investimento era all'80% pubblico e sin dalle fasi iniziali il progetto prevedeva che la maggioranza delle abitazioni fossero destinate all'edilizia sociale. Nel caso del Greenwich Millenium Village o di Solar City il terreno era di proprietà pubblica per cui fin dalle

fasi del masterplan le Amministrazioni hanno avuto il controllo del progetto attraverso le concessioni dei diritti edificatori.

Nella *Figura 22* sono illustrati in modo comparativo le caratteristiche dei diversi distretti, gli obiettivi principali dichiarati dai vari progetti pongono l'accento su differenti aspetti della sostenibilità ma la questione energetica è costantemente presente nei diversi approcci.

Gli insediamenti analizzati sono collocati in differenti nazioni europee ma con una presenza prevalente nella fascia nord europea, tradizionalmente più attenta ai problemi di impatto ambientale dell'ambiente costruito, pertanto i dati climatici ed i gradi giorno dei differenti paesi possono essere considerati simili in un'analisi comparativa.

La fase di ideazione e progettazione di tutti i distretti ha avuto avvio tra la fine degli anni novanta ed i primi anni del terzo millennio mentre la costruzione si è protratta in alcuni casi sino ai giorni nostri. Dunque le esperienze illustrate rappresentano lo stato di fatto della sostenibilità urbana in Europa e costituiscono la base di partenza per successivi studi e progetti, oggi in fase di elaborazione, che mirano a risolverne le criticità attraverso miglioramenti sia tecnologici che di processo di realizzazione. I tempi di realizzazione variano da pochi anni ad oltre un decennio e sono generalmente proporzionali alla grandezza dell'area di costruzione. I distretti che coprono un'ampia superficie sono realizzati generalmente per lotti successivi richiedendo dunque periodi molto più lunghi e presentano quindi anche tipologie edilizie molto diversificate tra loro e di più difficile comparazione.

Anche se le dimensioni dei distretti variano molto tra loro sia per superficie che per numero di appartamenti od abitanti previsti tuttavia hanno tutti in comune la ricerca di un'identità di distretto urbano forte e coesa. Sin dai documenti preliminari alla progettazione esecutiva è sempre esplicito il fine di realizzare un insediamento che si differenzi dall'edilizia comune oltre che per i ridotti impatti ambientali anche per l'alta qualità della vita offerta agli abitanti.

La maggioranza degli insediamenti sono sorti su zone industriali bonificate dunque non andando ad incidere sull'annoso problema del consumo di suolo tuttavia sia Solar City, distretto di Linz, sia Viikki, distretto di Helsinki, sono stati

costruiti su aree verdi partendo quindi con un grave debito verso il processo di sostenibilità.

Le densità abitative variano molto a seconda dell'attenzione che viene data agli spazi verdi del quartiere, alla viabilità ed alla presenza di servizi. Viikki, che è l'unico insediamento che prevede fin dal masterplan iniziale delle aree all'interno del quartiere destinate agli orti urbani, è il distretto a più bassa densità, 48 abitanti per ogni ettaro, che possono fruire dei vasti spazi verdi integrati con il quartiere; la stessa città di Linz ha una densità molto bassa che non supera i 20 abitanti ad ettaro. Al contrario il Greenwich Millenium Village a causa dei suoi edifici residenziali multipiano di notevole altezza raggiunge i 224 abitanti per ettaro superando quindi la densità di affollati centri urbani europei come ad esempio Parigi con i suoi 212 abitanti per ettaro e costituendosi un nucleo residenziale molto pesante nello stesso contesto londinese che ha invece una densità media di 58 abitanti per ettaro.

eco distretto	Città	Nazione	Inizio del progetto	Termine del progetto	Obiettivo principale dichiarato nel progetto	Area (ha)	Abitanti	Appartamenti	Sito	Densità ab/ha
Am Schlierberg	Friburgo	D	1999	2006	autosufficienza energetica riduzione consumi del 30%	1	170	59	ex zona militare	170
Bedzed	Beddington	UK	1999	2002	autosufficienza energetica	1,7	240	82	ex zona industriale	147
Bo01	Malmö	SV	1996	2001	autosufficienza energetica	9	1.000	600	ex zona industriale	111
Hammarby	Stoccolma	SV	1996	in corso	riduzione dell'impatto complessivo del 50%	160	25.000	10.000	ex zona industriale	156
Greenwich Millenium Village	Londra	UK	1997	in corso	riduzione emissioni di CO ₂ del 35% e riduzione dell' 80% del consumo energetico	29	6500	2.956	ex zona industriale	224
Solar City	Linz	A	1994	2006	riduzione del 50% degli impatti ambientali	32	3500	1.294	area agricola	109
Valderspartera	Saragozza	S	2001	2010	riduzione del 60% consumo energetico	234	24000	9.700	ex zona militare	102
Viiikki	Helsinki	FN	1998	2004	riduzione emissioni di CO ₂ del 20% riduzione consumi del 30%	23	1900	600	area verde	82

Figura 22. Tabella comparativa dei distretti analizzati

5.5. Il bilancio energetico dei distretti: consumi delle abitazioni ed energia da fonti rinnovabili locali

L'analisi dei distretti è stata incentrata sui consumi energetici delle abitazioni e sulle rispettive forniture. Le abitazioni costituiscono, all'interno di un quartiere urbano, il settore di maggior consumo energetico e per questo sono l'elemento determinante nel bilancio energetico complessivo del distretto. Ogni insediamento è stato analizzato in base alle tipologie di fonti rinnovabili locali usate a fini energetici per alimentare i consumi del distretto ed al consumo annuale medio di energia primaria per ogni metro quadro di superficie abitativa. I dati riportati nella

Figura 23 raffigurano il consumo medio tra le diverse tipologie abitative esistenti nel quartiere, alloggi generalmente diversi per dimensioni, fattura e materiali. Sono dati quindi non riferiti ad un modello residenziale in particolare ma ad un metro quadro virtuale di superficie abitativa.

Tra le tecnologie per l'energia rinnovabile adottate quelle solari sono le più comuni e sono state usate in tutti i distretti, sia a livello attivo che passivo. Gli eco distretti sono dunque innanzitutto caratterizzati per uno stretto rapporto con l'irraggiamento solare, una risorsa presente ovunque anche se con intensità variabile a seconda della collocazione geografica e con un intermittenza che è la criticità maggiore di queste tecnologie. Al contrario la risorsa eolica è la meno sfruttata sia per le caratteristiche territoriali avverse della maggioranza dei centri urbani sia per i problemi di rumorosità che accompagnano le turbine eoliche nonostante di anno in anno i nuovi modelli di pale eoliche siano sempre meno impattanti dal punto di vista acustico. E' da sottolineare che nel caso di BO01, dove la risorsa eolica è tra le principali fonti di alimentazione del metabolismo del distretto, il generatore è situato a circa 3 km dal centro abitato, tuttavia in questa analisi è considerato egualmente come risorsa interna del distretto in quanto parte integrante della pianificazione del quartiere.

I rifiuti organici per la produzione di biogas, nonostante siano un elemento prodotto da tutti gli insediamenti, sono relativamente poco sfruttati essendo presenti impianti per la digestione anaerobica solo a BO01 ed Hammarby.

La biomassa è una risorsa sfruttata in diversi quartieri ed è considerata in questa analisi come risorsa interna, prodotto del metabolismo urbano, tuttavia solo una minima parte del legname bruciato negli impianti di cogenerazione di Am Schlierberg, Bedzed e Solar City proviene dalle potature e dalla manutenzione degli alberi del distretto. La maggior parte del combustibile deriva dalle foreste del circondario che son state considerate in questo studio luoghi in prossimità del distretto in quanto, se si paragona la loro lontananza a quella dell'origine dei combustibili fossili o delle grandi centrali per la produzione di energia elettrica, posseggono una forte contestualità con il distretto.

La peculiarità di Bo01 è di affidare il proprio approvvigionamento energetico a molteplici risorse e tecnologie basandosi su di un sistema più complesso ed

articolato rispetto agli altri eco distretti, lo stesso avviene ad Hammarby dove tuttavia l'attenzione per l'autonomia energetica è minore ed affidata in parte al discusso uso dei rifiuti come combustibile. In questo caso i rifiuti indifferenziati non possono essere considerati risorsa rinnovabile, tuttavia nel calcolo del bilancio energetico che segue nelle prossime pagine l'energia ricavata dalla combustione dei rifiuti del quartiere è stata considerata risorsa energetica interna al distretto e quindi contabilizzata come energia propria del metabolismo interno ovvero equiparata, nel calcolo del bilancio energetico, a quelle rinnovabili.

Il quartiere di Am Schlierberg affida invece il proprio metabolismo principalmente all'elettricità prodotta dal sole attraverso l'uso estensivo dei pannelli fotovoltaici che costituiscono la copertura di tutti gli edifici e connotano in modo marcato, anche esteticamente, l'intero complesso.

Il geotermico è una tecnologia che è molto legata alle caratteristiche geologiche del terreno su cui sorge il distretto e, in caso di assenza di condizioni geomorfologiche particolari, non è generalmente adatto ad alte densità abitative a meno di soluzioni estremamente costose basate su sonde ad alta profondità. Nel caso di Hammarby questo problema è stato risolto utilizzando come fonte calda non un elemento naturale, ad esempio il terreno o la falda acquifera come avviene a BO01 o Viikki, ma le acque bianche destinate all'impianto di depurazione. Questo rifiuto liquido, presente in tutti gli insediamenti urbani, incorpora una quantità di energia significativa che può essere estratta attraverso pompe di calore e riutilizzata nel metabolismo urbano con un'ottima efficienza exergetica.

Il consumo illustrato nell'ultima colonna della tabella illustrata nella *Figura 23* è quello di energia primaria, e contiene sia l'energia utilizzata per la climatizzazione, sia quella per le apparecchiature elettriche, sia quella per l'acqua calda sanitaria. Nella stima si è ipotizzato il solo uso di piastre e forni elettrici per la cottura dei cibi dunque l'uso del metano per la cucina non è tenuto in considerazione. I fattori usati per la conversione in energia primaria sono quelli delle singole nazioni a cui appartengono i diversi distretti. Questi dati sono stati presi nella maggioranza dei casi dalle cifre dichiarate in fase di progetto e quindi stimate in base al calcolo dell'efficienza degli impianti, delle apparecchiature e delle tecnologie architettoniche e compositive impiegate, tuttavia un approfondito monitoraggio

continuo del comportamento degli abitanti sarebbe necessario per determinare dati reali affidabili e non di stima.

eco distretto								consumo medio di un abitazione kWh/(m ² anno)
	solare termico	solare fotovoltaico	eolico	biogas	biomassa	geotermico	idroelettrico	
Am Schlierberg								79
Bedzed								82
Bo01								105
Hammarby								100
Greenwich Millenium Village								200
Solar City								138
Valderspartera								102
Viikki								150

Figura 23. Tecnologie adottate per l'energia rinnovabile e consumo medio di energia primaria delle abitazioni

Per ogni distretto è poi stata calcolata la percentuale di energia rinnovabile raccolta localmente in relazione al totale dell'energia primaria consumata nelle abitazioni. Anche in questo caso i dati sono stati presi dai calcoli effettuati in fase di progetto, dunque si tratta di stime e non di dati reali. Nel caso dei distretti in cui vi è un'assenza di dati dettagliati e disaggregati per definire questa percentuale si è proceduto con la divisione dei consumi energetici domestici in tre categorie

principali: consumi per il riscaldamento, consumi per apparecchi elettrici, consumi per l'acqua calda sanitaria. Si è fatto poi riferimento ai dati calcolati dall' *European Energy Agency* secondo i quali nelle abitazioni europee in media il 68% dell'energia è utilizzata nella climatizzazione, il 20% nell'illuminazione e negli apparecchi elettrici, ed il 12% nella produzione di acqua calda sanitaria (dati: EEA 2009). Queste stime sono state corrette in questo studio in quanto in tutti i distretti analizzati il consumo per riscaldamento è stato dichiarato in media uguale ad un terzo del consumo medio nell'edilizia tradizionale mentre nei consumi dell'acqua calda e degli apparecchi elettrici non sono stati documentati drastici cambiamenti. Dunque si è ridotto di un terzo il peso del consumo per riscaldamento ottenendo il seguente prospetto: il 22% dell'energia utilizzata nella climatizzazione, il 50% nell'illuminazione e negli apparecchi elettrici, ed il 28% nella produzione di acqua calda sanitaria.

Nella nuova edilizia, che deve sottostare alle norme energetiche sull'efficienza della climatizzazione emanate dall'Unione Europea, il settore elettrico diventa quindi quello di maggior consumo superando quello tradizionale del gas naturale, come del resto provato dalle recenti rilevazioni dell'agenzia statistica europea *Eurostat* che mettono in luce il continuo tendenziale aumento dei consumi elettrici nelle abitazioni in parte a discapito dei combustibili fossili (Eurostat 2012).

Categorie di consumo energetico nella abitazioni	Percentuali di energia primaria rinnovabile locale rispetto al consumo totale							
	Am Schliegerg	BedZed	BO01	Hammarby	Millenium Greenwich Village	Solar City	Valderspartera	Eko Viikkii
Riscaldamento	11%	19%	57%	10%	0%	4%	0%	3%
Applicazioni elettriche	72%	25%	23%	24%	0%	3%	0%	0%
Acqua calda sanitaria	9%	40%	20%	13%	0%	13%	9%	5%
Surplus energetico	45%							
Percentuale di energia rinnovabile locale rispetto al consumo delle abitazioni	137%	84%	100%	47%	0%	20%	9%	8%

Figura 24. Percentuali di energia rinnovabile raccolta localmente nelle diverse categorie di consumo

Dalla compartimentazione prima illustrata, mettendo in relazione i dati raccolti dai diversi distretti inerenti le tecnologie per l'utilizzo di fonti rinnovabili, con il consumo medio annuale di energia primaria che è riportato nella *Figura 23*, sono state stimate le percentuali di energia primaria rinnovabile locale usata per ogni settore (riscaldamento, applicazioni elettriche e acqua calda sanitaria) in relazione al consumo totale di energia primaria delle abitazioni del distretto, illustrate nella *Figura 24*.

La prestazione più interessante è indubbiamente data dal distretto di Am Schlierberg che, grazie all'elettricità prodotta dai pannelli fotovoltaici, su un bilancio energetico complessivo riesce ad essere nettamente in attivo: produce infatti il 37% in più dell'energia primaria consumata dalle sue abitazioni.

I risultati riportati nella *Figura 24* sono dati di stima, non supportati da alcuna misurazione tecnica reale in quanto, come già detto, non sono ancora stati effettuati monitoraggi esaustivi sui consumi energetici, eccetto che per i distretti di

Am Schlierberg di cui è stato redatto un accurato bilancio energetico (Heinze 2009) e di Bedzed (Bio Regional Group 2009). In ogni caso per tutti i distretti, anche per quelli in cui erano disponibili dati provenienti dai monitoraggi, in alcuni casi differenti dalle aspettative dei progettisti, sono stati utilizzati per il calcolo i dati di progetto, ovvero i dati calcolati e pubblicati nel corso dell'approvazione dell'iter progettuale. Si è optato per questa scelta per poter disporre di una serie di misure omogenee e confrontabili provenienti da calcoli progettuali e simulazioni e non da rilievi tecnici ex post.

I dati confrontati in questo capitolo sono molto significativi per la comprensione dei diversi sistemi energetici adottati negli "eco quartieri" tuttavia una reale comparazione non è possibile senza l'uso di un'unica unità di misura, ovvero un indice, che, tenendo conto dei diversi aspetti del sistema, riesca a leggere univocamente il reale comportamento energetico di ogni distretto. Per questo nel capitolo che segue viene elaborata la definizione di un indice che, basandosi su di un modello metabolico di analisi, sia significativo nell'esprimere il grado di sostenibilità ambientale del sistema energetico adottato da un distretto.

6. La definizione dell'indice IMSE (Indice Metabolico di Sostenibilità Energetica) per la valutazione dei sistemi energetici

6.1. L'Indice Metabolico di Sostenibilità Energetica "IMSE"

Nel paragrafo 2.5 del Capitolo 2 è stato illustrato come sin dal Summit di Rio del 1992 gli indicatori siano considerati dalla Comunità Scientifica e da tutte le Nazioni una prerogativa indispensabile per la costruzione della sostenibilità, ma come tuttavia ancora oggi non esistano strumenti o set di indicatori esaustivi ed universalmente adottati.

Nel presente capitolo, alla luce dell'elaborazione dell'analisi degli otto eco distretti illustrata nel capitolo precedente, viene discussa l'elaborazione di un particolare tipo di indicatore rivolto alla sostenibilità energetica, denominato "IMSE".

In questi ultimi vent'anni ogni Governo o istituzione Intergovernativa ha sviluppato ed applicato i propri indicatori di sostenibilità, che si differenziano per obiettivi, unità di misura e metodologie di elaborazione. Questi costituiscono l'interfaccia tra scienza e politica, tra verità scientifica e valori socio-culturali; assumono quindi un ruolo strategico di nesso tra la ricerca scientifica, le tecnologie e le trasformazioni della società reale.

La centralità che gli indicatori assumono nelle dinamiche politiche di un paese fa sì che siano spesso mirati al monitoraggio degli effetti delle politiche adottate più che della reale situazione sociale ed ambientale (Lombardi 2009, Brandon 2005). Il fatto di esser così inscindibilmente legati alla decisione politica ed alle relative responsabilità fa sì che subiscano spesso variazioni nel tempo, come ne

subiscono gli stessi organismi politici, impedendo un inquadramento storico di molti dei fenomeni osservati.

Recenti indagini stimano che oggi siano usati ufficialmente nel mondo oltre 600 set di indicatori, mentre quelli non adottati dai diversi Paesi ma utilizzati da enti di ricerca o non governativi sono un numero ancora maggiore (Theruvil 2004, Horner 2004). Questa situazione di frammentazione e disorganicità nel misurare la sostenibilità ha portato all'impossibilità di ottenere metriche esaustive ed internazionalmente condivise ed accettate, ancor oggi si è in un clima di profonda indeterminatezza quando si tratta di misurare la sostenibilità.

Gli indicatori sono rappresentazioni simboliche elaborate per comunicare una proprietà o una tendenza di un sistema o di un entità complessa, sono quindi per definizione strumenti di comunicazione (EEA 2007). Il loro fine è di semplificare problematiche complesse in modo che siano comprensibili da un pubblico esteso, di supportare le decisioni politiche e di funzionare come strumento di misura del progresso e del regresso compiuto con l'adozione di differenti politiche. Dunque l'efficacia dell'indicatore di sostenibilità risiede soprattutto nel raggiungere il pubblico cui è destinato, il fallimento nella sua azione comunicativa determina la sua totale inutilità. Naturalmente, dato che la sostenibilità è un processo complesso che coinvolge una molteplicità di soggetti, l'indicatore deve sempre essere indirizzato ad un pubblico vasto e non settoriale. Soprattutto, dato che il senso e l'efficacia di ogni strategia di sostenibilità è direttamente proporzionale al numero ed alla pluralità di attori sociali coinvolti, l'indicatore deve essere comprensibile anche ad un pubblico non tecnico e non specificatamente del settore (Lombardi 2010).

Gli indicatori si distinguono dai dati grezzi in quanto hanno dei valori di riferimento con cui essere paragonati; proprio il relazionarsi con grandezze di riferimento li rende non solo dati ma informazioni, capaci di comunicare lo stato di un processo in atto o di un fenomeno.

A seconda del metodo di costruzione si possono distinguere diverse tipologie di indicatori: gli indicatori semplici, che provengono dall'interpretazione di dati grezzi, gli indicatori aggregati, che combinano in un unico numero una serie di sotto indicatori espressi con la stessa unità di misura, ed infine gli indici, che combinano

i diversi aspetti di un fenomeno o di un concetto complesso in un unico dato (D'Acci, Lombardi 2010).

L'attendibilità e la qualità degli indicatori dipende inevitabilmente dai dati grezzi usati per elaborarli. La mancanza di dati nel monitoraggio delle azioni umane nell'ambiente e la bassa qualità di molte banche dati costituiscono potenziali minacce ai relativi indicatori. Inoltre, è da tener presente che raramente si ha l'indicatore "perfetto" che riesce a dare una lettura precisa, completa ed esaustiva di un determinato fenomeno. Generalmente le metodologie di elaborazione degli indicatori richiedono dei compromessi e delle semplificazioni. Queste sono presenti ed evidenziate anche nella metodologia di definizione del nuovo indice IMSE proposto nella presente ricerca ed illustrato in dettaglio nei paragrafi che seguono. L'obbiettivo dell'elaborazione di nuovi set di indicatori o di indici non è tanto l'eliminazione dei suddetti compromessi e delle limitazioni quanto piuttosto la definizione di una metrica maggiormente rispondente alle problematiche evidenziate dalla ricerca sullo sviluppo sostenibile dell'ambiente costruito.

L'indicatore qui proposto è definito attraverso l'utilizzo del modello metabolico illustrato nel Capitolo 4 con il fine di superare alcune delle maggiori criticità illustrate nel paragrafo 2.5 del Capitolo 2, inerenti soprattutto la multi-scalarità ed una valutazione organica dei cicli energetici.

La tipologia di indicatore messo a punto può esser classificato come "indice" in quanto comprende nella sua formulazione alcuni (sub) indicatori e tenta di esprimere in un'unico valore il grado di sostenibilità di un fenomeno alquanto complesso ed articolato quale il bilancio energetico di un distretto o area urbana.

I (sub) indicatori utilizzati nella definizione dell'indice consentono allo stesso di assumere caratteristiche di multi scalarità, in quanto presentano validità e coerenza alle diverse scale di analisi, sia quella dell'edificio, sia quella urbana e territoriale. Inoltre, l'indice ricavato non è indirizzato ad una particolare politica territoriale bensì ad essere utilizzato come strumento di supporto per la progettazione e valutazione di nuovi distretti urbani e nella rigenerazione di aree di città dismesse.

6.2. La metodologia alla base dell'"IMSE"

La metodologia illustrata nel capitolo precedente ha permesso di ottenere una stima della percentuale di energia primaria rinnovabile prodotta in loco, rispetto ai consumi totali delle abitazioni del distretto. Questo dato definisce qual'è il grado di autoproduzione energetica di una dato distretto rispetto ai consumi interni allo stesso; un elemento molto significativo in relazione alla valutazione del flusso energetico proveniente dall'esterno che alimenta il funzionamento urbano. Più la percentuale di autoproduzione è alta, meno il distretto grava, nella richiesta di energia, su territori esterni ai propri confini e, dunque, meno sono gli impatti ambientali dovuti alle forniture energetiche.

Mettendo in relazione il dato così ottenuto ed il consumo annuale per metro quadro di un abitazione media all'interno di un distretto urbano, si ottiene un significativo indice sul comportamento energetico di un eco distretto. Il primo dato, ossia il consumo medio a metro quadro, è infatti una misura dell'efficienza energetica delle abitazioni ed è determinato sia dalle tecnologie utilizzate negli impianti, sia dai caratteri architettonici degli edifici, sia dal comportamento dell'utenza. Il secondo dato, ossia la percentuale di energie rinnovabile prodotta in loco, è invece idoneo a misurare il funzionamento metabolico del quartiere, ovvero quanto il quartiere riesce ad auto produrre per le proprie necessità.

Il rapporto tra questi due elementi determina un indice piuttosto significativo per la sostenibilità energetica di un distretto, un Indice Metabolico di Sostenibilità Energetica, in grado sintetizzare in un unico valore sia il grado di efficienza energetica, con riferimento alla seconda legge della termodinamica, sia il comportamento dell'utenza inerente al consumo, sia il grado di auto sostentamento o di autonomia.

Tale indice può essere espresso come segue:

$$\text{IMSE} = \text{C kWh}/(\text{m}^2 \text{ anno}) - [[(\text{C kWh}/(\text{m}^2 \text{ anno})) * \%R]]$$

dove:

C = consumo medio di un metro quadro virtuale di superficie abitativa [kWh/(m² anno)]

%R = percentuale energia rinnovabile in relazione al consumo totale di energia primaria

L'IMSE permette una lettura della sostenibilità energetica non incentrata solamente sull'efficienza, dato tecnico relegato al funzionamento dell'oggetto fisico, ma su un orizzonte più ampio che considera l'equilibrio tra il quartiere ed il territorio da cui trae sostentamento. Da questo punto di vista è un indice molto più significativo rispetto al semplice consumo per metro quadro all'anno, che fornisce una misura dell'efficienza delle abitazioni legata al comportamento degli abitanti ma non fornisce alcuna indicazione sul rapporto e sull'impatto che l'edificio ha con il contesto e con il territorio. Inoltre, mentre il consumo energetico per metro quadro all'anno varia in genere con la posizione geografica e nelle fasce territoriali più temperate è inferiore per il minor uso del riscaldamento, l'indice IMSE è legato anche al grado di sfruttamento delle risorse locali; pertanto insediamenti in fasce territoriali con climi molto rigidi potrebbero avere un IMSE inferiore ad insediamenti collocati in climi miti.

L'IMSE, quindi, fornisce un valore che si focalizza sugli equilibri interni al distretto. Da una parte misura il grado di auto sussistenza grazie alle risorse rinnovabili locali interne e, dall'altra, misura la dipendenza dall'energia che il distretto deve assorbire annualmente da altri territori per il proprio sostentamento.

E' un indice comparabile, perché riferito ad un metro quadro virtuale di superficie abitativa, ottenuto dividendo il consumo totale per i metri quadri di superficie costruita, quindi applicabile non solo alle abitazioni ma anche alle strutture per il terziario o per servizi. Attraverso quest'indice è possibile misurare il grado di sostenibilità energetica di qualunque tipologia dell'ambiente costruito, in qualunque clima, ed è possibile fare dei raffronti sul peso energetico che i diversi distretti hanno su altri territori.

E' inoltre un indice multi scalare perché ha significato sia all'interno di un contesto di quartiere urbano, sia a scala di edificio, sia a scala territoriale, definendo un equilibrio tra ambiente costruito e contesto, che ha un orizzonte territoriale molto ampio. Un edificio, o un distretto, con un IMSE molto basso, oltre che ad avere un basso consumo, dovuto sia all'efficienza sia agli stili di vita degli abitanti, avrà un impatto ridotto a livello territoriale, in quanto assorbe dal territorio un carico energetico lieve. Al contrario un IMSE elevato di un insediamento, o di

una costruzione, sarà indice sia della poca efficienza della costruzione in se, alla scala più piccola, sia di un grosso carico energetico, che verrà riversato su altri territori, alle scale più elevate.

L'impiego dell'indice IMSE ci permette quindi di definire il grado di sostenibilità energetica di un insediamento non limitandoci ad una visione "efficientista", che delega la diminuzione dell'impatto energetico unicamente all'aumento dell'efficienza degli edifici e degli impianti, ma fornendo una lettura del rapporto tra gli insediamenti e gli impatti che questi hanno sui territori esterni. In questo modo, l'indice mette in relazione e sintetizza in un unico dato due aspetti centrali nella valutazione degli impatti energetici dei distretti urbani: efficienza ed autonomia, ed in secondo luogo anche la virtuosità degli abitanti che con comportamenti e stili di vita a basso consumo possono incidere sui consumi medi totali e, di conseguenza, anche sull'indice IMSE.

Il range dell'indice è teoricamente infinito e può assumere valori sia positivi che negativi. Un IMSE corrispondente al valore 0 indica un insediamento in cui tutta l'energia necessaria è autoprodotta in loco da fonti rinnovabili, si è quindi raggiunto uno stato di ideale e completa autonomia energetica, in questo caso l'impatto energetico è dunque pressoché nullo.

Più invece i valori dell'IMSE sono elevati più il distretto necessita di alimentazione energetica dall'esterno, nel contesto europeo i massimi valori raggiungibili sono intorno a 270, cifra coincidente con il consumo medio annuale di energia primaria a metro quadro di un abitazione europea. Ciò significa che in un distretto con IMSE uguale a 270 non è presente alcun miglioramento rispetto alla media dei consumi e neanche alcuna produzione di energia rinnovabile in sito. I valori IMSE superiori a 270 in un contesto abitativo europeo significano un comportamento energetico peggiore della media e dunque le strutture a cui si riferiscono non solo non apportano alcun miglioramento al panorama energetico esistente ma ne costituiscono addirittura un peggioramento. Con l'attuale legislazione energetica è tuttavia teoricamente impossibile che questo caso si verifichi per nuovi edifici mentre è piuttosto diffuso nei quartieri urbani già consolidati in cui non sono ancora state effettuate operazioni di retrofit.

L'IMSE negativo indica invece che l'energia rinnovabile raccolta localmente è superiore ai consumi delle abitazioni e può quindi addirittura essere esportata oltre i confini del distretto. In questo caso si configura un distretto che si trasforma da consumatore ad erogatore di energia, dunque non solo non arreca impatti ambientali ad altri territori ma è in un certo senso portatore di entropia negativa andando a produrre flussi energetici per il territorio, più il valore è negativo e più la quantità di energia esportata sarà alta.

L'indice IMSE può risultare molto utile nel confronto e nella valutazione delle performance energetiche degli insediamenti, sia nuovi che esistenti. E' un indice di facile uso perché richiede dati basilari, di facile acquisizione, e non richiede calcoli complessi. L'IMSE ci permette di confrontare diverse realizzazioni, o scenari, e verificarne il maggiore o minor grado di sostenibilità energetica attraverso un processo di rating. Attraverso una serie di rilievi su molti casi è possibile stabilire un benchmark a cui fare riferimento che può diventare l'obiettivo sia di progetti di nuovi insediamenti sia di processi di retrofit sull'esistente.

Un indice quale l'IMSE dal momento che è rivolto alla lettura delle dinamiche del bilancio energetico di una comunità urbana potrebbe diventare parte organica di strumenti rivolti alla cosiddetta "società della conoscenza".

La "società della conoscenza" è un modello di comunità, una visione politica e sociale, basata sullo scambio di dati e di conoscenza attraverso le tecnologie dell'informazione. Questo modello di organizzazione sociale è considerato dall'Unione Europea un fattore chiave per la realizzazione della sostenibilità urbana, come sancito dall' "Intelcity roadmap" un programma sviluppato sotto il Quinto Programma Quadro dell'Unione Europea (IST – 2001 – 37373). Questo progetto prevede una sistema aperto basato su di una piattaforma intelligente che raccolga e distribuisca informazioni attorno alle quali costruire la sostenibilità della città. L'obiettivo è di riunire fonti non connesse di informazioni in un unico spazio virtuale e renderlo poi accessibile a chiunque, dai cittadini ai pianificatori ai costruttori ed ai diversi soggetti sociali, in un formato digitale.

L'indice IMSE, in tempo reale, ovvero il grado di sostenibilità energetica di un certo distretto in un dato momento, potrebbe costituire oltre che un utile dato per il monitoraggio della situazione e come dato di progetto per qualunque azione di

retrofit, anche uno stimolo al miglioramento di comportamenti e stili di vita indirizzato ad una diminuzione degli impatti.

6.3. L'indice IMSE nella valutazione degli otto distretti analizzati

L'applicazione dell'indice IMSE agli eco distretti scelti ci permette quindi di valutare il loro grado di sostenibilità energetica. Avendo determinato il consumo medio di energia primaria delle abitazioni dei diversi distretti, come illustrato nella *Figura 23*, ed avendo calcolato una stima di quanto di quel consumo ogni distretto possa produrre da se, come illustrato nella *Figura 24*, possiamo calcolare l'indice IMSE per ciascuno di loro, come illustrato nella *Figura 25*.

eco distretto	consumo medio di un abitazione kWh/(m ² anno)	Percentuale di energia rinnovabile prodotta in loco rispetto al consumo	ISE
Am Schlierberg	79	137%	-29
Bedzed	82	84%	13
Bo01	105	100%	0
Hammarby	100	47%	53
Greenwich Millenium Village	200	0%	200
Solar City	138	20%	110
Valderspartera	102	9%	93
Viikki	150	8%	138

Figura 25. Consumi medi in energia primaria, percentuale di energia rinnovabile locale e relativi valori IMSE

Dalla valutazione ottenuta tramite l'applicazione dell'indice IMSE i quartieri con i metabolismi energetici meno impattanti risultano essere Am Schlierberg, distretto tedesco della città di Friburgo, e Bo01, distretto svedese della cittadina di Malmo.

Come già citato va sottolineato che il distretto di Am Schlierberg ottiene un'ottima performance dell'indice IMSE anche grazie ad una centrale a cogenerazione alimentata con biomassa non proveniente dal quartiere ma dal circondario. Una risorsa che in questo studio è stata considerata facente parte del distretto in quanto la pianificazione energetica è stata approntata parallelamente alla pianificazione edilizia del quartiere con attenzione al massimo grado di sfruttamento delle risorse locali. La biomassa riesce a fornire l'80% del riscaldamento necessario soprattutto grazie all'alta efficienza delle abitazioni che possono essere riscaldate con solo 22 kWh/(m² anno). In Am Schlierberg l'energia rinnovabile è prodotta in gran parte dai pannelli fotovoltaici che ricoprono interamente gli edifici, è un distretto che funziona principalmente ad energia solare ad eccezione della centrale di riscaldamento che è alimentata al 50% con il legname delle potature locali. La peculiarità di questo distretto è che grazie all'uso estensivo del fotovoltaico riesce a produrre più energia elettrica di quanto ne consuma. Dividendo l'elettricità prodotta per la superficie abitabile dell'insediamento si ottiene infatti che ogni metro quadro di abitazione produce 115 kWh/h all'anno e ne consuma solamente 79. Il distretto di Am Schlierberg seppur usufruendo in parte del metano per il riscaldamento riesce dunque a raggiungere non solo l'autonomia energetica grazie al surplus di energia elettrica prodotta dalle coperture fotovoltaiche ma, su un bilancio annuale, riesce essere in attivo, ovvero ad esportare una quantità di energia pari al 37% di quella che consuma. Per questo motivo l'indice IMSE di Am Schlierberg assume un valore negativo, pari a -29, unico caso tra quelli analizzati.

Anche nel caso del distretto di Malmo l'autonomia energetica è resa possibile da una turbina eolica da 2MW situata non all'interno ma in prossimità del distretto a circa 3 km di distanza. Il quartiere BO01 è anche quello che differenzia di più la raccolta di energia rinnovabile dalle diverse fonti, sono infatti usate tecnologie per lo sfruttamento dell'energia solare, sia attive che passive, per l'energia eolica, per lo sfruttamento della geotermia, e per ricavare biogas dai rifiuti organici. Questa

differenziazione di fonti permette di avere anche un sistema energetico interno più stabile e sicuro. L'indicatore IMSE è pari a 0 dal momento che tutta l'energia consumata nelle abitazioni di Malmö è generata dallo stesso distretto.

Il quartiere di Bedzed con un IMSE pari a 13 è autonomo per quanto riguarda l'energia termica, grazie alla centrale a cogenerazione alimentata in parte dal legname frutto della potatura di alberi del circondario, il resto è affidato ai pannelli fotovoltaici. Per il funzionamento dell'impianto a pieno regime Bedzed necessita di 1.100 tonnellate di legname all'anno, una grossa quantità se si considera che nel distretto abitano solamente 240 persone. Il funzionamento della centrale, che dovrebbe produrre sia elettricità che acqua calda sanitaria per l'intero quartiere, è stato però recentemente sospeso a causa di problemi economici, a causa di questo contrattempo nel 2006 è stato rilevato che solo l'11% dell'energia consumata a Bedzed proveniva da fonti rinnovabili. In questa valutazione si suppone che l'impianto a cogenerazione funzioni a biomassa come previsto dal progetto e come è accaduto nei primi anni di vita del distretto, in ogni caso anche in questa condizione l'insediamento sarebbe in parte dipendente dalla rete per la fornitura di elettricità.

A Stoccolma il quartiere di Hammarby seppur adotti il così detto "Modello Hammarby", ovvero la complessa strategia prima descritta per la chiusura dei cicli metabolici urbani, e l'utilizzo della combustione dei rifiuti indifferenziati per la creazione di energia, totalizza un valore IMSE di solo 53. Nonostante le diverse tecnologie applicate, tra cui la più significativa è la produzione di biogas dai liquami e dai rifiuti organici, Hammarby ottiene nel settore energetico risultati peggiori rispetto a distretti che usano strategie meno complesse e puntano sul riuso e sul riciclo dei rifiuti piuttosto che sulla loro combustione.

Il quartiere Valderspartera di Saragozza utilizza solo l'irraggiamento solare come fonte energetica rinnovabile pertanto ottiene dall'interno del distretto solo una media dell'9% dell'energia che consuma, le tipologie architettoniche capaci di ottimizzare l'uso passivo dell'irraggiamento solare e l'alta efficienza degli appartamenti sono le strategie adottate e che delineano un valore IMSE di 93 quindi nettamente superiore al valore di Hammarby, 58, a cui può essere paragonato come grandezza e numero di abitanti.

Al quartiere spagnolo di Solar City corrisponde un IMSE ancora più alto, pari a 110. Anche in questo caso è presente una centrale a cogenerazione alimentata in parte a biomassa, grazie alla legna proveniente dal circondario. Inoltre su tutti gli edifici sono collocati pannelli per il solare termico che producono il 34% dell'acqua calda sanitaria necessaria al quartiere. Anche in questo caso la strategia adottata punta ad uno sfruttamento dell'irraggiamento in modo passivo con un orientamento ottimizzato degli edifici e la costruzione di serre solari.

Tra quelli esaminati i quartieri con indice IMSE più alto e quindi a minor sostenibilità energetica son il distretto finlandese di Viikki ed il distretto britannico del Greenwich Millenium Village.

Il quartiere di Viikki nella città di Helsinki ha un IMSE pari a 138. In questo caso la sostenibilità energetica è affidata più all'efficienza delle abitazioni che non all'utilizzo di fonti rinnovabili, in questo insediamento parte dell'energia necessaria è ricavata da pannelli solari ma comunque in misura relativamente bassa rispetto ai fabbisogni.

Il Greenwich Millenium Village ha un consumo medio di energia primaria per metro quadro di abitazione pari a 200 kWh all'anno, che è il più alto registrato nei casi presi in esame, inoltre la quantità di energia raccolta all'interno del distretto è talmente ridotta da essere trascurabile nel bilancio energetico complessivo. In entrambi i casi di Viikki e del Greenwich Millenium Village la sostenibilità energetica viene relegata quasi esclusivamente all'efficienza nei consumi delle abitazioni. La raccolta di energia rinnovabile in sito, affidata ad una limitata superficie di pannelli solari rispetto alle dimensioni dei quartieri, non è in grado di incidere significativamente in nessun settore dei consumi.

Nei casi analizzati sono raramente presenti confini fisici ben definiti che permettono di capire con chiarezza gli elementi e le risorse esterne o interne al quartiere. Ad esempio Bo01 affida gran parte della propria alimentazione energetica a turbine eoliche che per acquisire maggiore efficienza e minore impatto sonoro non sono collocate all'interno del tessuto residenziale ma in prossimità, quindi esterne ai confini del distretto. In questa ricerca sono però state considerate come parti integranti dei quartieri in quanto la loro costruzione è stata pianificata congiuntamente alla pianificazione degli insediamenti urbani.

Analogamente gli impianti a biomassa dei quartieri di Bedzed, di Am Schlierberg o di Solar City sono alimentati con legna locale ma solo in parte proveniente dalle potature del quartiere o da boschi nelle immediate vicinanze. Anche in questo caso queste fonti energetiche sono state considerate interne al distretto in quanto gli impianti a cogenerazione sono stati pianificati coerentemente ai nuovi distretti e con il fine di fruire della biomassa proveniente da questi.

6.4. Strategie e best practices per la sostenibilità energetica nei distretti analizzati

Come evidenziato dalla tabella illustrata nella *Figura 25* i quartieri analizzati attraverso l'indice IMSE presentano scenari di sostenibilità energetica molto differenti. Nonostante l'eco sostenibilità dichiarata sin dalla fase ideativa e l'ampia campagna di comunicazione che ha accompagnato sia la progettazione che la fase di realizzazione di tutti i distretti non vi è una visione comune su quali siano le priorità di un eco distretto. Gli obiettivi dei bassi consumi energetici e dell'utilizzo delle fonti rinnovabili sono costantemente presenti nei casi analizzati ma assumono una connotazione e risultati molto diversi a seconda dei vari progetti. Ad esempio nei casi di Am Schlierberg e Bo01 l'ideazione del distretto è accompagnata da un'attenta pianificazione energetica in modo da controllare il metabolismo e creare cicli chiusi interni al quartiere, il fine raggiunto è quello di ottenere un'autonomia su scala annuale rispetto alle forniture energetiche. Al contrario nel Greenwich Millenium Village o in Viikki l'obiettivo prioritario è di ottenere un'alta efficienza energetica nel riscaldamento ed una ottimizzazione degli apporti dell'irraggiamento sul riscaldamento degli edifici. In questo caso i distretti continuano ad essere strettamente dipendenti dalle forniture della rete elettrica e del metano. Analogo discorso vale per Valderspartera dove i pannelli solare termici posti sulle maniche dei condomini riescono a fornire solamente l'8% dei bisogni energetici del quartiere, la restante fornitura è affidata alla rete.

Una caratteristica comune ai sistemi energetici di tutti i distretti è la presenza di un impianto di cogenerazione, sia a metano, che a biomassa che misto. La cogenerazione è quindi un elemento unificante rispetto alle diverse strategie di pianificazione energetica, questa tecnologia permette di controllare facilmente il flusso di elettricità prodotta e contemporaneamente di conservare in modo economico l'eventuale calore in eccesso attraverso serbatoi di acqua calda. L'altro elemento comune è costituito dalle strategie per lo sfruttamento attivo e passivo dei raggi solari, in tutti i distretti vi è stata particolare attenzione nella disposizione degli edifici per fruire in modo ottimale dell'irraggiamento solare e dunque diminuire il carico del riscaldamento, analogamente i pannelli solare termici sono la tecnologia più diffusa essendo presenti in tutti i casi, eccetto che ad Am Schlierberg dove tutte le superfici assolate sono utilizzate per la produzione elettrica attraverso i pannelli fotovoltaici, in questo distretto l'acqua calda sanitaria è fornita dall'impianto di cogenerazione alimentato in parte a biomassa.

La biomassa è una fonte energetica utilizzata nel distretto tedesco di Am Schlierberg, in quello britannico di Bedzed e in Solar City in Austria. E' però sempre presente una forte criticità: gran parte del combustibile proviene da territori esterni al quartiere il cui sfruttamento dovrebbe quindi essere regolato da un'attenta pianificazione che travalica l'organizzazione del distretto urbano ma si sposta verso la gestione degli equilibri tra insediamenti e territori circostanti. L'utilizzo a fini energetici della biomassa richiede ovviamente vaste aree alberate che possano essere finalizzate all'alimentazione energetica o attraverso la potatura e la sostituzione delle piante più deboli o tramite colture a rotazione che evitino il disboscamento, la sostenibilità va computata anche su questo bilancio.

Ad esempio la città di Londra con i suoi 8 milioni di abitanti produce 51.000 tonnellate all'anno di legna proveniente dalla potatura e dalla manutenzione degli alberi urbani, da ogni tonnellata un impianto di cogenerazione può estrarre circa 3.200 kWh/kg (Jonas 2001) di cui idealmente due terzi in calore ed un terzo in elettricità, dunque in tutta Londra si potrebbero produrre annualmente circa 163 GW/h, un'energia potenziale che, trasformata in calore ed elettricità con un'efficienza media dell'80% fornirebbe una quantità di energia primaria sufficiente appena a coprire i consumi totali di un anno di circa 3.400 cittadini (elaborazione

dati : Eurostat 2011). E' dunque evidente che la biomassa non è una risorsa che può essere utilizzata in modo estensivo per i grandi agglomerati urbani esistenti ma può essere preziosa per centri più piccoli in cui il rapporto tra verde ed edificato è molto grande o per nuovi insediamenti pianificati con attenzione al rapporto tra alberate e consumi.

La risorsa eolica è poco sfruttata nei casi esaminati, l'unico impianto urbano è quello di BO01. Questa tecnologia, che dagli studi effettuati potrebbe avere ottimi risultati anche in contesti urbani (Phillips 2007), trova una forte difficoltà di applicazione negli insediamenti residenziali sia per la "rugosità" dei terreni costruiti che depotenzia la forza del vento sia per il rumore che può esser percepito nelle immediate vicinanze. In ogni caso perché la risorsa eolica sia sfruttabile proficuamente è necessaria una velocità media annuale del vento di almeno 3 m/s, una condizione relativamente poco frequente in territori lontani dalle coste marine.

I quartieri di BO01 ed Hammarby, entrambi in Svezia, utilizzano digestori anaerobici per ottenere biogas, una delle tecnologie energetiche più legate al metabolismo urbano in quanto i prodotti che alimentano i digestori sono prodotti di scarto dell'insediamento urbano, prodotti che vengono generalmente espulsi dal contesto urbano e smaltiti in altri territori con notevoli impatti ambientali e consumi energetici. In questo caso l'energia contenuta nei rifiuti urbani organici o nelle acque reflue e nei fanghi prodotti negli impianti di depurazione viene estrapolata, sotto forma di metano, attraverso un complesso processo chimico anaerobico. Questo processo per essere alimentato necessita di una massa critica di materiale al di sotto della quale non è economicamente vantaggioso. In tal senso questa tecnologia si presta molto bene ai contesti urbani con una densità abitativa elevata che permettono una raccolta agevolata di ingenti quantità di rifiuti organici e di acque reflue. L'impatto ambientale degli impianti è pressoché nullo dal momento che vengono alimentati con parte dell'energia che producono. Tenendo conto sia dell'energia utilizzata dal funzionamento del digestore sia dell'energia utilizzata per il trasporto dei rifiuti si ha una produzione netta di 405 kW/h ogni tonnellata di rifiuti organici (Banks 2011), va sottolineato inoltre che sia nel caso di Bo01 che in quello di Hammarby la raccolta dei rifiuti avviene in modo automatico tramite un

sistema di condutture pneumatiche che dovrebbero diminuire ulteriormente i consumi energetici, non esistono tuttora analisi comparative dei bilanci energetici delle due soluzioni. L'utilizzo della tecnologia della digestione anaerobica presenta tre vantaggi all'interno del metabolismo urbano: diminuisce il carico dei rifiuti da smaltire, genera metano e quindi energia e come scarto finale produce compost, un elemento prezioso come fertilizzante nelle colture agricole in sostituzione di prodotti di sintesi derivati da combustibili fossili.

In nessuno dei casi analizzati è utilizzata la risorsa idroelettrica nonostante siano molteplici gli studi che individuano nello sfruttamento idroelettrico di condotte e canali una delle possibili soluzioni per l'alimentazione elettrica dei centri urbani (ASHA 2004).

La geotermia è usata come fonte calda per le pompe di calore nei distretti di BO01, Hammarby, e Viikki, sebbene dia risultati molto efficaci nel riscaldamento domestico deve però esser accompagnata da un'altra fonte energetica per poter esser sfruttata, nei casi citati le pompe di calore sono infatti alimentate elettricamente. Particolarmente interessante la strategia adottata in BO01 che alimenta le pompe di calore con l'elettricità della turbina eolica in prossimità del distretto riuscendo così ad ottenere un impatto energetico nullo. Proprio perchè la fonte geotermica è una forma di energia rinnovabile che non è generalmente energeticamente autonoma ma necessita di un'altra fonte energetica per esser sfruttata non è adatta in situazioni in cui non vi è il collegamento alla rete elettrica o a quella di distribuzione del metano o accumulatori elettrici collegati a pannelli fotovoltaici da cui trarre l'energia per attivare le pompe di calore. Solo in alcune rare situazioni geomorfologiche la fonte di calore è così potente da fornire acqua ad una temperatura direttamente sfruttabile come ad esempio avviene a Larderello (Pisa) in Toscana in cui è situato un impianto che da solo produce il 10% dell'energia geotermica mondiale.

La geotermia è una risorsa che richiede anche un'accurata pianificazione nel suo utilizzo che deve prevedere sia il carico energetico sottratto alla sorgente sia il tempo di resilienza perchè possano essere mantenute le caratteristiche fisiche iniziali, onde non essere esaurita in breve tempo (Wright 1998, Gudni 2005, Rybach 2006).

Nonostante la forte differenza di grandezza territoriale e di numero di abitanti, dai 170 di Am Schlierberg ai 25.000 di Hammarby in tutti i distretti gli edifici sono disposti in modo da avere il massimo beneficio dai raggi solari, un fattore comune che determina, in una prospettiva di sostenibilità urbana, la necessità di unire la pianificazione urbana a quella architettonica onde non creare delle incongruenze al momento del progetto esecutivo e della disposizione dei volumi. La riscoperta dell'attenzione al sole è quindi l'elemento che accomuna tutte le metodologie di progettazione architettonica, un elemento certo non nuovo presente da sempre, con più o meno considerazione, in tutte le diverse culture architettoniche, ma tornato di stringente attualità negli ultimi anni con la crisi del cambiamento climatico.

Un altro elemento comune è l'attenzione per la mobilità, ed in particolare per gli impatti ambientali che scaturiscono dalla mobilità. In tutti i distretti è previsto l'uso limitato dell'autovettura privata e pertanto il traffico veicolistico è relegato a poche vie di comunicazione principali. Tuttavia non sono previste, oltre le piste ciclabili e ampi tratti pedonali, particolari infrastrutture innovative di trasporto. I mezzi pubblici che servono i distretti sono quelli tradizionali, solo nella città di Hammarby è stata introdotta l'innovazione di alimentare i bus con parte del biogas ricavato dall'impianto di digestione anaerobica di liquami e rifiuti. Dunque il distretto "eco sostenibile" europeo ha un approccio low tech verso la mobilità prediligendo spostamenti a piedi o in bicicletta e promuovendo un uso molto limitato dell'autovettura privata, una soluzione semplice per un problema che causa impatti ingenti considerando che i consumi dei trasporti costituiscono in Europa il 33% di quelli totali, quelli delle abitazioni il 26% (Eurostat 2009), e che la maggior parte degli spostamenti viene proprio fatta nei centri urbani.

Un altro elemento unificante è costituito dalle strategie impiegate per la costruzione di un senso di comunità e di appartenenza che si attuano attraverso azioni sociali, attività culturali, ed un intenso programma di comunicazione. Questa forte e comune attenzione per le dinamiche sociali è segno che l'idea che la sostenibilità urbana sia impossibile senza l'azione e la partecipazione dei cittadini è ampiamente condivisa in Europa. Ne è prova il fatto che nei monitoraggi eseguiti a Bo01 o a Bedzed si sono avuti risultati inferiori alle aspettative riguardo ai

consumi energetici probabilmente a causa del comportamento degli abitanti non ancora abituati a stili di vita attenti agli impatti ambientali; è evidente che solo con la responsabilizzazione dei cittadini sulle finalità della costruzione sostenibile si possono avere i miglioramenti previsti sugli impatti e sui consumi.

L'analisi effettuata dimostra come ancora oggi il concetto di "eco distretto" sia molto labile e soggetto alle più diverse interpretazioni. Nonostante negli ultimi anni ci siano state numerose sperimentazioni e realizzazioni edilizie con il fine di perseguire una sostenibilità urbana, nonostante l'attenzione al sole come primaria fonte energetica ed al limite dell'utilizzo dell'autovettura privata, non vi è ancora un'opinione comune e condivisa sulle strategie, metodologie o tecnologie più adatte.

Gli approcci alla sostenibilità nei diversi distretti variano molto ponendo l'accento o focalizzandosi su alcuni aspetti ma contemporaneamente trascurandone altri, ad esempio due tra gli otto quartieri analizzati sorgono su ex aree agricole o aree prima destinate a verde incolto, questo determina già in partenza un grave debito nei confronti degli equilibri olistici inerenti la biodiversità o la tutela di flora e fauna o della permeabilità dei terreni. Tuttavia tutti questi sono elementi difficilmente valutabili scientificamente e comparabili tra loro e soprattutto impossibili da mettere a confronto con la valutazione di sostenibilità energetica che è stata compiuta in questo studio e che è invece basata su dati quantitativi precisi e misurabili.

Non è inoltre possibile affermare che gli eco quartieri sorti negli ultimi anni in Europa presentino un comportamento energetico simile o univoco, l'applicazione dell'indice IMSE ai casi studio prescelti ha dimostrato che, nonostante le dichiarazioni di basso impatto e alta sostenibilità enunciate a livello progettuale in tutti gli eco quartieri analizzati, le performance energetiche variano moltissimo da distretto a distretto. Esse vanno dalla esportazione di energia come avviene ad Am Schlierberg alla situazione di Bo01 ad impatto pressoché nullo fino ad arrivare al Greenwich Millenium Village che ha un'efficienza maggiore rispetto alla media delle abitazioni britanniche ma che è totalmente dipendente dall'esterno per il proprio approvvigionamento energetico. Questi risultati sottolineano come sia importante ed urgente definire indicatori e processi valutativi condivisi, che

riescano a comunicare una visione oggettiva della sostenibilità urbana non relegandola alle semplici dichiarazioni progettuali che spesso sono determinate da mere ragioni di mercato. E' inoltre necessario che nuove ricerche e sviluppi rivolte all'analisi ed alla valutazione della sostenibilità urbana forniscano dati reali e letture innovative dei fenomeni urbani che possano essere di orientamento e feed back per la realizzazione di quartieri e città sempre meno impattanti e più sostenibili.

7. Applicazione dell'indice IMSE al caso studio dell'area “Ex Scalo Vanchiglia” nella città di Torino

Nel Capitolo 5 i bilanci energetici dei settori residenziali di alcuni “eco distretti” europei sono stati valutati attraverso l'indice di sostenibilità energetica “IMSE”. Alcuni di questi hanno totalizzato un indice IMSE nullo o prossimo allo zero dimostrando così di avere un efficace metabolismo interno che li porta ad avvicinarsi all'autonomia energetica e dunque ad avere un bassissimo impatto sull'ambiente esterno. In ognuno di questi distretti sono state analizzate quali fossero le tecnologie impiegate e soprattutto le sinergie possibili nei contesti urbani per ottimizzare i processi metabolici al fine di ottenere energia rinnovabile dalle risorse naturali presenti sul sito e dagli scarti metabolici, come ad esempio liquami e rifiuti organici.

Dei quartieri presi in considerazione tutti quelli con un basso indice IMSE, e dunque un'alta sostenibilità energetica, si basano su differenti risorse e tecnologie creando così un sistema complesso ed articolato di approvvigionamento energetico. Questo sistema è in grado di alleviare e talvolta annullare il carico sulla rete elettrica o su quella di distribuzione del metano. La molteplicità delle strategie e tecnologie adottate all'interno dei distretti sono alla base delle alte prestazioni raggiunte e dell'affidabilità del sistema. In nessun caso nei distretti analizzati le forniture energetiche sono state affidate ad un'unica risorsa che, in caso di scarsità, potrebbe mettere a repentaglio l'approvvigionamento o scaricare l'intero carico sulla rete.

Nel caso studio esaminato in questo capitolo i principi di pianificazione energetica desunti dai quartieri “virtuosi” esaminati nella prima parte della ricerca vengono applicati su di un'area urbana. Sono prese in considerazione le strategie e le tecnologie utilizzate dagli eco distretti europei esaminati, in particolare dai

distretti a basso indice IMSE in cui quindi è stata valutata un'alta sostenibilità energetica: BO01 (SE), Bedzed (UK), Am Schlierberg (D), Solar City (A), da cui viene anche dedotta la metodologia utilizzata.

Come caso studio è stata scelta un'area su cui è prevista una radicale rigenerazione, sulla quale è stato approvato un piano ma ancora nessun progetto esecutivo è stato fatto. Si tratta di una zona integrata in un ampio contesto urbano quindi molto simile alla maggioranza dei distretti europei analizzati; è localizzata nel nord Italia, a Torino, per cui anche le condizioni climatiche e politico sociali sono molto simili a quelle dei distretti citati.

Lo scenario ipotizzato prevede l'edificazione di un distretto a vocazione residenziale, che, tenendo conto delle richieste e della normativa degli strumenti urbanistici vigenti, possa impiegare una strategia energetica analoga a quella impiegata dai quartieri a basso valore IMSE. Si suppone che tutte le risorse rinnovabili presenti sull'area vengano impiegate a fini energetici attraverso tecnologie già ampiamente utilizzate, collaudate e disponibili sul mercato, e analogamente vengono impiegate strategie per lo sfruttamento delle sinergie del metabolismo urbano con un approccio energetico.

La costruzione dello scenario prevede quindi l'integrazione di una progettazione fisica di edifici ed infrastrutture con un piano energetico del distretto. Il comportamento energetico del distretto è stato infine valutato attraverso l'indice IMSE e comparato ai risultati ottenuti dagli altri distretti europei. In questo modo è stato possibile valutare un possibile modello energetico per un nuovo "eco quartiere" tipo realizzato in un contesto italiano con tecnologie e strategie comunemente usate in Europa e dunque facilmente replicabile ed economicamente sostenibile.

7.1. La "Variante 200" del Comune di Torino

La Città di Torino ha avviato nel 2008 un processo lungo e complesso di trasformazione urbana che riguarderà la riqualificazione fisica, ambientale,

funzionale e sociale dei quartieri denominati Barriera di Milano e Regio Parco situati entrambi nella zona nord del territorio urbano. Per la prima volta nella storia della città un grosso intervento urbanistico, che riguarderà la dimensione insediativa e ambientale, urbana e infrastrutturale, ridisegnando radicalmente ampie parti dell'area nord di Torino, sarà integrato alla pianificazione della mobilità ed in particolare alla realizzazione della Linea 2 della Metropolitana. Tutto il processo si affida per la parte economica ad una complessa operazione finanziaria secondo la quale la Città di Torino dovrebbe acquisire i fondi per la costruzione della seconda linea della metropolitana attraverso la vendita dei diritti edificatori delle aree oggetto della trasformazione.

Questo progetto, che confluisce nella variante urbanistica al Piano Regolatore Generale n. 200, rappresenta l'ultimo tassello, in ordine cronologico, di una lunga sequenza di trasformazioni dell'area metropolitana torinese che hanno avuto come fine la rigenerazione di ingenti aree industriali ed il loro riposizionamento all'interno delle dinamiche urbane.

Il processo di trasformazione urbana è stato innescato dal Piano Regolatore della Città del 1995 ed ha connotato gli anni recenti della storia urbanistica di Torino. Molte delle principali aree industriali che dagli anni Venti del Novecento hanno caratterizzato la Torino città-fabbrica sono cambiate per forma e funzioni.

La rigenerazione delle aree dei quartieri Barriera di Milano e Regio Parco, strutturata dalla Variante n. 200 al Piano Regolatore Comunale, è l'operazione più ingente dal punto di vista della superficie delle aree coinvolte, oltre 900.000 m² su cui saranno demolite gran parte delle preesistenze, della dimensione finanziaria e per il numero previsto dei nuovi abitanti insediabili, circa 14.000.

La trasformazione delle aree interessate è integrata al progetto della mobilità e dell'accessibilità non solo cittadina ma anche a scala metropolitana con l'obiettivo di coniugare il progetto infrastrutturale con quello insediativo e di introdurre importanti innovazioni nella configurazione dello spazio pubblico, delle relazioni urbane e della qualità architettonica. Inoltre il progetto si prefigge di creare nuove forme di riqualificazione e valorizzazione territoriale nelle aree di Barriera di Milano e Regio Parco, ambiti trascurati negli ultimi anni dagli interventi di trasformazione

urbanistica, ma dotati di ampie potenzialità in termini di spazi, di identità sociale locale e di occasioni di riorganizzazione del sistema economico e produttivo.

Il processo di trasformazione è inoltre accompagnato da un piano di comunicazione gestito da una struttura pubblica denominata "Urban Center Metropolitano", che utilizza modalità e strumenti di inclusione e partecipazione dei diversi attori del territorio. La campagna è stata denominata "La Metamorfosi, Trasformare Barriere in Aperture", secondo i promotori il titolo richiama il concetto di metamorfosi urbana del territorio, associando metaforicamente la zona nord della Città ad una crisalide che vuole trasformarsi in farfalla.

Nel 2009 è stato indetto un Concorso Internazionale di Idee dalla Città di Torino inerente la progettazione di massima degli ambiti compresi dalla Variante n. 200, è stato chiamato "La Metamorfosi" per simboleggiare un lento processo di trasformazione che dovrebbe terminare in un profondo rinnovamento urbano che andrebbe in modo diretto o indiretto ad investire tutto il quadrante nord-est della città di Torino. Le specifiche del bando richiedevano, per tre diversi ambiti soggetti alla Variante, idee progettuali per il tessuto urbanistico, la morfologia e la tipologia edificatoria. I dati di progetto si limitavano ad alcuni vincoli spaziali sulle aree e alle quantità di superficie lorda di pavimento da destinarsi alla funzione residenziale, commerciale o a servizi. Dopo un lungo processo di gestazione e valutazione dei progetti pervenuti, la Commissione del Concorso, in rappresentanza del Comune di Torino, ha selezionato i vincitori ma con la precisazione che "...la fattibilità delle indicazioni progettuali menzionate e premiate sarà approfondita e gli spunti più interessanti verranno recepiti in sede di approvazione della variante 200..." non prendendo così alcun impegno nella realizzazione dei progetti selezionati e mantenendo aperta qualunque ipotesi progettuale per le aree interessate.

La Variante 200 si struttura su tre aree ben definite all'interno del tessuto urbano esistente, sono tre aree separate spazialmente ma fisicamente collegate dal tessuto viario, sono denominate nei documenti del progetto "Ambito Spina 4", "Ambito scalo Vanchiglia" ed "Ex trincea ferroviaria" (vedi *figure 26 - 27*).



Figura 26. Aree del Comune di Torino interessate dalla "Variante 200"

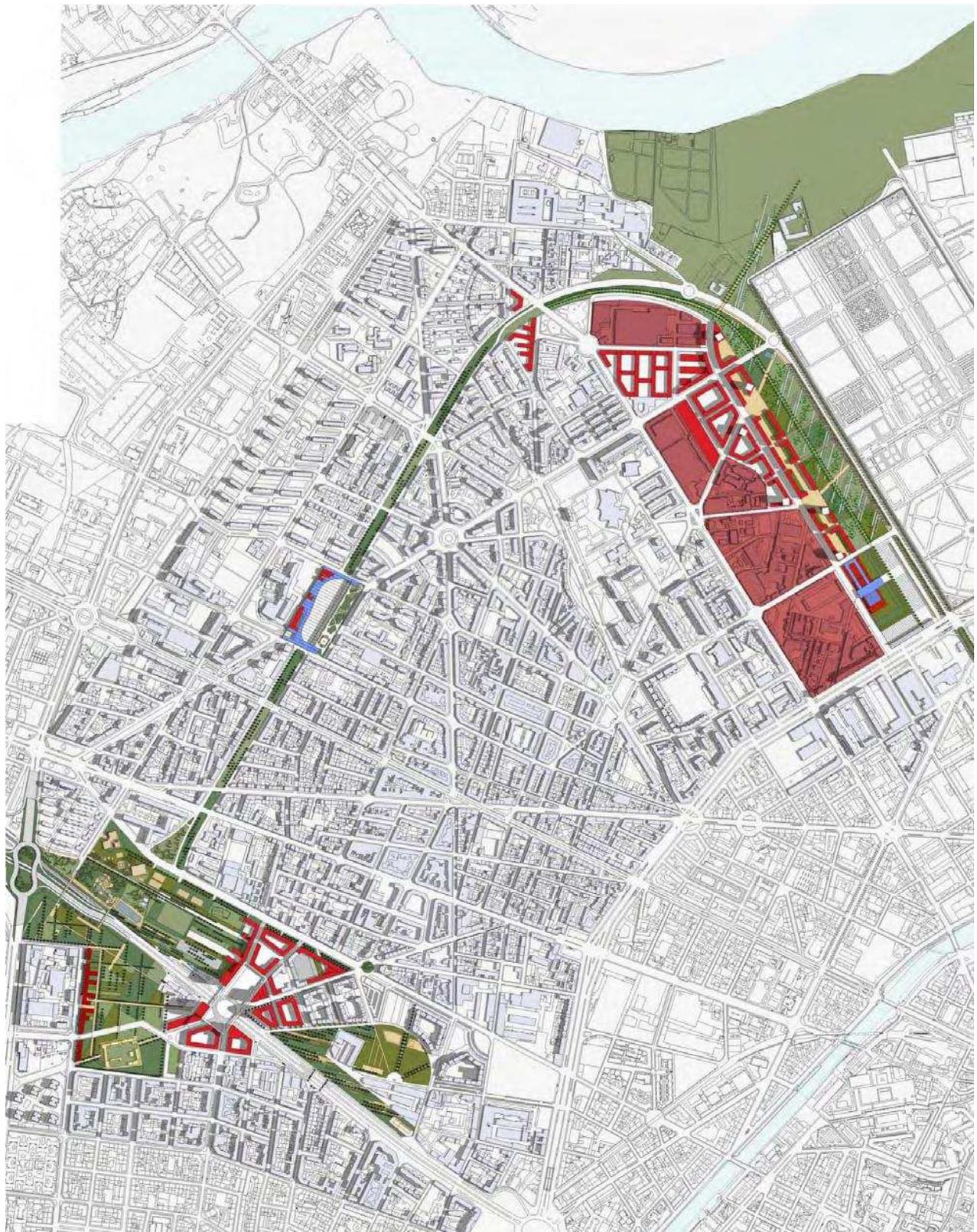


Figura 27. Ipotesi di disegno urbano per la Variante 200 elaborata dalla Città di Torino

L'“Ambito Spina 4” è costituito dalle aree posizionate attorno alla stazione di testata della futura linea 2 della metropolitana. Questa stazione costituirà un importante nodo di interscambio con la stazione ferroviaria Fossata-Rebaudengo in corso di realizzazione, con il passante ferroviario e con il sistema metropolitano. Il comparto urbano interessato si colloca in una localizzazione strategica rispetto al nuovo assetto che la Città di Torino assumerà a partire dai prossimi anni: al termine dei lavori per il passante ferroviario, infatti, questo luogo costituirà la principale porta di accesso settentrionale al capoluogo piemontese e il collegamento preferenziale verso l'aeroporto internazionale di Torino Caselle.

L'“Ambito scalo Vanchiglia” è una vasta area che nasce come scalo ferroviario a servizio di un'area produttiva denominata Manifattura Tabacchi da cui si snoda il terzo ambito “Ex trincea ferroviaria” costituito dalle aree della vecchia linea ferroviaria a servizio dello scalo. Sono aree edificate a partire dalla seconda metà dell'Ottocento all'esterno della cinta daziaria del 1853, in un territorio segnato dalla presenza dei vincoli infrastrutturali della linea ferroviaria Torino – Novara, realizzata sempre nella seconda metà dell'Ottocento, e dal primo nucleo del Cimitero generale della Città già avviato nella prima metà dell'Ottocento. Oggi sia l'area produttiva sia lo scalo ferroviario hanno perso completamente le loro funzioni rimanendo territori disaggregati. Lo Scalo Vanchiglia era servito da un raccordo con la linea ferroviaria per Milano, costruito in trincea, oggi in disuso, che non solo non rappresenta più una risorsa per il luogo, ma piuttosto una frattura territoriale consistente all'interno del quartiere. La stessa struttura della trincea è infatti inserita nelle trasformazioni previste dalla variante ed è stato oggetto del Concorso Internazionale di Idee prima citato.

Queste grandi aree della Città di Torino, nate e sviluppatesi in epoca fordista, con una città in continua crescita economica ed espansione fisica costituiscono oggi ambiti che hanno perso gran parte dei loro collegamenti funzionali e fisici con il resto della città. Quella produzione industriale, un tempo motore economico e culturale, attorno alla quale si era strutturato un tessuto compatto e funzionale in continua crescita, oggi non esiste più. Torino, come molte città europee

sviluppatesi attorno agli insediamenti industriali, sta vivendo in quest'inizio secolo un periodo di profonda trasformazione e reinvenzione; se da una parte la realtà fordista con la sua forte ideologia e razionalità e la classe operaia con la sua forte matrice socio culturale non esistono più, son relegate al passato, dall'altra non è identificabile un'identità urbana nuova e trainante altrettanto univoca e forte.

L' "Ambito Spina 4", l' "Ambito scalo Vanchiglia" e l'ex trincea ferroviaria sono aree che rischiano di vivere una frattura sempre più profonda con il tessuto urbano circostante in continua e rapida trasformazione e sempre più lontano da quella rigida strutturazione fordista della città. Necessitano una reinvenzione per essere integrate nelle nuove dinamiche urbane, creando sinergie con i quartieri circostanti e una nuova qualità del vivere urbano.

In particolare la Città di Torino chiarisce, nel documento programmatico della variante, che intende attivare progetti e iniziative affinché in questo settore della città si creino le condizioni per realizzare una polarità urbana che possa svolgere una funzione rilevante anche a scala sovralocale e che, contemporaneamente, sia attenta alle caratteristiche del territorio circostante, dialogando con esso, per innescare processi diffusi di riqualificazione urbana e sociale. Per attuare questo programma è previsto un mix di attività funzionali da insediare su queste aree che prevede oltre il mantenimento delle attività economiche presenti sul territorio, anche un notevole aumento del carico insediativo, circa 14.000 persone, operato attraverso idonei mix abitativi composti da residenza privata e non.

7.2. La rigenerazione urbana come transizione verso la sostenibilità

Un intervento della portata della Variante 200 del Comune di Torino potrebbe essere un'ottima occasione per iniziare un'opera di transizione urbana: fisica, sociale ed economica. Una transizione necessaria che dalla città di origine fordista, basata sulle risorse fossili, approdi ad una città eco sostenibile, con nuovi equilibri ed una maggiore qualità della vita. Il processo è ovviamente molto lungo e complesso e soprattutto richiede un cambiamento di paradigma nella concezione

dello sviluppo urbano. Un paradigma che passi dalla concezione razionale e produttivistica della città ad una concezione olistica che sappia utilizzare le risorse rinnovabili locali per il funzionamento della città stessa, creando così nuove comunità e nuove economie. E' poi necessario integrare in un unico piano multi scalare e dinamico i diversi piani necessari alla pianificazione del sistema urbano, ad iniziare dal piano energetico che, in uno scenario eco sostenibile, non può essere redatto quando la trasformazione fisica del distretto è completata, ma al contrario dev'essere strumento, limite e parte integrante del piano globale.

Come spiegato nei capitoli iniziali di questa ricerca proprio il distretto è l'ambito più appropriato per i processi di transizione urbana, un ambito in cui possono essere sperimentate nuove concezioni dell'abitare, metodologie e tecniche costruttive, e possono analogamente esser coinvolti in un processo partecipativo gli attori della trasformazione.

La Variante 200 del Comune di Torino possiede dunque tutte le potenzialità per essere uno strumento non solo di riqualificazione fisica e sociale di una parte della città rimasta slegata dal tessuto metropolitano ma può trasformarsi in uno strumento attuativo e sperimentale per i processi di transizione verso una città olistica, con un nuovo rapporto con il territorio circostante ed una migliore qualità della vita per i propri abitanti.

Tuttavia le laconiche indicazioni inerenti la qualità ambientale che vengono date dalle prescrizioni tecniche della Variante 200 non vanno in questa direzione. Nei documenti vengono citati numerosi accorgimenti e tecnologie per il rispetto dell'ambiente ed il risparmio energetico ma nessuna norma è quantitativa e vincolante, vengono solamente indicati dei prerequisiti chiave quali: l'efficienza energetica, la struttura compatta degli insediamenti, le piste ciclabili, le aree pedonali o un uso equilibrato delle risorse ma nessuna di queste caratteristiche viene quantificata o legata a particolari fisici del progetto. Il progetto è stato sottoposto a Valutazione Ambientale Strategica (VAS), ai sensi della normativa vigente, da cui sono scaturite numerose prescrizioni elencate nelle norme preliminari. Tuttavia gli effetti e l'efficacia di tali prescrizioni saranno determinati dal modo in cui queste verranno assunte dai progetti esecutivi. In sostanza tutte le indicazioni delle relazioni illustrative e le prescrizioni della VAS sono rivolte alla

realizzazione di modelli insediativi denominati eco sostenibili, ma sul funzionamento, sulle caratteristiche quantitative e sulle qualità di questi modelli non viene espresso nulla. L'unica norma ambientale vincolante, al di fuori ovviamente di quelle previste dalla legislazione e normative vigenti, è costituita dall'obbligo per tutte le costruzioni previste nei due quartieri di raggiungere il valore minimo di "2,5" del Protocollo ITACA per i nuovi insediamenti. Il protocollo ITACA è uno strumento di certificazione ambientale adottato dalla Regione Piemonte e dal Comune di Torino e basato sulla metodologia di valutazione dell' SBMethod. Secondo il manuale del Protocollo ITACA Il valore "2,5" corrisponde ad una qualità ambientale che possiede "...un moderato miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica corrente..." ma non "...rappresenta un significativo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica comune...". Dunque l'unica prescrizione ambientale vincolante per l'ingente nuova edificazione non obbliga ad impiegare alcuna innovazione tecnologica o metodologica nelle nuove costruzioni. Inoltre il piano energetico non viene contemplato in alcun documento rimandando quindi la sua redazione ad un momento successivo non identificato. In questo modo viene riproposto un vecchio modello di pianificazione urbana in cui il dimensionamento viene stabilito unicamente per le dimensioni fisiche del costruito ma i flussi energetici, la loro provenienza ed i loro impatti non vengono assolutamente presi in considerazione.

Dalle prime indicazioni del progetto preliminare della Variante 200 del Comune di Torino non vi sono dunque ancora segni tangibili di un passaggio di paradigma nella concezione della rigenerazione urbana. Quel passaggio di paradigma necessario per transitare verso insediamenti cosiddetti "post-carbon" capaci di risolvere le enormi contraddizioni delle città attuali ancora profondamente legate alla "città fossile", dipendente dai combustibili fossili e dagli impatti ambientali non più sostenibili.

Tuttavia nella relazione illustrativa del progetto viene citato come modello di riferimento il quartiere di Hammarby di Stoccolma, che è analizzato nella prima parte di questa ricerca, mettendo in rilievo le sinergie virtuose che questo distretto è stato capace di impiegare per ottenere un basso impatto energetico. Inoltre nel

Concorso Internazionale di Idee prima citato sono stati numerosi i progetti, alcuni dei quali premiati o menzionati, caratterizzati da un approccio innovativo nell'ecologia urbana. Alcuni di questi progetti hanno basato la loro metodologia progettuale non solo nell'avere edifici energeticamente efficienti ed a basso impatto ma piuttosto ad organizzare un sistema urbano organizzato su equilibri interni ecologici, una sorta di eco sistema urbano.

Dunque questa ingente operazione immobiliare che necessiterà per esser compiuta di almeno un decennio potrebbe essere un'occasione di profondo rinnovamento sia nei processi di gestione della trasformazione urbana sia nelle tipologie e tecnologie edilizie. Potrebbe costituire il primo tentativo della Città di Torino di reinventarsi città sostenibile, o meglio "città smart", capace di creare economie innovative a sostegno di un insediamento a basso impatto.

Ovviamente l'esito della trasformazione dei quartieri della parte nord di Torino non dipenderà esclusivamente dalle scelte e dalle strategie tecnologiche impiegate, più o meno appropriate, o dai metodi valutativi adoperati nell'esame dei progetti. Elementi fondamentali nel processo rigenerativo sono le politiche pubbliche che saranno costruite, le condizioni del mercato immobiliare e la consapevolezza sociale che accompagna la trasformazione urbana. Dunque condizioni di difficile previsione, un sistema complesso la cui analisi esula dagli obiettivi della presente ricerca.

Le condizioni prima illustrate pongono le basi per una progettazione particolareggiata ed esecutiva che potrebbe essere innovativa sia sul piano tecnologico esecutivo, impiegando le più moderne tecnologie eco sostenibili ancora sporadiche nelle realtà urbane italiane, sia nei processi di realizzazione e gestione.

Per affrontare le scelte di indirizzo del processo di riqualificazione sono necessari scenari che possano essere di supporto ai processi decisionali pubblici, che possano fornire visioni di una città in divenire sulle quali effettuare considerazioni e valutazioni. Scenari che siano in grado di fornire non solo strategie progettuali ma anche dati, quantità, grandezze fisiche che possano fungere da guida per le scelte più appropriate. Gli scenari sono infatti un elemento fondamentale nei processi valutativi, soprattutto se questi vengono compiuti non

ex post ma parallelamente alle fasi progettuali. Lo scenario diviene così strumento di progetto a tutti gli effetti capace di scegliere i percorsi più appropriati, attraverso un continuo feed back, e di ottimizzarli in base agli obiettivi. Per questo l'area denominata "Ex Scalo Vanchiglia" all'interno del quartiere regio Parco e parte sostanziale della Variante 200 del Comune di Torino è stata scelta in questa ricerca come caso studio per la pianificazione di un eco distretto a basso impatto energetico.

Su quest'area è stata ipotizzata la costruzione di un eco distretto in cui sono applicate le strategie progettuali e tecnologiche individuate come virtuose nella prima parte della ricerca attraverso l'analisi e la valutazione di otto eco distretti europei. Nella ipotesi di progetto sono quindi utilizzate tecnologie di approvvigionamento energetico atte a diminuire gli impatti ambientali urbani ed aumentare l'efficienza del metabolismo, ovvero tecnologie capaci di sfruttare le risorse rinnovabili locali a fini energetici. E' da sottolineare che tutta l'elettricità che viene raccolta localmente ha potenzialmente un'efficienza maggiore rispetto a quella distribuita dalla rete tradizionale. Il sistema di distribuzione dell'elettricità che consente di portare l'energia dalle grandi centrali sino alle città e dunque ai consumatori ha infatti perdite di trasmissione e distribuzione intorno al 7% (Bunch 1982, Virulkar 1999) che vengono quasi annullate nel caso il sistema di produzione sia prossimo al consumatore finale.

Lo scenario elaborato in questa ricerca è focalizzato sulle tecnologie energetiche in quanto, come ampiamente illustrato nel Capitolo 2, sono responsabili dei maggiori impatti ambientali e quindi il loro rinnovamento è prioritario in una transizione verso un nuovo modello urbano sostenibile. Tutte le strategie e tecnologie impiegate in questo scenario dalla cogenerazione a biomassa e biogas, ai pannelli solari, al microidroelettrico sono ampiamente collaudate ed economicamente sostenibili come dimostrato dall'analisi degli eco quartieri europei riportata nel capitolo precedente.

7.3. Uno scenario a basso impatto energetico sull'area "Ex Scalo Vanchiglia"

L'area denominata "Ex Scalo Vanchiglia" è situata all'interno del quartiere Regio Parco, occupa una superficie di circa 660.000 m²., ha una forma regolare trapezoidale, è un'area piana, ed è interamente inserita nel tessuto urbano della parte nord della città di Torino. Quest'area rientra nel piano di rifunzionalizzazione previsto dalla Variante 200, e con i suoi 66 ettari costituisce più dei due terzi dei terreni interessati dall'intervento. Oggi si trova delimitata a sud-est dal Cimitero Generale della Città di Torino, lungo cui scorre il corso chiamato Regio Parco, a nord ovest è delimitata da via Bologna su cui si affacciano edifici prevalentemente residenziali, a sud ovest è tangente ad una via ad alta percorrenza chiamata Corso Novara e a nord est arriva a lambire il Parco della Colletta (fig. 39). E' dunque un'area separata in modo fisicamente marcato dal resto della città, sia da corso Novara che costituisce una barriera con il suo traffico continuo sia dal Cimitero Generale che oltre ad essere recintato con una perimetrazione impermeabile ai flussi di mobilità impone anche una fascia di inedificabilità ampia 100 m lungo corso Regio Parco.



Figura 28. Torino, Area "Ex Scalo Vanchiglia" con l'indicazione delle aree in trasformazione

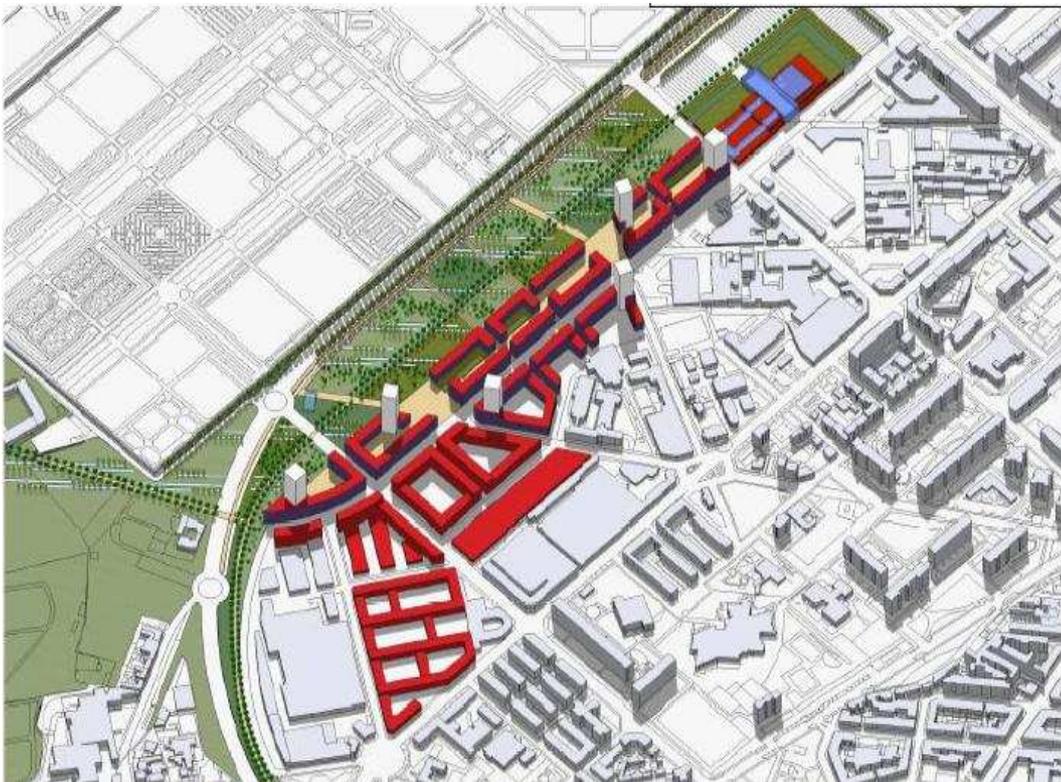


Figura 29. Ipotesi planivolumetrica per l'"Ex Scalo Vanchiglia" elaborata dal Comune di Torino

E' un area in gran parte coperta da strutture ferroviarie e magazzini in disuso che sorsero, a partire dalla seconda metà dell'Ottocento, al servizio della Manifattura Tabacchi, un grande complesso anch'esso in disuso, e delle altre numerose piccole attività industriali nate nello stesso periodo nella zona nord di Torino. Questo quartiere era a cavallo del secolo il centro produttivo della città, basti pensare che la sola Manifattura Tabacchi impiegava nel 1913 circa duemila dipendenti, più dei dipendenti delle officine FIAT del periodo.

Questa parte di città con il passare degli anni non ha trasformato le proprie funzioni e con la fine dell'eta' fordista e delle strutture produttive inserite nel tessuto urbano si è ritrovata progressivamente "staccata" dal resto della città. Un distacco alquanto disfunzionale per le dinamiche della città considerate le dimensioni dell'area ed il fatto che non è collocata in una zona periferica, non costituisce un'appendice dell'area metropolitana, ma è invece completamente

circondata da un tessuto urbano denso e solidale. I territori che circondano a nord e ad ovest lo Scalo Vanchiglia, avendo una vocazione più multifunzionale, sono riusciti a trasformarsi nel corso degli anni mantenendosi legati alle dinamiche urbane, creando identità e senso dell'abitare ed assumendo una connotazione prettamente residenziale.

Nell'area "Ex Scalo Vanchiglia" sono oggi presenti ancora delle piccole attività produttive la cui assenza di legame con il resto della città è segnato anche dalla trama viaria di matrice ottocentesca. Questa si è sviluppata secondo maglie proprie, difformi dal tessuto urbano circostante, derivanti da vincoli e da segni del territorio preesistenti come ad esempio le trame viarie extraurbane o le vie d'acqua quali il canale denominato "Il Naviglio", il cui tracciato taglia trasversalmente l'area, ed il canale del Regio Parco che corre lungo il corso omonimo segnando uno dei confini dell'area.

L'"Ex Scalo Vanchiglia" è dunque un'area che necessita di una rigenerazione profonda per essere reintrodotta sia fisicamente che socialmente all'interno dei flussi e delle dinamiche urbane. Va creato anche un tessuto sociale, e non solo fisico, capace di essere trainante per portare innovazione nella reinvenzione di questa parte di città.

La Variante 200 prevede per quest'area una molteplicità di funzioni con l'obiettivo che queste, integrandosi l'una con l'altra, riescano a creare quelle sinergie necessarie a sviluppare un'autonomia ed un'identità propria del quartiere. Un'indipendenza che si manifesti non con la separazione fisica dalla città ma con la capacità di diventare fulcro vitale dell'area nord di Torino, non assoggettandosi al pendolarismo urbano o a fenomeni di progressivo impoverimento sociale e culturale a causa della mancanza di coesione e connotazione.

La Variante 200 prevede la divisione dell'area di Scalo Vanchiglia in due porzioni: le zone già edificate con destinazione residenziale e con piccole attività produttive, situate tra via Regaldi e via Bologna, saranno mantenute almeno per il 50% della superficie edificata esistente, questa zona è pertanto definita dal piano "ambito di riordino"; la fascia nel settore sud-ovest, oltre il limite di inedificabilità legato al vincolo cimiteriale, è invece destinata alle maggiori concentrazioni di

nuova edificazione a forte prevalenza residenziale, con inserti di strutture adibite al commercio.

Quest'area, dotata di attività di servizio pubblico e privato, si affaccerà su un nuovo parco che costeggerà tutta la lunghezza del Cimitero Monumentale per una profondità di circa 100 m e per questo denominato nel progetto "Parco Lineare". Questo elemento paesaggistico di nuova formazione costituisce il segno più forte attorno al quale viene strutturato il distretto. Il parco lineare sarà inoltre un importante elemento di raccordo con i parchi fluviali esistenti e in progetto sull'area della confluenza tra i fiumi Po e Stura, con il parco della Colletta e con il parco Sempione. Un elemento caratterizzante sarà costituito dal canale demaniale Regio Parco che scorre lungo l'omonimo corso prospiciente il cimitero, il canale potrà avere modifiche anche significative del tracciato con l'eventuale possibilità di ripristino della presa di adduzione dell'acqua corrente dalla Dora per l'alimentazione della ex Centrale della Manifattura Tabacchi.

Sul fronte verso corso Novara, via ad alto scorrimento, è invece prevista la realizzazione di un polo prevalentemente commerciale integrato con residenze ed attività di servizio alle persone e alle imprese. All'estremo opposto, nella parte nord – ovest è invece prevista la realizzazione di un polo articolato su più funzioni: terziario, direzionale e servizi in cui andranno collocate anche attività di livello sovra comunale, quali ad esempio i nuovi insediamenti universitari; i servizi previsti in relazione alle residenze sono aree per spazi pubblici a parco, per il gioco e lo sport e parcheggi.

Il progetto della Variante 200 prevede quindi per l'area dell'Ex Scalo Vanchiglia un quartiere a funzioni miste ma con una preponderante vocazione residenziale, nella quale andranno ad insediarsi circa 8.700 nuovi abitanti. Dai documenti tecnici che compongono la Variante 200 si evince che la tipologia prevista per l'edificazione è costituita dal condominio multipiano. Gli edifici saranno disposti in modo da creare nuove quinte architettoniche con il fine di risolvere l'attuale sfrangiamento costituito da spazi vuoti, vie prive di sbocco o vie che si perdono in spazi non ben definiti, privi di funzioni, quindi soggetti ad un facile degrado.

La superficie lorda di pavimento (S.L.P.) totale da edificarsi è costituita da 560.000 m², questa graverà su di un territorio di circa 660.000 m² le cui

preesistenze verranno mantenute solo in piccola parte. Saranno infatti preservati soltanto gli edifici residenziali occupati, i servizi e le piccole imprese artigiane.

Alla sola nuova residenza saranno destinati circa 300.000 m² di S.L.P., da destinarsi ad edifici condominiali multipiano, mentre per i servizi e il terziario saranno costruiti ulteriori 260.000 m², di questi ultimi 20.000 m² saranno destinati ad un centro commerciale.

Il parco lineare occuperà la fascia a sud-est dell'area confinante con il cimitero generale ed avrà una profondità tra i 90 e i 140 m per una lunghezza di circa 1200 m, formerà un'area rettangolare di circa 114.000 m² su cui si andranno ad affacciare gran parte degli edifici residenziali.

Il distretto, considerata la sua superficie di 66 ettari e gli 8700 abitanti insediabili, avrà una densità di 132 abitanti per ettaro, costituirà quindi un'area ad alta densità rispetto al resto della Città di Torino che è popolata da circa 69 abitanti per ettaro.

Nella *Figura 30* sono riassunti i dati inerenti il progetto sull'area dell'Ex Scalo Vanchiglia desunti dai documenti della Variante 200 del Comune di Torino.

Dati dimensionali della "Variante 200" sull'area "Ex Scalo Vanchiglia"			
Area occupata		m ²	660.000
Superficie lorda di pavimento a destinazione residenziale		m ²	300.000
Superficie lorda di pavimento a destinazione terziario e servizi		m ²	260.000
Parco "lineare"		m ²	114.000
Abitanti insediabili			8.700

Figura 30. Riassunto delle superfici prescritte dalla Variante 200 e dei relativi abitanti insediabili previsti

7.4. La costruzione dello scenario

In base ai dati territoriali e di superficie lorda costruibile contenuti nei documenti tecnici della Variante 200, illustrati nei paragrafi precedenti, ed in base alle tipologie edilizie previste, nel paragrafo che segue viene costruito uno scenario urbano per il rinnovamento dell' Ex Scalo Vanchiglia.

Dapprima sono quantificati e dimensionati gli edifici in base agli indici urbanistici, in seguito viene fatto un dettagliato rilievo delle possibili risorse rinnovabili, sia naturali che antropiche, utilizzabili a fini energetici e presenti nello scenario prefigurato. In fine vengono poi calcolati sia i consumi medi annuali di energia primaria delle abitazioni presenti sia la quantità di energia rinnovabile che, sempre sull'arco annuale, può essere raccolta nel distretto dalle risorse locali. Questi due dati sono poi messi in relazione per formare il bilancio energetico del distretto e per calcolarne il grado di sostenibilità attraverso l'indice IMSE.

7.4.1. Gli edifici

Le indicazioni del piano della Variante 200, che esprimono la necessità di formare e completare delle quinte stradali, gli indici di costruzione che il piano prevede per i diversi lotti, le cubature richieste, e le specifiche del bando del Concorso Internazionale di Idee prima citato, richiedono un'edificazione basata su edifici di sei-otto piani con una manica di circa 12 metri di spessore i cui piani terreni sono destinati ad attività terziarie, a questi si aggiungeranno alcuni edifici di altezza maggiore dedicati principalmente al terziario ed ai servizi.

Nello scenario ipotizzato in questa ricerca sull'area dell'Ex Scalo Vanchiglia viene dunque scelta una tipologia edilizia composta da edifici residenziali condominiali multipiano con i primi due piani fuori terra occupati da esercizi commerciali o da terziario, viene poi ipotizzata la costruzione di alcuni edifici a torre dedicati esclusivamente ad attività terziarie ed a servizi ed un supermercato dell'ampiezza di 20.000 m², esplicitamente previsto dal piano.

Supponendo quindi di utilizzare la superficie lorda di pavimento residenziale

disponibile di 300.000 m² per la costruzione di condomini di 8 piani fuori terra con i primi due piani destinati al terziario, dotati di altezze utili di 2,70 m, con solette di 50 cm. Si otterrà uno sviluppo lineare delle costruzioni di 4.167 m, dato che

$$(300.000 \text{ m}^2 / 12 \text{ m}) / 8 = 4.167 \text{ m}$$

che saranno disposti su file ed isolati all'interno dell'area. Nei condomini sarà adibita a terziario la superficie dei primi due piani ovvero

$$12 \text{ m} * 4167 \text{ m} * 2 = 100.008 \text{ m}^2 \text{ di S.L.P. a terziario e servizi}$$

A questa superficie andrà ad aggiungersi quella a sola destinazione terziaria che supponiamo, in base alle indicazioni del piano costituita, da 7 edifici a torre di 30 piani, con una sezione in pianta di 25 m X 25m. Dunque

$$(25 \text{ m} * 25 \text{ m} * 32) = 20.000 \text{ m}^2 * 7 = 140.000 \text{ m}^2 \text{ di S.L.P. a terziario e servizi}$$

A questa superficie si sommano infine i 20.000 m² di S.L.P. riservati alla costruzione di un supermercato, così da totalizzare la somma di 260.000 m² di S.L.P. destinata a terziario e servizi.

Data la scelta di queste tipologie di edifici possiamo calcolare la superficie di copertura utile per essere attrezzata con pannelli fotovoltaici o solare termici. Le coperture degli edifici, utili per l'installazione di pannelli solari e fotovoltaici, avranno un'estensione rispettivamente di

$$4.167 \text{ m} * 12 \text{ m} = 50.004 \text{ m}^2$$

per gli edifici residenziali e di

$$25 \text{ m} * 25 \text{ m} * 7 = 4.375 \text{ m}^2$$

per edifici a torre adibiti a terziario, per un totale di 54.375 m².

7.4.2. Il Parco Lineare

Il distretto si compone lungo un parco urbano che ha un'estensione di 114.000 m², questa striscia destinata a verde ha una lunghezza superiore al chilometro ed una larghezza media di circa 100 m, costeggia il corso Regio Parco ed occupa la fascia inedificabile per il vincolo cimiteriale. Questo parco sarà provvisto delle essenze arboree più comuni nelle aree verdi della Città di Torino: platani, tigli, aceri, bagolari e ippocastani. Viene ipotizzata una densità arborea del parco urbano equivalente a 125 alberi ad ettaro con una presenza arborea quindi pari a 1.425 alberi, la stima è stata fatta per mezzo dei dati ottenuti da un rilievo effettuato nei principali parchi del Comune di Milano (Ingegnoli 2011). La densità arborea è stata scelta ipotizzando una tipologia di parco con un basso indice di superfici pavimentate e con un'alta densità di aree a prato con sentieri e filari ed aree miste con macchie alberate.



Figura 31. Il "Parco lineare" in un'ipotesi progettuale elaborata dal Comune di Torino

7.5. Le risorse rinnovabili presenti nel distretto

La parte che segue è un rilievo delle potenziali fonti energetiche rinnovabili presenti nello scenario proposto per l'area del distretto "Ex Scalo Vanchiglia". Sono state rilevate e quantificate le risorse rinnovabili sia di origine naturale, come acqua, sole e vento, sia di origine antropica come ad esempio i liquami fognari o i rifiuti organici, che risultano attualmente sfruttabili grazie a tecnologie esistenti, la maggior parte delle quali già impiegate negli eco distretti analizzati nel Capitolo 5 e la cui sostenibilità energetica è stata misurata attraverso l'indice IMSE. Ogni risorsa è stata valutata nelle sue caratteristiche qualitative e quantitative e nelle sue potenzialità. La stima è stata fatta mettendo a confronto la risorsa rinnovabile con l'efficienza media di produzione energetica delle tecnologie adottate negli eco quartieri a basso indice IMSE.

I dati inerenti le caratteristiche tecniche delle diverse tecnologie ipotizzate, come ad esempio l'efficienza, sono stati desunti dalla letteratura tecnica di settore.

7.5.1. Le risorse naturali

Risorsa Eolica

Nel distretto Ex Scalo Vanchiglia non è presente la risorsa eolica in quanto a Torino la velocità media annuale del vento è 3,8 m/s. L'area in oggetto si colloca quindi nella "Classe 1" (velocità media annuale del vento tra 0 e 4,4 m/s) e pertanto non è adatta ad ospitare impianti eolici di alcun tipo. Il vento è una risorsa produttiva a fini energetici quando la sua velocità media annuale rientra nella Classe 3 (tra 5,1 e 5,6 m/s) o superiori (Archer 2005), questa velocità si verifica raramente nelle aree urbanizzate ad alta densità, come quella in oggetto, a causa dell'alta rugosità della superficie creata dalle costruzioni, dalle vie di percorrenza e dagli spazi pubblici relativamente stretti. Pertanto l'energia eolica è raramente sfruttabile nei contesti urbani.

Risorsa Solare

A Torino l'irraggiamento medio al suolo e sul piano orizzontale è di 4.938 MJ/m² all'anno, il che corrisponde a 1.371 kWh/m² (ENEA - Tabelle della radiazione solare). Si ipotizza di utilizzare per il posizionamento di pannelli per la captazione dell'irraggiamento solare la superficie utile sulla copertura degli edifici al fine di non utilizzare altro terreno già soggetto ad un indice di copertura relativamente alto. In questo scenario viene considerata come unica superficie utile quella degli edifici residenziali dal momento che l'obiettivo dello scenario è la stima del bilancio energetico del solo settore residenziale. Inoltre si suppone che solo il 50% di questa copertura sia attrezzabile con pannelli, dal momento che non tutta l'area di copertura avrà una buona esposizione all'irraggiamento e che parte di questa sarà occupata da vani tecnici o impianti. Avremo quindi una superficie utile di 25.002 m² attrezzabile con pannelli fotovoltaici o solare termici.

Supponendo poi di avere una superficie captante pari al 75% della superficie utilizzata, a causa del diverso orientamento delle coperture e della disposizione che i pannelli solari possono assumere per evitare di generare ombra l'uno sull'altro, avremo la possibilità di raccogliere l'energia solare su 18.751 m².

Nel nuovo distretto potremo quindi fruire di una captazione media annuale di irraggiamento solare corrispondente a 25.708 MWh.

Risorsa Idroelettrica

Lungo il lato sud-est dell'area Ex-Scalo Vanchiglia, adiacente al Corso Regio Parco, è presente l'alveo di un vecchio canale, denominato Canale Regio Parco, che fu costruito nel 1758 a servizio della produzione della Manifattura Tabacchi, un antico complesso industriale sito a ridosso del nuovo distretto. Oggi sia il canale sia la Manifattura Tabacchi risultano in disuso, il canale che aveva un punto di presa sul Fiume Dora Riparia e restituiva poi le acque al Fiume Po si estende per una lunghezza di circa 2,8 km, in parte interrato e in parte a cielo

aperto per poi confluire all'interno dell'area occupata dagli edifici dell'ex Manifattura Tabacchi e da qui infine congiungersi al Fiume Po.

Il ripristino di questo canale, attualmente in secca in quanto le paratoie a comando manuale in sponda sinistra del Fiume Dora Riparia sono chiuse, permetterebbe di ottenere una portata d'acqua di circa 6000 l/s con un salto nominale di 8 m fornendo una preziosa risorsa rinnovabile (Dati desunti dall'atto N. 24-15901/2010 della Provincia di Torino inerente l' "Istruttoria interdisciplinare della fase di verifica ai sensi dell'art. 10 della L.R. 40/1998 e s.mi., relativa al progetto: Proposta di utilizzo delle acque del Comune di Torino Riattivazione centrale idroelettrica Manifattura Tabacchi – Canale Regio Parco"). Il salto d'acqua potrebbe esser sfruttato a fini idroelettrici con poche e leggere opere infrastrutturali permettendo così di riappropriarsi di una risorsa che per anni è stata motore di molte delle industrie torinesi.

Risorsa Biomassa

Nel distretto è presente un parco, prima descritto, in cui si ipotizza la presenza di 1.425 alberi con fusto di diametro maggiore di 10 cm, altri alberi saranno inoltre presenti nei viali del distretto. Le specie presenti saranno quelle più diffuse nelle alberate torinesi platani, tigli, aceri, bagolari e ippocastani. Prendendo in considerazione anche solo i 1.425 alberi del parco, supponendo un turno di potatura che potrebbe essere attorno ai 15 anni e considerando che da ogni pianta si ricavano in media 240 kg di legna ad ogni potatura, si possono raccogliere ogni anno 22,8 tonnellate di biomassa sotto la forma di cippato da potature (Dati del Comune di Torino). La potatura degli alberi è un'operazione necessaria alla sicurezza ed alla salute del parco e dei viali alberati e pertanto la raccolta della biomassa non corrisponderebbe ad un costo maggiore nella gestione dello spazio pubblico ma anzi sgraverebbe il sistema della raccolta rifiuti dello smaltimento di una notevole massa legnosa.

Risorsa Geotermica

Nell'area non sono noti campi geotermici particolari o altre manifestazioni del calore terrestre utilizzabili a fini energetici, pertanto lo sfruttamento della geotermia andrebbe attuata con l'utilizzo di sonde geotermiche verticali o orizzontali che necessitano, in media, di una superficie non edificata ampia una volta e mezza la superficie da climatizzare.

Il piano della Variante 200 prevede la costruzione di 360.000 m² di nuova S.L.P. che corrispondono ad una cubatura di oltre un milione di metri cubi su di una superficie di 660.000 m² ovvero ad oltre 1,6 m³ su ogni metro quadro. L'alta densità edificatoria rende difficile lo sfruttamento della risorsa geotermica in quanto sarebbero necessari 45 ettari di suolo per la posa di sonde orizzontali o, in alternativa, numerose sonde in profondità in corrispondenza di ogni condominio che, oltre a richiedere un'accurata analisi dei terreni per valutarne la fattibilità, risulterebbe una soluzione alquanto anti economica.

La presenza di un canale con un'ampia portata d'acqua, circa 6000 l/s, potrebbe essere sfruttata come fonte calda a fini geotermici ma nel presente scenario si preferisce utilizzare lo sfruttamento idroelettrico del flusso d'acqua con il relativo salto in quanto l'energia elettrica è attualmente il vettore più utilizzato nel settore abitativo ed inoltre il suo consumo è in continua crescita.

Per i motivi sopra elencati la risorsa geotermica è trascurata nella costruzione di questo scenario.

7.5.2. Le risorse antropiche

Liquami e rifiuti organici

Attraverso il modello metabolico di analisi urbana illustrato nel Capitolo 4 è stato evidenziato come ogni insediamento urbano produca, nel suo funzionamento, numerosi flussi in uscita che sono generalmente riassorbiti dall'ambiente esterno e che costituiscono il carico ambientale della città sui territori circostanti.

Nello scenario dell'eco distretto che viene qui proposto sono considerati quindi i flussi di materiale organico in uscita prodotti dagli 8.700 nuovi abitanti previsti, in particolare i rifiuti organici provenienti dalla raccolta differenziata e le acque nere raccolte dalle condotte fognarie. Da questi flussi di materiale, attraverso un processo di fermentazione batterica in anaerobiosi (assenza di ossigeno), è possibile ricavare biogas, ovvero una miscela di vari tipi di gas con la presenza media di metano al 63% (Sosnowsky 2003, Zhang 2010). Questo processo si svolge in impianti specifici che, tramite l'utilizzo di batteri in appositi "fermentatori" chiusi, sono in grado di estrarre biogas dai rifiuti organici urbani o dalla frazione solida delle acque nere. E' una tecnologia già collaudata, che ad esempio è stata impiegata con successo nei quartieri svedesi di Hammarby e BO01 analizzati nel Capitolo 5; negli ultimi anni si sta evolvendo e diffondendo rapidamente rivelandosi sempre più utile ed efficiente nello sfruttamento delle risorse rinnovabili antropiche.

A Torino vengono ogni anno raccolti 54 kg di rifiuti differenziati organici per ogni abitante (fonte dati: Azienda Multiservizi Igiene Ambientale Torino S.p.A., 2010), possiamo quindi dedurre che nel nuovo distretto in cui sono previsti 8.700 nuovi abitanti verranno prodotti ogni anno 470 tonnellate di rifiuti organici.

In un impianto di estrazione di biogas è possibile produrre mediamente 425 m³ di metano ogni tonnellata di rifiuti organici urbani (Busch 2009, Banks 2010), per cui ogni anno i rifiuti provenienti dal quartiere avranno la potenzialità di produrre 199.750 m³ di metano. A questi andranno poi aggiunti i metri cubi prodotti dalla frazione solida dello scarico delle acque nere. Questa è valutata essere mediamente di 27 kg pro capite all'anno (fonte dati: EUROSTAT 2009), dunque nel distretto ci sarà una produzione di 235 tonnellate di biomassa solida delle acque nere. Mediamente un impianto di biogas riesce a produrre 0,45 m³ di biogas per ogni chilo di biomassa fognaria che è stata filtrata dalla componente acquosa (Arthur 2010, Zhang 2010) da cui si ricava che dagli scarichi del quartiere si potrebbero estrarre annualmente 105.750 m³ di biogas. Avendo il biogas una componente di metano pari a circa il 63% si potrebbero ottenere 66.622 m³ di metano che uniti ai 199.750 m³ ricavabili dai rifiuti organici fornirebbero un totale di 266.372 m³ all'anno.

Va poi aggiunto che il processo di estrazione del biogas dalla biomassa produce come prodotto di scarto anche il “digestato”: un materiale organico stabile composto prevalentemente da lignina e cellulosa che se non inquinato da sostanze tossiche, svolge una preziosa funzione fertilizzante. Esso è infatti molto utile sia per apportare al suolo sostanze nutritive vitali sia per aumentarne il contenuto organico. Questo genere di fertilizzante potrebbe quindi andarsi a sostituire ai fertilizzanti chimici usati nei territori circostanti l’impianto, in questo modo oltre a chiudere il ciclo biologico in un raggio ristretto si eviterebbe l’uso di fertilizzanti chimici che necessitano nel loro processo produttivo di un notevole quantitativo di energia.

Il riutilizzo degli scarti organici del metabolismo urbano chiude quindi un ciclo che porta a diversi vantaggi nella sostenibilità urbana: produce uno dei vettori energetici più utilizzati, ovvero il metano, alleggerisce il carico ambientale esterno diminuendo la massa di rifiuti da smaltire o trattare in discarica ed infine alleggerisce il lavoro degli impianti di smaltimento delle acque reflue, abbassando quindi il consumo di energia.

Nella tabella che segue, (Fig. 43), sono raccolte tutte le risorse naturali ed antropiche presenti nel quartiere con la quantificazione della loro disponibilità.

Risorse rinnovabili presenti nello scenario prefigurato sull'“Ex Scalo Vanchiglia”			
<i>Risorse Naturali</i>			
Superficie per la captazione dell'irraggiamento solare	m ²	18.751	
Portata acqua del canale	lt/s	6.000	salto 8 mt
Cippato da potature	ton/anno	22,80	
<i>Risorse Antropiche</i>			
Rifiuti Organici	ton/anno	470	
Frazione solida acque nere	ton/anno	235	

Figura 32. Quantificazione delle risorse rinnovabili interne al distretto

7.6. Le fonti energetiche rinnovabili

Dalle risorse rinnovabili, naturali ed antropiche, quantificate nel capitolo precedente, viene ora calcolata la quantità di energia rinnovabile ricavabile. Nella costruzione di questo scenario viene ipotizzato l'impiego di tecnologie per lo sfruttamento delle fonti rinnovabili già ampiamente diffuse il cui impiego è stato illustrato negli eco distretti europei analizzati nei Capitolo 5. In particolare i quartieri di Hammarby, Bo01, Bedzed e Am Schlierberg offrono un'ampia panoramica sulle sinergie virtuose creabili in un insediamento. Le centrali a cogenerazione alimentate a biomassa così come il solare termico e fotovoltaico intensivo o il mini idroelettrico sono tutte tecnologie già collaudate in diversi contesti, economicamente sostenibili e compatibili nelle dinamiche urbane.

Lo scenario ipotizza quindi che il distretto sia attrezzato con una dotazione tecnologica impiantistica ed infrastrutturale avanzata ed innovativa ma non sperimentale o di avanguardia. Tutte le tecnologie qui ipotizzate sono attualmente impiegate negli eco-quartieri europei illustrati nei Capitolo 5, nessuno dei quali le usa però tutte insieme. E' infatti evidente dalle peculiarità dello scenario proposto che ogni contesto ambientale e sociale necessita di un diverso approccio verso la sostenibilità a seconda delle caratteristiche locali, sia fisiche, sia climatiche che paesaggistiche. Ogni luogo richiede quindi di un diverso mix di tecnologie appropriate che insieme formano una strategia energetica particolarmente efficace ed efficiente per quel preciso contesto. La standardizzazione di ogni elemento del settore delle costruzioni, che dal Movimento Moderno fino ai giorni nostri è stata una delle strategie cardine dell' "evoluzione" architettonica, non è più applicabile ai principi della sostenibilità della città contemporanea che sono invece basati proprio sull'individuazione delle peculiarità locali e sull'elaborazione di strategie ad hoc per ogni contesto.

Le tecnologie proposte nello scenario illustrato hanno il fine di ottenere energia termica ed elettrica con cui alimentare il metabolismo del distretto cercando di ridurre al minimo i flussi provenienti dall'esterno. Il ciclo dell'energia è considerata anche dal punti di vista dell'efficienza exergetica per cui i flussi di calore a bassa temperatura, necessari per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria, non derivano

direttamente dall'uso di combustibili. I calcoli inerenti le quantità di energia raccolta vengono fatti tenendo conto dell'efficienza media delle diverse tecnologie impiegate, i dati sono ricavati dalla letteratura di settore.

Energia Solare

Nello scenario proposto si ipotizza che i 18.751 m² di superficie utile captante prima calcolati siano occupati al 50% da pannelli solare termici e dal restante 50% da pannelli fotovoltaici.

Nel distretto sarà quindi presente una superficie di pannelli solare termici pari a 9375 m² che con l'irraggiamento medio annuale sul piano orizzontale di Torino di 1371 kWh/ m² (ENEA - Tabelle della radiazione solare) ed un efficienza media del 60% raccoglieranno 7,7 GWh di energia termica ogni anno.

I 9.375 m² di pannelli fotovoltaici, supposta un efficienza media del 9%, produrranno invece 1,2 GWh di energia elettrica.

Energia Idroelettrica

Il Canale Regio Parco potrebbe fornire, se ripristinato il punto di presa dal fiume Dora, una portata di circa 6000 l/s. Questa portata ed il relativo salto di circa 8 m presente all'altezza della Ex Manifattura Tabacchi potrebbe alimentare un impianto idroelettrico con una potenza di 376,7 kW, che con un funzionamento medio di 345 giorni all'anno potrebbe fornire 3,12 GWh di energia elettrica. L'impianto avrebbe un ingombro limitato, il locale centrale idroelettrica occuperebbe circa 90 m² e potrebbe esser collocato all' interno del complesso della Manifattura Tabacchi, l'unica ulteriore opera necessaria sarebbe costituita dal ripristino del canale di scarico a cielo aperto, già esistente, lungo un percorso di circa 500 m con restituzione delle acque in sponda sinistra del Fiume Po (Dati da Provincia di Torino - Istruttoria interdisciplinare della fase di verifica ai sensi dell'art. 10 della L.R. 40/1998 e s.mi., relativa al progetto "Proposta di utilizzo delle

acque del Comune di Torino Riattivazione centrale idroelettrica Manifattura Tabacchi – Canale Regio Parco”, N. 24-15901/2010).

Energia da Biomassa

In questa ipotesi progettuale dal parco che si prevede di realizzare lungo il corso Regio Parco si potranno ottenere 22,8 tonnellate annue di cippato di potature, come illustrato nei paragrafi precedenti.

Considerato che il cippato, con un tasso di umidità di circa il 30% corrispondente ad una stagionatura di qualche mese dopo la potatura, ha una resa di 3,2 kWh/kg (Jonas 2001), si avranno a disposizione 73 MWh all'anno.

Se si suppone di utilizzare la biomassa ricavata in una centrale di cogenerazione con un'efficienza media dell'80%, potremo ottenere un rendimento del generatore elettrico del 32% circa mentre il resto dell'energia sarà trasformata in calore (Alanne 2004). Con una simile prospettiva di funzionamento dell'impianto avremo quindi la produzione di 0,02 GWh di elettricità e di 0,04 GWh di energia termica ogni anno.

Energia da Biogas

Il metano ha un potere calorifico di 35,16 MJ/ m³, ovvero di 9,77 kWh/m³. I 266.372 m³ di metano ottenuti attraverso il processo di digestione anaerobica dai rifiuti organici e dai liquami fognari del distretto racchiudono dunque un potere energetico di 2,6 Gwh.

Supponendo di utilizzare lo stesso tipo di impianto di cogenerazione che è stata utilizzata per la valorizzazione della biomassa si otterrà, con lo stesso rendimento generale dell'80%, un rendimento del 32% nella trasformazione del potere calorifico del metano in energia elettrica. Da cui possiamo dire che ogni anno si potrà avere dal biogas una raccolta di 0,7 GWh di energia elettrica e 1,43 Gwh di energia termica.

7.7. Energia rinnovabile e consumi

Nei paragrafi precedenti è stato calcolato quanta energia è possibile ricavare annualmente nello scenario ipotizzato con le sole risorse locali rinnovabili ed usando comuni tecnologie già diffuse e collaudate in altri distretti europei.

Come è stato illustrato nell'analisi dei consumi energetici delle abitazioni nei Capitolo 5 i vettori più utilizzati sono quello termico per la climatizzazione dei locali e quello elettrico per l'illuminazione, l'uso di apparecchiature ed elettrodomestici. Il potenziale energetico locale è stato quindi trasformato in energia termica ed energia elettrica che costituiscono i principali flussi energetici sui quali si basa il metabolismo urbano.

Quindi con una buona approssimazione numerica, usando le tecnologie affidabili ed efficaci economicamente illustrate nei paragrafi precedenti, si possono ottenere annualmente le quantità di energia illustrate nella *Figura 33*

Energia da risorse locali rinnovabili					
Risorse rinnovabili	Energia elettrica (GWh)	%		Energia termica (GWh)	%
naturali					
Solare	1,2	23,8		7,70	84,0
Idroelettrico	3,12	61,9			
Biomassa	0,02	0,4		0,04	0,4
antropiche					
Biogas	0,7	13,9		1,43	15,6
totale	5,04	100,0		9,17	100,0

Figura 33. L'energia fornita dalle risorse rinnovabili

Se vengono sommate le diverse quantità di energie ottenibili dai diversi processi si ottiene un totale annuale di 5,04 GWh di energia elettrica e 9,17 GWh di energia termica (*fig. 44*).

Si suppone che nello scenario proposto tutte le nuove costruzioni vengano dotate di impianti di riscaldamento a pavimento radiante a bassa temperatura che necessitano quindi di un flusso d'acqua della temperatura di 35° - 40° centigradi. Dal momento che anche gli impianti di acqua calda sanitaria richiedono un flusso d'acqua a temperatura relativamente bassa, non superiore a 70° centigradi, è evidente che il sistema dell'ambiente costruito può esser alimentato con un sistema exergetico che utilizza flussi di calore a bassa temperatura recuperati da altri processi meccanici, industriali o di produzione di energia. I flussi di calore a bassa temperatura son facilmente ottenibili dalle tecnologie rinnovabili prima illustrate senza l'uso diretto di combustibili. Nel caso non raggiungano la temperatura necessaria potrebbero essere eventualmente integrabili con un uso molto limitato del metano fossile.

Nello scenario proposto l'energia termica usata per la climatizzazione degli ambienti e per il riscaldamento dell'acqua sanitaria è ottenuta, attraverso la cogenerazione, come sottoprodotto dalla generazione di elettricità. In questo modo si ottiene un flusso di acqua con temperatura tra i 50° e i 90° centigradi (Kanoglu 2009) che è idonea al riscaldamento nei mesi invernali e che può essere immagazzinata in serbatoi sotterranei nei mesi estivi, raggiungendo in questo modo un'alta efficienza exergetica del sistema.

Le tecniche di stoccaggio del calore sono uno degli elementi fondamentali per un distretto che si affida alle rinnovabili che, per natura, non hanno la stabilità delle fonti energetiche fossili. Dal momento che dei 9,17 GWh annuali di energia termica raccolta nel distretto ben 7,7 GWh sono di origine solare è necessario che il distretto sia predisposto con serbatoi di accumulo di calore stagionale che riescano a fungere da volano termico sia di notte sia durante l'inverno in cui l'insolazione è minore e la temperatura più bassa. E' quindi necessaria la predisposizione di accumuli stagionali sul tipo di quelli costruiti a BO01 in Svezia

dove il calore proveniente dall'energia solare viene immagazzinato stagionalmente nel terreno attraverso tubi immersi nella roccia. Questo tipo di accumulo raccoglie ed immagazzina l'acqua calda raccolta da tutti i pannelli solare termici esistenti sui tetti delle costruzioni del distretto in modo da sfruttare la bassa dispersione della massa d'acqua raccolta.

7.8. L'energia necessaria al distretto

Dopo aver calcolato quali potrebbero essere le quantità di energia annuali ricavabili nel distretto da fonti rinnovabili viene ora analizzata la quantità di energia di cui annualmente il distretto necessita per il metabolismo del settore abitativo. Vengono considerati tutti i flussi energetici che sono alla base del funzionamento delle residenze del quartiere stesso e questi vengono quantificati sulla durata di un anno solare. Tutte le misure sono espresse in energia primaria per essere paragonabili e quindi valutabili.

Anche in questo caso viene prefigurato uno scenario di "consumo", ovvero rispetto ai consumi medi urbani delle abitazioni e dei cittadini della città di Torino vengono ipotizzati i consumi medi dei nuovi cittadini del distretto e delle loro abitazioni.

Il consumo medio di energia primaria nelle abitazioni della Provincia di Torino è dato da 266 kWh/(m² anno). Questo è rispettivamente suddiviso in: 169 kWh/(m² anno) per il riscaldamento, 19,7 kWh/(m² anno) per l'acqua calda sanitaria, 9,5 kWh/(m² anno) per gli usi cucina ed infine 67,8 kWh/(m² anno) per i consumi elettrici (Fracastoro 2009).

Nel progetto della Variante 200 per l'ex Area Scalo Vanchiglia sono previsti 300.000 m² di nuove abitazioni che dovranno avere un'efficienza media tale per cui il riscaldamento non superi 30 kWh/(m² anno) come stabilito dalla legislazione regionale vigente (Deliberazione della Giunta Regionale 4 agosto 2009, n.46-11968). Dal momento che invece l'attuale consumo medio di energia primaria per il riscaldamento delle case della Città di Torino è di 169 kWh/ m²/(m² anno) si

prevede nello scenario ipotizzato una riduzione del consumo di energia per riscaldamento dell'80% circa. Per quanto riguarda l'acqua calda sanitaria non essendoci stati miglioramenti significativi nell'efficienza degli impianti scaldacqua non si prevede una diminuzione dei consumi, così come per gli usi cucina. Le applicazioni elettriche domestiche hanno avuto invece negli ultimi anni un netto miglioramento nell'efficienza, come illustrato nella parte iniziale di questa ricerca, ma nonostante questo non sono corrisposti sino ad ora diminuzioni nei consumi elettrici domestici che, anzi, sono tendenzialmente cresciuti negli ultimi anni. Pertanto nello scenario proposto anche i consumi elettrici sono considerati invariati rispetto ai consumi medi attuali.

I consumi per metro quadro ipotizzati nel nuovo distretto, così come riassunti nella *Figura 34*, corrisponderanno ad un consumo totale di energia primaria di 127 kWh/(m² anno) che, rapportata al consumo medio di tutte le abitazioni, ovvero a 300.000 di S.L.P., totalizzeranno un consumo medio annuo di 38,1 Gwh.

Consumi domestici di energia primaria nel distretto ipotizzato sull'Ex Zona Vanchiglia			
	kWh/(m ² anno)	GWh/anno	Percentuali sul totale di energia primaria consumata
Consumo specifico per acqua calda ad uso igienico sanitario	19,7	5,91	15,51
Consumo specifico per usi di cucina	9,5	2,85	7,48
Consumo specifico per usi riscaldamento	30	9,00	23,62
Consumo specifico usi elettrici obbligati	67,8	20,34	53,39
Energia globalmente consumata	127	38,10	100,00

Figura 34. Consumi ipotizzati di energia primaria per categoria di consumo

7.9. La valutazione del bilancio energetico

Dai calcoli prima effettuati si evince che il nuovo distretto consumerà nel suo metabolismo annuale 38,1 GWh di energia primaria. Di questi 14,9 GWh saranno impiegati per il riscaldamento degli appartamenti e per l'acqua calda sanitaria, si suppone un fattore di conversione di energia primaria pari ad 1 in quanto i dati di riferimento su cui sono calcolati questi consumi sono basati sui consumi medi a metro quadro della Provincia di Torino in cui il teleriscaldamento alimentato a metano e gli impianti sia condominiali che ad unità abitativa sempre alimentati a metano costituiscono la tecnologia largamente più usata. Questo quantitativo di energia termica che, come precedentemente detto, corrisponde a flussi d'acqua di temperatura non superiore ai 90° centigradi, potrà esser in gran parte sopperito dall'energia termica raccolta dalle risorse rinnovabili reperibili sull'area del distretto.

Si suppone che il distretto sia dotato di una piccola centrale a cogenerazione capace di funzionare sia alimentata dal metano proveniente dal biogas, sia attraverso la biomassa, sia, in ultima istanza, dal metano fossile proveniente dalla rete di distribuzione.

Come calcolato nei paragrafi precedenti considerando l'efficienza media di impianti simili dalla biomassa e dal biogas raccolti nel distretto è possibile produrre ogni anno 1,47 GWh di energia termica, che sommati ai 7,7 GWh raccolti dai pannelli solare termici sulle coperture delle abitazioni totalizzano una produzione annuale di 9,17 GWh di energia termica. In questo caso, essendo energia termica prodotta da fonti rinnovabili, consideriamo un fattore di conversione in energia primaria pari ad 1 (UNI EN 15603 - Consumo energetico globale e definizione dei metodi di valutazione energetica).

Le fonti rinnovabili locali saranno quindi in grado di fornire 9,17 GWh termici sui 14,9 GWh annualmente necessari al distretto, ovvero il 62% dell'energia

consumata. La cottura dei cibi è esclusa dal calcolo a causa delle alte temperature di cui necessita, tra i 90° e i 230° centigradi, che obbliga quindi all'uso dell'elettricità.

Per quanto concerne l'energia elettrica dai dati raccolti si stima un consumo annuale pari a 20,3 GWh all'anno di energia primaria, come calcolato nei paragrafi precedenti. Questa quantità, tenendo conto di un fattore di conversione di 2,18 (UNI EN 15603) corrisponde a 9,3 GWh di energia elettrica.

Nello scenario prospettato sommando l'energia elettrica prodotta dalla centrale di cogenerazione alimentata con la biomassa ed il biogas, l'elettricità prodotta dalla turbina idroelettrica posta sul canale e quella dei pannelli fotovoltaici si ottiene un totale di 5,04 GWh.

Mettendo in relazione i dati dei consumi di energia elettrica e termica con i dati di produzione di energia termica ed elettrica interna al distretto si ottiene il bilancio metabolico dell'energia del distretto come riassunto nella *Figura 35*.

Metabolismo energetico annuale nel distretto ipotizzato sull'area Ex Zona Vanchiglia			
	Consumi (GWh)	Raccolta da fonti rinnovabili locali (GWh)	Bilancio (GWh)
Energia elettrica	9,3	5,04	-4,26
Energia termica a bassa temperatura, < 70° (ACS, riscaldamento)	14,91	9,17	-5,74
Energia termica ad alta temperatura, > 70° (usi cucina)	2,85		-2,85

Figura 35. bilancio energetico dello scenario ipotizzato

Analizzando l'origine dell'energia rinnovabile ricavata all'interno dei confini del distretto si delinea un quadro in cui l' 84% dell'energia termica proviene dal sole che si conferma la fonte più generosa ed efficace. Mentre per quanto riguarda l'energia elettrica il 62% proviene dalla turbina idroelettrica che si rivela dunque

essere una tecnologia efficace anche in contesti urbani. La biomassa al contrario ha un'incidenza molto bassa sia sulla produzione di energia elettrica che termica, tanto da essere quasi trascurabile nel bilancio complessivo (*fig. 46*).

Anche alla latitudine della Città di Torino l'energia solare, sia sottoforma di energia termica sia sottoforma di energia fotovoltaica, è dimostrato essere la fonte rinnovabile più efficace con cui alimentare il metabolismo di un insediamento. In particolare è da notare come i pannelli solare termici, grazie alla loro efficienza media del 60%, potrebbero produrre da soli 7,7 GWh di energia corrispondenti al 52% dell'energia termica necessaria annualmente al riscaldamento e all'acqua calda sanitaria di tutte le abitazioni del distretto. Questo nonostante nello scenario prefigurato fosse destinato ai pannelli solare termici solo il 25% della superficie utile della copertura delle abitazioni. Ovviamente sono calcoli ideali che andrebbero confrontati con le tecnologie di immagazzinamento del calore che costituiscono il grande problema dell'energia solare termica. Tuttavia esistono attualmente diversi distretti che utilizzano con successo lo stoccaggio stagionale del calore. Oltre il già citato esempio di immagazzinamento del calore in pozzi sotterranei nel quartiere BO01 in Svezia sono numerosi gli esempi dei progetti edilizi che rientrano nei programmi tedeschi di Solarthermie2000 e Solarthermie2000plus (ampia documentazione sui siti web indicati in bibliografia). All'interno di questi programmi sono stati realizzati numerosi micro distretti, i maggiori dei quali ad Amburgo Bramfeld, a Monaco, a Crailsheim ed ad Hannover, che utilizzano uno stoccaggio annuale dell'energia termica raccolta con i pannelli sufficiente a fornire nei mesi invernali il 50% dell'energia necessaria al riscaldamento degli edifici. In questi distretti l'energia termica solare viene conservata sotto forma di acqua calda in ampi serbatoi ipogei che grazie all'ingente massa volumica, alla ridotta superficie e ad un'altissima coibentazione riescono a conservare il calore dell'acqua dall'estate fino ai mesi invernali.

Passando dalla risorsa solare a quella idroelettrica dai calcoli effettuati si deduce che la sola turbina idroelettrica posta sul Canale Regio Parco potrebbe produrre un terzo dell'energia primaria rinnovabile, che corrisponde anche al 33% di tutta l'energia elettrica annualmente consumata nel distretto. Dunque anche il canale riattivabile e tangente il quartiere potrebbe essere una preziosa fonte di

energia rinnovabile con un impatto ambientale tendente allo zero. E' comunque da sottolineare che la posizione dell'area in oggetto che è tangente ad un canale con una notevole portata ed un discreto salto (8 m) è una condizione molto rara nei contesti urbani, dunque l'idroelettrico applicato ai canali urbani è un modello di sostentamento energetico di grande efficacia ma di difficile replicabilità.

All'interno della quota di energia rinnovabile prodotta localmente per ultimo vi è poi il 13,9% dell'energia elettrica ed il 15,6% dell'energia termica ricavata dalla digestione anaerobica della frazione solida delle acque fognarie e dai rifiuti organici urbani. Questa tecnologia fornisce un modesto apporto energetico che va però valutato unitamente al minor carico che verrebbe supportato dagli impianti di depurazione e dal processo di smaltimento rifiuti. Il processo di riuso di materiali che vengono comunemente trattati come rifiuti da espellere dai confini urbani farebbe risparmiare dunque molta energia che andrebbe sommata, in un bilancio ambientale complessivo, all'energia ricavata dalla digestione anaerobica.

Infine il raccoglimento della biomassa dalla potatura degli alberi e il suo successivo uso nella cogenerazione produrrebbe solamente lo 0,4% dell'energia rinnovabile, comparata ai consumi complessivi rappresenta solo lo 0,02% dell'energia elettrica consumata annualmente ed avrebbe un contributo ancora minore rispetto alla necessità complessiva di energia termica del distretto. Anche in questo caso la biomassa raccolta dalle potature degli alberi urbani è generalmente smaltita come rifiuto e pertanto un suo uso attivo come combustibile ecosostenibile allevierebbe le spese e gli impatti del sistema di smaltimento. Tuttavia il suo contributo nel bilancio energetico complessivo del quartiere è così basso da essere assolutamente trascurabile in un processo di pianificazione energetica.

Dunque in un quadro complessivo di valutazione del metabolismo energetico del quartiere si può sostenere che la funzione più importante è svolta dalla componente solare, soprattutto per quanto riguarda l'energia termica, che primeggia per quantità ed efficienza. Mentre la produzione di biogas da liquami e rifiuti organici potrebbe avere importanza soprattutto perché unisce alla raccolta energetica anche la diminuzione del carico di materia da espellere e smaltire dal distretto. Come già detto la raccolta di biomassa dagli alberi urbani svolgerebbe

invece una funzione più importante per l'alleviamento del sistema smaltimento rifiuti che non per la quantità di energia prodotta.

Va comunque sottolineato che un sistema di pianificazione energetica che si basa sullo sfruttamento delle risorse rinnovabili acquista affidabilità, stabilità e continuità proprio se è composto da molteplici tecnologie che sfruttano diverse risorse che riescono a bilanciarsi nel tempo. La valutazione complessiva deve quindi tenere conto oltre che delle quantità di energia prodotte dalle singole fonti anche del grado di sicurezza raggiunto dall'intero sistema. Nello scenario prospettato si avrebbe una continuità bilanciata dei diversi processi. Ad esempio i periodi di siccità estiva in cui la turbina idroelettrica diminuirebbe notevolmente la sua efficacia sono generalmente accompagnati da un'insolazione maggiore che farebbe aumentare l'energia solare raccolta. Le risorse del biogas e della biomassa fornirebbero invece una continuità legata strettamente ai principi metabolici del quartiere, aumentando ad esempio con l'aumentare degli abitanti o degli spazi verdi.

7.10. L'applicazione dell'indice "IMSE" allo scenario proposto

I risultati ottenuti nel calcolo del bilancio energetico dello scenario proposto vengono ora utilizzati per calcolare l'indice "IMSE" definito nel Capitolo 6 di questa ricerca.

Come illustrato nel quarto capitolo l'indice IMSE è dato dal consumo medio di energia primaria di un metro quadro virtuale di superficie abitativa del distretto da cui viene sottratta la percentuale di energia rinnovabile prodotta nel distretto per ogni metro quadro di superficie costruita. In questo studio viene presa in considerazione la sola superficie abitativa.

Conoscendo i consumi annuali per ogni settore, il loro peso percentuale sul totale dell'energia primaria consumata annualmente e le quantità di energia rinnovabile raccolta annualmente all'interno del distretto è possibile definire la

quota percentuale di energia primaria rinnovabile raccolta all'interno del distretto in relazione ai consumi totali di energia primaria, come riassunto nella *Figura 36*.

Consumi e quote di energia rinnovabile raccolta nel distretto					
	Consumi (GWh)	Raccolta da fonti rinnovabili locali (GWh)	percentuali di energia rinnovabile per vettore sul totale dei consumi	peso percentuale del vettore sul totale dei consumi	percentuale energia rinnovabile sul totale dell'energia primaria
Energia elettrica	9,3	5,04	54,19	53,39	28,93
Energia termica a bassa temperatura, < 70° (ACS, riscaldamento)	14,91	9,17	61,50	39,13	24,07
Energia termica ad alta temperatura, > 70° (usi cucina)	2,85		0,00	7,48	0,00
Percentuale di energia rinnovabile prodotta nel distretto sul totale dei consumi					53,00

Figura 36. Quote di energia rinnovabile sul totale dei consumi

Nello scenario ipotizzato sull'area Ex Scalo Vanchiglia si avrà quindi la produzione da risorse rinnovabili interne del 53% dell'energia consumata dalle abitazioni del distretto. Avendo determinato la quantità di energia rinnovabile ricavata dalle risorse locali e conoscendo il consumo medio di energia primaria di un metro quadro di superficie abitativa costruita nel distretto possiamo calcolare l'indice IMSE:

$$\text{IMSE} = 127 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ anno}) - [127 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ anno}) * 53\%] = 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ anno})$$

Il valore di 60 kWh/(m² anno) esprime quindi la quantità di energia che ogni metro quadrato della superficie abitativa del quartiere dovrà ricevere dall'esterno del distretto. E' la richiesta che l'insediamento farà alla rete elettrica o ai combustibili fossili e che graverà quindi su territori ed ecosistemi esterni, anche

lontani centinaia di chilometri come spesso accade per le grandi centrali elettriche o per le strutture atte all'estrazione ed al trasporto del metano.

Più l'indice IMSE tende allo zero più il quartiere si avvicina all'autosufficienza energetica e dunque più si riduce l'indice IMSE è più si annullano gli impatti ambientali creati dai cicli energetici.

L'indice IMSE ci permette di confrontare e valutare la sostenibilità energetica dello scenario proposto con altri scenari, progetti o con distretti già realizzati. Se ad esempio confrontiamo il valore IMSE ottenuto pari a 60 con i valori ottenuti nell'analisi dei distretti europei svolta nel Capitolo 5 possiamo notare che lo scenario proposto per l'Ex Scalo Vanchiglia non raggiunge un valore particolarmente elevato di sostenibilità energetica residenziale. Oltre ai quartieri di Am Schlieberg (D) e BO01 (SE) che godono di autonomia energetica e quindi hanno un IMSE pari a 0 o addirittura inferiore, anche i quartieri di Hammarby (SE) e Bedzed (UK) detengono valori IMSE inferiori a 60 pur utilizzando le stesse tecnologie adottate nel caso studio dell'Ex Scalo Vanchiglia.

Nel caso di Am Schlieberg la grande differenza dei risultati è innanzitutto determinata dalla tipologia architettonica, nel distretto tedesco è ottimizzata per esser di supporto a coperture fotovoltaiche estensive, gli edifici sono al massimo di tre piani, molto più bassi rispetto a quelli previsti dagli strumenti urbanistici per l'Ex Scalo Vanchiglia, e dunque ogni metro quadro di superficie abitabile ha una sufficiente corrispondente porzione di tetto coperto dai pannelli che ne garantisce la copertura energetica. Inoltre gli alloggi di Am Schlieberg hanno un'efficienza maggiore di quella prescritta dai regolamenti vigenti per il distretto di Torino.

Nel caso di BO01 la componente di energia eolica è predominante all'interno del bilancio energetico e determinante per raggiungere l'autosufficienza. La turbina eolica presente nei pressi della città è infatti sufficiente a fornire gran parte del fabbisogno elettrico. Il fatto che l'area metropolitana torinese sia priva di qualunque potenzialità di sfruttamento eolico rende molto più difficile raggiungere valori elevati di autonomia energetica.

Nel caso di Bedzed il basso indice IMSE è ottenuto grazie all'uso della biomassa legnosa abbondante nella zona, ed all'alta efficienza degli appartamenti anche in questo caso maggiore rispetto a quella prescritta per l'Ex Scalo

Vanchiglia. Tuttavia, come illustrato nel capitolo precedente, il sistema è oggi inattivo per problemi di sostenibilità economica.

Un altro elemento importante nel raggiungimento di bassi valori dell'indice IMSE è costituito dalla densità abitativa. Nello scenario prospettato la densità è di 162 abitanti per ettaro mentre nei casi dei quartieri di Bedzed e BO01 è rispettivamente di 147 e 111 abitanti per ettaro, dunque sensibilmente più bassa. Solo il distretto di Am Schlieberg pur avendo un IMSE negativo ha anche una densità elevata pari quasi a quella dello scenario proposto arrivando a 155 abitanti per ettaro. Il funzionamento di questo distretto che, come illustrato nei Capitolo 5, basa la propria autonomia energetica esclusivamente su di un uso intensivo delle coperture fotovoltaiche, dimostra come questa tecnologia possa portare a risultati eccellenti anche a latitudini che non godono di un' abbondante esposizione ai raggi solari. Am Schlieberg possiede infatti un irraggiamento di soli 1.050 kWh/(m² anno), che è esattamente il 78% di quello di Torino pari a 1.342/(m² anno). Questo a dire che le stesse tecnologie di utilizzo dell'energia solare usate ad Am Schlieberg avrebbero un rendimento superiore del 21% se fossero usate a Torino.

Dunque dal confronto dello scenario dell'Ex Scalo Vanchiglia con altri eco quartieri europei progettati con l'ambizione di essere "eco distretti" si deduce che il tasso di sostenibilità energetica raggiunto è nella media di diversi progetti analoghi già realizzati in Europa, non eccede per particolari prestazioni ed è notevolmente distante dall'autonomia energetica. E' da sottolineare la carenza della risorsa eolica nell'area in oggetto compensata solo in parte dallo sfruttamento idroelettrico del canale Regio Parco. L'eolico costituisce, con l'impiego delle tecnologie attuali, una delle fonti più generose di energia elettrica rinnovabile utilizzabile grazie ad impianti che a parte l'impatto paesaggistico possono essere facilmente integrati nella dimensione urbana.

Valori più bassi dell'indice IMSE potrebbero essere raggiunti nello scenario proposto qualora si adottasse un valore di efficienza energetica nella climatizzazione maggiore di quello prescritto dagli strumenti normativi vigenti in Piemonte, ovvero 30 kWh/(m² anno). Se si fa un confronto con gli edifici del distretto di Am Schlierberg, che consumano per il riscaldamento 22 kWh/(m²

anno), o con quelli di Bedzed, 16 kWh/(m² anno), il valore 30 kWh/(m² anno) è decisamente alto.

Come spiegato nell'introduzione a questo caso studio l'indice IMSE è stato qui impiegato per la valutazione della sola componente residenziale del distretto. Nell'ipotesi progettuale a cui si è fatto riferimento per la costruzione dello scenario sono presenti anche 260.000 m² di superficie lorda di S.L.P. per servizi e terziario che in gran parte sarà collocata nei primi piani fuori terra degli edifici residenziali. Questa superficie avrà quindi altrettanto bisogno di forniture energetiche anche se in quantità minore rispetto al comparto residenziale che, anche in Provincia di Torino, rimane quello più energivoro all'interno del settore dell'ambiente costruito (Provincia di Torino 2010). Dunque in una valutazione complessiva degli impatti energetici del quartiere bisognerebbe tener conto anche di questo dato e della sua incidenza sul bilancio energetico dato che parte delle strutture per il terziario sono fisicamente integrate negli edifici residenziali.

Analogamente l' IMSE non tiene conto dei consumi energetici della mobilità che costituisce a tutti gli effetti una componente integrata al metabolismo urbano ma, come accennato nel capitolo introduttivo, non viene presa in considerazione in questo studio che è invece incentrato sulle relazioni tra i consumi e l'ambiente costruito destinato ad abitazioni.

7.11. La valutazione del metabolismo energetico

La metodologia impiegata nella definizione dell'indice IMSE e la sua declinazione negli esempi europei analizzati e nello scenario proposto definiscono il quoziente sostenibile dell'energia come risultato del rapporto tra l'uso delle risorse locali, i criteri progettuali adottati e le tecnologie impiegate. Il primo di questi fattori, le risorse locali, sono composte nel distretto ipotizzato sull'Ex Scalo Vanchiglia sia da risorse naturali: irraggiamento solare, vento, corsi d'acqua; sia da risorse antropiche: rifiuti organici, scarichi fognari e biomassa proveniente dal mantenimento di parchi.

Le risorse naturali sono elementi a prescindere dal progetto, possono essere rinnovabili ma appartengono al territorio che costituisce una risorsa finita, dunque dovrebbero costituire il dato di partenza per qualunque ipotesi progettuale ed esserne anche guida e limite nei dimensionamenti, soprattutto per quanto riguarda le densità abitative. L'indice IMSE permette di valutare i fattori prima citati, inserendo come elemento guida del criterio di valutazione il grado di sfruttamento delle risorse locali a fini energetici e nel caso studio proposto costituisce un importante strumento valutativo ed allo stesso tempo progettuale.

Il confronto tra l'area Ex Scalo Vanchiglia e altri eco distretti europei evidenzia come la sostenibilità energetica in un distretto urbano, ma anche a scala territoriale più vasta, sia profondamente condizionata dalla quantità e dalla qualità delle risorse locali rinnovabili e pertanto non è sempre sufficiente l'uso intensivo delle tecnologie e di criteri progettuali eco compatibili per riuscire ad ottenere risultati ad impatto limitato o nullo. La territorialità, il "genius loci energetico" divengono elementi imprescindibili in qualunque progettazione finalizzata alla sostenibilità energetica, elementi di partenza da cui avviare qualunque piano urbanistico ed energetico. E' proprio dalla strategia adottata per impiegare le risorse locali e per valutare e limitare il carico antropico che risulta il grado di sostenibilità urbana di un insediamento.

Questo caso studio evidenzia come la metodologia di valutazione urbana adottata ricopra un ruolo fondamentale su due fronti. Da una parte riesce a cogliere nella complessità quali siano gli impatti ambientali dell'insediamento dell'Ex Scalo Vanchiglia sui territori limitrofi, non limitandosi alla valutazione dei singoli componenti del sistema urbano ma invece spostando i confini della sostenibilità su un orizzonte più ampio: i 60 kWh che ogni metro quadro della superficie residenziale del distretto richiederebbe ogni anno come fornitura dall'esterno del quartiere sarebbero totalmente a carico dell'ambiente circostante e non pianificati, quindi causa di impatti non definiti o controllati dal progetto. Dall'altra parte lo sviluppo di una metodologia coerente di valutazione della sostenibilità energetica permette di paragonare i risultati raggiunti o prefissati in questo scenario con altre realizzazioni o scenari simili ed avere quindi la

possibilità di continui feed back che permettano un'evoluzione costante dei sistemi e delle tecnologie impiegate.

La valutazione del sistema energetico attraverso l'indice IMSE ha permesso di poter stimare gli impatti esterni del distretto, quindi non limitandosi all'efficienza degli alloggi o al tipo di tecnologie impiegate per ottenere energie da fonti rinnovabili ma facendo invece una valutazione che unisse i consumi medi, e quindi anche la tipologia di comportamento degli utenti, con l'efficienza energetica, con le potenzialità di raccolta di energia rinnovabile all'interno del quartiere.

L'indice IMSE è un indice dinamico per cui se i consumi medi registrati nel Comune di Torino dovessero diminuire o aumentare, grazie ad esempio a differenti comportamenti o stili di vita dei cittadini, varierebbe il valore dell'indice pur rimanendo invariate le tecnologie e le infrastrutture.

Attraverso l'indice IMSE è poi stato possibile inquadrare i risultati raggiunti all'interno di un panorama europeo di realizzazioni analoghe, altrimenti comparabili solamente nelle strategie adottate ma non nella quantificazione delle performance. L'indice IMSE permette infatti di quantificare i risultati dei processi metabolici urbani nei diversi cicli energetici fornendo uno strumento capace non solo di valutare qualitativamente le diverse strategie adottate per limitare gli impatti ambientali ma di quantificare in modo univoco una componente della causa degli impatti.

7.12. Discussione dei risultati

Dai risultati prima illustrati si deduce che lo scenario proposto sull'area "Ex Scalo Vanchiglia" è fortemente distante da una situazione di autonomia energetica. Partendo dal carico antropico, ovvero dagli 8.700 nuovi cittadini previsti sui 66 ettari dell'area, è possibile calcolare che solo i consumi energetici di 4.611 di questi, ovvero il 53% del totale, sarebbero coperti dall'energia rinnovabile raccolta all'interno del distretto.

Questo risultato è legato al fatto che i nuovi cittadini insediati conducano uno stile di vita simile a quello dell'odierno cittadino medio della Provincia di Torino, in base al quale sono stati calcolati i consumi energetici. Ovviamente uno stile di vita più frugale ed attento al risparmio energetico, come sarebbe da auspicare all'interno di un nuovo "eco distretto" urbano, potrebbe portare a risultati più soddisfacenti tenendo come costante la raccolta di circa 5 GWh annui di elettricità e di 9 GWh annui di energia termica da fonti rinnovabili interne al distretto.

Oltre dunque al comportamento dell'utenza un migliore valore di sostenibilità energetica potrebbe essere acquisita agendo su fattori architettonici ed urbanistici.

L'efficienza del riscaldamento delle abitazioni considerata nello scenario proposto di 30kWh/(m² anno) come prescritto dalla normativa vigente nella Regione Piemonte, potrebbe essere aumentata anche del doppio, ovvero fino ad arrivare a 15kWh/(m² anno), adottando tecnologie e materiali costruttivi già ampiamente collaudati anche in contesti condominiali urbani come illustrato nei Capitolo 5 nell'analisi degli eco distretti di Am Schlierberg in Germania e di Bedzed in Gran Bretagna.

Un altro elemento fortemente incidente sulla sostenibilità energetica è costituito dalla tipologia condominiale adottata. Nello scenario proposto si suppone un edificazione composta da condomini a sei o otto piani fuori terra, come previsto dagli strumenti urbanistici vigenti, che a fronte di un'alta densità abitativa non garantisce un alto rapporto tra superficie esposta all'irraggiamento solare, dunque sfruttabile a fini energetici, e superficie abitativa. Quest'ultimo fattore è strettamente legato alla questione della densità abitativa come parametro della sostenibilità urbana (Jencks 2005, 2007). E' infatti evidente che, dato che il territorio in oggetto di 66 ettari è finito e delimitato, maggiore sarà il carico antropico insediabile previsto e minore saranno le risorse rinnovabili naturali annualmente disponibili pro capite. Allo stesso tempo però le risorse rinnovabili antropiche, come ad esempio i rifiuti organici, sono direttamente proporzionali alla popolazione insediata e costituiscono dunque una possibile risorsa che cresce con l'aumentare della densità abitativa.

E' interessante notare che nessuno degli eco distretti europei analizzati nei Capitolo 5 ha una densità alta come nel caso del piano per l'area dell'Ex Scalo

Vanchiglia, che prevede 166 abitanti per ettaro. Soprattutto nei casi dei quartieri a piena autonomia energetica come Bedzed in Gran Bretagna o Bo01 in Svezia la densità è sensibilmente più bassa arrivando rispettivamente a 147 e 111 abitanti per ettaro. Un caso particolare è poi dato dal distretto di Am Schlierberg a Friburgo, l'unico quartiere con una densità di 170 ab/ha paragonabile a quella proposta nello scenario, che riesce attraverso un uso massiccio ed intensivo del fotovoltaico a raggiungere l'indipendenza energetica: determina infatti un IMSE pari a -29, circa quattro volte inferiore all'IMSE del distretto ipotizzato sull'area Ex Scalo Vanchiglia. Osservando la disposizione dei fabbricati di Am Schlierberg, illustrata nei Capitolo 5, è evidente come una pianificazione ed una progettazione esecutiva finalizzata allo sfruttamento dell'energia solare possa portare a risultati eccellenti nella sostenibilità energetica anche con l'uso prioritario del fotovoltaico ed a latitudini con un irraggiamento discretamente basso. Va però sottolineato che le ridotte dimensioni di Am Schlierberg, circa 66 volte più piccola rispetto all'area dell'Ex Scalo Vanchiglia, determinano un'alta densità abitativa anche per il fatto che dal distretto sono escluse le vie di comunicazione ad alta intensità così come strutture pubbliche dedicate a servizi.

Lo studio dello scenario dell'area Ex Zona Vanchiglia conferma come la densità urbana sia un fattore determinante nella progettazione della sostenibilità alle scale di distretto o di quartiere. Nello scenario proposto, in particolare, una minore densità abitativa permetterebbe la costruzione di edifici con un minor numero di piani ma egual superficie di copertura, garantendo così la stessa quota di energia ricavata dal sole per un numero minore di cittadini. Analogamente la biomassa ottenuta dalla manutenzione degli alberi del parco e l'energia ottenuta tramite la turbina idroelettrica sul canale Regio Parco fornirebbero una maggiore quota di energia pro capite agli abitanti. Allo stesso tempo però si avrebbe una minore quota di rifiuti organici e di liquami fognari da cui ricavare il biogas e di conseguenza un minore apporto sia di energia termica che di energia elettrica.

Per quanto riguarda le tecnologie attive di produzione energetica adottate quella più efficiente è costituita dall'impianto di cogenerazione che nello scenario ipotizzato si suppone possa servire l'intero distretto. Con impianti di questo genere e di questa dimensione si ha un'efficienza di trasformazione dei combustibili

impiegati in energia che è pari a circa l'80% (Alanne 2004), circa i due terzi dell'energia prodotta sono sotto forma di calore mentre un terzo è costituito da corrente elettrica. Dal momento che il calore viene raccolto come sottoprodotto della produzione di elettricità l'impianto offre anche un alto rendimento exergetico che conferma come questa tipologia di impianto sia attualmente una delle più indicate per diminuire gli impatti energetici urbani. Questo tipo di impianti ha un ingombro relativamente ridotto, potendo essere ospitato in edifici di piccole dimensioni e con un ridotto impatto acustico, come dimostrato dall'impianto di Bedzed, e che si prestano dunque ottimamente all'inserimento in contesti urbani.

Nella graduatoria dell'efficienza delle tecnologie adottate segue poi il solare termico con un'efficienza di circa il 60%, molto alta rispetto al fotovoltaico fermo invece ad una media del 9%. Entrambe le tecnologie solari, considerando il solare termico utile anche per uno stoccaggio stagionale del calore, forniscono rispettivamente il 24% dell'energia elettrica e l'84% dell'energia termica rinnovabile prodotta, e costituiscono dunque un apporto molto significativo sul bilancio complessivo. L'alta percentuale di energia raccolta sotto forma di calore sottolinea come un approccio exergetico alla pianificazione energetica urbana sia di fondamentale importanza per raggiungere alti livelli di sostenibilità.

In conclusione si può affermare che la sostenibilità energetica del distretto considerato è determinata dall'equilibrio di tre fattori tra loro legati in modo biunivoco da complesse relazioni: le risorse locali, naturali e antropiche, la densità abitativa e l'efficienza e l'efficacia delle tecnologie impiegate. Modulando le grandezze relative a questi tre fattori è possibile trovare l'equilibrio migliore che fornisca il minimo impatto ambientale energetico. Va però sottolineato che, come per ogni processo inerente la sostenibilità, non esiste un'unica soluzione universalmente valida bensì per ogni luogo ed ogni contesto va ricercato l'equilibrio ottimale. L'importanza di questo studio è data dal fatto di definire e testare una metodologia piuttosto che non di fornire una soluzione al problema della sostenibilità dei sistemi energetici urbani.

La densità urbana è uno degli elementi centrali nella sostenibilità energetica in quanto dipendente da fattori socio economici non legati alle qualità territoriali. Può dunque essere stabilita e controllata in sede di pianificazione, al contrario delle

risorse naturali che costituiscono una caratteristica fisica, immutabile in tempi brevi, delle aree territoriali. Il dimensionamento della densità in relazione alla sostenibilità energetica richiede dunque ulteriori ricerche, approfondimenti e la definizione di nuovi strumenti di progetto. Rimane un punto centrale sul quale indagare per la definizione di nuovi insediamenti sostenibili, un fattore che nei processi di pianificazione dovrebbe esser sempre più legato alle risorse ambientali oltre che alla dimensione socio economica.

8. Conclusioni e sviluppi futuri

8.1. Gli impatti ambientali urbani analizzati attraverso l'analisi metabolica: l'uso delle risorse locali negli eco distretti europei

La valutazione della sostenibilità urbana è una questione di fondamentale importanza per la transizione verso modelli più sostenibili di insediamenti urbani. Dal momento che la tendenza all'inurbamento in atto sul pianeta non accenna a diminuire, ma anzi si rafforza, dal momento che gli insediamenti urbani sono i fulcri del consumo energetico e dell'emissione di inquinanti, è necessario agire con urgenza nella trasformazione delle attuali città in sistemi più sostenibili ed a basso impatto. Nel concreto le emergenze più urgenti da affrontare sono costituite dalle emissioni di CO₂, in continuo aumento, e dal fenomeno incontrollato dell'urbanizzazione basato sull'uso di combustibili fossili, come riportato nel primo capitolo di questa ricerca. La direzione da intraprendere, l'unica possibile per evitare drammatici sconvolgimenti ecosistemici sul pianeta, è quella che porta verso un impatto zero che permetterebbe un armonioso rapporto olistico tra i centri abitati ed il loro intorno. In questo difficile processo la questione della valutazione delle politiche delle azioni e dei processi assume un ruolo guida fondamentale. E' infatti necessario che ogni azione indirizzata alla sostenibilità abbia una validità sia nell'immediato, nella piccola scala, nel dettaglio, sia contemporaneamente a scale maggiori che includono il contesto, i territori circostanti e quelli magari distanti migliaia di chilometri direttamente o indirettamente coinvolti, e sia inoltre coerente anche sul lungo periodo. Ogni azione deve insomma includere una visione molto ampia dei suoi possibili effetti alle diverse scale e su diversi periodi temporali e questo processo deve esser compiuto attraverso strumenti che possano fornire una valutazione coerente, precisa, oggettiva e confrontabile.

Ad iniziare dal piano di azione volontario Agenda 21 elaborato dalle Nazioni Unite nel lontano 1992 sono state numerosissime le politiche e le strategie, istituzionali e non, attivate con il fine di diminuire gli impatti delle attività umane. Tuttavia la maggioranza di queste, implementate in modo pervasivo in tutti i settori: dalla produzione industriale, all'agricoltura, all'ambiente costruito, si sono basate principalmente sull'aumento dell'efficienza. Questo metodo ha puntato principalmente all'ottimizzazione del sistema esistente e lasciato invece in secondo piano la necessità di un cambiamento più radicale che portasse verso una ridefinizione dei rapporti tra l'uomo e la natura.

Le strategie che legano con un rapporto causale l'aumento dell'efficienza con la riduzione dei consumi presentano forti criticità a livello multi scalare, sempre più evidenti anche nel contesto dell'ambiente costruito. La validità che possono avere all'interno di sistemi chiusi non è la stessa che hanno in sistemi aperti o a livello globale. L'aumento dell'efficienza dell'impianto di riscaldamento di un appartamento ha, ad esempio, l'effetto di permettere una teorica diminuzione del consumo di combustibile per quella data abitazione ma, se il fenomeno è affrontato su scala più grande, di quartiere, di città o globale, e se analizzato nel lungo periodo, quell'effetto di riduzione è fortemente limitato se non talvolta annullato da fenomeni collaterali di origine socio economica.

In Europa negli ultimi vent'anni l'efficienza ed i consumi energetici dell'ambiente costruito sono aumentati costantemente e parallelamente, si è verificato dunque uno scenario non previsto e diametralmente opposto a quello ritratto dai calcoli ingegneristici basati sulla seconda legge della termodinamica che sancisce che in un sistema ad un aumento dell'efficienza corrisponde una diminuzione dell'energia consumata per lo svolgimento dello stesso lavoro. Questa situazione apparentemente paradossale è alla base delle criticità attuali di molte politiche rivolte all'abbattimento dei consumi energetici: dalle azioni rivolte a incentivare il retrofit, a quelle rivolte all'aumento dell'isolamento o alla sostituzione dei vecchi impianti con quelli nuovi più efficienti e performanti, tutte strategie incentrate unicamente sull'aumento dell'efficienza che, come dimostrato dai dati illustrati nel secondo capitolo, non hanno condotto sino ad ora ai risultati sperati.

Il fenomeno dell'aumento parallelo di efficienza e consumo energetico è stato messo in relazione, nel terzo capitolo, con fenomeni socio economici quali il "Paradosso di Jevons" o la teoria dell' "energy rebound" spiegando come dinamiche comportamentali a larga scala possano inficiare parte dei miglioramenti attesi dall'aumento dell'efficienza e portare quindi a risultati profondamente distanti rispetto a quelli attesi o calcolati con metodi prettamente ingegneristici. Il comportamento non previsto dei consumi in relazione ai miglioramenti dell'efficienza ha contribuito al fallimento della strategia 20-20-20 che, tra gli obiettivi, si prefiggeva una riduzione del 20% dei consumi energetici entro il 2020. Come è stato illustrato nel Capitolo 2 una delle questioni più rilevanti è quindi quella di studiare nuove metodologie e strumenti di valutazione della sostenibilità che possano fornire un reale quadro della situazione attuale e delle future prospettive, riuscendo a fornire indicazioni con validità multi scalare da cui poter elaborare interventi e strategie. A tale proposito sono molto utili metodologie che siano in grado di compiere una valutazione integrata degli impatti basata non solo sulla misura dell'efficienza bensì che riescano a bilanciare le diverse dimensioni che definiscono la sostenibilità nella sua reale complessità, ovvero: l'efficienza, l'utilizzo delle risorse rinnovabili, specie se locali, ed i consumi reali.

Una metodologia che può essere applicata all'analisi dei contesti urbani e che corrisponde a queste caratteristiche è quella dell'analisi metabolica, un modello che esamina il funzionamento degli insediamenti urbani attraverso i flussi di materia e di energia. Con l'applicazione di questo tipo di analisi si ha la possibilità di verificare quali siano gli impatti che un insediamento riversa sui territori esterni, maggiori sono infatti i flussi in entrata ed in uscita e maggiori saranno le richieste di risorse o servizi che gravano sui territori esterni all'insediamento, e che talvolta sono situati a migliaia di chilometri di distanza.

Un flusso di materia tipico del metabolismo urbano è costituito ad esempio dal cibo, le città sono strutturalmente incapaci di produrre alimenti che devono quindi importare dall'esterno con un flusso continuo a cui ovviamente corrispondono territori destinati alla produzione alimentare. Il cibo processato viene poi espulso dalla stessa città sia sotto forma di rifiuti sia attraverso i liquami fognari che necessitano di altri territori per essere a loro volta metabolizzati e quindi riassorbiti

nei cicli naturali. L'acqua costituisce un altro flusso prioritario per il funzionamento urbano, anche in questo caso dopo esser stata utilizzata nella città viene espulsa con le acque reflue che necessitano di nuovi trattamenti, che generalmente gravano su altri territori ancora, prima di esser trasformate nuovamente in acqua adatta ad esser immessa nei cicli naturali. L'energia è il flusso di maggiore impatto, costituisce da sempre la linfa vitale degli insediamenti urbani ma dalla rivoluzione industriale in avanti questo flusso è diventato sempre più consistente e proveniente da territori sempre più lontani. Le città attuali sono totalmente dipendenti dall'energia e ad esclusione dei nuovi eco distretti o di particolari progetti di rigenerazione che utilizzano risorse locali rinnovabili a fini energetici. La totalità dell'energia oggi consumata nei centri urbani oltre che provenire dall'esterno è anche energia fossile e tende inesorabilmente all'esaurimento.

Il modello metabolico è focalizzato sulla quantificazione dei flussi in entrata ed in uscita da un distretto urbano e sulle tecnologie impiegate per creare cicli chiusi interni agli insediamenti che possano rendere minime le portate di tali flussi. I cicli chiusi sono costituiti da tutti quei processi che fanno sì che le risorse rinnovabili presenti all'interno del distretto o gli scarti delle attività umane vengano processate per diventare direttamente flussi in entrata nel distretto. Un esempio è dato dagli scarti delle potature del verde pubblico che possono essere usati come combustibile a fini energetici invece che essere processati come rifiuti, o i rifiuti organici che possono esser utilizzati per produrre biogas che a sua volta può esser un vettore energetico usato dal distretto stesso, o ancora l'utilizzo stesso dell'energia geotermica del sottosuolo usata per produrre energia termica da impiegare nella climatizzazione degli edifici limitrofi.

L'analisi metabolica si basa su di un monitoraggio costante ed attento dei flussi, dunque la quantificazione e la misura costante della loro entità. Ai flussi devono essere associati degli indicatori di performance che siano significativi nella lettura della consistenza e della variabilità, che siano paragonabili e che permettano una lettura temporale dell'evolversi dei fenomeni. Dunque la possibilità di vedere nel corso del tempo il miglioramento o peggioramento della situazione monitorata. Attraverso il controllo dei flussi si ha la possibilità di avere una chiara idea del

comportamento metabolico urbano e dunque degli impatti che questo esporta sui territori esterni.

Questo modello di analisi permette di usare un numero limitato di indicatori, in quanto si concentra su ciò che accade in entrata ed in uscita al sistema urbano, tralasciando monitoraggi sugli indicatori che si riferiscono agli elementi interni del sistema. Questi ultimi possono essere molto interessanti come indicatori di strategia ma relativamente poco significativi quando lo scopo è quello di calcolare gli impatti e valutarne l'entità. Ad esempio nel valutare gli impatti ambientali del sistema di mobilità di un distretto è molto più significativo sapere qual è l'entità del flusso di carburanti necessario alla vita normale del distretto piuttosto che la lunghezza delle eventuali piste ciclabili presenti nel quartiere. Così come è più indicativo conoscere il flusso di energia che un distretto richiede per alimentare il proprio sistema di illuminazione piuttosto che il numero dei sistemi di dimmeraggio presenti, o ancora il flusso di metano richiesto piuttosto che la percentuale di caldaie a condensazione sul totale degli impianti di riscaldamento.

L'analisi metabolica consente quindi di valutare attraverso un sistema di indicatori rivolti esclusivamente al monitoraggio dei flussi il rapporto tra l'organismo urbano e l'ambiente circostante andando a sintetizzare in questo modo i dati essenziali per capire il carico ambientale esportato sui territori esterni. Per questa ragione gli indicatori usati nell'analisi metabolica urbana sono relativamente pochi ma molto significativi grazie al loro potere di sintesi. Questo permette di ottenere strumenti di valutazione semplici e veloci da usare, grazie al ridotto numero di indicatori, basati su pochi e semplici punti di monitoraggio. Sistemi di questo genere rispondono quindi in modo ottimale alle criticità genericamente riscontrate nei sistemi di certificazione o valutazione, ovvero l'alto numero di indicatori spesso di difficile reperibilità e calcolo ed il complesso lavoro nell'uso degli strumenti di valutazione che non sempre è appagato dalla validità dei risultati raggiunti.

In questo studio l'analisi metabolica è stata applicata ai sistemi energetici, in particolare ai bilanci energetici dell'edilizia residenziale dei nuovi distretti urbani. Il modello metabolico è dunque stato implementato nel comprendere il grado di

sostenibilità di un sistema energetico di un quartiere o di un delimitato contesto urbano.

Con questo tipo di approccio alla sostenibilità energetica è possibile superare le idiosincrasie riguardo ad una valutazione della sostenibilità focalizzata sul concetto di efficienza, una metodologia che è preponderante nella maggioranza degli attuali sistemi di certificazione ambientale e che è alla base delle principali politiche per la riduzione dei consumi che l'Unione Europea ha attuato in questi ultimi vent'anni, come è stato illustrato nel secondo capitolo. Con l'analisi metabolica dei bilanci energetici l'attenzione è spostata dai comportamenti dei singoli elementi del contesto urbano, ovvero singoli edifici o abitazioni, o singoli impianti e apparecchi elettrici, ai diversi flussi in entrata ed alla metabolizzazione delle risorse rinnovabili interne a fini energetici.

Il modello proposto è stato declinato nell'esame di otto eco quartieri europei realizzati nei primi anni del terzo millennio. Nei contesti analizzati sono state evidenziate le tecnologie adottate per la diminuzione degli impatti energetici. Sono state evidenziate tutte quelle strategie intraprese per l'ottimizzazione del metabolismo energetico dei distretti, ovvero quelle strategie che permettono di creare energia dalle risorse rinnovabili locali, interne ai confini del quartiere o nelle sue immediate vicinanze minimizzando così i flussi energetici in entrata. Sono state prese in esame tutte quelle tecnologie che contribuiscono a creare dei cicli chiusi, ovvero a far sì che rifiuti o scarti del metabolismo del distretto si trasformino in preziose risorse energetiche oppure che permettono di trasformare risorse naturali locali, come ad esempio i raggi solari o la legna proveniente dalle potature, in energia. L'analisi dettagliata e comparativa ha permesso di evidenziare virtuosità e criticità dei vari sistemi usati in base ai risultati raggiunti così da ottenere un quadro definito di quali sono oggi le tecnologie e le strategie usate negli eco distretti esistenti e con quale efficacia. Sono state individuate sette tipologie tecnologiche tra le più usate e collaudate per la raccolta di energia rinnovabile (solare termico, solare fotovoltaico, eolico, biogas, biomassa, geotermico, idroelettrico) ed è poi stato valutato quali di queste fossero usate nei diversi distretti ed in che modo.

Il quadro ottenuto ha evidenziato come le tecnologie solari siano ampiamente le più diffuse nonostante gran parte dei distretti analizzati sia localizzato a latitudini in cui l'irraggiamento solare non è così abbondante. Ad esempio l'irraggiamento medio svedese, nazione in cui sorgono due dei distretti BO01 e Hammarby, è circa il 77% dell'irraggiamento medio italiano, vale a dire che gli stessi impianti solari usati in Italia renderebbero circa il 20% in più. Dunque il sole come fonte di energia si conferma esser la risorsa principale fino ad ora usata nella costruzione di insediamenti urbani a basso impatto. La "città solare" basata sull'energia pulita del sole nonostante faccia parte di un immaginario urbano nato da oltre cinquant'anni, come dimostrano le intuizioni di Buckminster Fuller ad esempio, continua ad essere un modello attuale, l'uso di questa risorsa è l'unico presente in tutti i casi analizzati. L'uso della biomassa e del geotermico è presente in circa la metà dei distretti presi in considerazione, la biomassa in particolare è interessante dal punto di vista metabolico se riesce ad essere prodotta dalle potature del verde pubblico urbano o comunque dalla manutenzione di alberi integrati negli spazi pubblici. In questo caso non solo si utilizza un rifiuto locale che viene trasformato in risorsa ma si alleggerisce anche il flusso dei rifiuti in uscita dal sistema urbano che devono poi essere smaltiti o convertiti su altri territori con il relativo carico sia energetico che ambientale. Secondo lo stesso principio è molto virtuoso l'uso di tecnologie per produrre biogas sia dai rifiuti organici che dalla frazione solida dei liquami fognari. Questo tipo di tecnologia è utilizzata nei soli quartieri svedesi di BO01 ed Hammarby ma, analogamente alla biomassa locale, permette la creazione di cicli chiusi metabolici che sono efficaci oltre che nella produzione di energia da risorse antropiche locali anche nell'alleggerimento degli scarti in uscita dalla città, in questo caso rifiuti organici e liquami, con il relativo alleggerimento del carico energetico necessario per lo smaltimento o la depurazione. L'eolico e l'idroelettrico sono invece le tecnologie meno usate a causa delle particolari caratteristiche ambientali necessarie per la loro efficacia. Nonostante l'eolico sia uno dei settori per le energie rinnovabili più promettenti è ancora scarsamente utilizzato in contesti urbani, sia perché le condizioni della velocità del vento sono in genere sfavorevoli in territori densamente costruiti sia perché l'inquinamento

acustico di questi impianti, nonostante gli ampi miglioramenti degli ultimi anni, continua ad essere un fattore d'ostacolo.

L'idroelettrico, o meglio le micro e mini centrali costituite da impianti di potenza inferiore ai 100 e 1000 kW, potrebbero avere un ampio utilizzo nei contesti urbani sia su canali che in condotte idriche ma non sono utilizzate da nessuno dei distretti analizzati, il principale ostacolo è ovviamente quello di trovare in contesti urbani corsi d'acqua con sufficienti portata e salto.

8.2. L'indice IMSE come strumento per valutazione e la pianificazione energetica degli eco distretti

Per la valutazione integrata degli impatti energetici degli otto eco quartieri è stato definito un indice di sostenibilità energetica denominato Indice Metabolico di Sostenibilità Energetica (IMSE), dato dalla differenza tra l'energia primaria globalmente consumata e l'energia primaria ricavata da fonti rinnovabili locali, sia naturali che antropiche. Attraverso l'analisi dei risultati inerenti all'applicazione dell'indice IMSE è possibile approcciarsi alla valutazione della sostenibilità energetica da un punto di vista metabolico. Questo modello ci permette di considerare gli aspetti energetici di un distretto non solo riguardo l'efficienza del sistema e dei singoli elementi bensì riguardo agli impatti che il sistema stesso riversa sui territori esterni. Con l'indice IMSE è possibile valutare in un certo senso l'impronta energetica di un dato insediamento, ovvero quantificare i flussi energetici provenienti dall'esterno e riferirli ad un metro quadro di superficie costruita virtuale così da avere una misura oggettiva e comparabile. Il modello concettuale è quindi simile a quello formulato da Rees e Wackernagel nell'elaborazione del metodo dell'impronta ecologica (Rees 1996). In questo caso vengono però presi in considerazione i soli flussi energetici e il loro impatto non è tradotto in "ettari globali" ma quantificato e tradotto in un indice che permette di svolgere comparazioni tra realtà diverse.

Attraverso l'applicazione di questo indice sulle abitazioni dei distretti si è potuto elaborare una valutazione ed un rating di sostenibilità energetica basati sui rispettivi metabolismi. L'utilizzo di questo indice nella valutazione, come illustrato nel terzo capitolo, ha dato risultati molto differenti da distretto a distretto nonostante tutti siano in situazioni climatiche simili, ad eccezione dello spagnolo Valderspartera che gode di un clima più mite rispetto agli altri, e tutti siano stati progettati in un arco temporale molto ristretto, dal 1994 al 2001, e con intenti progettuali che erano univocamente focalizzati sull'ottenere un netto abbassamento degli impatti ambientali. Gli eco distretti analizzati presentano comportamenti energetici profondamente diversi che vanno da bilanci a impatto zero, o addirittura positivi, nel caso in cui il distretto non solo produca tutta l'energia di cui necessita ma ne esporti addirittura, come nel caso del distretto di Am Schlierberg in Germania, a bilanci non dissimili da quelli di quartieri ordinari delle città odierne, dunque basati su una totale dipendenza da fonti energetiche esterne, come nel caso del Greenwich Millenium Village a Londra.

La sostenibilità energetica intesa come autonomia da fonti ed impianti energetici esterni all'insediamento urbano non è dunque un fattore comune alla prima generazione di eco distretti costruiti in Europa a cavallo tra il secondo ed il terzo millennio. Bilanci energetici ancora totalmente dipendenti da fonti esterne al distretto e non localizzate né pianificate contestualmente alla progettazione del distretto stesso costituiscono una forte contraddizione che accompagna, in diversa misura, alcuni degli eco distretti oggi esistenti e costituisce sicuramente una delle criticità più problematiche da affrontare nella progettazione di futuri distretti a basso impatto.

Queste marcate differenze sottolineano come oggi sia il concetto di sostenibilità o meglio riduzione degli impatti, sia il concetto di eco quartiere non poggino ancora su obiettivi, caratteristiche e metodologie univoche. Lo stesso termine "eco" applicato ad un contesto urbano può assumere talmente tanti significati diversi che rischia di perdere il senso più importante che dovrebbe avere, ovvero di garantire un impatto ambientale sufficientemente basso per permetterne la riproducibilità e l'esistenza senza compromettere il capitale naturale del pianeta.

Soprattutto la questione energetica è ancora contraddittoria nella maggioranza degli eco distretti: se da una parte è infatti riconosciuto come un basso consumo di energia sia di primaria importanza per diminuire gli impatti dall'altra non sono impiegate strategie o soluzioni che permettano un'autonomia dai combustibili fossili e dunque da territori distanti migliaia di chilometri dal consumatore finale. Le uniche eccezioni sono costituite dal quartiere di Am Schlieberg (DE) che, grazie all'uso estensivo del fotovoltaico, riesce a produrre più energia di quanta ne consuma, e dal distretto di BO01 (SV) che grazie soprattutto allo sfruttamento dell'energia eolica riesce a produrre annualmente la stessa quantità di energia primaria che consuma.

La questione energetica è stata affrontata nella maggioranza dei progetti con un approccio efficientista, cercando dunque di migliorare le prestazioni degli elementi e dei processi del funzionamento urbano ma senza cambiare il paradigma che considera la città come un elemento passivo alimentato dall'esterno. I casi virtuosi dei due distretti prima citati sono caratterizzati dal fatto che la progettazione urbanistica ed architettonica sono state integrate e sviluppate di pari passo con la pianificazione energetica. Questa metodologia di progettazione inserisce i limiti energetici, ovvero la massima quantità di energia raccolta dalle risorse locali rinnovabili, negli elementi progettuali fin dall'ideazione del distretto.

Dagli esempi analizzati si deduce che l'unico modo per ovviare agli impatti causati dai flussi energetici richiesti dagli insediamenti è di integrare la pianificazione energetica all'interno sia della pianificazione urbana sia della progettazione architettonica. In questo modo sin dallo studio di fattibilità del distretto il limite di energia fruibile per il funzionamento del futuro distretto diventa uno degli elementi progettuali su cui viene dimensionato il progetto definitivo.

Oltre ad usare nuove tecnologie sostenibili e strategie avanzate i nuovi quartieri necessitano un approccio multidisciplinare alla progettazione, che sin dai primi studi di fattibilità attraverso un ampio bagaglio di competenze riesca a creare, ed a far combaciare, sinergie e cicli chiusi virtuosi sui quali sviluppare poi la conformazione fisica, architettonica e strutturale del quartiere. E' necessario in fin dei conti ribaltare quella metodologia progettuale utilizzata dall'avvento della rivoluzione industriale sino ad oggi che parte dalla costruzione fisica della città,

ovvero edifici e spazi pubblici, per poi approdare solo in un secondo momento, a progetto ultimato, all'alimentazione energetica che viene sopperita quasi unicamente dalle risorse fossili.

La conclusione ultima ricavabile dall'analisi di otto tra gli eco distretti europei più studiati e documentati, e che pertanto costituiscono un punto di partenza e riferimento per le progettazioni future, è che una reale sostenibilità energetica, quantificabile negli impatti e monitorabile attraverso gli indicatori del metabolismo energetico, è raggiungibile solo ricercando sin dalle prime fasi di progetto un equilibrio con le risorse naturali locali. La progettazione deve perseguire un ciclo armonico tra consumi e risorse che venga poi declinato nella progettazione spaziale di edifici, infrastrutture e spazi pubblici, e soprattutto nella definizione di una densità abitativa ottimale. Una densità abitativa sufficientemente alta è infatti determinante per l'impiego efficace di strategie quali ad esempio il teleriscaldamento o la produzione da biogas da rifiuti, nonché per la creazione di sinergie quali la raccolta di energia solare attraverso il riscaldamento di enormi masse d'acqua ed il successivo stoccaggio stagionale. Allo stesso tempo una densità abitativa troppo alta influisce negativamente sulla possibilità di utilizzare il sole come significativa fonte energetica e crea problemi di smaltimento degli scarti, di emissioni nocive e di congestionamento che a loro volta possono essere responsabili di ulteriori consumi energetici.

8.3. L'indice IMSE nella valutazione di uno scenario progettuale di un nuovo distretto

L'analisi degli eco quartieri sviluppata nel quarto capitolo, in particolare attraverso l'applicazione dell'indice IMSE, ha evidenziato come i distretti a minor impatto energetico sono quelli che oltre a sfruttare in modo estensivo l'irraggiamento solare riescono ad impiegare una serie di soluzioni tecnologiche diverse, integrate e tra loro complementari. Queste vanno a costituire delle

strategie energetico-ambientali che supportano le necessità energetiche dei quartieri e ne diminuiscono gli impatti.

Nel quinto capitolo con il fine di verificare un possibile contesto urbano a basso impatto energetico e di testare l'indicatore ISME come strumento progettuale, si è proceduto alla formulazione di un ipotetico scenario su di un distretto urbano di Torino denominato "Ex Scalo Vanchiglia". Quest'area situata nella parte settentrionale della città è destinata dal Piano Regolatore ad una radicale rigenerazione con il fine di ospitare un mix di funzioni la cui preminente è quella residenziale.

Nello scenario è stata ipotizzata un'edificazione ed una destinazione della superficie territoriale coerente con gli indici riportati nel Piano Regolatore, in base al disegno ottenuto sono stati poi calcolati gli ipotetici consumi energetici del comparto abitativo del distretto. La metodologia usata ha tenuto come riferimento i consumi energetici medi delle abitazioni della Città di Torino ed il grado minimo di efficienza della climatizzazione richiesto dalle normative vigenti.

Successivamente sono state calcolate le quantità di energia termica ed elettrica ricavabili dalle risorse rinnovabili locali facendo riferimento alle strategie ed alle tecnologie impiegate negli eco distretti prima analizzati. L'energia rinnovabile potenziale è stata calcolata su base annuale facendo un rilievo delle risorse locali disponibili, sia naturali, come ad esempio l'irraggiamento solare o la presenza di corsi d'acqua adatti all'impiego idroelettrico, sia antropiche, come i rifiuti organici prodotti dagli abitanti insediabili.

Le quantità di energia ricavabili in un anno dalle risorse rinnovabili locali ed i consumi delle abitazioni dei residenti sono poi stati messi in relazione con il fine di calcolare il bilancio energetico risultante, ovvero il rapporto tra energia rinnovabile locale e consumi abitativi. Questa relazione è stata misurata attraverso l'applicazione dell'indice IMSE definito nel quarto capitolo.

I risultati ottenuti evidenziano come nello scenario urbano prospettato sull'area "Ex Scalo Vanchiglia" del Comune di Torino, ipotizzando una soluzione realisticamente coerente con i piani e gli indici predisposti dalla Municipalità ed impiegando le risorse locali rinnovabili per produrre energia, è possibile ottenere

un insediamento in cui il 53% dell'energia consumata dalle abitazioni è prodotta localmente.

Questo risultato è stato raggiunto anche grazie ad un'attenzione particolare alla dimensione "exergetica" del sistema, ovvero tenendo conto non solo della quantità dell'energia usata ma anche della sua qualità. Per esempio si ottiene un'alta efficienza exergetica se per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria si usa unicamente energia sotto forma di calore mentre si riserva l'elettricità, forma più preziosa di energia, per il funzionamento delle sole apparecchiature elettriche che non potrebbero essere alimentate da altro tipo di energia, ad esempio calore o energia meccanica.

Nel caso del caso studio in oggetto l'efficienza exergetica dell'energia usata è stata possibile grazie all'utilizzo della biomassa o del biogas come combustibile in un impianto di cogenerazione da cui è possibile ottenere acqua a bassa temperatura per la climatizzazione degli edifici ed elettricità per la rete del distretto. Analogamente la fornitura dell'acqua calda sanitaria è fornita principalmente dai pannelli solare termici capaci di produrre 7 GWh annuali rispetto ai circa 6 GWh consumati, il distretto è ipotizzato provvisto di ampi accumuli in modo da poter immagazzinare nel periodo estivo acqua calda utilizzata poi nel periodo invernale.

La fonte rinnovabile più efficace è confermata essere il sole che nel bilancio energetico della simulazione costituisce ben il 51,4% di tutta l'energia prodotta localmente. Questa quota è data dalla somma dell'energia primaria ricavata dai pannelli fotovoltaici e solare termici, supponendo che la superficie utile delle coperture delle abitazioni con buona esposizione all'irraggiamento solare siano coperte per metà da pannelli fotovoltaici e per metà da pannelli solare termici.

L'energia prodotta da una turbina idroelettrica di circa 370 kW costituisce la seconda fonte di energia rinnovabile, occupando il 33,5% della quota rinnovabile. E' da sottolineare che nel caso particolare dell'area "Scalo Vanchiglia" è stato possibile ipotizzare il riuso di un vecchio canale costruito a scopi industriali e successivamente abbandonato. Tale corso d'acqua possiede una portata, un salto ed una dislocazione che possono essere facilmente sfruttati da un impianto di dimensioni molto limitate e privo di qualunque impatto nocivo sulle aree

immediatamente circostanti, e dunque compatibile con un contesto urbano. Nonostante ci siano diversi studi riguardo lo sfruttamento di condutture e canali a fini energetici, e nonostante questa tecnologia sia applicabile in contesti urbani, oggi sono ancora molto rari gli impianti idroelettrici a bassa potenza costruiti all'interno o in prossimità di insediamenti per fornire l'elettricità necessaria. Questa fonte d'energia ha la peculiarità di avere una buona continuità e di poter quindi, ad esempio, compensare il fotovoltaico nelle ore notturne.

La terza fonte di energia rinnovabile per kilowattora prodotti è il biogas, generato da due risorse antropiche locali: i rifiuti organici e la frazione solida dei liquami fognari. Attraverso un piccolo impianto di biogas, inseribile anche questo in un contesto urbano grazie alla poca superficie necessaria ed agli impatti pressoché nulli, è infatti possibile ottenere oltre 260.000 metri cubi di metano all'anno con una potenza energetica ideale di circa 2,6 Gwh. Nello scenario proposto è ipotizzato che il metano così prodotto venga utilizzato in una centrale a cogenerazione capace di utilizzare come combustibile sia il biogas sia la biomassa legnosa. Il solo biogas è così capace di produrre annualmente 0,7 GWh di energia elettrica e 1,43 Gwh di energia termica ed andando così ad occupare il 14% dell'energia primaria rinnovabile prodotta nel distretto.

La fonte energetica locale meno consistente è costituita dalla biomassa ricavata dalla potatura e dalla manutenzione sia degli alberi del Parco sia dei viali del distretto. Considerando i tempi ed i modi con cui i servizi municipali operano la manutenzione delle alberate urbane a Torino è possibile stimare che nel nuovo distretto si ricaveranno circa 23 tonnellate di biomassa legnosa ogni anno. Questo combustibile utilizzato nella centrale a cogenerazione alimentata anche dal biogas prima descritto è capace di produrre circa 20 MWh di elettricità e 40 MWh di energia termica che vanno a costituire lo 0,4% di tutta l'energia rinnovabile prodotta localmente.

L'energia solare e l'idroelettrico costituiscono nel caso dell'area dello "Scalo Vanchiglia" le risorse energetiche più efficaci riuscendo da sole a produrre circa l'85% dell'energia rinnovabile del distretto che corrisponde quasi al 43% di tutta l'energia primaria utilizzata dalle abitazioni.

Come illustrato nel Capitolo 4 nello scenario proposto è possibile ricavare dalle sole risorse locali rinnovabili il 52% dell'energia primaria consumata dalle abitazioni, equivalente a 20,3 Gwh a fronte dei 38,1 GWh consumati. Se si considera che sul distretto si è ipotizzato l'insediamento di 8.700 abitanti, come prescritto dal Piano Regolatore del Comune di Torino, se ne evince che virtualmente solo il consumo energetico abitativo di circa 4.400 abitanti sarà coperto dalle risorse locali, mentre gli altri abitanti saranno totalmente dipendenti da risorse esterne.

La densità abitativa è un fattore determinante nella pianificazione energetica in quanto direttamente connessa alla quantità di risorse naturali pro capite e alla quantità di risorse antropiche producibili.

Nel caso del distretto ipotizzato la densità abitativa è di 132 ab/ha, anche questo fattore è prescritto dagli strumenti urbanistici della Città, una densità molto alta in confronto alla densità media della stessa Città di Torino, 69 ab/ha, o dei centri urbani europei analoghi per dimensione a Torino, come ad esempio Marsiglia 35 ab/ha, Monaco 44 ab/ha, Copenaghen 58 ab/ha o Birmingham 38 ab/ha. E' una densità che però rientra nella media degli eco distretti europei analizzati nel Capitolo 3 che vanno dagli 82 ab/ha del quartiere di Viikki in Finlandia fino ai 224 ab/ha del Greenwich Millenium Village a Londra. E' da tener presente che un'alta densità è favorevole ad un uso collettivo e limitato dei trasporti, che costituiscono in media il 30% dei consumi energetici dei centri urbani, ed è pertanto importante non scendere sotto una soglia minima nella pianificazione di nuovi insediamenti. Tuttavia la soglia minima consigliabile non è facilmente identificabile essendo soggetta a molti fattori ambientali, sociali, economici e culturali che variano localmente e che assumono diverso peso a seconda dei diversi contesti.

Da una parte è evidente che diminuendo la densità abitativa si avrà una maggiore incisività sui consumi totali dell'energia ricavata da risorse rinnovabili locali, quali ad esempio l'energia eolica o idroelettrica o geotermica, dall'altra parte però si avrà un minore apporto di risorse antropiche, come ad esempio rifiuti organici e liquami fognari, e una minore superficie costruita che può determinare una minore copertura esposta all'irraggiamento solare. La densità abitativa va

quindi pianificata attentamente caso per caso parallelamente alla pianificazione energetica con lo scopo di raggiungere un equilibrio in cui vengono ottimizzate le sinergie possibili grazie ad una densità sufficiente per innescare taluni processi, quali ad esempio il riscaldamento centralizzato o la raccolta di rifiuti organici e liquami, e resi minimi gli svantaggi dovuti ad una diminuzione pro capite di risorse naturali.

Nel caso dello scenario ipotizzato una minore densità abitativa porterebbe ad una maggiore quota pro capite di energia ricavata dalla turbina idroelettrica e dalla biomassa, che costituiscono insieme circa il 34% dell'energia rinnovabile nel distretto, mentre si avrebbe contestualmente una diminuzione delle risorse antropiche rinnovabili, in questo caso costituite da rifiuti organici e liquami impiegati nella produzione di biogas, una risorsa che fornisce il 14,7% dell'energia rinnovabile. La componente solare potrebbe variare con la diminuzione della popolazione insediabile per il fatto che si avrebbe meno superficie edificata e quindi meno coperture per il collocamento dei pannelli. Tuttavia attraverso tipologie architettoniche con pochi piani fuori terra ed un dislocamento estensivo sul territorio, come quella ad esempio usata nel distretto di Am Schlierberg in Germania, si potrebbe ottenere un'analogha superficie captante e di conseguenza un analogha quota di energia rinnovabile solare anche se a discapito della superficie territoriale coperta. Se venisse adottata questa strategia progettuale nell'area dell'"Ex Scalo Vanchiglia" la diminuzione della densità abitativa porterebbe ad un diretto aumento della sostenibilità energetica e dunque ad una diminuzione degli impatti ambientali del distretto.

E' dunque necessario riuscire ad ottenere un equilibrio che riesca a bilanciare ed ottenere le massime sinergie tra superficie coperta dal distretto, nel caso ipotizzato di 66 ettari, e numero di abitanti insediabili.

Dal momento che le risorse naturali non cambiano con il diminuire o l'aumentare della popolazione su una data area è palese che se le risorse naturali costituiscono un potenziale energetico superiore a quello delle risorse antropiche minore sarà la densità e maggiore sarà la sostenibilità energetica. Al contrario se le risorse antropiche costituiscono una fonte energetica superiore a quelle naturali

locali una densità troppo bassa potrebbe costituire un grave ostacolo per la sostenibilità energetica.

Nel caso ipotizzato dell' "Ex Scalo Vanchiglia" le risorse naturali hanno un peso sicuramente maggiore, fornendo circa l'85% dell'energia rinnovabile utilizzata dal distretto, dunque una migliore sostenibilità energetica potrebbe sicuramente essere raggiunta abbassando la densità abitativa. Una minore superficie coperta potrebbe inoltre essere destinata ad un aumento del verde pubblico e di alberi ad alto fusto che contribuirebbero alla produzione di biomassa alleggerendo quindi ulteriormente gli impatti energetici.

Il progetto di rigenerazione urbana ipotizzato sullo "Scalo Vanchiglia" pur se elaborato e progettato in modo organico con una forte attenzione per una contestuale pianificazione energetica ed impiegando tutte le tecnologie disponibili oggi sul mercato non è però ancora in grado di essere energeticamente autonomo. Il distretto continua ad essere dipendente per le forniture energetiche da territori esterni, seppur con una riduzione del 50% rispetto ad un tradizionale distretto della città di Torino, dimostrando quindi che l'impatto zero dato da una completa autonomia energetica è ancora distante dall'essere raggiunto nella rigenerazione di distretti in contesti urbani consolidati con tipologie edilizie condominiali di molti piani fuori terra, nel caso ipotizzato tra i sei e gli otto piani. Come sottolineato il fattore più influente è dato dalla densità abitativa e dunque la definizione di questo fattore dovrebbe rientrare tra i parametri di una pianificazione integrata e non essere dato come elemento non modificabile dettato dalle normative urbanistiche locali elaborate senza alcuna attenzione per la pianificazione energetica come avviene per il caso dello "Ex Scalo Vanchiglia" a Torino.

L'applicazione dell'indice IMSE alle abitazioni del distretto ipotizzato ha fornito un valore di 60 kWh (m² anno) dimostrando il forte miglioramento rispetto ai distretti tradizionali della città di Torino che, non possedendo alcuna forma significativa di autonomia energetica si avvicinano ad un indice di 266 kWh (m² anno) pari al consumo totale di energia primaria di un m² di un abitazione tipo.

In conclusione è stato dimostrato che con gli attuali indici e destinazioni urbanistiche previste per zona "Ex Scalo Vanchiglia" è possibile ottenere una

riduzione dell'impatto ambientale dovuto ai consumi energetici delle abitazioni di circa il 50% rispetto ad un quartiere tipo della Città di Torino.

Il valore dell'indice IMSE ottenuto, pari a 60 kWh (m² anno), se confrontato con gli eco distretti analizzati nel Capitolo 4 si colloca in una posizione intermedia. Il risultato non è quindi particolarmente significativo o virtuoso soprattutto tenendo conto che gli eco distretti europei presi in considerazione sono stati tutti progettati oltre dieci anni fa e costituiscono pertanto la prima "generazione" di eco distretti che all'epoca presentava caratteri sperimentali oggi ampiamente collaudati.

Lo scenario proposto dimostra che con l'uso tecnologie ampiamente consolidate, utilizzate da molto tempo e a larga scala e disponibili sul commercio, è possibile ottenere una diminuzione degli impatti ambientali in ambito urbano molto significativa anche se l'autonomia energetica delle città è difficilmente ottenibile con le tipologie architettoniche e con le densità caratteristiche della città contemporanea. Risultati migliori potrebbero essere ottenuti sicuramente con una densità abitativa minore, con tipologie residenziali a pochi piani fuori terra e con più spazi dedicati ad alberi e a verde pubblico.

La prerogativa necessaria per raggiungere bassi livelli di impatto ambientale energetico è che la pianificazione urbana e architettonica debba essere fatta contestualmente alla pianificazione energetica per permettere di ottenere la massima efficacia da tutte le risorse a disposizione. Dunque oltre ad una progettazione architettonica molto attenta agli orientamenti ed all'esposizione solare è necessario pensare al percorso di eventuali corsi d'acqua o condotte adattabili all'idroelettrico o predisporre spazi per piccole centrali di cogenerazione e impianti di biogas. Così come nella progettazione degli edifici eco sostenibili sono indispensabili competenze multidisciplinari che fin dal progetto preliminare affrontino contemporaneamente tutti gli aspetti del progetto, dalle forme architettoniche agli impianti al tipo di materiali, così è necessario approcciarsi alla pianificazione della città sostenibile del terzo millennio in modo multidisciplinare e dinamico. Ovvero attraverso metodologie di calcolo e valutazione che mirino ad ottenere dei sistemi olistici come base e supporto dei contesti urbani. In questi sistemi le risorse naturali, le risorse antropiche e le attività umane vanno legate in rapporti equilibrati ed in continuo mutamento.

In questa ricerca sono stati presi in considerazione solo gli impatti ambientali del consumo energetico del settore abitativo di un ipotetico distretto urbano. Va tenuto presente che in una visione olistica della città gli impatti ambientali sono inscindibilmente legati agli aspetti socio culturali che andrebbero quindi affrontati parallelamente alla metodologia qui proposta in qualunque processo reale di pianificazione. Dunque questa ricerca si costituisce come un parziale tassello per la costruzione della sostenibilità urbana. Un tassello che va integrato insieme a molti altri di diversa natura per arrivare a definire un nuovo modello di città e che perde parte del suo significato se collocato in un contesto avulso dalle dimensioni sociale, culturale ed economica del vivere urbano.

8.4. Prospettive e limiti dell'uso degli indici metabolici nell'analisi urbana

Come è stato illustrato in questa ricerca, l'analisi metabolica urbana costituisce sia un valido e pratico metodo per la valutazione del grado di sostenibilità, sia una metodologia progettuale attraverso la quale è possibile ridurre gli impatti ambientali degli insediamenti. Questa metodologia pur avendo ormai oltre cinquant'anni di storia, (il primo articolo di Abel Wolman fu pubblicato sulla rivista *Scientific American* nel 1965), è stata raramente impiegata in reali processi di pianificazione e solo negli ultimi anni è stata riscoperta proprio grazie alla sua adattabilità nello studio degli impatti ambientali dei processi urbani (Minx 2010). Tuttavia, gli studi fin ora pubblicati sono ancora molto differenti tra loro nel procedimento analitico e, pertanto, i risultati prodotti sono difficilmente comparabili (Warren Rhodes 2001, Barles 2009, Browne 2011).

Affinchè l'analisi metabolica urbana possa avere un uso pratico nello studio o nella valutazione dei processi urbani è, comunque, necessario che sia implementata all'interno di strumenti strutturati e agevoli nell'essere applicati in contesti diversi.

L'analisi che in questa ricerca è stata rivolta al bilancio energetico delle abitazioni di un distretto, che, come illustrato nel Capitolo 2, è uno degli aspetti più

impattanti nell'ambiente costruito può essere indirizzata ad altri obiettivi utilizzando la stessa impostazione e metodologia. Ad esempio, il modello metabolico può essere applicato al ciclo dell'acqua, ovvero al rapporto esistente tra le forniture dell'acquedotto, il riciclo dell'acqua piovana e delle acque bianche, eventuali metodi di depurazione delle acqua reflue interne al quartiere ed i consumi medi degli abitanti. Analogamente, può essere analizzato il ciclo del cibo considerando quello importato ed eventuali produzioni interne o limitrofe al distretto, o ancora il bilancio dell'anidride carbonica, considerando eventuali assorbimenti quali quelli degli alberi urbani o degli spazi verdi.

Le emissioni di anidride carbonica costituiscono oggi un problema prioritario da affrontare, a causa dell'emergenza climatica, nonostante le strategie e le politiche attuate, specialmente nei paesi più industrializzati, i livelli attuali di CO₂ sono ancora ampiamente in aumento e difficilmente potrà esser evitato un disastroso innalzamento climatico (WMO 2012). Per questo motivo, il fattore emissioni dovrebbe essere parte integrante di qualunque processo pianificatorio dell'ambiente costruito. Non solo prevedendo strategie atte al loro contenimento, ma elaborando strumenti capaci di valutare e quantificare il flusso di CO₂ che, un dato insediamento, funzionando a regime, produce.

Risulta necessario, quindi, passare da una valutazione della strategia, ovvero da quali sono gli accorgimenti adottati per diminuire le emissioni, ad una valutazione quantitativa, ovvero quante tonnellate di CO₂ vengono emesse da un determinato insediamento.

L'*Intergovernmental Climate Change Panel* (ICCP 2007) ha stabilito, attraverso una lunga serie di studi e ricerche condivise con la Comunità Scientifica mondiale, che per rientrare nei margini di sicurezza ogni essere umano dovrebbe emettere ogni anno attraverso le proprie attività sul pianeta non più di 1,7 tonnellate di anidride carbonica (ICCP 2007). Tutti i paesi industrializzati sono oggi ampiamente sopra questa soglia; in Italia, ad esempio, il cittadino medio ogni anno è responsabile dell'emissione di circa 8 tonnellate di anidride carbonica. Dal momento che il limite di 1,7 tonnellate pro capite è stato universalmente condiviso, sono necessari strumenti di valutazione degli impatti ambientali che sappiano quantificare le emissioni ed evidenziarne la collocazione in base a questo valore.

A tal fine la metodologia dell'analisi metabolica potrebbe essere molto utile in quando consente di calcolare non solo l'inventario delle emissioni di un dato insediamento, ma anche il bilancio tra emissioni ed assorbimenti delle stesse, ampliando dunque l'analisi non solo alle strategie di contenimento dell'anidride carbonica ma anche alla reale capacità del suo assorbimento o stoccaggio.

La metodologia dell'analisi metabolica può dunque costituire un modello applicabile a molti aspetti del funzionamento degli insediamenti e da ognuno di questi è possibile trarre indicazioni sugli impatti esportati dall'organismo urbano. Inoltre, unire i diversi ambiti di analisi all'interno di un unico strumento potrebbe costituire un importante passo avanti nella comprensione del funzionamento dei processi urbani in un'ottica di riduzione degli impatti.

Un punto di fondamentale importanza rimane quello della definizione degli indicatori che, come illustrato nel paragrafo 2.5 del Capitolo 2, è necessario siano condivisi, facilmente calcolabili, consolidati nella metodologia di calcolo e certi nelle indicazioni. L'analisi metabolica richiede indicatori di performance e non di strategia, si basa infatti sulla misura quantitativa dell'entità dei flussi e dunque degli impatti a questi correlati. Per la definizione di uno strumento utile all'analisi metabolica è necessaria la definizione di un set di indicatori metabolici che sappiano essere significativi nei diversi ambiti prima accennati. L'indicatore IMSE definito in questa ricerca potrebbe essere collocato all'interno di questo set in quanto capace di riassumere in un unico valore un giudizio sul bilancio energetico e sul suo impatto.

Un ulteriore passo in avanti potrebbe essere costituito dal calcolo della superficie territoriale necessaria per riuscire a soddisfare le forniture dei flussi in entrata o smaltire gli scarti di quelli in uscita dalla città. Dunque potrebbe esser applicata la stessa metodologia del calcolo dell'impronta ecologica elaborata da Wackernagel e Rees (Rees 1996) ma invece che misurare gli ettari globali necessari alle diverse attività potrebbe esser indirizzata a misurare la dimensione e la tipologia dei territori necessari a forniture e smaltimento dei flussi. In questo modo si otterrebbe una proiezione delle necessità territoriali necessarie per il funzionamento dei diversi ambiti del metabolismo urbano.

Strumenti basati sulla metodologia di calcolo illustrata in questa ricerca potrebbero essere molto utili oltre che nella definizione dei progetti anche nel fornire feed back di strategie o progetti realizzati. Il fine della valutazione nei progetti che mirano ad una transizione verso la sostenibilità è infatti di riuscire a tracciare percorsi sempre più chiari e definiti verso gli obiettivi preposti (Brandon, Lombardi 2005, Hart 1999).

L'impiego di strumenti di valutazione che sappiano oltre che esprimere il grado di prestazione raggiunta anche mettere in evidenza le eventuali criticità o inefficienze dei processi attuati può essere molto efficace per migliorare le politiche in atto. Ad esempio, sarebbe utile la definizione di uno strumento di valutazione che pur monitorando l'efficienza degli elementi del sistema con indicatori di performance, come ad esempio, quelli inerenti la classe energetica di appartenenza delle abitazioni, dall'altra sapesse cogliere le caratteristiche metaboliche del sistema andando quindi a monitorare anche i flussi energetici in entrata nel sistema e destinati alla climatizzazione delle abitazioni. In questo modo si riuscirebbe a mettere in relazione la caratteristica tecnologica e funzionale del singolo edificio con il comportamento del distretto urbano nel suo complesso. Questo tipo di approccio permetterebbe di cogliere eventuali idiosincrasie quale ad esempio quella illustrata nel Capitolo 2 che ha evidenziato come nel contesto europeo ad un aumento dell'efficienza nell'ambiente costruito sia corrisposto negli ultimi anni un parallelo aumento dei consumi energetici.

Come è stato illustrato nel Capitolo 4 i flussi in entrata ed in uscita possono essere diminuiti attraverso azioni che agiscono sui processi metabolici della città. In particolare la creazione di cicli chiusi virtuosi e lo sfruttamento di risorse rinnovabili locali sono le due strategie più efficaci per migliorare il metabolismo e diminuirne gli impatti.

Una delle difficoltà riscontrate nella costruzione dello scenario per il caso studio è stata reperire dati inerenti la presenza di risorse rinnovabili locali ed il loro possibile sfruttamento. Ad eccezione dell'irraggiamento solare, non esistono attualmente banche dati o mappe o strumenti GIS che forniscano indicazioni inerenti le risorse locali e la loro quantificazione in un'ottica di possibile utilizzo. Dal momento che lo sfruttamento di risorse locali rinnovabili è stato dimostrato

essere un utilissimo mezzo per diminuire gli impatti, sarebbe auspicabile la nascita di mappature delle risorse naturali in tutti i luoghi in cui sorgono insediamenti o dove ne siano previsti di nuovi. Queste potrebbero evidenziare la sfruttabilità di particolari condizioni geotermiche, la presenza di canali o condutture adatte ad un uso idroelettrico, la quantità e tipo di alberi o la presenza di altri tipi di biomassa, come anche le condizioni eoliche e meteoriche. Queste mappe dovrebbero essere unite agli strumenti di pianificazione urbanistica e territoriale, esserne parte integrante e costituire un dato di progetto attorno al quale costruire una pianificazione a basso impatto. La pianificazione dell'ambiente costruito dovrebbe avere origine da una metodologia che unisca i bisogni socio economici di un dato territorio con le sue caratteristiche e risorse naturali. Come illustrato nel Capitolo 3 gli strumenti di pianificazione più diffusi non hanno la capacità di cogliere e di gestire questa sintesi, si basano generalmente su di un dimensionamento standard, uniformando i diversi contesti in un unico modello basato su relazioni ed equilibri socio economici. Pertanto è necessario lo sviluppo di nuovi strumenti sia di pianificazione sia di valutazione che abbiano un nuovo approccio, che parta dalle risorse e dalle specificità territoriali, sia più inclusivo e tenga conto dei possibili impatti alle diverse scale di progetto.

Dall'analisi effettuata sia sugli otto eco distretti europei sia sul caso studio dell'Ex Scalo Vanchiglia a Torino si evince che finchè le risorse naturali del territorio non verranno valorizzate ed incluse nei processi pianificatori sarà difficile strutturare centri urbani che non siano parassiti di altri territori e di conseguenza che non siano intrinsecamente deboli e poco resilienti nell'affrontare qualunque cambiamento nelle forniture provenienti dall'esterno e nello smaltimento degli scarti.

Limiti della metodologia usata

L'approccio metabolico all'analisi urbana si presta ad esser utilizzato nella ricerca della sostenibilità della città perchè sostituisce un'analisi delle parti di un sistema complesso, quale quello della città, con l'analisi del funzionamento

dell'organismo stesso della città. In questo modo offre la possibilità di leggere i fenomeni urbani alle diverse scale senza perdere una visione d'insieme.

Bisogna però tener conto che tutti i sistemi di analisi urbana devono obbligatoriamente attuare un processo di semplificazione per estrapolare e sintetizzare i fenomeni da analizzare che per loro natura sono fortemente connessi l'uno con l'altro. La complessità urbana è tale per cui qualunque strumento di osservazione risulta inefficace se non riesce ad attuare una semplificazione attraverso un approccio riduzionista, ovvero una approccio che classifichi e divida l'esistente in categorie e processi fra loro separati.

Per effettuare l'analisi metabolica è necessario ad esempio tracciare dei confini che dividono il distretto analizzato dal territorio circostante. Una divisione dicotomica che è molto artificiale, appartiene ad un modello di analisi cartesiana che separa l'oggetto osservato dal contesto, una metodologia di analisi che, dopo la fine dell'era industriale, sta dimostrando sempre più spesso l'incapacità di cogliere la complessità dei fenomeni reali.

La definizione di ambiente costruito è cambiata molto nel tempo ed è tuttora in fase di ridefinizione, appartiene ad un ambito culturale, piuttosto che ad un ambito fisico, ed è quindi soggetta al mutamento dei valori socio culturali di un certo territorio oltre che della sua conformazione fisica.

Un'analisi non improntata sul riduzionismo considera ambiente naturale ed ambiente costruito come un'unica entità, inscindibile e con equilibri continuamente variabili nel tempo (Capra 1992); tuttavia, questo tipo di approccio porterebbe ad una tale complessità della metodologia di analisi che si rischierebbe di perdere gli obiettivi principali per cui viene svolta. In questa ricerca, si è quindi cercato di indirizzare l'analisi verso la definizione di uno strumento di progetto e valutazione con il fine di diminuire gli impatti energetici di un contesto urbano consci del fatto che la metodologia applicata ha un intrinseco approccio riduzionista ed offre quindi un'interpretazione parziale e relativa della realtà urbana.

Dunque, l'analisi metabolica urbana presuppone delle limitazioni e dei vincoli. Innanzitutto è un modello di analisi che divide l'esistente in territorio urbanizzato e territorio non urbanizzato, mentre in molti contesti territoriali questa divisione è

concretamente difficile da effettuare, se non priva di significato (Ingegnoli 2011, Ingerasoll 2004, Donadieu 2006).

Negli ultimi cinquant'anni, molte regioni sono state invase da un'urbanizzazione diffusa e sfrangiata di difficile perimetrazione; si pensi ad esempio all'area della Pianura Padana compresa tra Torino, Milano e Genova (Camagni 2002, 1999). Questo limite rende l'analisi metabolica agevole ed efficace in ambiti urbani compatti e consolidati, ma più difficile ed incerta in contesti periurbani o semi rurali quali ad esempio quelli delle infinite conurbazioni delle grandi città.

Va poi aggiunto che la definizione dei limiti di analisi non sempre corrisponde alla reale estensione territoriale dei processi che vengono analizzati. Ad esempio un impianto di cogenerazione a biomassa può utilizzare legna proveniente dalla potatura o dalla manutenzione di alberi situati nella fascia periurbana e in parchi esterni all'abitato. In questo caso, la biomassa proviene da aree esterne al contesto strettamente urbano, e dunque fuori dal perimetro di analisi, ma allo stesso tempo facenti parte del sistema urbano, per prossimità fisica o per le funzioni svolte. In queste particolari situazioni, la metodologia presenta una certa aleatorietà in quanto va valutata di volta in volta la classificazione della provenienza urbana o extraurbana della risorsa rinnovabile a seconda del contesto e dell'estensione dei processi che vengono innescati.

In secondo luogo, va aggiunto che, come spiegato nell'Introduzione della presente ricerca, ogni fenomeno fisico che si manifesta all'interno di un contesto urbano va letto anche attraverso le sue componenti economiche e sociali che costituiscono un determinante del fenomeno stesso. Dunque l'analisi metabolica è uno strumento che dovrebbe sempre esser integrato con strumenti più complessi che comprendano anche le dimensioni sociali ed economiche e che riescano ad evidenziarne i nessi. Anche in questo ambito, la necessità di tracciare prioritariamente dei confini costituisce un grosso limite.

I fenomeni socio economici sono spesso difficili da tracciare e definire spazialmente e la loro estensione non è detto che coincida con l'estensione fisica dell'azione da cui sono generati. Ad esempio, in un distretto, l'avvio di impianti per la raccolta delle risorse rinnovabili locali e di infrastrutture per il loro uso energetico

potrebbe innescare processi economici positivi ramificati sul territorio ed estesi ben oltre i confini fisici del distretto stesso.

In conclusione si può affermare che la metodologia presentata si presta ottimamente ad analisi di insediamenti urbani ben definiti, compatti e sedimentati. Questa tipologia urbana può essere identificata con le cittadine europee di media grandezza, ovvero al di sotto dei 500.000 abitanti, o con i distretti "storici" delle grandi metropoli o con i distretti di nuova fondazione che sono sorti seguendo fedelmente un piano-progetto coerente, come ad esempio gli eco-distretti analizzati nel Capitolo 5. Sorgono invece diverse criticità nell'analisi di insediamenti meno "tradizionali" dai confini vaghi o labilmente identificabili o in quei contesti in cui un tessuto territoriale misto e complesso rende labili i confini tra territorio costruito e non costruito.

Va sottolineato inoltre che la questione dei confini è da sempre una delle problematiche più grosse di tutti gli studi che si approcciano alla sostenibilità, una questione intrinseca alla definizione stessa di sostenibilità.

In prospettiva l'analisi metabolica urbana potrebbe essere integrata in una piattaforma in grado di gestire i dati ambientali dei sistemi ecologici, i valori culturali e sociali, e la comprensione delle dinamiche economiche. Una sorta di strumento gestionale e pianificatorio che sia una "sfida alla complessità", sfida necessaria per approdare ad una comprensione esaustiva delle dinamiche urbane nella prospettiva di una città realmente sostenibile.

Verso questa direzione si muovono i progetti che fanno parte della strategia delle cosiddette "Smart Cities" che costituiscono oggi il più avanzato tentativo di elaborare strategie di sostenibilità in cui siano incorporate le dimensioni ambientale, sociale ed economica (Campbell 2012).

Il concetto di "Smart City" nasce dalla consapevolezza che oggi la performance urbana non dipende più unicamente dalla infrastrutturazione fisica della città ma anche, ed in modo sempre più significativo, dalla disponibilità e dalla qualità della comunicazione del sapere e del capitale sociale ed intellettuale (Giffinger 2007).

I progetti che mirano alla realizzazione delle Smart Cities sono rivolti ad attivare sinergie nei campi della comunicazione, della mobilità, dell'ambiente e

dell'efficienza energetica con grande attenzione per le connessioni esistenti tra questi settori, la ricerca e l'impresa. La trasmissione della conoscenza è considerata un fattore prioritario per il raggiungimento della "Smartness" e pertanto le università ed i centri di ricerca assumono un ruolo centrale (Lombardi 2012). In questo nuovo modello di strategia la dimensione multidisciplinare è prioritaria, senza muri e separazioni tra gli ambiti disciplinari è possibile un approccio focalizzato a creare cicli virtuosi che siano a loro volta inneschi di altre trasformazioni urbane rivolte alla sostenibilità.

Le tecnologie dell'informazione e della comunicazione assumono nella Smart City un ruolo centrale in quanto connessione tra diversi saperi ed i relativi dati e permettono un accesso diffuso e capillare sia all'immissione ed alla consultazione dei dati sia alla parametrizzazione di molte funzioni della città stessa.

Tuttavia le Smart Cities corrono il rischio di far prevalere l'aspetto competitivo su quello collaborativo, la dimensione economica su quella sociale e la tecnocrazia sull'uso razionale delle tecnologie dell'informazione limitato. Se queste sfide verranno vinte le Smart Cities, le analisi urbane e le strategie a queste legate costituiranno il primo passo verso la trasformazione delle città in insediamenti finalmente sostenibili.

9. Bibliografia

Alanne K., Saari A. (2011), *Sustainable small-scale CHP technologies for buildings: the basis for multi-perspective decision-making*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, n. 8, pp. 401–431

Archer L.C., Jacobson M.Z. (2005), *Evaluation of global wind power*, Journal Of Geophysical Research, Vol. 110, D12110, doi:10.1029/2004JD005462

Arthur R., Brew-Hammond A. (2010), *Potential biogas production from sewage sludge: A case study of the sewage treatment plant at Kwame Nkrumah university of science and technology, Ghana*, International Journal of Energy and Environment (IJEE), Volume 1, Issue 6, 2010, pp.1009-1016

Babalis D. (2004), *Ecological design for an effective urban regeneration*, Firenze : University Press

Babalis D. (2007), *Ecopolis*, Firenze : Alinea

Babalis D. (2008), *Urban design: the ecological thinking*, Firenze : Alinea

Banks C. J., Chesshire M, Heaven S., Arnold R. (2010), *Anaerobic digestion of source segregated domestic food waste: performance assessment by mass and energy balance*, Bioresource Technology, 102, (2), pp. 612-620

Barles S. (2009), *Urban Metabolism of Paris and Its Region*, Journal of Industrial Ecology, Volume 13, Number 6

Beatley T. (1995), *Planning and sustainability: the elements of a new paradigm*, Journal of Planning Literature, n. 4 vol. 9 1995, pp. 384 - 395

Bell M., Lowe R. (2000), *Energy Efficient Modernisation of Housing: a UK case study*, Energy and Buildings, n. 32 pp. 267–280

Berrini M., Colonetti A. (2010), *Green life: costruire città sostenibili*, Bologna : Compositori

BioRegional Development Group (2009), *BedZED seven years on: The impact of the UK's best known eco-village and its residents*, BedZED Centre : Wallington

- Boonekamp P. (2006), *Actual interaction effects between policy measures for energy efficiency—A qualitative matrix method and quantitative simulation results for households*, Energy, Volume 31, Issue 14, pp. 2848–2873
- Bosio M., Frate M. (2010), *Strategie per il progetto della citta' sostenibile*, Marsilio : Venezia
- Bossel H. (1998), *Earth at a crossroads*, Cambridge University Press : Cambridge
- Bosselmann Klaus (2008), *The principle of sustainability*, Farnham : Ashgate
- Bottero M., Lami I., Lombardi P. (2008), *La valutazione di scenari di trasformazione urbana territoriale*, Firenze : Alinea
- Brandon P.S., Lombardi P. (2005), *Evaluating sustainable development in the built environment*, Oxford : Wiley-Blackwell
- Brogren M., Green A., (2003), *Hammarby Sj .ostad—an interdisciplinary case study of the integration of photovoltaics in a new ecologically sustainable residential area in Stockholm*, Solar Energy Materials & Solar Cells, n. 75, pp. 761–765
- Brookes L.G.(1978), *Energy policy,the energy price fallacy and the role of nuclear energy in the UK*, Energy Policy, 6(2),pp. 94–106
- Brookes L.G. (2000), *Energy efficiency fallacies revisited*, Energy Policy, n. 28, pp. 355-366
- Browne D., O'Regan B., Richard Moles R. (2011), *Assessment of total urban metabolism and metabolic inefficiency in an Irish city-region*, Waste Management, n. 29 pp. 2765–2771
- Brown L. (2009), *Plan B 4.0: Mobilizing to Save Civilization*, New York : W W Norton & Co Inc
- Brugmann J. (2010), *Welcome to the urban revolution*, Bloomsbury Press : New York
- Bunch, J.B., Miller P. A., Richard D., Wheeler J. E. (1982), *Distribution System Integrated Voltage and Reactive Power Control*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, n.2 p. 284 - 289
- Busch G., Großmann J., Sieber M., Burkhardt M. (2009), *A New and Sound Technology for Biogas from Solid Waste and Biomass*, Water Air Soil Pollut: Focus, n. 9, pp. 89–97
- Butera F. M. (2007), *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente : Milano

- Camagni R. (1999), *La pianificazione sostenibile delle aree periurbane*, Bologna : Il mulino
- Camagni R., Gibelli M., Rigamonti P. (2002), *I costi collettivi della citta' dispersa*, Firenze : Alinea
- Campbell T. (2012), *Beyond Smart Cities: How Cities Network, Learn and Innovate*, New York : Routledge
- Capra F. (1982) *The Turning Point*, Simon and Schuster : New York
- Capra F. (1992) *The tao of physics*, Flamingo : London
- Capra F. (1997) *The web of life*, Flamingo : London
- Carlsson-Kanyama A., Engstrom R., Kok R. (2005), *Indirect and direct energy requirements of city households in Sweden*, Journal of Industrial Ecology, 9 (1–2),pp. 221–236
- Carpinelli M. (2008), *Valutazione dell' Eco-compatibilità di Interventi Edilizi ed Urbanì* tesi di Dottorato, Politecnico di Torino, XIX ciclo
- Carson R. (1962), *Silent spring*, Mariner books : New York
- Castelli G. (2010), *Valdespartera a saragozza la città dell'acqua e del vento cattura il sole*, Urbanistica, n. 141
- Castelli G. (2010), *Solar City a Linz : Qualità, bassi consumi, regia pubblica*, Urbanistica n. 141, pp. 58-60
- Catton W. (1986), *Carrying capacity and the limits to freedom*, (18 August, 1986), Paper prepared for Social Ecology Session 1, New Delhi, India: XI World Congress of Sociology
- Catton W. (1987), *The World's Most Polymorphic Species*, BioScience, Vol. 37, No. 6, Jun., 1987, pp. 413-419
- Cecchini D., Castelli G. (2010), *Esperienze di quartieri sostenibili in Europa*, Urbanistica n. 141, pp. 42-67
- Chambers N.(2002), *City Limits A resource flow and ecological footprint analysis of Greater London*, Best Foot Forward Ltd : Oxford
- Chartered Institution of Wastes Management (2002), *A Resource Flow and Ecological Footprint Analysis of Greater London*, Best foot forward : Oxford
- Chrisna du Plessis (2009), *An ecological worldview perspective on urban sustainability*, Presented at ELECS 2009, Recife, Brazil, 28-30 October 2009

Città di Torino - Divisione Urbanistica ed Edilizia Privata (2010), VARIANTE N. 200 AL PRG - VARIANTE STRUTTURALE AI SENSI DELLA L.R. 56/'77 E S.M.I. E DELLA L.R. 1/'07 - LINEA 2 DI METROPOLITANA E QUADRANTE NORD-EST DI TORINO - Progetto Preliminare - Relazione Illustrativa"

Città di Torino - Divisione Urbanistica ed Edilizia Privata (2010), NORME URBANISTICO – EDILIZIE DI ATTUAZIONE - ESTRATTO VOLUME II - VARIANTE

Cohen C., Lenzen M., Schaeffer R. (2005), *Energy requirements of households in Brazil*, Energy Policy, 33, pp. 555–562

Colarossi P. (2010), *Il paesaggio dei quartieri sostenibili*, Urbanistica, n. 142 pag. 103

Costanza R. (1997), *The value of the world's ecosystem services and natural capital*, Nature, 387 (6630), pp. 253-260

Costanza R., Daly H., (1992), *Natural capital and sustainable development*, Conservation Biology, n. 1, pp.37-45

Curwell S., Deakin M., Symes M. (2005), *Sustainable urban development, vol. 1*, London : Routledge ; New York

D'Acci L., Lombardi P. (2010), *MuSIC - A multi-scalar index for evaluating sustainability in cities*, Sustainable Architecture & urban development, CSAAR - Center for the Study of Architecture in Arab Region (JOR) pp. 16, Vol. 3

Dall'Ò G. (2009) *Efficienza energetica e rinnovabili nel regolamento edilizio comunale : programmazione, controllo e gestione di uno strumento operativo per la pianificazione sostenibile del territorio*, Milano : Edizioni Ambiente

Dall'O' G. (2011), *Green Energy Audit*, Edizioni Ambiente : Milano

Daly H. (1986), *Comments on "Population Growth and Economic Development"*, Population and Development Review, n. 12, pp.583-585

Daly H. (1990), *Sustainable development: From concept and theory towards operational principles In Steady State Economics, 2nd ed.*, Island Press : Washington

Daly H. (1991), *Towards an Environmental Macroeconomics*, Land Economics, n. 67, pp. 255-259

Daly H. (2005), *Economics in a full world*, Scientific American, September 2005, Vol. 293, Issue 3

Daly H., Farley J. (2004), *Ecological Economics, Principles and Application*, Washington : Island Press

Davey P. (2002), *Eco Urbanity: Housing*, Greenwich, London, Architectural Review: January, v.211, n.1259, pp. 40-45

Davis S. J., Caldeira K. (2010), *Consumption-based accounting of CO2 emissions*, PNAS, March 23, vol. 107, no. 12, pp. 5687–5692

Dematteis G., Governa F. (2005), *Territorialita', sviluppo locale, sostenibilita': il modello Slot*, Franco Angeli : Milano

Despommier D., Carter M. (2010), *The vertical farm*, St. Martin Press : New York

Dia M. (1992), *Indigenous management practices: lessons from Africa management in the '90s*, Proceedings: Conference on Culture and Development in Africa, Washington, 2 - 3 April, pp. 165 -192, World Bank : Washington D.C.

Diamond J. (2005), *Collapse*, Penguin Books : London

Diappi L. (2000), *Sostenibilita' urbana: dai principi ai metodi di analisi*, Torino: Paravia

Dimitropoulos J. (2007), *Energy productivity improvements and the rebound effect: An overview of the state of knowledge*, Energy Policy 35, pp. 6354–6363

Donadieu P. (2006), *Campagne Urbane: una nuova idea di paesaggio della citta'*, Roma : Donzelli

Douglas F., Duany A. (2008), *Sustainable urbanism: urban design with nature*, Hoboken : Wiley

Droege P. (2006), *Renewable City*, Wiley Academy : Chichester

Droege P. (2010), *100% Renewable Energy and Beyond for Cities*, Hamburg : HafenCity University Hamburg and World Future Council Foundation

EEA (2007), *European Environment Agency. Halting the loss of biodiversity by 2010: proposal for a first set of indicators to monitor progress in Europe (Technical Report, 11)*, Copenhagen : European Environment Agency

European Small Hydropower Association (2004), *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant*, Brussels : ESHA

Ewing B., Reed A., Galli A., Kitzes J., and Wackernagel M. (2010), *Methodology for the National Footprint Accounts*, Oakland: Global Footprint Network

Ferlaino F. (2005), *La sostenibilità ambientale del territorio: teorie e metodi*, Torino : UTET

Fitch J. (1999), *American Building: the forces that shape it*, Oxford University Press Inc.; 3rd Revised edition

Foley A. (2011), *Solutions for a cultivated planet*, Nature, Vol. 478/24 pp. 337-342

Fracastoro G.V., Serraino M. (2009), Valutazione Delle Prestazioni Energetiche Degli Edifici Alla Scala Provinciale, Contratto di consulenza 1064/2008: Provincia di Torino - Dipartimento di Energetica – Politecnico di Torino

Fregolent L., Indovina F. (2002), *Un futuro amico : sostenibilità ed equità*, Milano : Franco Angeli

Friedman Y. (2009), *L'architettura della sopravvivenza*, Torino : Bollati Boringhieri

Gasson B. (2001), *The ecological footprint of Cape Town: unsustainable resource use and planning implications*, Paper presented at SAPI Conference: Planning Africa, 17–20 September, Durban, South Africa

Geller H. (2002), *Energy revolution: policies for a sustainable future*, Washington D.C. : Island Press

Geogescu-Roegen N. (2003), *Bioeconomia*, Torino : Bollati Boringhieri

Geogescu-Roegen N. (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press : Cambridge

Gibelli M., Salzano E. (2006), *No sprawl*, Firenze : Alinea

Giffinger R., Fertner C., Kramar H., Kalasek R., Pichler-Milanovic N., Meijers E. (2007), *Smart cities – Ranking of European medium-sized cities*, Vienna : Centre of Regional Science

Girardet H. (1992), *The gaia atlas for cities*, London : Gaia Books

Girardet H. (2008), *Cities, People, Planet*, Chichester : John Wiley and Sons Ltd.

Greater London Authority (2003), *London's Ecological Footprint*, London : Greater London Authority

Greening L.A., Greene D.L., Difiglio C., (2000), *Energy efficiency and consumption—the rebound effect—a survey*, Energy Policy, 28(6–7), pp.389–401

Gudni A., Valgardur S., Grímur B., Jiurong L. (2005), *Sustainable Management of Geothermal Resources and Utilization for 100 – 300 Years*, Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005

Hart M. (1999), *Guide to Sustainable Community Indicators, Second Edition*, North Andover, MA : Sustainable Measures

Hartwick J. (1977), *Intergenerational Equity and the Investment of Rents from Exhaustible Resources*, *American Economic Review*, 67, December, pp. 972-74

Hawkes D., Owers J., Rickaby P., Steadman P. (1987), *Energy and urban built form* Cambridge : Butterworths

Heinze M., Voss K. (2009), *Goal: Zero Energy Building, Exemplary Experience Based on the Solar Estate Solarsiedlung Freiburg am Schlierberg, Germany*, *Journal of Green Building*, n. 4, V. 4, pp. 1-8

Hendriks C., Obernosterer R., Muller D., Kytzia S., Baccini P., Brunner P.H. (2000), *Material flow analysis: a tool to support environmental policy decision-making – case studies on the city of Vienna and the Swiss lowlands*, *Local Environment*, n.5, pp. 311–328

Hong S., Oreszczyn T., Ridley I. (2006), *The impact of energy efficient refurbishment on the space heating fuel consumption in English dwellings*, *Energy and Buildings*, n. 38, pp. 1171–1181

Horner M. (2004), *Environmental assessment methods*, Report number 15961, Building Research Establishment Ltd., Dundee : University of Dundee

Ingegnoli V. (2011), *Bionomia del paesaggio*, Springer - Verlag : Italia

Ingersoll R. (2004), *Sprawltown : cercando la città in periferia*, Roma : Meltemi

Intergovernmental Panel Climate Change (2007), *IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)*, Cambridge : Cambridge University Press

International Energy Agency (2009), *Cogeneration and district Heating*, Paris : IEA Publications

International Energy Agency (2008), *World Energy Outlook 2008*, Paris : IEA Publications

International Energy Agency (2010), *World Energy Outlook 2010* Paris : IEA Publications

Jencks M., Dempsey N. (2005), *Future forms and design for sustainable cities*, Oxford : Architectural press Elsevier

Jencks M., Williams K., Burton E. (2007), *The Compact City: A Sustainable Form?*, Oxford : Taylor & Francis

Jenks M., Kozak D., Takkanon P. (2008), *World cities and urban form : fragmented, polycentric, sustainable?*, London ; New York : Routledge

Jevons W. S. (1865), *The coal question*, London : Macmillan and Co

Jonas A., Haneder H. (2001), *Energie aus Holz*, St. Pölten (A) : Niederösterreichische Landes- Landwirtschaftskammer

Jos O., Greet J., Jeroen P. (2011), *Trends in global CO2 emissions: 2011 Report*, The Hague/Bilthoven PBL Netherlands Environmental Assessment Agency

Jos O., Greet J., Jeroen P. (2012), *Trends in global CO2 emissions: 2012 Report*, The Hague/Bilthoven PBL Netherlands Environmental Assessment Agency

Kanoglu M., Dincer I. (2009), *Performance assessment of cogeneration plants*, Energy Conversion and Management, 50, pp. 76–81

Khazzoom J.D. (1980), *Economic implications of mandate deficiency in standards for household appliances*, Energy Journal, 1(4), pp. 21–40

Kibert C. (2012), *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery*, Chichester : Wiley

Knowles R. (1981), *Energia e forma: un approccio ecologico allo sviluppo urbano*, Padova : Muzzio

Knowles R. (2006), *Ritual house, ritual city: drawing on nature rhythms for architecture and urban design*, Washington D.C. : Island Press

LaGro J. A. jr. (2008), *Site analysis : a contextual approach to sustainable land planning and site design*, Hoboken : Wiley

Latouche S. (2005), *Come sopravvivere allo sviluppo. Dalla decolonizzazione dell'immaginario economico alla costruzione di una società alternativa*, Torino : Bollati Boringhieri

Lima A. (2010), *Per un'architettura come ecologia umana studiosi a confronto*, Milano : Jaca Book

Lombardi P. (2009), *Evaluation of Sustainable Urban Redevelopment Scenarios*, Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers, Urban Design And Planning, vol. 162, pp. 179-186

Lombardi P., Cooper I. (2009), *The challenge of The eAGORA metrics: the social construction of meaningful measurements*, Internationale Journal o Sustainable development, Vol. 12, N.. 2/3/3, pp. 210-222

Lombardi P. (2008), *Riuso edilizio e partecipazione urbana*, Torino : Celid

Lombardi, P., Cooper I., (2007), *Progress toward Sustainable Development in a Knowledge Society in Italy and EU*, Proceedings of the International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment (eds M. Horner, C. Hardcastle, A. Price & J. Bebbington), June 2007, University of Glasgow

Lombardi P., Giordano S. (2012), *Evaluating the european smart cities visions of the future*, International Journal Of The Analytic Hierarchy Process, vol. 4 n. Issue , pp. 27-40

Lombardi P., Giordano S., Farouh H., Wael Y. (2012), *Modelling the smart cities performances*, Innovation, vol. 25 n. 2, pp. 137-149

Lovelock J. (2000), *Gaia: A New Look at Life on Earth (3rd ed.)*, Oxford : University Press

Lysen E. H. (1996), *The Trias Energetica - Solar Energy Strategies for developing countries*, Proceedings of the Eurosun Conference, 16 - 19 September, Freiburg

Madlener R., B.Alcott B. (2009), *Energy reboundand economic growth: A review of the main issues and research needs*, Energy, n. 34, pp.370–376

Meadows D.H., Meadows D.L., Jorgen R. (1972), *I limiti dello sviluppo*, Milano : Mondadori

Meadows D.H., Meadows D.L., Jorgen R. (2006), *I nuovi limiti dello sviluppo*, Milano : Mondadori

Mills E. (2005), *Insurance in a climate of change*, Science, n. 309, 5737, 12 August, pp. 1040-1044

Minx J., Creutzig F., Medinger V., Ziegler T., Owen A., Baiocchi G. (2010), *Developing a pragmatic approach to assess urban metabolism in Europe Stockholm*, Environment Institute & Technische Universität Berlin

Moccia F. (2009), *L'urbanistica nella fase dei cambiamenti climatici*, Urbanistica, n. 140

Moffat S., Kohler N. (2008), *Conceptualizing the built environment as a social ecological system*, Building Research and Information, n. 36 (3), pp. 248 -268

Mougeot L. J. (2005), *Agropolis, The Social, Political, and Environmental Dimensions of Urban Agriculture*, London : Earthscan

Newman P. Kenworthy J.R. (1989), *Gasoline consumption and cities*, Journal of the American Planning Association, Vol. 55, n.1, pp. 24-37

Newman P. Kenworthy J.R. (1999), *Sustainability and cities, overcoming automobile dependence*, Washington D.C. : Island Press

Newman P., Jennings I. (2008), *Cities as sustainable ecosystem Principles and Practices*, Washington D.C. : Island Press

Odum H.T. (1971), *Environment, Power, and Society*, New York : Wiley-Interscience

Odum H.T. (1988), *Self-organization, transformity, and information*, Science, n. 242, pp. 1132–1139

Odum H.T. (1996), *Environmental Accounting: Energy and Environmental Decision Making*, New York : John Wiley and Sons Inc.

Olgay V. (1963), *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*, Princeton : Princeton University

Owen D. (2009), *Green metropolis*, New York : Riverhead books

Pagani R., Matteoli L. (2010), *City futures*, Milano : Hoepli

Patassini D. (2006), *Esperienze di valutazione urbana*, Milano : Franco Angeli

Provincia di Torino (2010), *Rapporto sull'energia 2010*, Torino : Provincia di Torino

Pulselli R. M., Romano P. (2009), *Dinamiche dei Sistemi Urbani. Indagine di un'Area Metropolitana*, Firenze : Alinea

Pulselli R. M., Tiezzi E. (2008), *Città fuori dal caos*, Roma : Donzelli

Phillips R., Blackmore P., Anderson J., Clift M., Aguilo-Rullan A., Pester S. (2007), *Micro-wind turbines in urban environments - an assessment*, Bracknell : IHS BRE Press

Radović D. (2009), *Eco-urbanity : towards well-mannered built environments* London : Routledge ; New York

Rees W. (1992), *Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out*, Environment and Urbanization, n.4; pp. 121-130

Rees W. (1999), *Achieving sustainability: reform or transformation?*, Satterthwait D. Ed., The earthscan reader in sustainable cities, pp. 22-61, London : Earthscan

Rees W. E., Wackernagel M. (1996), *L'impronta ecologica: come ridurre l'impatto dell'uomo sulla terra*, Milano : Ed. Ambiente

Rees W. E., Wackernagel M. (1996), *Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are a key to sustainability*, Environmental Impact Assessment Review, 16, pp.223 - 248

Rockstrom J.(2009), *A safe operating space for humanity*, Nature, Vol. 461/24 pp. 472-475

Rossaro M. (2003), *La sostenibilità non è un'utopia, Esperienze europee di quartieri sostenibili*, Ambiente Costruito, n. 3, pp. 9-11

Rubini L. (2011), *Il nuovo edificio green*, Hoepli : Milano

Rybach L. (2007), *Geothermal sustainability*, Proceedings European Geothermal Congress 2007, Unterhaching, Germany, 30 May - 1 June, 2007

Rybach L., Mongillo M. (2006), *Geothermal Sustainability — A Review with Identified Research Needs*, GRC Transactions, Vol. 30, pp. 1083 - 1090

Sanders C. Phillipson M. (2006), *Review of Differences between Measured and Theoretical Energy Savings for Insulation Measures*, Glasgow : Glasgow Caledonian University

Sanyal K. S. (2005), *Sustainability and Renewability of Geothermal Power Capacity*, Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005

Saragosa C. (2005), *L'insediamento umano*, Roma : Donzelli editore

Saunders H. (1992), *The Khazzoom–Brookes postulate and neoclassical growth*, The Energy Journal, October n. 1

Scheer H. (2004), *Il solare e l'economia globale*, Milano : Ed. Ambiente

Schendler A., Udall R. (2005), *LEED is broken, let's fix it*, Grist, 26 October, www.grist.org

Schroepfer T., Werthmann C., Hee L. (2009), *TRANSURBAN: Charting Experiments for Cities of the Future - CASE STUDY 03: EcoCity Valdespartera*, Cambridge : Harvard University Graduate School of Design

Schumacher E.F. (1973), *Small is beautiful*, London : Blond Briggs

Settis S. (2010), *Paesaggio, Costituzione, Cemento*, Torino : Einaudi

Sgobbo A. (2010), *Un impianto di biogas in ogni quartiere*, Urbanistica Informazioni, n. 232 luglio-agosto

Sosnowsky P., A.Wieczor A., Ledakowicz S. (2003), *Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes*, *Advances in Environmental Research*, n. 7 , pp. 609–616

Suzuki H, Dastur A., Moffat S., Yabuki N., Maruyama H. (2010), *Eco2 cities*, Washington D.C. : The world bank

Therivel, R. (2004), *Sustainable Urban Environment – Metrics, Models and Toolkits: Analysis of sustainability/social tools*, Oxford : North Hinksey Lane.

Tillie N. (2009), *Towards CO2 neutral urban planning - presenting the Rotterdam energy approach and planning (REAP)* - 45th ISOCARP Congress 2009

Tonell L. (2006), *Sustainable Urban Development: the case of Hammarby Sjostad*, Stockholm : Kulturgeografiska Institutionen Stockholms Universitet

Tsao J.Y.,Saunders H.D., Creighton J.R., Coltrin M.E., Simmons J.A. (2010), *State lighting: an energy-economics perspective*, *Journal of Physics: Applied Physics*, 43(35), 354001

Twinn C. (2003), *Bedzed*,The Arup Journal, n. 1, pp. 10 -16

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2012), *World Urbanization Prospects, the 2011 Revision*, New York : UN

United Nations General Assembly (2005). 2005 World Summit Outcome, Resolution A/60/1, adopted by the General Assembly on 15 September 2005. Retrieved on: 2009-02-17

United Nations World Commission on Environment and Development (1987),*Our Common Future*, Oxford : Oxford University Press

Van den Dobbelsteen A. (2008), *Towards closed cycles - New strategy steps inspired by the Cradle to Cradle approach* in PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008

Vigevano C. (2010), *Il modello Hammarby a Stoccolma: Forza e qualità di un approccio integrato*, *Urbanistica*, n. 141, pp. 47-50

Viljoen A., Bohn K., Howe J. (2005), *Continuous productive urban landscapes : designing urban agriculture for sustainable cities*, Burlington : Elsevier

Virulkar V. B. , Bhardwaj D. G. (1999), *Reduction of Energy Losses by Computer Aided Distribution Planning*, *IE (I) Journal-EL*, Vol. 80, pp. 70-75

Wakernagel, M.; Rees, W. E. (1997), *Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective* in *Ecological Economics*, n. 20 (1), pp. 3–24

Warren-Rhodes K., Koenig A. (2001), *Escalating Trends in the Urban Metabolism of Hong Kong: 1971–1997*, *AMBIO*, n. 30, pp. 429–438

Wolman A. (1965), *The metabolism of cities*, *Scientific American*, Vol. 213, pp. 178-190

World Business Council for Sustainable Development (1999), *Innovation, Experimentation, Adaptation, Annual Review 1999, Conches-Geneva : WBCSD*

World Meteorological Organization (2012), *The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2011*, *Wmo Greenhouse Gas Bulletin*, n. 8, 19 November

Wright P. M. (1998), *The sustainability of production from geothermal resources*, *GHC Bulletin*, September 1998, pp. 2825-2836

Yan Z., Zhifeng Y. (2007), *Eco-efficiency or urban material metabolism: a case study in Shenzhen, China*, *Acta Ecologica Sinica*, n. 27, pp.3124–3131

Yan Z., Zhifeng Y., Gengyuan L., Xiangyi Y. (2011), *Emergy analysis of the urban metabolism of Beijing*, *Ecological Modelling*, n. 222, pp. 2377– 2384

York R. (2006), *Ecological Paradoxes: William Stanley Jevons and the Paperless Office*, *Human Ecology Review*, Vol. 13, No. 2

Zanchini E. (2010), *I riflessi delle politiche climatiche della UE sulle città' in Urbanistica Informazioni*, n. 231, 2010, pp. 6-7

Zhang H. (2010), *Sludge Treatment To Increase Biogas Production*, TRITA-LWR Degree Project 10-20

10. Sitografia

Azienda Multiservizi Igiene Ambientale Torino S.p.A.

<http://www.amiat.it/index.cfm>

(consultato il 21/09/2012)

Barriera Centro Il Futuro di Torino si sposta a nord

<http://www.barrieracentro.it>

(consultato il 15/09/2012)

Beni Culturali e Ambientali nel Comune di Torino

<http://www.museotorino.it/resources/pdf/books/151/#/571/zoomed>

(consultato il 19/09/2012)

BioRegional - Solutions for sustainability

<http://www.bioregional.com>

(consultato il 7/10/2012)

CittàSostenibili

<http://www.cittasostenibili.it/Greenwich%20Millennium%20Village%20Londra.pdf>

(consultato il 1/06/2012)

Comune di Torino - Geoportale - Bando Tu TOR

<http://www.comune.torino.it/geoportale/prg/cms/masterplan-variante-200.html>

(consultato il 14/09/2012)

Defra (UK Department of the Environment, Food and RuralAffairs), Energy efficiency commitment, April2002

<http://www.defra.gov.uk/environment/climatechange/uk/household/eecS>

(consultato il 7/11/2012)

Ecociudad Valderspartera - Saragoza

<http://www.valdespartera.es>

(consultato il 2/10/2012)

ENEA - Tabelle per la radiazione solare

<http://clisun.casaccia.enea.it/Pagine/TabelleRadiazione.htm>

(consultato il 16/09/2012)

Energy Cities

<http://www.energy-cities.eu/Districts>

(consultato il 16/08/2012)

European Environment Agency - Energy efficiency and energy consumption in the transport sector (ENER 023) - Assessment published Apr 2012
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-and-energy-consumption-4/assessment>
(consultato il 29/10/2012)

European Environment Agency - Energy efficiency and energy consumption in industry (ENER 025) - Assessment published Apr 2012
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-and-energy-consumption-6/assessment>
(consultato il 29/10/2012)

European Environment Agency - Energy efficiency and energy consumption in the household sector <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-and-energy-consumption-5/assessment>
(consultato il 25/10/2012)

European Environment Agency - Energy efficiency and energy consumption in the household sector (ENER 022) - Assessment published Apr 2012
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/energy-efficiency-and-energy-consumption-5/assessment>
(consultato il 29/10/2012)

European Environment Agency - Final energy consumption by sector (CSI 027/ENER 016) - Assessment published Mar 2012
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-2/final-energy-consumption-by-sector-7>
(consultato il 29/10/2012)

Eurostat
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/statistics/search_database
(consultato il 16/08/2012)

Eurostat - Consumption of electricity by industry, transport activities and households/services
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00094&language=en>
(consultato il 29/10/2012)

Eurostat - Consumption of electricity by industry, transport activities and households/services
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00094&language=en>
(consultato il 29/10/2012)

Eurostat - Final energy consumption by industry
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=ten00099&plugin=1>

(consultato il 29/10/2012)

Eurostat - Final energy consumption, by sector - Residential

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&language=en&pcode=tsdpc320&plugin=1>

(consultato il 29/10/2012)

Greenwich Millenium Village

http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty_projects/terri/pdf/Ho.pdf

(consultato il 15 Luglio 2012)

Greenwich Peninsula Se 10

<http://www.greenwichpeninsula.co.uk>

(consultato il 9/10/2012)

Hammarbysjostad.de

<http://www.hammarbysjostad.se>

(consultato il 10/10/2012)

International Disaster Database - Université Catholique de Louvain, Brussels – Belgium

<http://www.emdat.be>

(consultato il 22/11/2012)

Laboratorio Urbanistica e territorio – Archivio quartieri

http://www.urbanistica.unipr.it/index.php?option=com_jcustomnews&task=archive&template_id=2&Itemid=86

(consultato il 1 Giugno 2012)

Linz Life - Solar City Pichling Project

<http://www.linz.at/english/life/3199.asp>

(consultato il 7/10/2012)

Malmo Stad - Sustainable City Development

<http://malmo.se/sustainablecity>

(consultato il 5/10/2012)

Passivhaus Institut

<http://www.passiv.de/index.php>

(consultato il 24/10/2012)

PROTOCOLLO ITACA PER LA VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITA' ENERGETICA ED AMBIENTALE DEGLI EDIFICI

http://www.itaca.org/valutazione_sostenibilita.asp

(consultato il 14/09/2012)

Solar Thermie 2000
<http://www.solarthermie2000.de>
(consultato il 28/09/2012)

Solarsiedlung am Schlierberg, Freiburg (Breisgau), Germany
<http://www.pvupscale.org/IMG/pdf/Schlierberg.pdf>
(consultato il 17/08/2012)

Solarthermie 2000plus
<http://www.solarthermie2000plus.de>
(consultato il 28/09/2012)

Urban Center Metropolitan - Torino
<http://www.urbancenter.to.it/indexCont.php?s=36>
(consultato il 14/09/2012)

Vauban district, Freiburg, Germany
<http://www.vauban.de/info/abstract.html>
(consultato il 17/08/2012)