Spazio urbano e infrastrutture

B 2.1

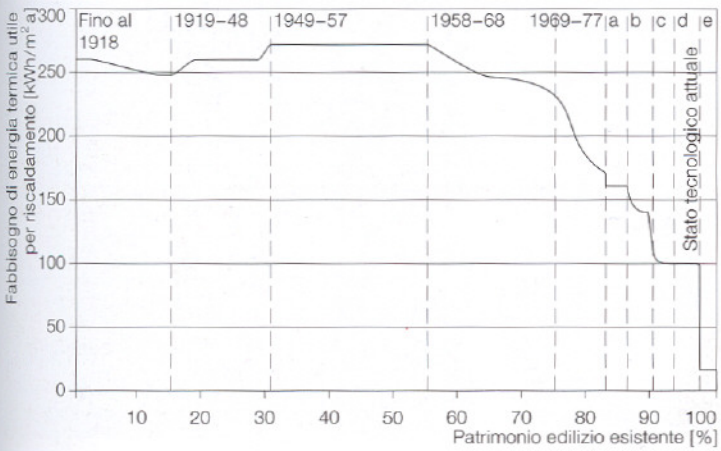
La progettazione degli edifici non può prescindere dal contesto in cui essi sono inseriti: numerosi fattori quali clima, paesaggio, topografia, contesto edilizio, trasporti e infrastrutture si ripercuotono su ogni singolo edificio e contribuiscono alla creazione del contesto urbano e del tipo di offerta energetica. L'architettura va inoltre inserita in una rete di sistemi di alimentazione e smaltimento che non abbracci unicamente le infrastrutture tecnologiche, ma che interessi anche le istituzioni sociali e culturali che assicurano mobilità, comunicazione e la fornitura di altri servizi, rispondendo in tal modo sia alle logiche tecniche ed economiche, sia al carattere sociale della natura umana che dipende dall'offerta sociale e culturale e dal rapporto con i propri simili. L'elevata specializzazione delle occupazioni professionali rende del resto indispensabile poter accedere ai luoghi di lavoro, al commercio e alle attività produttive.
Le strutture urbane ad alta densità sono quelle che meglio permettono di mettere a disposizione i servizi e meglio permettono di garantire la gestione degli edifici nel rispetto dell'efficienza economica ed energetica. Oltre a una progettazione che tenga conto del contesto e al tipo di infrastruttura tecnologica, anche l'utilizzo efficiente della superficie ha un'importanza decisiva per l'ottimizzazione energetica dell'edificio e dello spazio urbano.

Utilizzo della superficie

Lo sfruttamento della superficie terrestre, in quanto risorsa limitata, è sempre stato influenzato da interessi diversi e dalle possibilità di un utilizzo efficiente. L'edificazione è in concorrenza, tra le altre funzioni, con la produzione di energia e di cibo, con l'approvvigionamento di materie prime, la conservazione del patrimonio naturale, del paesaggio e della biodiversità.
All'interno delle aree edificate si contendono inoltre lo spazio altri interessi e destinazioni d'uso, influenzati dal sistema di valori sociali e dalle necessità tecnologiche, o dai vantaggi economici individuali e collettivi. Il modello di sviluppo dell'utilizzo delle superfici gioca sempre un ruolo centrale nel discorso sull'efficienza. I prototipi dei modelli di organizzazione dello spazio urbano in senso monocentrico, policentrico e settoriale, o anche il cosiddetto spazio interurbano, possono essere solo un primo riferimento, dato che la diminuzione demografica e la riduzione della dimensione dei nuclei familiari necessitano di altri modelli e di una struttura abitativa in continuo mutamento.

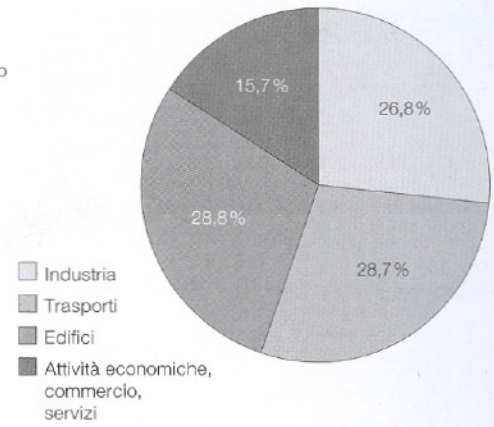
Storia dell'utilizzo delle superfici
Nella città medievale, le attività produttive trovavano spazio nei piani bassi degli edifici, mentre i piani alti erano riservati ai locali abitativi. Spesso anche i contadini che lavoravano nelle campagne circostanti erano integrati nella struttura cittadina. L'espansione delle città avvenne anche grazie alla ricollocazione degli sfruttamenti intensivi (ad esempio casolari e superfici agricole).
L'avvento dell'industrializzazione e la conseguente crescita demografica nelle città determinarono il rapido aumento del fabbisogno di superficie, la creazione di edifici a blocco ad alta densità, che ancora oggi caratterizzano interi quartieri cittadini, e la riduzione al minimo delle aree libere e degli spazi a uso pubblico. Ciò portò alla creazione di strutture abitative come quelle diffuse a Berlino, con grandi stanze negli angoli degli edifici a blocco costruiti intorno a una corte interna, ma con scarsa penetrazione di luce naturale. E se da un lato la densità costruttiva copriva il fabbisogno di abitazioni, dall'altro non garantiva affatto il mantenimento di condizioni igieniche adeguate.
Apparve quindi evidente l'importanza degli spazi all'aperto e della loro funzione distensiva e sociale. L'ideale della vita in campagna portò alla creazione di città giardino alle porte dei centri urbani, con il sorgere dei primi "centri parziali"all'interno degli spazi urbani.
In aperta reazione alle strutture sovrappopolate, alle cattive condizioni igieniche e alla mancanza di spazi aperti, urbanisti e architetti lanciarono negli anni Venti del secolo scorso lo slogan "aria, luce e sole", che portò ad esempio alla definizione di spazi di distanziamento tra un edificio e l'altro, alla ricerca di maggiore esposizione alla luce solare dei locali di abitazione e a una prima disgregazione delle strutture a blocco (Fig. B 2.29).
La Carta di Atene del 1933 tentò di risolvere il problema grazie a una globale ristrutturazione

B 2.1 Ampliamento virtuale dello spazio mediante riflesso. Edifici residenziali di completamento con chiusura a margine, Parigi, 2000, Herzog & de Meuron
B 2.2 Evoluzione del fabbisogno di energia termica per riscaldamento di edifici in relazione all'anno di costruzione e alla quota nel patrimonio edilizio tedesco esistente
B 2.3 Fabbisogno energetico per settore nel 2005 in Germania
B 2.4 Rappresentazione iconografica delle richieste della Carta di Atene del 1933
B 2.5 Rapporto tra densità edilizia e consumo energetico in alcune delle maggiori città

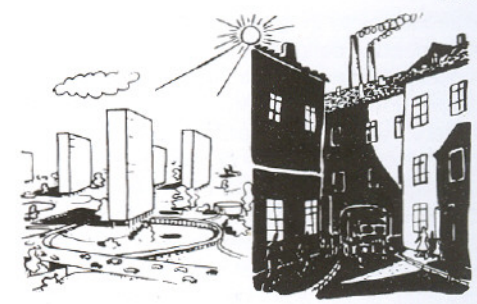


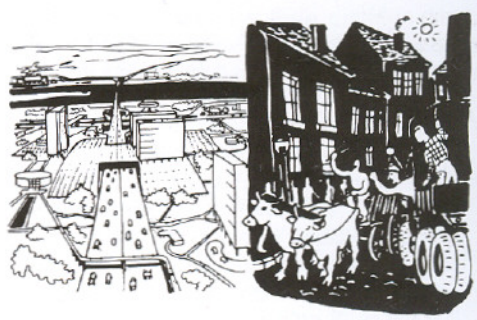
a Primo regolamento tedesco sull'isolamento termico, 1977
b Secondo regolamento tedesco sull'isolamento termico, 1984
c Terzo regolamento tedesco sull'isolamento termico, 1995
d Standard energetico EnEV 2002, EnEV 2007
e Standard casa passiva

B 2.2



B 2.3





delle città, identificando le basi per una progettazione urbanistica nella richiesta di maggiori spazi all'aperto per gli abitanti delle città, di una maggiore specializzazione delle funzioni e di una maggiore organizzazione del sistema (Fig. B 2.4). Dai centri parziali nacquero vere e proprie città, definite funzionalmente "città residenziali".
La chiara separazione tra le diverse destinazioni d'uso è però in contraddizione con la comprensione strutturale della città in sé: non appare più possibile realizzare sinergie tra i diversi utilizzi, con il conseguente raddoppio delle strutture e delle strategie per la copertura dei fabbisogni. Ciò comporta traffico e spreco di tempo, di spazio e di energia (Fig. B 2.5), con effetti sull'inquinamento dell'ambiente urbano e una riduzione della qualità della vita per gli abitanti.
La riduzione dell'utilizzo di superficie comporta un aumento della densità abitativa, permettendo la creazione di una "città delle brevi distanze" all'insegna di un uso energetico efficiente. Centri minori di dimensioni razionali soddisfano i bisogni quotidiani, e l'offerta di edifici particolari, come possono essere i musei, può soddisfare un altro tipo di esigenze. In un simile modello ideale, la città può differenziarsi chiaramente dallo spazio libero circostante destinato alla produzione di cibo, natura ed energia. Queste qualità dello spazio libero costituiscono nel contempo caratteristiche d'uso elevate, considerando il fatto che una configurazione della superficie ottimizzata sotto il profilo energetico e dello spazio permette nel contempo un'evoluzione sostenibile dello spazio stesso grazie alle molteplici qualità che esso verrebbe a possedere.

Energia e dimensione spaziale

Le fonti di energia di origine biologica consentono di creare nuovi luoghi di lavoro nelle aree extraurbane, diversificandole e stabilizzandole, di ottenere fonti di reddito integrative e di giungere secondo diverse modalità al completamento del ciclo di vita dei materiali. La produzione di energia non si limita più alla semplice copertura del fabbisogno secondo processi decisionali di tipo centralistico, ma permette di trovare soluzioni specifiche sulla base delle esigenze locali.
Si abbandona in tal modo il punto di osservazione degli spazi urbani ed extraurbani, finora comune e circoscritto ai soli agglomerati. Pur nella loro diversità formale e strutturale, i vari spazi vengono quindi considerati in un rapporto di equivalenza senza tuttavia perdere la propria identità, e ciascuno di essi acquisisce una funzione centrale nell'approvvigionamento energetico.
Ciò non implica un "ritorno alla natura" dai toni romantici; anche i vecchi depositi e i maggesi possono essere portatori di qualità. I due progetti legati all'Esposizione internazionale di edilizia (IBA) dell'Emscher Park e del Fürst Pückler Land – quest'ultimo ha visto il sorgere di una nuova regione di laghi nella Lusazia inferiore – da un lato seguono l'approccio energetico tradizionale, ma dall'altro si pongono come nuovo modello per il futuro (vedi Materiali, pag. 167). Essi sono il simbolo di uno sviluppo sostenibile ed energeticamente efficiente, nel quale anche le conseguenze negative di azioni precedenti possono essere rielaborate e trasformate in un nuovo valore aggiunto.

Energia e densità

Confrontando il consumo pro capite di energia in alcune grandi città appare evidente il rapporto di interdipendenza tra densità ed efficienza energetica. I centri ad alta densità abitativa mostrano un consumo di energia ridotto fino a 8 volte. L'effetto della densità sul consumo energetico si riduce a partire da 75 abitanti per ettaro, per giungere a un valore di risparmio limitato in corrispondenza di 150 abitanti per ettaro (Fig. B 2.5).

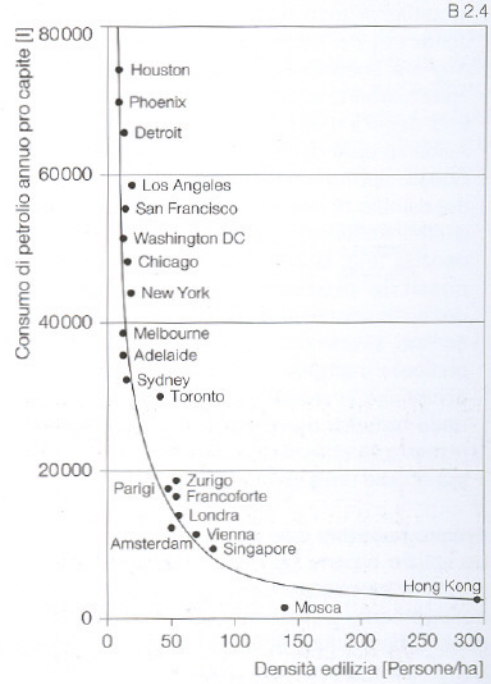
Energia e nuove costruzioni

Per i motivi descritti si preferisce ricorrere a un'edilizia ad alta densità abitativa in caso di nuove costruzioni. Il fabbisogno energetico di un edificio aumenta tuttavia con l'aumento della sua altezza. Le necessità legate alla statica comportano una riduzione degli spazi disponibili e si verifica un aumento del fabbisogno di energia legata ai materiali da costruzione. I supporti di collegamento (ad esempio gli ascensori) e gli impianti di aerazione consumano a loro volta una quantità maggiore di spazio e di energia.

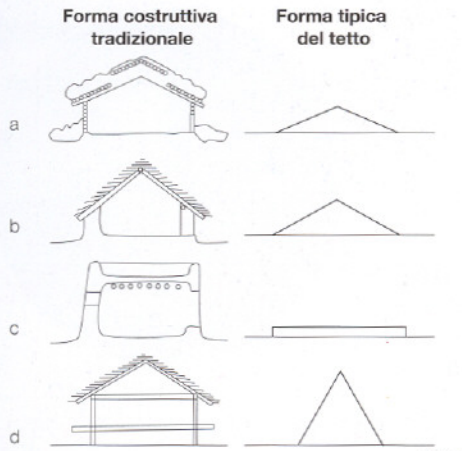
Energia e patrimonio edilizio esistente

Gli edifici esistenti costituiscono un patrimonio di risorse disponibili a lungo termine all'interno degli spazi urbani, nel quale confluisce l'80% degli investimenti edilizi. È quindi naturale che

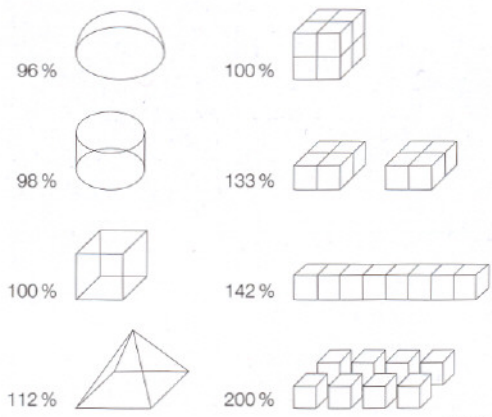
B 2.4



B 2.5



B 2.6



B 2.7

B 2.6 B 2.6 Tipologie costruttive tradizionali a seconda della zona climatica:
a clima freddo
b clima temperato
c clima caldo secco
d clima caldo umido

B 2.7 Perdite di calore per conduzione per forme diverse di un uguale volume

B 2.8 Rappresentazione schematica di ampliamenti possibili nell'edilizia residenziale

B 2.9 Orientamento del corpo dell'edificio per lo sfruttamento passivo dell'energia solare, edificio residenziale, Berlino, 1997, Assmann Salomon und Scheidt

B 2.10 Orientamento del corpo dell'edificio per lo sfruttamento attivo dell'energia solare, edificio residenziale, Dornbirn, Austria, 1999, Roland Gnaiger, Udo Mössler

B 2.11 Edificio residenziale ad alta densità, Amburgo, Germania, 1998, Atelier 5

B 2.12 Rappresentazione schematica di utilizzi e proporzioni di un edificio a seconda delle zone climatiche

ogni intervento in questo settore sia orientato alla riduzione del consumo energetico.
Il risparmio per gli edifici residenziali può arrivare a un fattore 10 (Fig. B 2.2), o addirittura essere superiore in caso di uso particolare come può essere quello di una piscina.
La riqualificazione, intesa come adeguamento agli standard tecnici attuali, e la modernizzazione, intesa come aumento del valore d'uso, sono due processi che si condizionano reciprocamente. Grazie agli interventi di tipo energetico aumenta anche il livello di comfort, che tuttavia non può acquisire piena efficacia senza un incremento degli standard energetici. A seconda del punto di vista possono essere effettuati gli interventi descritti nel seguito.

- Modernizzazione
  Gli interventi di modernizzazione permettono di adeguare gli edifici agli standard correnti di comfort, e si fondano sull'ottimizzazione energetica degli involucri (vedi pag. 82) e degli impianti (vedi pag. 110).
- Cambio di destinazione d'uso (conversione)
  Il riutilizzo di edifici conserva il tradizionale modello di città e nel contempo l'energia contenuta nei materiali edilizi, permette una migliore soddisfazione delle necessità nello spazio urbano e può contribuire a un aumento di densità d'uso.
- Aumento della densità in una fase successiva
  Questo tipo di interventi ha le stesse finalità del cambio di destinazione d'uso e permette di creare ulteriori luoghi di lavoro e spazi residenziali (Fig. B 2.1). Con questi interventi è possibile procedere al completamento dell'edificazione sulle superfici in aderenza al confine, sfruttando meglio la profondità della particella o ampliando le strutture esistenti, e contribuire in questo modo al mantenimento della densità demografica se aumenta la richiesta di abitazioni e diminuisce la dimensione delle unità abitative (Fig. B 2.8).

Sviluppo sostenibile dello spazio urbano

Lo spazio urbano può funzionare unicamente grazie all'interazione tra edilizia, spazi aperti e collegamento in rete tra spazi contigui. Gli spazi urbani attuali sono estremamente eterogenei, sia nell'uso delle superfici che nel loro mantenimento. Rafforzando il carattere eterogeneo o particolare aumenta l'attrattiva dello spazio da un punto di vista energetico, sociale e della destinazione d'uso. Uno sviluppo sostenibile si basa sulla sinergia di diversi interessi ed esigenze al fine di soddisfare bisogni integrati e ottenere qualità a livello locale.

Integrazione energetica

A causa della complessità dei problemi da affrontare, non potrà verificarsi il cosiddetto *"big shot"* auspicato dalla grande industria nell'ambito dell'efficienza, per quanto concerne il settore dell'alimentazione energetica, ad esempio nella tecnologia della scissione di CO_2. È necessario verificare in che misura le strutture esistenti utilizzate nel processo di produzione energetica possano essere convertite all'uso delle energie rinnovabili. La sinergia tra una produzione energetica decentralizzata e una produzione centralizzata richiede una maggiore regolamentazione, ma può portare a un aumento della sicurezza degli approvvigionamenti grazie alla varietà dell'offerta.
A ciò si aggiunge l'esigenza di far convergere l'evoluzione dei consumi e la produzione di energia, aspetti questi ancora separati. All'interno degli edifici sarà in futuro opportuno armonizzare l'uso attivo e l'uso passivo delle fonti energetiche (Fig. B 2.9 e B 2.10). I diversi fabbisogni e i flussi energetici non possono restare confinati alle realtà dei singoli edifici, ma vanno estesi a gruppi di edifici e, sul lungo termine, a interi quartieri urbani.

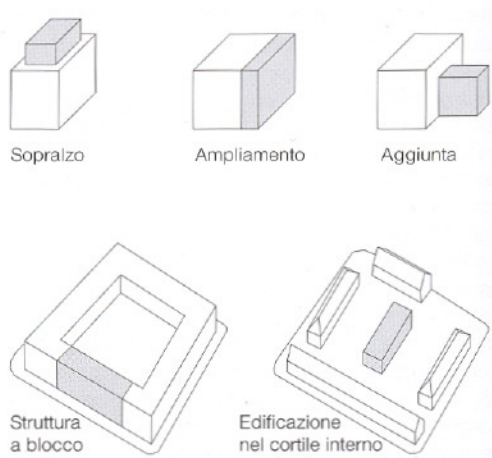
Integrazione d'uso

La fornitura di servizi è una caratteristica fondamentale per lo sviluppo sostenibile di una struttura urbana. La compresenza di una pluralità di destinazioni d'uso ha sempre un effetto positivo sul consumo energetico per il semplice fatto che possono essere evitati i flussi di traffico. E se una necessità non può essere soddisfatta localmente (traffico interno), si ha lo spostamento verso un altro spazio urbano dove invece sia possibile soddisfare il bisogno (traffico esterno). Per i grandi supermercati ad esempio la distanza di indotto arriva fino a 200 km; il superamento del 20% di traffico esterno porta alla fuoriuscita di energia, risorse o forza economica da un determinato territorio [1]. Il grado di attrattiva attribuito a un luogo è ciò che determina la sopravvivenza economica dello stesso. I cosiddetti Business Improvement Districts (BID), che dal 2007 trovano espressione anche nel Codice tedesco dell'edilizia, cercano ad esempio di rilanciare alcune aree dei centri storici delle città con una strategia di accoppiamento tra bisogni e utenza. D'altro canto si tratta anche di salvaguardare la qualità ecologica e la biodiversità, e ciò può avvenire grazie a spazi aperti articolati nel tessuto urbano e tra loro interconnessi, che siano nel contempo luoghi di rigenerazione per il tempo libero e habitat per le diverse specie di fauna e di flora.

Integrazione sociale

Per mantenere e incrementare l'attrattiva degli spazi urbani, in relazione allo sviluppo demografico e al mutamento delle esigenze sociali, è necessario considerare i possibili interventi che possono diventare i nuovi obiettivi per l'edilizia.

- Accessibilità
  L'assenza di barriere architettoniche favorisce un utilizzo da parte di tutti gli utenti senza necessità di interventi di terzi.
- Formazione di identità
  Lo spazio urbano e gli edifici contribuiscono alla creazione dell'identità del luogo, assorbendo e accentuando le specificità locali e potenziandone la varietà. Gli spazi privati, pubblici e semipubblici contribuiscono a for-



B 2.8

B 2.9

B 2.10

B 2.11

mare l'identità secondo le modalità più diverse (Fig. B 2.11).

- Integrazione
  I fenomeni sempre più accentuati di segregazione all'interno delle strutture sociali possono essere ostacolati ad esempio attraverso una molteplicità di tipologie abitative flessibili e tra loro connesse, con punti di incontro e di scambio comunicativo tra spazi esterni e interni.
- Compartecipazione
  Attrattiva, molteplicità spaziale e soprattutto identità presuppongono la possibilità per il singolo di partecipare alla realizzazione, aprendo il processo di progettazione al contributo del singolo (vedi Strategie, pag. 188).

Dalla definizione di sviluppo sostenibile formulata dalla diplomatica norvegese Gro Halem Brundtland si evince che quanto viene lasciato in eredità alle generazioni future non è unicamente costituito da un insieme di valori, ma può portare con sé una serie di situazioni problematiche [2]. Gli edifici sono entità la cui vita si protrae per più generazioni e quindi dovrebbero offrire un valore d'uso di lungo termine. La loro progettazione deve perciò tenere conto della possibilità di adattamento a necessità che possono mutare nel tempo e considerare tale possibilità un potenziale plusvalore: la capacità di trasformazione non dovrebbe riguardare solo funzione e destinazione d'uso, ma soprattutto l'aspetto tecnologico e di approvvigionamento dell'energia.

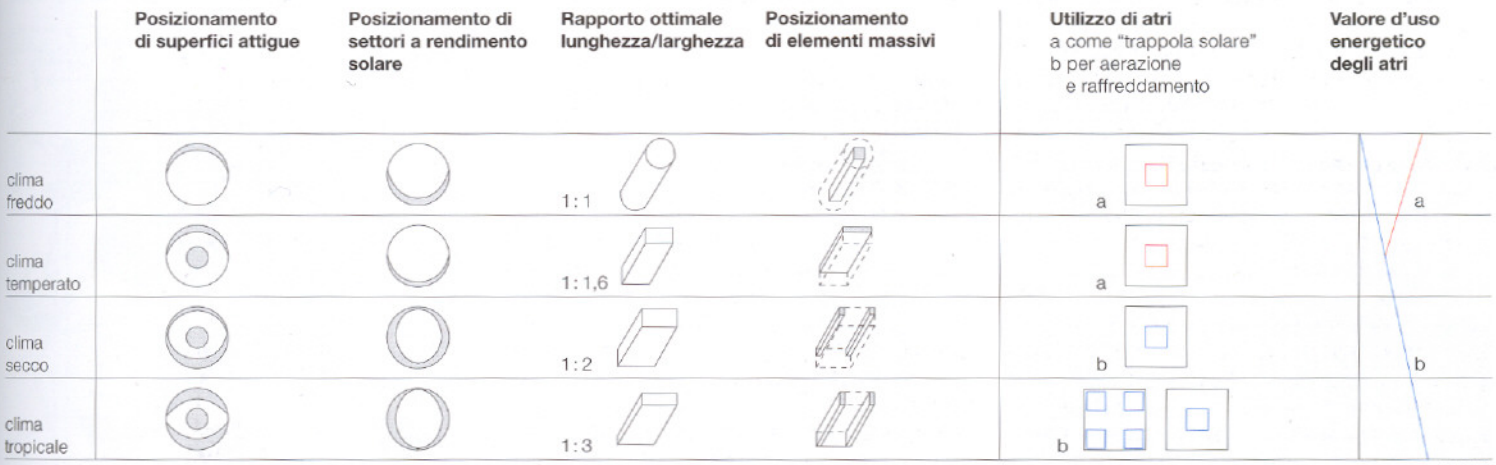
Progettazione funzionale al sito

Le condizioni climatiche del luogo in cui deve sorgere l'edificio determinano il tipo di offerta energetica di cui si può disporre in loco e di conseguenza anche le potenzialità di sviluppo dei tratti formali e strutturali dell'edificio stesso (vedi Fondamenti, Fig. B 1.43). L'energia può essere resa disponibile con le modalità più varie. L'involucro di un edificio svolge una funzione protettiva contro gli effetti negativi del clima esterno e può all'occorrenza trarre dall'ambiente circostante l'energia di cui l'edificio ha bisogno (vedi Involucri, pag. 85).

Macroclima

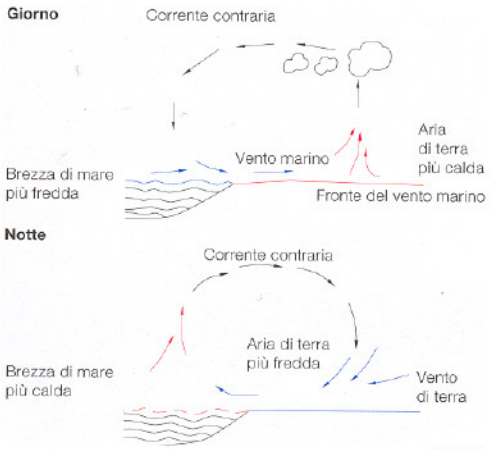
Il macroclima offre diverse condizioni per il benessere dell'uomo a seconda della zona climatica e si caratterizza per fattori climatici peculiari, i quali condizionano le forme edilizie tipiche delle specifiche aree climatiche (Fig. B 2.6).

- Zona polare (clima freddo)
  Le strutture tradizionali delle zone climatiche fredde sfruttano le proprietà isolanti del legno; i tetti sono di solito inclinati e in inverno anche la neve ha una funzione isolante dal freddo e dal vento. Soprattutto nelle zone fredde e in quelle temperate sono diffuse strutture compatte con un basso rapporto tra superficie esterna e volume (S/V, Fig. B 2.7).
- Zona temperata (clima temperato)
  In questa zona climatica è necessario prestare attenzione alle perdite di calore per conduzione e alla formazione di correnti d'aria. Gli effetti termici indesiderati possono essere contenuti con un buon isolamento delle pareti, integrato da masse di accumulo. Il tetto presenta una pendenza media che permette lo scolo delle acque meteoriche e offre una leggera resistenza al vento. Maggiori sono le perdite energetiche attraverso l'involucro, più rilevante risulterà la compattezza dell'edificio.
- Zona subtropicale (clima caldo secco)
  L'alta escursione termica tra il giorno e la notte viene compensata con edifici massivi ad alte masse di accumulo (ad esempio pietra o argilla). Un tessuto urbano ad alta densità costruttiva permette di creare zone d'ombra e di ridurre il surriscaldamento dovuto alla radiazione solare. I tetti piani accolgono le scarse precipitazioni, e l'acqua in eccesso contribuisce al raffreddamento mediante evaporazione. Le piccole finestre riducono la penetrazione di luce solare e i locali più in uso sono collocati a livello del suolo sulla fresca platea di fondazione.
- Zona tropicale (clima caldo umido)
  Il clima perennemente umido con scarse escursioni termiche neutralizza l'effetto delle masse di accumulo integrate nell'edificio. L'architettura tropicale tradizionale è quindi costituita da leggere costruzioni in legno sollevate dal suolo che da un lato assicurano

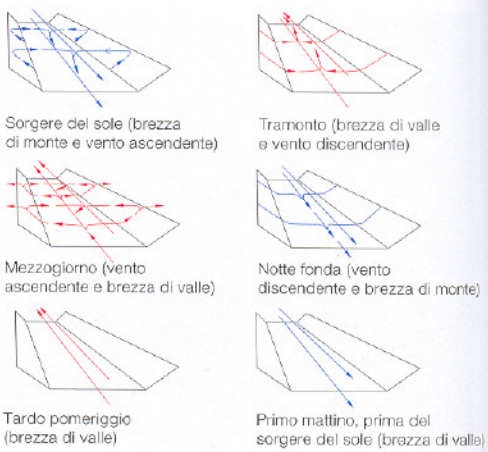


B 2.12

B 2.13



B 2.14



B 2.15

protezione contro l'umidità, dall'altro svolgono una funzione rinfrescante grazie all'elevato ricambio d'aria. I tetti aggettanti e inclinati offrono protezione da pioggia e raggi solari. Le pareti se chiuse ostacolerebbero l'effetto di raffreddamento dovuto alla circolazione d'aria, presentano quindi aperture di sfogo o sono spesso sostituite da strutture a graticcio.

Anche se le tipologie costruttive tradizionali spesso non sono più in grado di soddisfare le esigenze attuali, continuano a rappresentare una fonte di ispirazione e un tesoro di soluzioni formali importanti, fornendo spunti, in un'architettura al passo con i tempi, oltre che per il corretto orientamento, anche per la collocazione caratteristica degli ingressi, delle superfici solari attive, delle masse di accumulo e degli atri.

Mesoclima

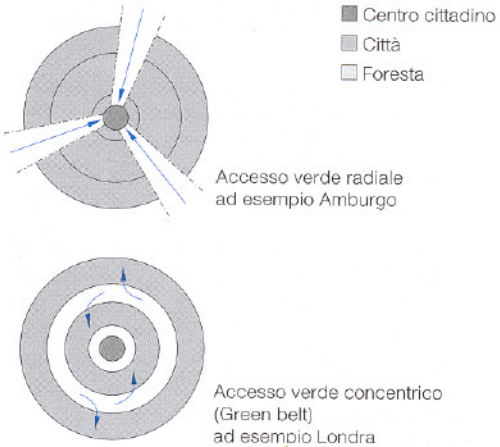
Un apporto solare di diseguale intensità rende diverse le temperature della superficie terrestre e degli strati d'aria più vicini al suolo. La diversa pressione dovuta alle differenze di temperatura delle varie zone determina lo spostamento di masse d'aria dalle aree di alta pressione a quelle di bassa pressione, dando origine a brezze marine, correnti risultanti dalla conformazione topografica e correnti ascendenti di aria calda. Fattori determinanti sono la capacità di assorbimento e immagazzinamento dell'energia solare da parte della superficie, come si nota soprattutto nelle aree estese a clima marino in prossimità delle coste o dei grandi laghi. L'acqua presenta un ridottissimo albedo (la frazione di radiazione globale che viene riflessa), pari circa al 5%, assorbendo quasi l'intera quantità di energia incidente (Fig. B 2.18). A causa della sua elevata massa di accumulo e del raffreddamento per evaporazione, le masse d'acqua presentano un riscaldamento diurno contenuto. La Terra, al contrario, si riscalda molto più velocemente e si verifica un abbassamento della pressione per l'aria calda ascensionale; l'aria che si è raffreddata sulla superficie marina fluisce così verso la terra. Per effetto di tale fenomeno, durante la notte la temperatura diminuisce sensibilmente sulla terra, ma non sul mare; in seguito si verifica il processo contrario (Fig. B 2.14). Effetti analoghi possono essere riscontrati, in misura meno rilevante, anche sulle masse terrestri con diversi tipi di superficie. La maggiore rugosità della crosta terrestre provoca lievi accelerazioni del vento in prossimità del suolo e accentuate turbolenze (Fig. B 2.19). Per la conformazione topografica, sulle aree con maggiore insolazione o ombreggiamento si creano venti ascendenti e brezze di valle (Fig. B 2.15). Tutti questi fattori costituiscono le componenti fondamentali del sistema dei venti locali.

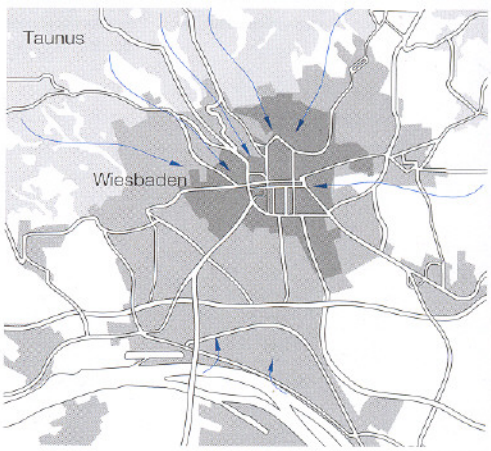
Clima della città

Il clima della città è un elemento rilevante nella maggior parte degli interventi di tipo edilizio (Fig. B 2.17). A causa dell'accentuata rugosità degli spazi edificati, l'atmosfera presenta movimenti di masse d'aria di scarsa velocità. Le attività e la presenza di superfici concorrono ad aumentare la quota di polveri la cui presenza provoca un aumento dell'umidità dell'aria. Questo spiega la maggiore incidenza delle precipitazioni nelle aree urbanee rispetto a quelle circostanti, specialmente nelle aree con vento discendente. L'aumento delle precipitazioni è circa del 10% nelle città dell'Europa centrale, inoltre si verifica un maggiore rischio di temporali estivi.
Per la maggiore tendenza al raffreddamento adiabatico, gli spazi urbani dovrebbero in teoria essere più freschi rispetto alle zone circostanti. Tuttavia le città presentano temperature più elevate rispetto alle aree a scarsa urbanizzazione poiché, da un lato, le superfici urbane presentano un maggiore grado di assorbimento e, dall'altro, l'acqua piovana, prima di evaporare localmente, viene condotta al di fuori dello spazio urbano dal sistema di canalizzazioni. In tal modo, inoltre, viene limitata l'alimentazione delle falde freatiche delle città, il cui livello si presenta per lo più basso. Fattori particolarmente importanti in uno spazio urbano sono quindi la possibilità di garantire immissioni di aria fresca senza ostacoli e la conservazione dell'acqua piovana nel sistema urbano.

Immissone di aria fresca

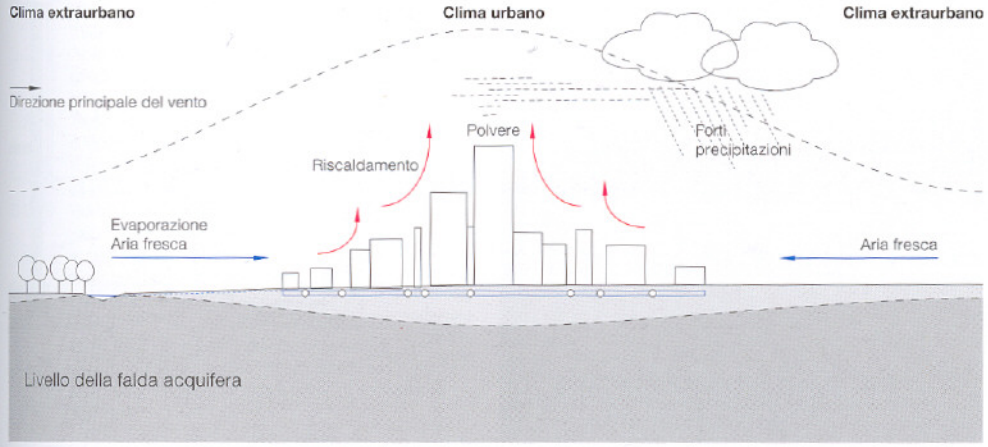
L'aria fresca proveniente dalle aree extraurbane, che confluisce all'interno delle città muovendosi in prossimità del suolo, necessita di spazi di scorrimento con una scarsa ruvidità. Simili "corridoi di aria fresca" possono essere costituiti dal corso di



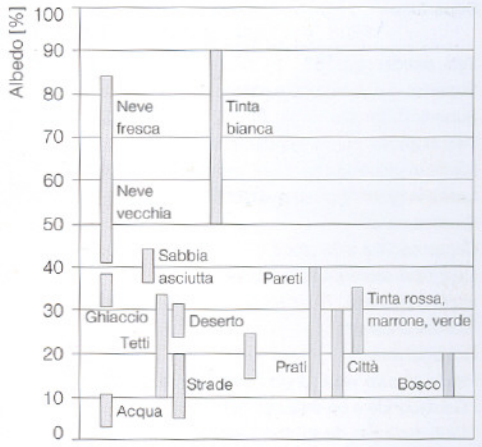


B 2.16

B 2.13 Central Park, New York
B 2.14 Brezze di mare nel corso della giornata
B 2.15 Venti ascendenti e brezze di valle nel corso della giornata
B 2.16 Rappresentazione schematica dei sistemi adottati da alcune città per l'afflusso di aria fresca
B 2.17 Composizione dell'atmosfera urbana e relazioni all'interno del sistema
B 2.18 Albedo di diverse superfici
B 2.19 Velocità dei venti in funzione della rugosità α e della distanza dal suolo
B 2.20 Rappresentazione schematica della direzione dell'acqua piovana nel quartiere di Kronsberg, Hannover, Germania
B 2.21 Superfici d'acqua del sistema di approvvigionamento idrico e di raffreddamento adiabatico a cielo aperto nell'area di servizio autostradale presso Abbeville, Francia, 1998, Bruno Mader



B 2.17

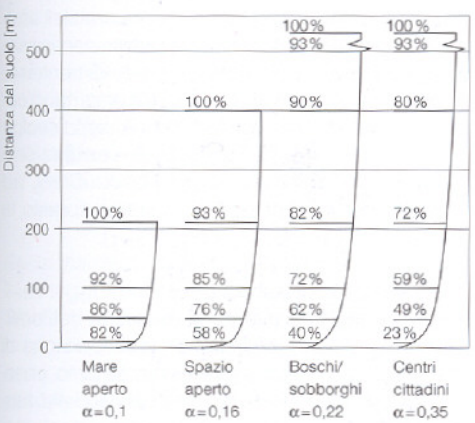


B 2.18

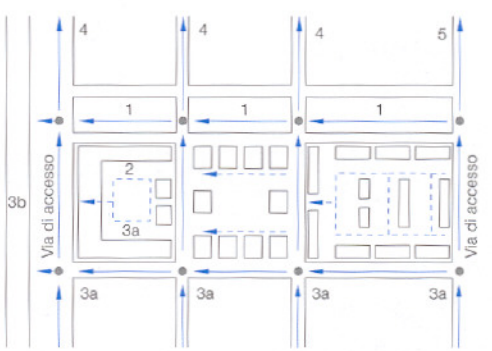
fiumi o ruscelli, depressioni, vie di comunicazione o spazi aperti privi di ostacoli. L'edificazione e l'assetto dato agli spazi liberi definiscono il sistema di circolazione dell'aria all'interno della città. Particolarmente utili allo scopo si sono rivelate le cinture verdi inserite nel centro cittadino (ad esempio a Londra) o le radiali non edificate (ad esempio ad Amburgo) che confluiscono nel centro (Fig. B 2.16). Un aumento della densità verso il centro cittadino favorisce il sistema locale dei venti per le maggiori spinte che le masse d'aria ricevono. In alcuni casi possono verificarsi fenomeni isolati di inversione nelle condizioni climatiche, quando ad esempio uno strato d'aria più fredda si sovrappone all'atmosfera locale più calda impedendo uno scambio d'aria con l'area extraurbana. A ciò si può ovviare differenziando l'assorbimento delle superfici in modo da produrre dei moti d'aria.
Anche le ampie aree verdi collocate entro il perimetro della città contribuiscono alla buona circolazione dell'aria all'interno del sistema urbano (così ad esempio la superficie del Central Park a New York, Fig. B 2.13), un ulteriore miglioramento si ha grazie a una rete di connessioni tra aree verdi. L'aria fresca proveniente dal territorio circostante o dalle aree a parco è carica di sostanze in sospensione di origine biologica (ad esempio polline). La combinazione dei gas di scarico prodotti dai mezzi di trasporto (ossido di azoto o biossido di zolfo) con l'aria in immissione può far sorgere il problema delle polveri sottili, in quanto le particelle degli inquinanti si depositano sul polline e lo trasformano in sostanza allergenica.

Ciclo dell'acqua
In caso di forti precipitazioni, i corsi d'acqua di superficie e la rete di canalizzazione sono in grado di accogliere solo una parte del flusso d'acqua che si riversa sul suolo, soprattutto se respinto da superfici impermeabili. È quindi indispensabile disporre di condotte di canalizzazione con sezione ampia e di capienti bacini di raccolta delle acque meteoriche. È tuttavia possibile evitarne la dispendiosa realizzazione modificando in modo opportuno la conformazione delle aree libere e degli edifici (Fig. B 2.20 e B 2.21). In questa categoria di interventi rientrano tutte quelle misure che non interrompono il ciclo naturale dell'acqua piovana, che ritardano lo scolo dell'acqua e che dell'acqua sfruttano le potenzialità per influenzare positivamente il microclima della città favorendo una maggiore evaporazione (Fig. B 2.17)

- Ritenzione dell'acqua sulla superficie
  La ritenzione dell'acqua può avvenire in modo naturale o con l'impiego di tecniche apposite, in bacini di ritenzione centrali o in cisterne decentrate sul territorio. Quest'ultima possibilità permette di sfruttare l'acqua piovana e di ridurre il consumo di acqua potabile. La ritenzione di masse d'acqua su tetti a verde o nei corsi d'acqua di superficie migliora il microclima, evita i picchi termici e riduce la quota di polveri nell'aria. I bacini di deviazione delle acque di elevate dimensioni in prossimità dei fiumi permettono di incrementare la portata dei corsi d'acqua di superficie, di limitare le inondazioni e di migliorare le caratteristiche del suolo.
- Permeabilizzazione
  Molte superfici all'interno dello spazio urbano dovrebbero essere rese permeabili all'acqua, facendo tuttavia attenzione all'eventuale inquinamento dovuto a sostanze nocive (ad esempio oli). Il grado di permeabilità è definito dai coefficienti di deflusso (Fig. B 2.22).
- Superfici di drenaggio
  L'acqua piovana che non viene fatta confluire nel ciclo naturale attraverso le superfici dovrebbe essere dispersa. La tipologia delle superfici di drenaggio dipende dalla conformazione del suolo. La dispersione può avvenire mediante canali di svio, la cui dimensione dovrebbe corrispondere al 10-20% circa della superficie da cui è necessario drenare l'acqua. Spesso questi canali vengono integrati da un sistema di fossati filtranti in ghiaia o sassi che presenta i vantaggi di limitare l'uso di superficie, aumentare il volume di assorbimento in tempi ridotti e permettere una prestazione di drenaggio costante (Fig. B 2.24 e B 2.25).
- Evaporazione
  I corsi d'acqua di superficie e la vegetazione apportano un importante contributo alla riduzione della quantità delle acque di scolo e della temperatura grazie al processo di evaporazione. Contribuiscono inoltre a formare le caratteristiche del paesaggio innalzandone notevolmente la qualità.



B 2.19



1 Deviazione e ritenzione nei viali laterali
2 Accumulo
3a Drenaggio 3b Superfici di ritenzione
4 Rete di deflusso con strozzature

B 2.20

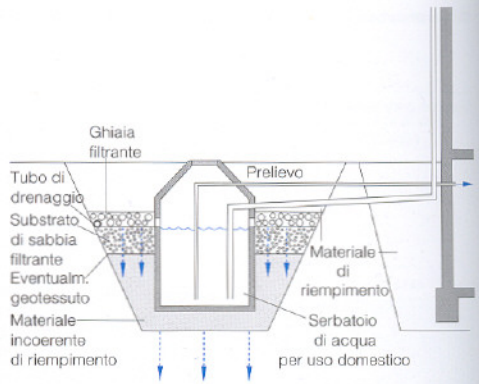
B 2.21

Superficie	Coefficiente di flusso [-]
Tetti, pendenza ≥ 15°	1,0[1]
Superfici in calcestrutto e asfalto	0,9
Superfici lastricate	0,75
Tetti in ghiaia, cortili, marciapiedi	0,5
Lastre in calcestruzzo, giunti permeabili	0,40[2]
Lastre in granito, giunti permeabili	0,33[2]
Giardini pensili	0,3
Campi sportivi e da gioco	0,25
Lastricato con erba perimetrale, giunti a pietrisco	0,22[2]
Giardini antistanti	0,15
Orti a schiera	0,05
Parchi e spazi verdi lungo i corsi d'acqua	0

[1] Corrisponde a un deflusso del 100%.
[2] Dato risultante da studi di settore.

B 2.22

B 2.23



B 2.24

Microclima

In relazione alle condizioni microclimatiche di un determinato luogo, assumono particolare importanza le misure protettive contro effetti climatici indesiderati ai danni degli edifici, nonché la disponibilità e la possibilità di sfruttamento delle fonti energetiche presenti nell'ambiente circostante.

Esposizione solare

Un'elevata radiazione solare globale e una lunga esposizione ai raggi del sole sono le condizioni primarie per un potenziale sfruttamento dell'energia solare, anche se possono comportare un surriscaldamento dell'edificio. Il rendimento della radiazione solare su superfici orizzontali raggiunge in Germania un valore medio di circa 1000 W/m², con una quota di sfruttamento della radiazione diretta rispetto a quella globale di circa il 50% alle latitudini dell'Europa centrale, di circa il 20% nei Paesi scandinavi. A seconda della zona climatica, tali valori possono variare notevolmente (vedi Fondamenti, pag. 54).

Le condizioni microclimatiche che possono influenzare l'edificazione cambiano a seconda della posizione dell'edificio e della topografia dell'ambiente, della vegetazione e della presenza di edifici attigui (Fig. B 2.27). L'ombreggiamento di superfici esterne o proprie dell'edificio può essere analizzato mediante modelli che simulano la posizione del sole e che permettono di calcolare il grado di efficienza dello sfruttamento solare attivo e passivo, di verificare l'irradiazione dei locali e delle superfici libere e di intervenire per predisporre gli eventuali dispositivi di protezione necessari.

È possibile potenziare l'irradiazione solare verso l'edificio agendo sulla tipologia delle superfici nelle immediate vicinanze: un'elevata presenza di materiale riflettente permette di orientare la radiazione e la luce naturale verso l'edificio. I mezzi più adatti a tale scopo sono le coperture pavimentali chiare o gli specchi d'acqua; la riflessione è funzione dell'angolo di incidenza dei raggi solari: tanto più la radiazione solare è parallela al piano, tanto maggiore sarà la riflessione.

Acqua come regolatore microclimatico

La quota di radiazione solare non riflessa dall'acqua viene da essa accumulata. Le superfici d'acqua prospicienti l'edificio svolgono una funzione termoregolatrice sulle immissioni di aria fresca e possono così contribuire alla riduzione del fabbisogno energetico (Fig. B 2.23); esse influiscono inoltre positivamente sul microclima mediante un aumento delle prestazioni di raffreddamento adiabatico e grazie alla capacità di accumulo. Nel periodo estivo, ad esempio, le temperature sui tetti a verde non superano i 35 °C, su quelli a ghiaia possono invece arrivare fino a 70 °C.

Terreno

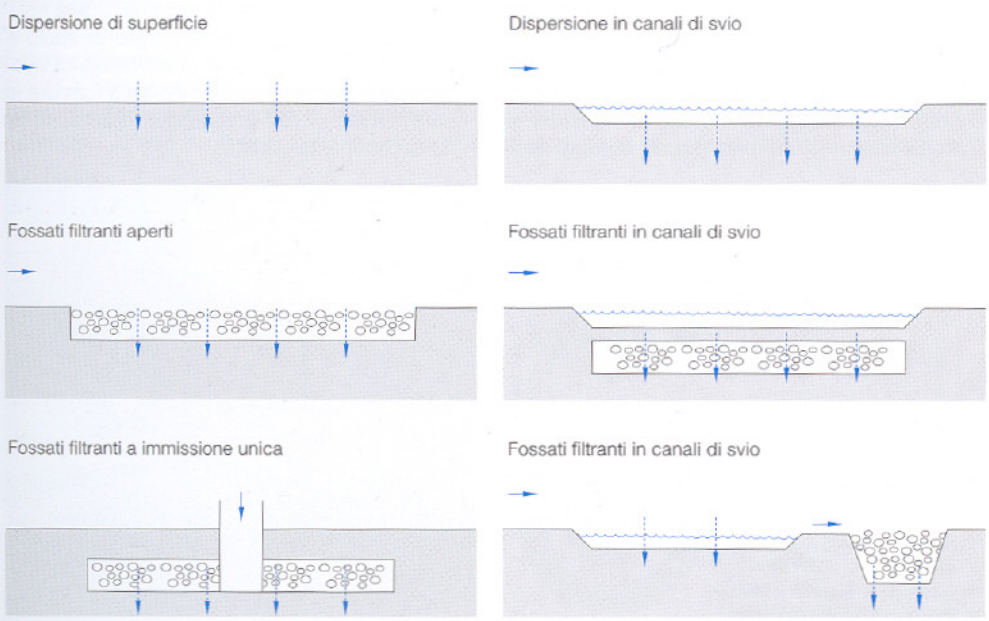
Il terreno assorbe la radiazione solare negli strati prossimi alla superficie e si trasforma in un'efficiente unità di accumulo grazie alla sua massa e al contenuto di acqua. Grazie inoltre alle temperature costanti durante il corso dell'anno, nonostante l'aumento della profondità, il terreno consente il regolare ed efficiente utilizzo di pompe di calore, come nel caso delle falde acquifere, a condizione che non vi siano superfici che vengano a trovarsi in zone d'ombra.

Esposizione ai venti

Gli edifici particolarmente esposti all'azione dei venti possono presentare elevate dispersioni energetiche attraverso l'involucro. Un'analisi dei venti permette di rilevare direzione e velocità tipiche per un determinato luogo; gli effetti dovuti alla loro azione possono essere accertati anche mediante procedure di simulazione delle correnti o mediante test in galleria del vento. Per ridurre la velocità del vento in prossimità degli edifici possono essere utilizzati alberi, siepi o terrapieni posti a una determinata distanza e controvento (Fig. B 2.28). La messa a verde della facciata garantisce invece un risparmio minimo dello 0,5% circa del fabbisogno energetico per il riscaldamento e riduce la temperatura dell'area circostante l'edificio per il movimento ascendente dell'aria, aumentanto così il grado di benessere nella calura estiva. Per la differenza di pressione in prossimità delle facciate, il vento svolge inoltre una naturale azione di ventilazione dell'edificio e si presta a molteplici utilizzi, ad esempio per la purificazione dell'aria durante le ore notturne (vedi Involucri, pag. 101).

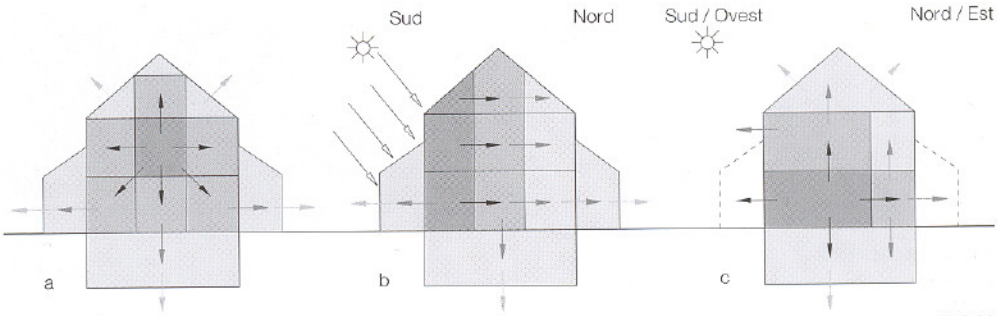
Conformazione dell'edificio

Anche la struttura e la conformazione dell'edificio permettono di minimizzare la dispersione di energia e di massimizzare il rendimento energetico. La tipologia e la dimensione delle funzioni definiscono il fabbisogno corrispondente.

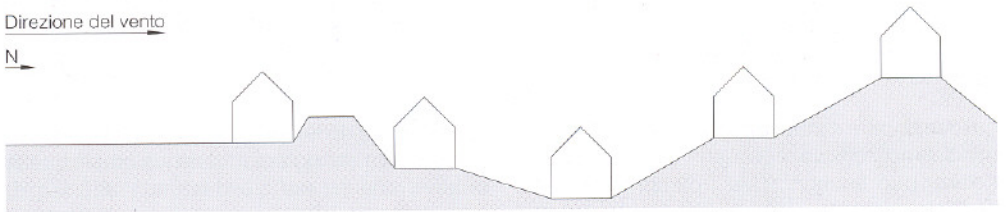


B 2.25

B 2.22 Coefficienti di deflusso in base alla norma DIN 1986
B 2.23 Acqua come superficie riflettente, edificio per uffici e laboratori, Weidling, Austria, 2002, Architekturbüro Reinberg
B 2.24 Tipici serbatoi per acqua piovana in edificio residenziale con infiltrazione a fasi successive
B 2.25 Rappresentazione schematica di varie tipologie di dispersione
B 2.26 Principi di distribuzione in funzione della temperatura nel corpo dell'edificio
a distribuzione concentrica
b distribuzione lineare
c distribuzione su più livelli
B 2.27 Effetti della posizione topografica sul rendimento energetico e sulle dispersioni dovute al vento
B 2.28 Elementi microclimatici e loro effetti sull'edificio
B 2.29 Disposizione d'uso consueta negli edifici residenziali

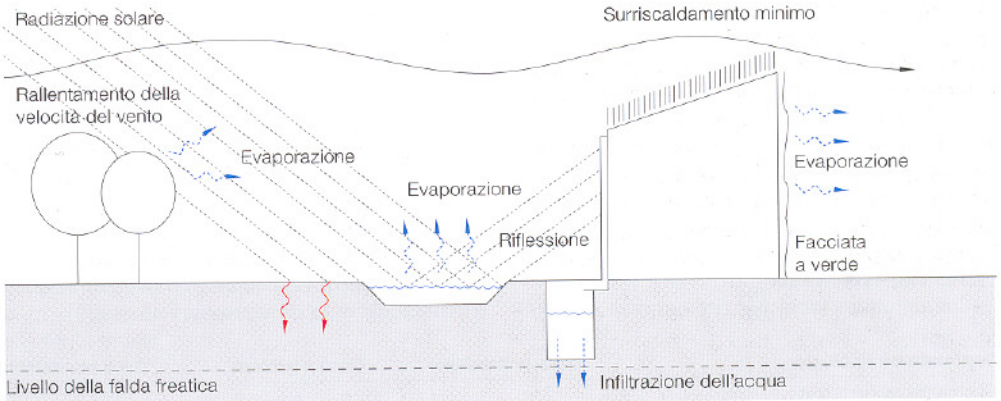


B 2.26



	Posizione libera (riferimento)	Posizione protetta	Avvallamento, zona aria fredda	Versante sud	Posizione sopraelevata
Differenze rispetto alla temperatura circostante	± 0 °C	n.d.	-3 °C	+2 °C	-1 °C
Dispersioni termiche	± 0 %	n.d.	+25 %	-17 %	+10 %
Dispersioni termiche dovute al vento	± 0 %	-50 %	n.d.	+100 %	+100 %

B 2.27



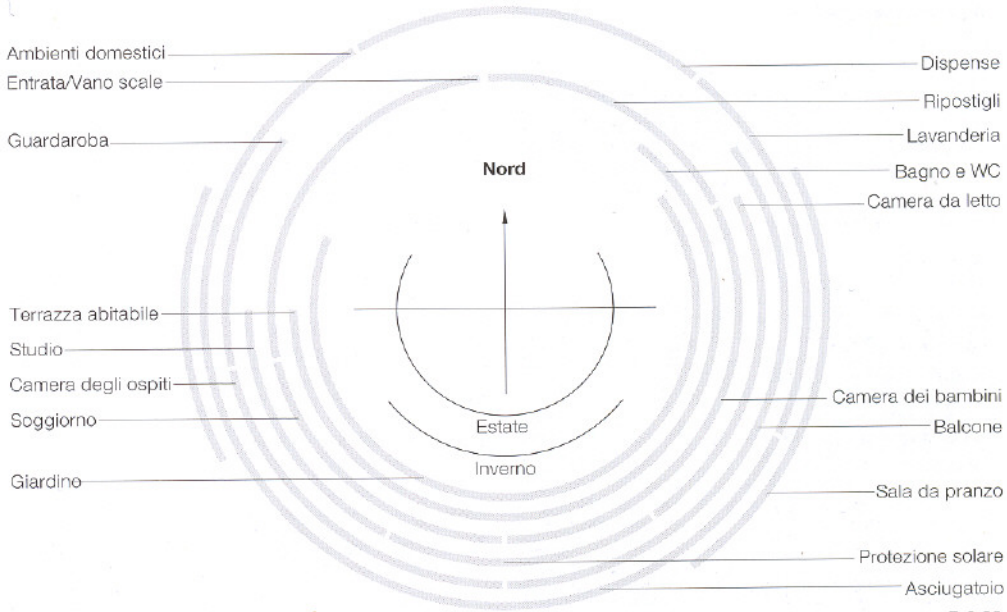
B 2.28

In un edificio residenziale, ad esempio, l'orientamento ottimale degli ambienti e delle funzioni e la quota di superficie occupata dalle finestre (vedi Involucri, pag. 90) vengono decisi in base all'irradiazione solare desiderata e al fabbisogno di luce richiesto (Fig. B 2.29).
I fattori microclimatici possono influire secondo svariate modalità sulla struttura del corpo di fabbrica in base alle esigenze determinate dalla destinazione d'uso.

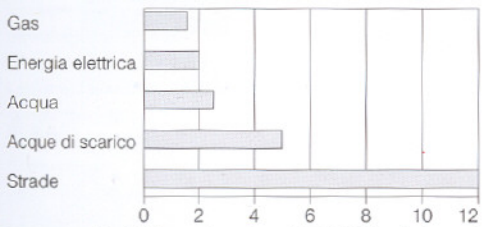
Distribuzione planimetrica degli ambienti
I criteri che determinano la distribuzione degli ambienti possono essere di varia natura e sono basati, ad esempio, sulle necessità legate alla temperatura, al fabbisogno di luce naturale o al tempo di permanenza degli utenti. Può risultare particolarmente efficace l'organizzazione distributiva fatta sulla base di criteri relativi alla temperatura: gli ambienti di maggiore utilizzo possono essere termicamente protetti da locali interposti con funzione di tampone termico o da superfici di utilizzo secondario (Fig. B 2.12). Nel caso di edifici a elevato fabbisogno di calore (ad esempio edifici residenziali) si presentano in linea di massima tre tipi di distribuzione possibili (Fig. B 2.26), come indicato nel seguito.

- Distribuzione concentrica
  Tale distribuzione consente grandi profondità e l'integrazione nel nucleo dell'edificio di quegli ambienti che necessitano di protezione climatica e di condizioni termiche costanti.
- Distribuzione lineare
  Si basa sull'orientamento solare. Gli ambienti che necessitano di maggiori quantità di luce e calore vengono orientati a sud, a est o a ovest; l'orientamento a nord è invece riservato ai locali con fabbisogno termico basso o nullo.
- Distribuzione su più livelli
  I locali con fabbisogno termico più elevato vengono disposti nel nucleo di ogni livello.

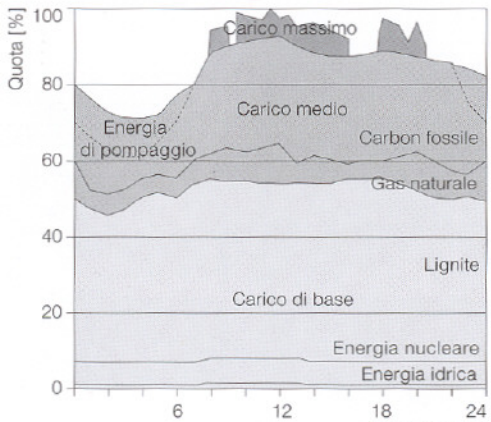
Posizionamento delle masse di accumulo
I vantaggi apportati da una distribuzione degli ambienti in relazione al clima possono essere migliorati mediante un accorto posizionamento delle masse di accumulo (Fig. B 2.36). Nel caso in cui il variare del carico esterno comporti il rischio di surriscaldamento dell'edificio, la



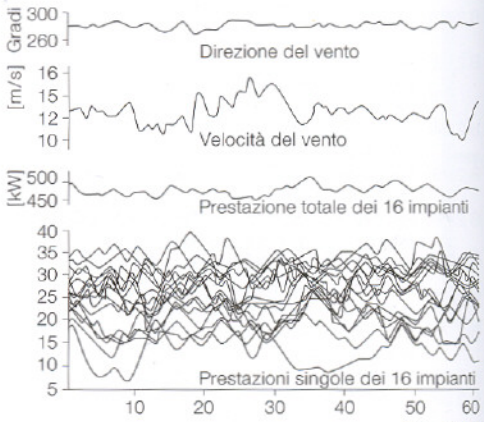
B 2.29



B 2.30



B 2.31



B 2.32

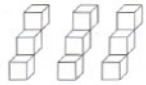
collocazione e l'attivazione di masse di accumulo (ad esempio pavimenti a illuminazione solare) può ammortizzare i picchi termici. Se l'edificio presenta particolari carichi interni (è il caso ad esempio degli edifici per uffici), la massa di accumulo può essere attivata anche in modo indiretto per convezione.
L'attenta analisi delle variabili esterne e delle esigenze interne permette di valutare criticamente le tipologie classiche di edificio e di svilupparne di nuove. A ciò possono contribuire sia le riflessioni di carattere energetico che quelle relative alla destinazione d'uso (Fig. B 2.33).

Infrastrutture e apparato tecnologico

Gli edifici non sono entità isolate, ma sono inseriti in una rete di infrastrutture tecniche di ordine superiore. Gli edifici consumano energia e acqua potabile, producono acque di scarico e rifiuti, e devono essere collegati alle vie di comunicazione.
Le infrastrutture tecniche in Germania occupano circa il 40-45% della superficie totale edificata; la quota maggiore di tale valore è quella relativa alla superficie destinata alle vie di comunicazione. Per il mantenimento e miglioramento delle infrastrutture viene investito ogni anno tra il 10 e il 15% del prodotto interno lordo (Fig. B 2.30). La realizzazione di un più efficiente sistema di approvvigionamento di energia e di risorse presuppone il cambiamento delle condizioni quadro nelle quali inserire le infrastrutture, per quanto concerne sia l'utilizzo che la fornitura. Ciò non vale solo nei casi di utilizzo crescente, ma nella stessa misura anche l'utilizzo parziale di infrastrutture può portare a una limitata efficienza del sistema e al sorgere di cosiddette "infrastrutture dilatate". Il Consiglio tedesco per lo sviluppo sostenibile è pertanto giunto alla seguente conclusione: "In futuro sarà necessario un management integrato tra infrastrutture tecnologiche, tutela del patrimonio esistente, investimenti, smantellamenti e infrastrutture sociali, dall'infrastrutturazione dei trasporti pubblici all'approvvigionamento di base, la cura e il mantenimento delle risorse naturali"[3].

In tale contesto appare fondamentale considerare la correlazione tra spazi urbani e rurali. Da un lato, dotare gli spazi rurali di infrastrutture appare estremamente dispendioso, dall'altro le infrastrutture potrebbero recuperare una parte della loro funzione di alimentazione grazie a un crescente impiego di fonti di energia rinnovabili.

Sistemi di rete
Anche se in futuro gli edifici consumeranno una minore quantità di risorse rispetto a oggi, essi continueranno a dipendere dalla fornitura di energia e di materie prime. Finora l'apparato tecnico di cui gli edifici sono stati dotati ha svolto esclusivamente una funzione di alimentazione (Fig. B 2.31). Con il crescere della decentralizzazione, le infrastrutture non possono più essere considerate come strutture distributive direzionali e ramificate. Solo in una situazione di interazione tra offerta e bisogno, come flusso onnidirezionale, l'infrastruttura tecnica può assumere le proprietà di un vero sistema di rete. Energie e risorse passano da un punto di massima a un punto di minima.

Confronto tra tipologie		**Casa unifamiliare**	**Casa a schiera**	**Casa plurifamiliare**	**Edificio a torre**	**Casa terrazzata**
Orientamento: nord-sud Volume dell'edificio: 4320 m³ Quota superficie infissi Nord 20% Est 30% Ovest 30% Sud 50%						
Rapporto S/V	[1/m]	0,78	0,65	0,43	0,49	0,78
Superficie totale involucro	[m²]	3384	2808	1848	2104	3384
Superficie perimetrale esterna	[m²]	2664	2088	1608	2024	2124
Superficie controterra	[m²]	720	720	240	80	1260
Superficie tetto utile per sfruttamento solare	[m²]	720	720	240	80	720
Rapporto pareti esterne/pavimento	[-]	3,7:1	2,9:1	6,7:1	26,3:1	1,7:1
Quota superficie finestrata	[%]	23	21	27	30	20
Dispersione termica involucro	[H_t']	0,49	0,46	0,56	0,63	0,45
Fabbisogno specifico di energia termica per riscaldamento q_h	[kWh/m²a]	72 (100%)	60 (83%)	48 (66%)	56 (77%)	66 (9%)
Fabbisogno di energia primaria Q_p	[kWh/a]	168000 (100%)	136000 (81%)	113000 (67%)	126000 (75%)	146000 (87%)
Illuminazione		+	o	o	+	–
Superfici libere a utilizzo termico		+	o	o	o	o
Aspetti energetici specifici		Alto rapporto S/V Alto consumo di superficie	Basso rapporto S/V con superficie solare utile invariata	Basso rapporto S/V	Elevato fabbisogno di superficie per gli impianti tecnologici dell'edificio, elevata velocità dell'aria sulla facciata	Elevata quota di superficie a contatto con terreno, caduta acqua di drenaggio

B 2.33

B 2.30 Costi di investimento per reti infrastrutturali in Germania nel 2004
B 2.31 Tipica distribuzione nell'arco della giornata del carico nella rete elettrica tedesca
B 2.32 Prestazioni singole di impianti eolici e prestazione globale come fonte parziale
B 2.33 Tipologie di edifici e confronto tra le diverse caratteristiche energetiche
B 2.34 Dispersioni in diverse reti nel trasporto dell'energia
B 2.35 Correlazione possibile tra le fonti di energia rinnovabili in una futura rete di distribuzione di energia elettrica
B 2.36 Posizione ed effetti delle masse di accumulo in uno spazio confinato
a carichi esterni
b carichi interni
B 2.37 Silos energetico, Creuzburg, Germania, 2004, Planfabrik SPS, Hartmut Sommer

Sicurezza di alimentazione

Le fonti di energia rinnovabili quali il sole o il vento sono prevedibili solo in parte nelle loro manifestazioni. Anche con la riduzione del fabbisogno di energia fossile della rete elettrica, tali fonti non sono in grado di garantire la produzione dell'energia totale richiesta. Di conseguenza è necessario integrare la rete elettrica con altre fonti di alimentazione parziale e poter calcolare l'alimentazione o i consumi di energia. Nel caso dell'energia eolica sono stati messi a punto modelli di previsione sull'alimentazione che presentano un margine di errore dell'8-10% per previsioni nelle 24 ore, modelli che permettono di valutare meglio l'apporto energetico e di ridurre il ricorso a ulteriori vettori di alimentazione (Fig. B 2.32).
Un flusso con andamento non regolare può venire compensato da altre fonti energetiche ad accumulo (ad esempio biogas, combustibili di origine biologica o accumulatori energetici, Fig. B 2.37). Affinché si possa disporre in futuro di modalità di alimentazione energetica che offrano un elevato grado di sicurezza, appare fondamentale garantire una disponibilità conforme al bisogno, oltre alla possibilità di compensare eccedenze o carenze attraverso il potenziamento della capacità di accumulo energetico.
Molti elementi in uso all'interno degli edifici, relativi in particolare all'alimentazione termica (ad esempio per la produzione di acqua calda) o le apparecchiature elettriche ad alto consumo (ad esempio i congelatori), potrebbero svolgere il ruolo di vere e proprie unità di accumulo nella misura in cui offrano la possibilità di differire nel tempo le loro prestazioni: il loro uso può infatti essere sospeso, per essere ripreso successivamente, quando la capacità è eccedente rispetto al fabbisogno. Per raggiungere tale obiettivo sarà tuttavia necessario in futuro regolamentare la correlazione tra consumi e produzione energetica.

Infrastrutture energetiche

A livello regionale e internazionale esiste già una svariata offerta di fonti e forme di energia che permetterà in futuro di collegare in rete i singoli sistemi energetici (Fig. B 2.35). La trasmissione e la distribuzione di energia non avvengono senza dispersioni; tali dispersioni possono essere quantificate mediante il fattore di energia primaria (vedi Tecnologie, pag. 114),

Dispersioni nel trasporto	10 km	100 km	1000 km
Forma di energia			
Elettricità			
380 KV	0,15%	1,5%	15%
800 KV	0,05%	0,5%	1,5%
Calore [1]			
130°C	~3%	~13%	–
70°C	~1,5%	~6,5%	–
Forma di energia			
Legno, petrolio [2]	0,08%	0,8%	8%
Gas	n.d.	n.d.	n.d.

[1] Il trasporto di calore dipende fortemente dalla velocità di flusso; le reti di teleriscaldamento presentano dispersioni fino al 40%.
[2] Calcolato per trasporto su camion.

B 2.34

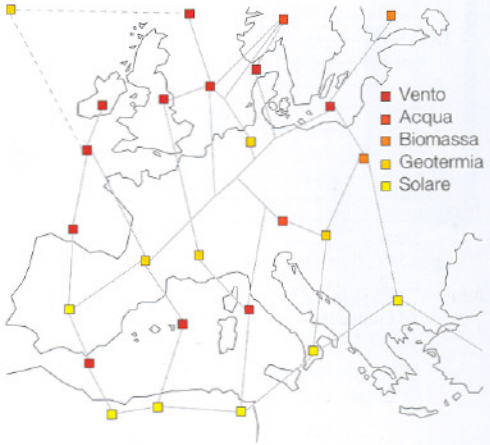
che indica la quota di perdite che avvengono nella catena di distribuzione prima dell'edificio (Fig. B 2.34). Le reti che presentano un elevato grado di dispersione sono più adatte a soluzioni per spazi ridotti (ad esempio reti di riscaldamento), mentre quelle con dispersioni minori possono servire aree più estese (ad esempio reti per la distribuzione di energia elettrica).
Si distingue tra due tipi di reti, le reti delle fonti di energia (ad esempio gas) e le reti delle forme di energia (ad esempio calore o elettricità).

Reti delle fonti di energia

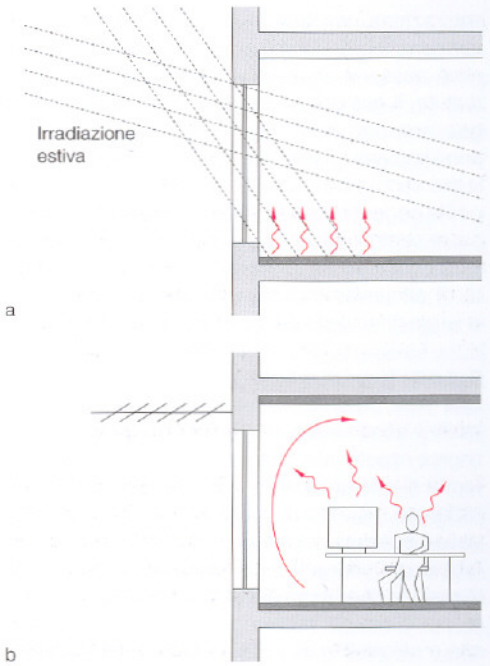
Le reti delle fonti di energia presentano limitate dispersioni di energia: per rendere disponibile una fonte energetica quale, ad esempio, il petrolio si consuma circa il 10% del suo valore energetico, con dispersioni che si registrano soprattutto durante il trasporto. Nel caso delle biomasse solide, tali perdite possono raggiungere anche il 20% circa a causa della serie di procedimenti di lavorazione necessari: il legno, ad esempio, deve essere trasformato in trucioli o in pellet, quindi essiccato e trasportato all'utente finale.

Rete del gas

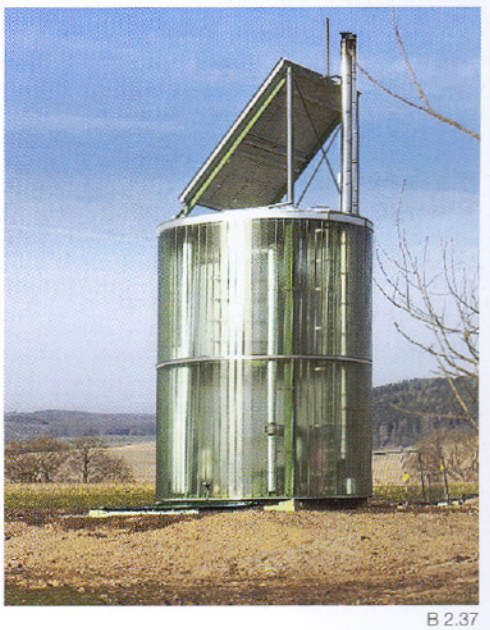
L'unica rete energetica diffusa su quasi tutto il territorio dell'Europa centrale è quella del gas. In Germania, nel 2004, il 47,2% delle abitazioni sono state riscaldate a gas. 42 serbatoi sotterranei, posti in caverne o racchiusi sotto strati di roccia porosi ma a tenuta stagna, possiedono una capacità di immagazzinamento per l'intero sistema di una durata massima di 75 giorni.
I Paesi dell'UE riescono a coprire il 60% circa del proprio fabbisogno, e importano energia per il restante 40%; dato che, secondo le stime, la quota di copertura interna è destinata a scendere al 25% entro il 2020, sono previsti ingenti investimenti nelle infrastrutture in tale settore.
La rete del gas può contribuire all'approvvigionamento a medio termine delle energie rinnovabili. Dato che i vari tipi di gas (gas naturale, grisù, gas di legno e biogas) nelle loro componenti chimiche corrispondono al metano (CH_4), è possibile creare un collegamento tra i diversi alimentatori come avviene in una rete elettrica. A seconda della fonte si distinguono le altre componenti di ciascun gas, soprattutto in base alla



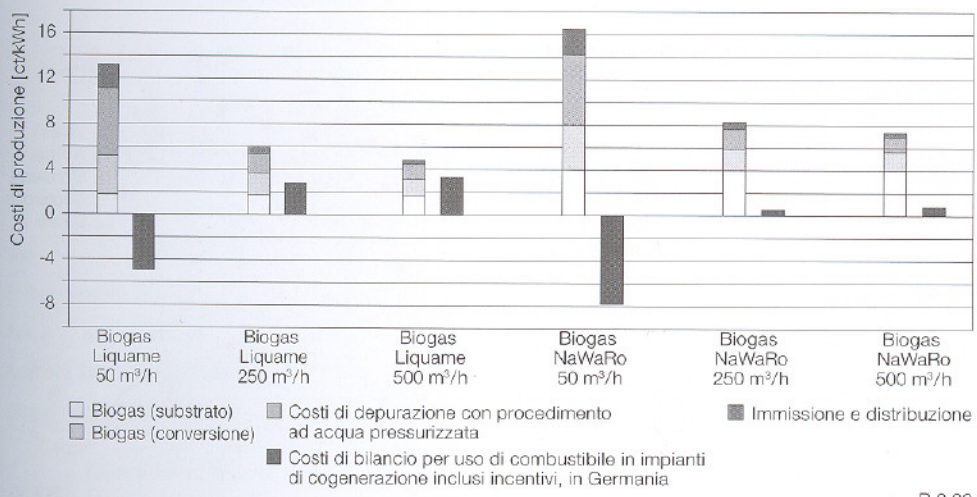
B 2.35



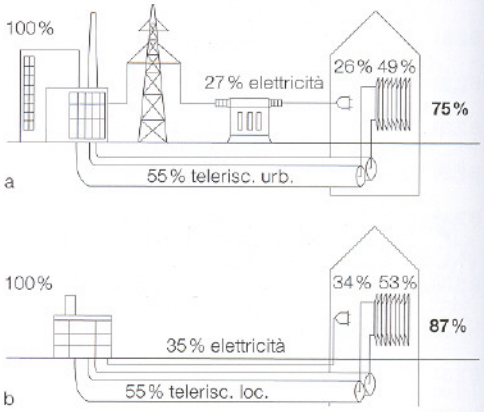
B 2.36



B 2.37



B 2.38



B 2.39

saturazione umida e al contenuto di solfuro di idrogeno (H_2S). Poiché ambedue queste componenti possono causare la corrosione delle condutture, il gas grezzo deve essere trasformato in gas prodotto prima dell'immissione in rete. I primi impianti di alimentazione di biogas e gas di legno sono già in funzione. Essendo predisposte per la cogenerazione di energia elettrica e termica, le centrali a biogas possono già avere un utilizzo commerciale in Germania grazie all'indennità di alimentazione prevista dalla Legge sulle energie rinnovabili (EEG, Fig. B 2.38).

Reti delle forme di energia

Una volta prodotte, le forme di energia possono essere accumulate con maggiore dispendio di risorse rispetto alle fonti energetiche. Le reti delle forme di energia sono quindi maggiormente condizionate, rispetto a quelle di fonti energetiche, dalla necessità di una produzione funzionale ai fabbisogni energetici. La tecnologia della cogenerazione di energia elettrica e termica obbliga a tenere conto del fabbisogno congiunto di elettricità e calore (Fig. B 2.39). Per la limitata quota di dispersione, l'energia elettrica può essere immessa in ampie reti per una più diffusa distribuzione di energia, mentre il calore, per le maggiori perdite di conduzione, può coprire il fabbisogno termico di edifici con una tecnologia a basso costo.

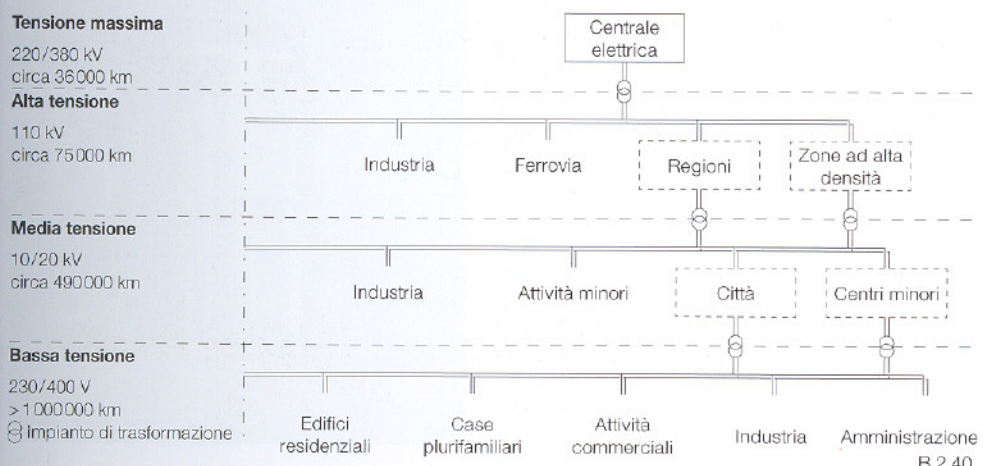
Reti dell'energia elettrica

La rete di trasmissione dell'energia elettrica si articola in livelli di distribuzione a organizzazione gerarchica, con ramificazioni sempre più capillari fino a raggiungere l'utente finale (Fig. B 2.40). La lunghezza di tutte le reti elettriche pubbliche tedesche raggiunge circa 1,6 milioni di km.

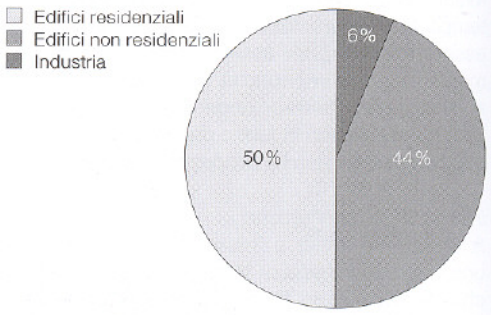
Le dispersioni energetiche avvengono come conseguenza della resistenza (R) dei cavi elettrici, che a sua volta dipende dall'intensità (I) e dalla tensione (U), esprimibile nell'equazione: $R = I/U$. Aumentando la tensione e riducendo l'intensità è possibile ottenere la stessa prestazione ($P = I \cdot U$) con una resistenza minore. Per questo motivo si utilizzano tensioni elevate per la trasmissione dell'energia e tensioni minori per un utilizzo finale sicuro da parte dell'utente. Nel passaggio da un livello di tensione all'altro è necessario l'impiego di impianti di trasformazione che richiedono un elevato uso di superficie (Fig. B 2.40). Tali impianti trasformano la tensione alternata con un processo in cui si verificano alti valori del campo elettromagnetico; l'emissione di onde elettromagnetiche avviene anche attraverso le dispersioni di rete. In Germania, il valore massimo ammesso dalla normativa DIN VDE 0848 e consigliato dall'Organizzazione mondiale della sanità è pari a 5 kV/m. Il valore ottimale di 2,5 kV/m suggerito invece dagli edilbiologi comporta una distanza minima degli edifici da 30 a 60 m in presenza di una linea aerea con tensione nominale di 380 kV. Poiché la massa riduce gli effetti dei campi elettromagnetici, circa il 71% delle reti tedesche viene posto sotto terra, e tale valore è in aumento.

La rete elettrica possiede limitate capacità di accumulo. Per i picchi di carico si dispone di centrali integrative che possono intervenire in caso di necessità. In caso di variazioni di tensione improvvise o per il mantenimento della tensione di rete a livello locale (per tempi inferiori a 1 minuto) possono essere impiegati volani a reazione, ad esempio i rotori degli impianti eolici. Uno stoccaggio di maggiore durata può avvenire mediante centrali a ripompaggio (vedi Tecnologie, pag. 145). La rete di 380 kV è predisposta per la distribuzione su tutto il territorio europeo. Per ogni 100 km di rete si perde circa l'1,5% dell'energia trasportata. Le reti per il trasporto di corrente continua ad alta tensione a 800 kV consentono correnti indotte di entità minore, minori dispersioni (perdite dello 0,5% su 100 km) e minore impiego di materiali. Sono attualmente in corso di realizzazione progetti per la fornitura di energia con tale sistema anche al di fuori dei confini europei (Fig. B 2.35).

In base a uno studio dell'Agenzia tedesca per l'energia (dena), la tendenza alla produzione decentralizzata di energia elettrica comporta un fabbisogno di ulteriori reti di distribuzione di entità trascurabile [4]. Considerando l'aumento del numero dei produttori, ciò di cui si avverte il bisogno è invece un'apposita regolamentazione. A medio termine è necessaria la creazione di un canale informativo che trovi espressione nei cosiddetti "Grid Codes", le regole di funzionamento di una rete di distribuzione. Una volta avviato il canale, i sistemi di regolazione possono evolversi a tal punto da creare funzionalità *"peer to peer"* in



B 2.40



Prestazione termica collegata

Anno	2000	2001	2002	2003	2004	2005
[kWh]	53606	51649	52162	52112	52264	52729

B 2.41

B 2.38 Costi per la produzione di biogas con varie tecnologie relativi al 2006
B 2.39 Confronto tra alimentazione decentralizzata e centralizzata in cogenerazione di energia termica ed elettrica
a centrale termoelettrica centralizzata
b impianto di cogenerazione decentralizzato
B 2.40 Modello a cascata della rete elettrica con lunghezza dei cavi di conduzione
B 2.41 Prestazioni e utilizzo della rete di teleriscaldamento in Germania
B 2.42 Schema di una rete di teleriscaldamento a Basilea, Svizzera, del 2004
B 2.43 Potenziale di utilizzo del teleriscaldamento a corto e medio raggio fino al 2020
B 2.44 Schema di una rete di teleriscaldamento della fabbrica di carta a Salach, Germania, del 2004

Rete di teleriscaldamento a Basilea

Lunghezza:	198,2 km
Produzione termica:	100 340 milioni kWh/a
Dispersione di rete:	10%
Temperatura di esercizio:	170 °C
Rendimento massimo:	309 MW
Utenti collegati:	ospedali, edifici pubblici, edifici industriali e commerciali, circa 40 000 unità residenziali

B 2.42

seno alle quali apparecchi di consumo, come ad esempio una lavatrice, possono segnalare il loro fabbisogno di energia ed essere guidati direttamente dal sistema nel loro funzionamento.

Reti di teleriscaldamento a corto e medio raggio

La quota di alimentazione termica mediante teleriscaldamento registrata in Germania nel 2005 e destinata al riscaldamento di edifici residenziali risulta corrispondere al 14% dell'alimentazione termica totale, con una lunghezza di rete di circa 50 000 km (Fig. B 2.41). Le reti di riscaldamento hanno carattere locale, non possono estendersi su vaste superfici o essere collegate tra di loro. L'84% dell'energia proveniente da tali reti viene prodotta in cogenerazione di energia elettrica e termica. Vari studi sulla fornitura futura di energia hanno previsto un aumento nella produzione di energia elettrica che sfrutti l'efficienza del sistema di cogenerazione (Fig. B 2.43). La produzione continua di elettricità, infatti, porta all'ottenimento costante di energia termica quale "prodotto di scarto" della produzione di energia elettrica (Fig. B 2.39).

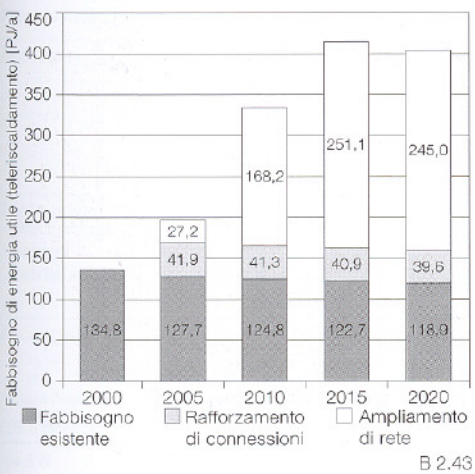
La dispersione di energia di una rete di riscaldamento dipende dall'estensione della rete stessa e dalla sua temperatura di esercizio: più bassa è la temperatura del termovettore, minori saranno anche le dispersioni termiche all'interno del sistema. Nel contempo diminuisce anche la quantità massima di energia trasportabile, oppure, per mantenere tale quantità invariata, deve essere aumentato il pompaggio nel sistema. Per tale motivo si preferisce mettere in funzione un alto numero di reti con liquido termovettore (per lo più acqua o vapore) ad alte temperature (> 100 °C). La distanza massima dall'unità di produzione al più lontano utilizzatore supera di rado i 20 km. Tuttavia il teleriscaldamento può presentare dispersioni di sistema fino al 40%. Non esiste una chiara distinzione tra teleriscaldamento a corto e a medio raggio (Fig. 2.42 e B 2.44), dato che le due denominazioni possono riferirsi sia alla dimensione della rete che al tipo di produzione (centralizzata o decentralizzata). Nella produzione decentralizzata di biogas appare chiaro dove si colloca la logica linea di confine tra la rete del gas e la rete di riscaldamento (Fig. B 2.50).

Le reti di riscaldamento appaiono quindi convenienti solo in caso di elevato prelievo energetico nel territorio raggiunto. Il calore in quanto forma di energia non universalmente utilizzabile ha un ridotto bacino di utenza e serve principalmente per la funzione di riscaldamento degli edifici, in alcuni casi anche di raffreddamento (Fig. B 2.41). La riduzione del fabbisogno energetico dovuta alle migliori condizioni di isolamento termico degli involucri comporta la diminuzione delle potenzialità di vendita. Inoltre, alla maggiore produzione di calore durante il periodo estivo non corrisponde un aumento della domanda da parte degli utenti, molte reti necessitano quindi di una concentrazione della struttura di alimentazione e di un aggancio ad altri utenti. Per regolare il fabbisogno termico nel corso dell'anno vi sono varie possibilità come l'integrazione di utenti industriali o il potenziamento dei sistemi di raffreddamento mediante apparecchi ad assorbimento, ad esempio prevedendo tariffe ridotte per l'acquisto di calore durante l'estate (vedi Tecnologie, pag.130).

Reti di teleriscaldamento solare a corto raggio

L'alimentazione delle reti di teleriscaldamento a corto raggio può avvenire, oltre che bruciando combustibile per produrre calore, anche utilizzando impianti solari con accumulatori di lungo o di breve termine, questi ultimi particolarmente adatti in caso di elevato e regolare fabbisogno di acqua calda, come in abitazioni plurifamiliari, hotel, residenze, ospedali o insediamenti urbani a partire da 30 unità abitative. Come per la classica depurazione dell'acqua, il calore viene conservato in serbatoi di acqua calda, e gli impianti vengono attualmente ottimizzati per essere in grado di coprire il 50% circa del fabbisogno. In riferimento allo standard del decreto tedesco per il risparmio energetico (EnEV), negli edifici residenziali può essere in tal modo coperto il 20% circa del fabbisogno di energia primaria (Fig. B 2.48).

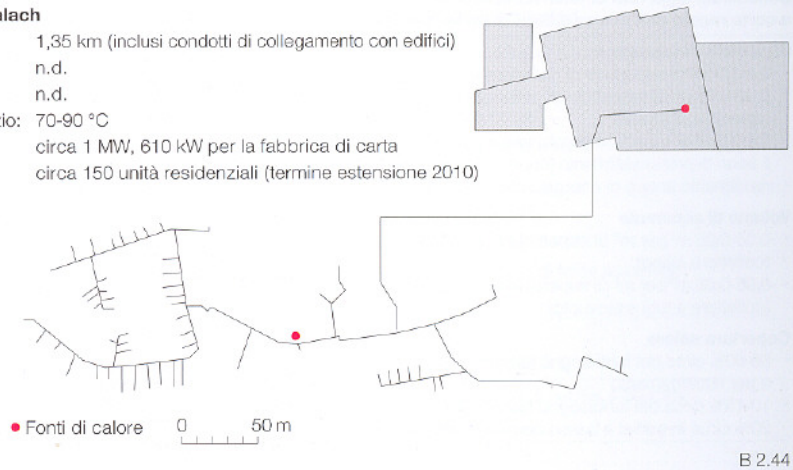
Gli impianti solari con accumulatori di lungo termine, che utilizzano acqua o terra (Fig. B 2.47), offrono un potenziale di copertura del fabbisogno di energia primaria che va dal 40 al 60%, e diventano economicamente vantaggiosi, per il grande impiego richiesto di apparati tecnici, a partire da 100-250 unità abitative (Fig. B 2.46; vedi anche Tecnologie, pag. 124).



B 2.43

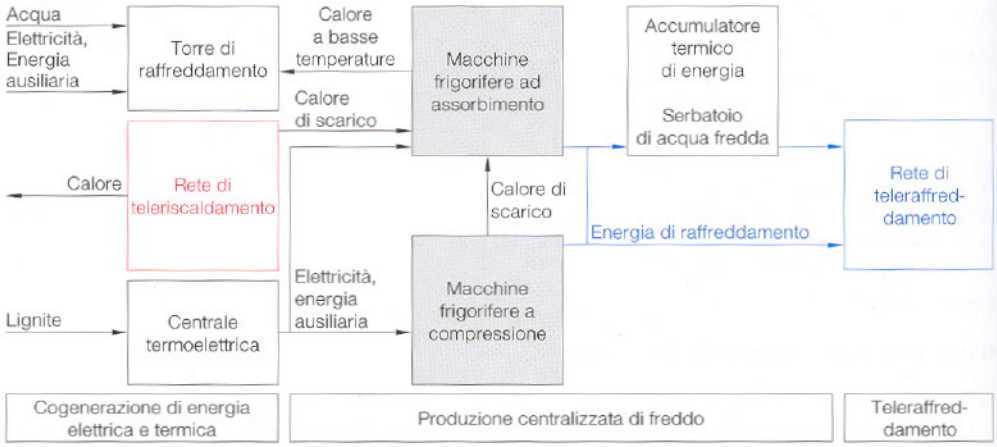
Fabbrica di carta a Salach

Lunghezza:	1,35 km (inclusi condotti di collegamento con edifici)
Produzione termica:	n.d.
Dispersione di rete:	n.d.
Temperatura di esercizio:	70-90 °C
Rendimento massimo:	circa 1 MW, 610 kW per la fabbrica di carta
Utenti collegati:	circa 150 unità residenziali (termine estensione 2010)



B 2.44

B 2.45 Schema di una rete di raffreddamento a Chemnitz, Germania
B 2.46 Dimensioni approssimate di diversi accumulatori termici di lungo termine
B 2.47 Dimensioni approssimate delle reti solari di teleriscaldamento a corto raggio con accumulatori di lungo termine
B 2.48 Dimensioni approssimate delle reti solari di teleriscaldamento a corto raggio con accumulatori di breve termine
B 2.49 Rappresentazione schematica di un impianto per lo sfruttamento delle acque grigie
B 2.50 Soluzioni alternative per il trasporto di energia da biogas in base alla distanza
B 2.51 Consumo pro capite di acqua sanitaria nel 2005
B 2.52 Possibilità di sfruttamento di diversi tipi di acque reflue degli edifici



B 2.45

Dimensioni degli accumulatori di lungo termine

Accumulatori termici per acqua calda
- 1,5-2,25 m³ per m² di superficie di collettore

Accumulatori termici con ghiaia/acqua
- 2,5-4,0 m³ per m² di superficie di collettore

Accumulatori a sonde geotermiche
- 8,0-10,0 m³ per m² di superficie di collettore
- Distanza tra le sonde: 1,5-2,5 m; in terreno roccioso fino a 3 m
- Profondità delle sonde: 20-80 m

Accumulatori termici acquiferi
- 4,0-6,0 m³ per m² di superficie di collettore

B 2.46

Dimensioni della rete di teleriscaldamento a corto raggio con accumulatori di lungo termine

Numero minimo di unità abitative
- 200-500 circa di 70 m² di superficie abitativa ciascuna. Oppure 100-200 case unifamiliari

Superficie del collettore
- 0,14-0,20 m² di superficie di collettore per m² di superficie abitativa
- 1,25-2,5 m² di superficie di collettore per MWh di fabbisogno termico annuo (valgono valori minori per luoghi molto soleggiati e in caso di elevata efficienza del collettore)
- rendimento annuo di energia solare: 300-450 kWh/m²a

Volume di accumulo (equivalenza di acqua)
- 1,5-2,25 m³ per m² di superficie di collettore (valgono valori minori per un più alto rapporto tra offerta energetica solare e fabbisogno di energia termica per riscaldamento)
- Il tipo di accumulatore dipende in primo luogo dalle condizioni locali, soprattutto dalla conformazione idrogeologica

Copertura solare
- 40-50% circa del fabbisogno termico annuo
- fino al 60% circa in edifici a basso consumo energetico

B 2.47

Dimensioni della rete di teleriscaldamento a corto raggio con accumulatori di breve termine

Superficie del collettore
- 0,7-1,0 m² di superficie di collettore a persona (circa 0,02-0,03 m² di superficie di collettore per m² di superficie abitativa)
- 0,4-0,5 m² di superficie di collettore a persona per impianti solari di preriscaldamento (copertura solare 25-40%)
- rendimento annuo di energia solare: 300-450 kWh/m²a

Volume di accumulo
- 0,05-0,06 m³ per m² di superficie di collettore (collettore piano)
- 0,06-0,08 m³ per m² di superficie di collettore (collettore a tubi sottovuoto)

Copertura solare
- 50-60% circa del fabbisogno termico di acqua sanitaria e per riscaldamento
- 10-15% circa del fabbisogno termico annuo, fino al 20% circa in edifici a basso consumo energetico

B 2.48

Reti di raffreddamento

Rispetto alle reti di riscaldamento, le reti di raffreddamento hanno dispersioni più ridotte poiché la loro temperatura di esercizio differisce di poco dalla temperatura esterna. Il fabbisogno medio di raffreddamento della maggior parte degli edifici è di solito minore rispetto al fabbisogno di calore, a eccezione di determinati stabilimenti, laboratori o centri commerciali. Fino a oggi sono state create solo alcune reti di raffreddamento, ad esempio a Chemnitz in Germania (Fig. B 2.45). La lunghezza complessiva in territorio tedesco è di 43 km [5].

Le reti di raffreddamento possono funzionare in due modi: come sistemi chiusi, oppure come reti secondarie di reti di riscaldamento. La produzione congiunta di calore e di freddo avviene mediante macchine frigorifere ad assorbimento, che permettono un'elevata efficienza a medio termine nelle reti sia di riscaldamento che di raffreddamento.

Nelle reti possono presentarsi sovraccarichi termici di breve durata, ad esempio in concomitanza con grandi eventi, che renderebbero necessario un potenziamento nella dimensione dell'impianto. Tale rischio può essere ridotto intergrando accumulatori di freddo nel sistema per la riduzione del sovraccarico.

Acqua

Sebbene la superficie terrestre ne sia ricoperta per i due terzi, l'acqua continua a essere una risorsa preziosa e, per quanto riguarda l'acqua potabile, a rischio di scarsità. Nel sistema climatico mondiale, l'acqua è inoltre un importante vettore energetico.

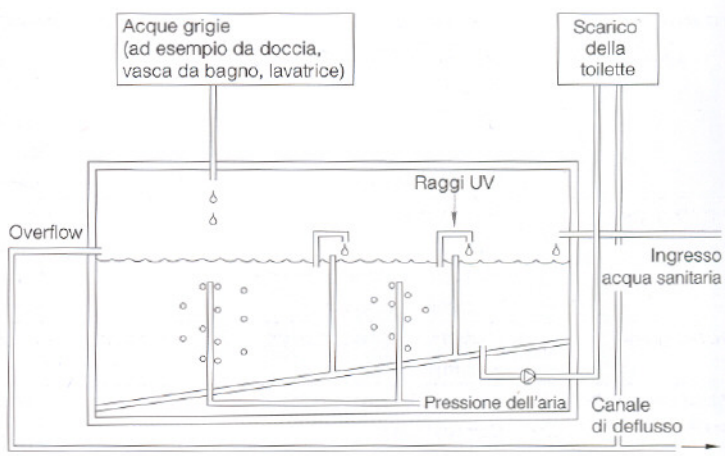
Il clima umido alle latitudini dell'Europa centrale permette di mantenere costante l'accumulo nelle riserve d'acqua di superficie o delle falde freatiche e di disporre così di acqua potabile, ma tali condizioni favorevoli non sono presenti in altre parti del pianeta. Un'eccessiva estrazione di acqua può portare a un abbassamento del livello delle falde e compromettere seriamente gli ecosistemi locali. Il consumo di acqua potabile e la quantità di acqua di scarico dovrebbero quindi essere limitati con adeguati interventi tecnologici e costruttivi (ad esempio utilizzando sistemi di valvole e rubinetteria a risparmio d'acqua). Si consiglia inoltre l'utilizzo di acque meteoriche o di acqua già utilizzata (non eccessivamente sporca).

Depurazione dell'acqua

Negli ultimi anni, il consumo di acqua sanitaria pro capite in Germania è notevolmente diminuito grazie all'uso di tecnologie che permettono il risparmio e grazie a un più accorto consumo di acqua da parte degli utenti, pur con le dovute differenze locali: dai 147 litri al giorno pro capite del 1990 si è passati ai 128 nel 2005. Anche su scala internazionale si registrano notevoli differenze a seconda del luogo (Fig. B 2.51).

L'acqua grezza può provenire da falde sotterranee, sorgenti o aree di superficie, oppure può essere ottenuta catturando l'acqua piova-

Dimensioni [m]	h·l·p 1,5·1,1·0,6
Peso	circa 130 kg
Capacità	in totale 500 l
Pressione [bar]	max. 4,7 min. 1,7
Collegamento a rete	230 V/50 Hz
Rendimento massimo	1 kW
Consumo di energia elettrica	0,6 kWh/d



B 2.49

na in apposite cisterne o desalinizzando l'acqua del mare (soprattutto nelle aree costiere a clima secco). A garanzia della qualità vengono create speciali protezioni per i territori in cui si trovano le falde acquifere. In Germania la maggiore quantità di acqua sanitaria consumata proviene dalle falde (65%), a cui segue il filtrato fluviale costituito da acque di superficie e delle falde. Gli strati sabbiosi dei fiumi favoriscono la depurazione meccanica delle acque.
Per poter ricavare acqua sanitaria dall'acqua grezza, come previsto dalla norma DIN 2000, la depurazione e la sterilizzazione avvengono a livello centrale eliminando o integrando gli ioni liberi (ad esempio ferro o sali). La regolazione del pH e della conduttività e l'aggiunta di cloro dipendono sia dalla qualità dell'acqua che si intende ottenere, sia dalla qualità della rete di condutture esistente.
Per il mantenimento della pressione all'interno del sistema di distribuzione vengono impiegati serbatoi in posizione sopraelevata e stazioni di pompaggio e per l'aumento della pressione, che a loro volta comportano un aumento di costi di costruzione e una successiva manutenzione, nonché un notevole impiego di tecnologia. Compito dei gestori è garantire un flusso costante di acqua all'interno della rete. Non sono tuttavia assenti le perdite per difetto di tenuta: nella rete europea sono attestate su valori compresi tra l'8% della Germania e il 27% dell'Italia [6].

Utilizzo delle acque di scolo
Per un utilizzo efficiente della risorsa acqua, è possibile prevedere un uso ripetuto a seconda del tipo di utilizzo (Fig. B 2.52). Le acque meteoriche possono essere ad esempio utilizzate dapprima come acque grigie e in seguito come acque nere (a contenuto di resti fecali), seguendo in tal modo un processo di downcycling rallentato. Oltre che per lo scarico della toilette, l'acqua piovana può anche essere impiegata nella cura del giardino o quale vettore negli impianti di raffreddamento. Il necessario filtraggio prima dell'uso può essere supportato dalla messa a verde delle superfici di raccolta. Anche l'acqua grigia può trovare impiego come acqua di scarico delle toilette, e dato che il consumo giornaliero di acqua per la pulizia

Distanza	Modalità efficienti per il trasporto di energia da biogas
Fino a 1,5 km	Rete di teleriscaldamento a corto raggio
Da 1,5 km	Conduttura del gas propria
Oltre 5 km	Trattamento del gas e immissione in rete

B 2.50

Paese	Consumo giornaliero pro capite di acqua sanitaria [l]
Fabbisogno di base secondo l'OMS	50
Europa	
Belgio	122
Germania	128
Austria	145
Francia	151
Svezia	188
Italia	213
Svizzera	237
India	25
Giappone	278
USA	295

B 2.51

del corpo (doccia o bagno) corrisponde all'incirca all'uso di acqua per lo scarico dei servizi igienici, è possibile ridurre in tal modo il fabbisogno di acqua di circa il 30%. Gli impianti per le acque grigie prevedono il filtraggio e la depurazione, cui segue la sterilizzazione con trattamento a raggi UV; necessitano di una rete di condutture all'interno dell'edificio e di un serbatoio (Fig. B 2.49).
Alcune tecnologie innovative permettono di isolare sezioni di flusso dell'acqua dopo averne analizzato la composizione. Sono già disponibili soluzioni low-tech per bacini di acqua all'aperto e soluzioni high-tech per sistemi di climatizzazione che utilizzano, ad esempio, l'acqua piovana. Si basano sull'analisi della composizione del flusso anche i sistemi di toilette sottovuoto che raccolgono acque nere concentrate, separandole in acque marroni e gialle, per renderle successivamente disponibili per altri usi all'interno di serbatoi (Fig. B 2.52). Simili sistemi, che permettono anche l'upcycling, riescono inoltre a garantire un funzionamento del ciclo senza la produzione di acque reflue.

Deflusso delle acque di scarico
Se il trasporto dell'acqua avviene mediante un sistema di canalizzazione "misto", tutte le acque reflue vengono convogliate in condutture comuni per il loro trattamento. In caso di forti precipitazioni, il volume del flusso può aumentare di 100 volte rispetto alla quantità di acqua in condizioni di tempo asciutto. Difficilmente le canalizzazioni e gli impianti di depurazione sono in grado di gestire simili quantità che possono compromettere il corretto trattamento dell'acqua. Di solito si tende quindi a utilizzare i cosiddetti sistemi "separati", che permettono di trasportare le acque reflue e le acque meteoriche in due sistemi di canalizzazione distinti (Fig. B 2.72). È così possibile limitare le dimensioni delle condutture e ottimizzare il rendimento dell'impianto di depurazione.

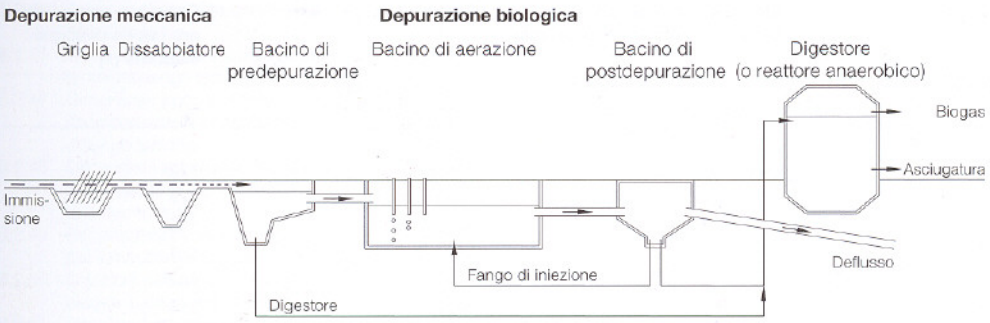
Trattamento delle acque di scarico
La depurazione dell'acqua si articola di norma in tre livelli.

- Depurazione meccanica (primo livello): le impurità maggiori vengono eliminate mediante passaggio attraverso griglie; la riduzione della velocità consente il deposito dapprima delle sostanze più pesanti, in seguito di quelle più leggere, in sospensione, nel dissabbiatore e nei bacini di prechiarificazione.
- Depurazione biologica (secondo livello): si basa sull'attività di microrganismi per l'eliminazione dell'azoto, che utilizzano le sostanze nutritive, e si trasformano a loro volta in materiali in sospensione; il procedimento a fanghi attivi necessita di una grande quantità di ossigeno, e i residui della chiarificazione vengono quindi eliminati meccanicamente nel corso del ciclo.

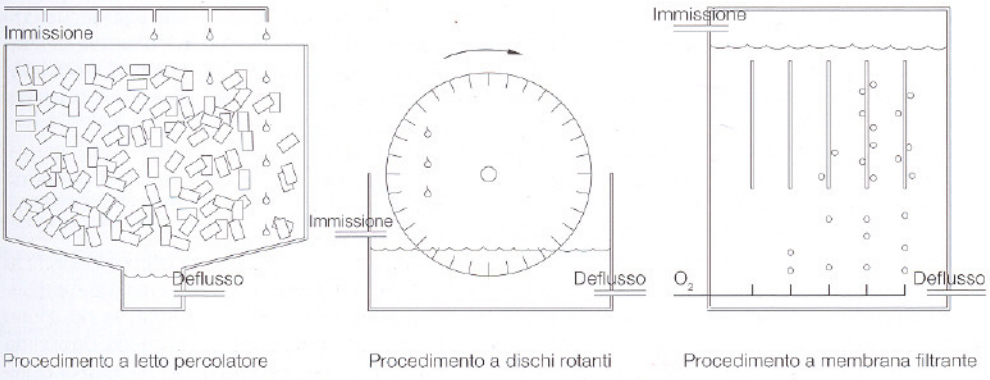
La depurazione meccanica e quella biologica consentono l'asportazione del 90% circa

Provenienza	Trattamento	Possibilità di utilizzo	Impieghi ulteriori
Acqua piovana	Filtraggio semplice (strato di ghiaia)	Irrigazione	Integrazione di falde acquifere
	Filtraggio	Raffreddamento (vettore termico)	–
		Doccia, lavatrice	Acque grigie
		Scarico toilette	Acque gialle e nere
	Trattamento biologico	Approvvigionamento idrico	
Acque grigie	Sterilizzazione	Lavatrice	Acque grigie
		Scarico toilette	Acque gialle e nere
	Filtraggio, trattamento biologico	Irrigazione	Integrazione di falde acquifere
	Trattamento biologico	Approvvigionamento idrico	
Acque gialle	Sterilizzazione mediante accumulo e asciugatura	Produzione di concimi	
	Accumulo	Materia prima per industria chimica	
Acque nere	Fermentazione anaerobica	Produzione di biogas	Produzione di humus e concimi
Rifiuti biologici e di cucina	Compostaggio	Produzione di humus e concimi	

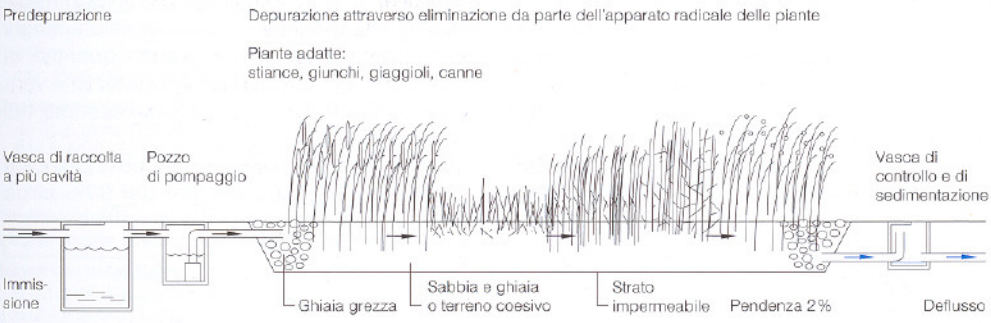
B 2.52



B 2.53



B 2.54



B 2.55

B 2.56

delle impurità che è possibile eliminare biologicamente (Fig. B 2.53).

- Depurazione chimica (terzo livello): si tratta di una fase raramente utilizzata, che richiede un elevato impiego di energia e risorse tecnologiche e permette di eliminare quasi tutte le sostanze chimiche presenti nell'acqua di scarico.

Gli impianti di trattamento delle acque reflue (Fig. B 2.57) presentano un fabbisogno di superficie pari a 0,5-2 m² per abitante. Il minore consumo di acqua, dovuto alla riduzione dei nuclei familiari e all'aumento della superficie abitativa pro capite, provoca un sottoutilizzo degli impianti con conseguenti problemi nel mantenimento del flusso e forti aumenti dei costi di trattamento e manutenzione negli impianti centralizzati, che in Germania superano già i costi per la depurazione di acqua sanitaria. Con 4400 GWh/a, gli impianti di trattamento consumano una quantità di energia più elevata rispetto a quella consumata dalla totalità delle scuole tedesche [7]. Tali costi sono dovuti soprattutto alla necessità di aerazione, circolazione e trasporto dell'acqua da trattare. La depurazione biologica richiede un terzo della superficie di un intero impianto. Per tali motivi, si preferisce fare ricorso a sistemi di trattamento su scala locale anziché a un impianto centralizzato. Oltre che con i trattamenti ai fanghi attivi, la depurazione biologica può essere effettuata anche con altri procedimenti (Fig. B 2.54).

- Procedimento a letto percolatore: l'acqua reflua viene fatta colare attraverso elementi di riempimento in plastica o attraverso sostanze minerali; i microrganismi depuranti si trovano sulla superficie più ampia degli elementi i quali assicurano nel contempo una buona aerazione.
- Procedimento a dischi rotanti: l'elemento a immersione si trova costantemente immerso per metà nel flusso dell'acqua da trattare; l'immissione di ossigeno per i microrganismi avviene mediante rotazione continua.
- Procedimento a membrana filtrante: si tratta di una variante in scala minore del trattamento ai fanghi attivi che, al contrario delle altre tecniche, non richiede alcuna depurazione secondaria; la pulitura della membrana avviene mediante rotazione, risciacquo e formazione di piccole bolle d'aria.

Attualmente si preferisce utilizzare procedimenti di fitodepurazione che offrono un trattamento più naturale, in depuratori vegetali o in bacini reflui, e conforme alla norma DIN 4261. Gli impianti di piccole dimensioni sono adatti all'impiego casalingo o per agglomerati di circa 200 abitanti. La depurazione può avvenire in modalità orizzontale o verticale.
In un impianto di depurazione vegetale orizzontale vengono utilizzate aree di terreno da 3 a 10 m² per persona, con una profondità da 60 a 80 cm, a seconda che il trattamento riguardi solo le acque grigie o tutte le acque di scarico (Fig. B 2.55). L'impianto di depurazione vegetale

B 2.57

B 2.53 Schema di funzionamento di un classico impianto di depurazione con fase meccanica e biologica
B 2.54 Rappresentazione schematica di tecniche di aerazione alternative per la depurazione biologica
B 2.55 Schema di funzionamento di un impianto di depurazione vegetale orizzontale
B 2.56 Schema di funzionamento di un impianto di depurazione vegetale verticale
B 2.57 Foto aerea di un impianto di depurazione nella regione della Ruhr, in Germania
B 2.58 Area di ingresso a struttura funzionale con punto di raccolta rifiuti, zona residenziale di Ochsenanger, Bamberga, Germania, 2000, Melchior Eckey Rommel
B 2.59 Quote di conferimento in discarica di diversi tipi di rifiuti in Germania
B 2.60 Valutazione ecologica e previsioni sull'andamento dell'economia dei rifiuti in Germania
B 2.61 Flussi di materie e loro riutilizzo nell'economia dei rifiuti

B 2.58

verticale raggiunge una profondità di 80-120 cm con lo stesso volume di carico e richiede una superficie minore, essendo necessari da 1,5 a 5 m² per persona (Fig. B 2.56).

Rifiuti industriali e domestici

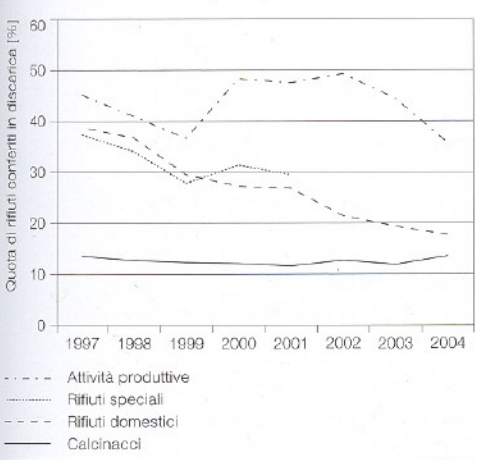
Essendo considerati una vera e propria materia prima, i rifiuti vanno sottoposti al più elevato grado possibile di riciclaggio. La Legge tedesca sui rifiuti e sull'economia del riciclaggio introduce l'obbligo di riutilizzare i rifiuti, a meno che non venga giudicata indispensabile una loro eliminazione. La maggior parte dei rifiuti prodotti in Germania viene oggi riciclata; le quote di rifiuti che finiscono nelle discariche sono in forte diminuzione, fanno eccezione i rifiuti edilizi (Fig. B 2.59). Dal punto di vista energetico è soprattutto il riutilizzo di materiali a offrire le maggiori possibilità di risparmio (vedi Materiali, pag. 174).

Raccolta dei rifiuti

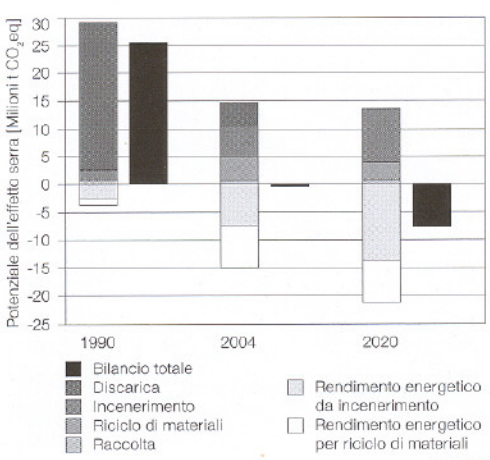
I rifiuti dei centri urbani sono caratterizzati da un'elevata eterogeneità. I materiali particolarmente nocivi alla salute (ad esempio batterie con metalli pesanti o tinte e vernici) possono essere separati dai rifiuti e conferiti in appositi centri di raccolta.
La raccolta differenziata permette la separazione dei rifiuti già sul luogo della loro produzione, anche se alcuni rifiuti presentano impurità che vanno eliminate dopo la separazione, comportando un ulteriore dispendio energetico per il trasporto. In base al luogo di produzione dei rifiuti, la separazione può avvenire meccanicamente in una centrale oppure già sul luogo di raccolta.
La funzionalità del processo e il comportamento degli utenti possono essere positivamente influenzati dalla scelta di un luogo di raccolta facilmente accessibile e dalla sua organizzazione secondo criteri razionali.
La raccolta in luoghi di pubblico accesso è adatta per i rifiuti di alto valore intrinseco, voluminosi o nocivi alla salute, mentre la raccolta differenziata riguarda carta, vetro, biomassa, plastica, tessuti, metalli, elettrodomestici e olio. I luoghi di raccolta possono prevedere lo stoccaggio sotterraneo o a cielo aperto. Nel primo caso i costi sono più elevati, ma si ha un migliore impatto ambientale per l'integrazione con il paesaggio esterno e la riduzione del consumo di superficie. Le discariche a cielo aperto presentano invece il rischio di abusi e atti di vandalismo, ma la posizione in luoghi di pubblico accesso favorisce la gestione privata della raccolta stessa. La valenza locale del tema "rifiuti" trova un riscontro anche nel settore immobiliare, nel quale alla valutazione del valore di un'area contribuisce anche la posizione e la tipologia del luogo di raccolta dei rifiuti (Fig. B 2.58). Destinazioni d'uso particolari possono dare luogo a particolari flussi di rifiuti che richiedono un tipo di intervento differenziato (ad esempio la gastronomia).

Trattamento dei rifiuti

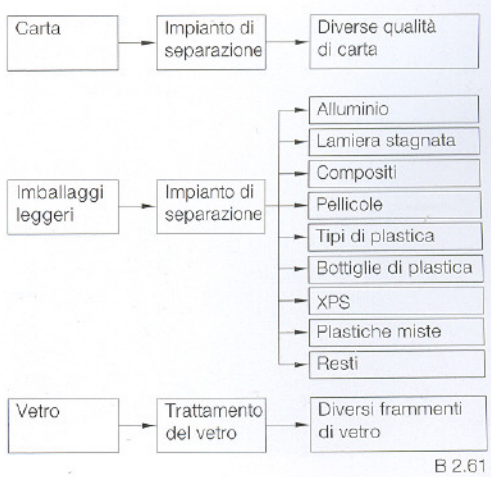
La decomposizione anaerobica delle componenti biologiche dei sedimenti di rifiuti porta alla formazione di biogas e gas metano, sostanze nocive all'ambiente che possono tuttavia essere raccolte e sfruttate per la produzione di energia in impianti di cogenerazione. Per ridurre la produzione di gas metano nelle discariche, è possibile sottoporre i rifiuti a un trattamento che in Germania è obbligatoriamente prescritto dal 2005: si tratta di un procedimento biologico-meccanico anche chiamato "procedimento a freddo", nel quale i rifiuti sono trattati dapprima meccanicamente con la separazione di materie prime che possono essere riutilizzate altrove (Fig. B 2.61). I meccanismi degli impianti di separazione dei rifiuti si basano ad esempio sulla dimensione, sul colore, sulle proprietà magnetiche o sul peso dei rifiuti da trattare (Fig. B 2.62). Le restanti masse biologiche possono essere ridotte in compost oppure, come avviene per i fanghi di sedimentazione, fatte fermentare in modalità anaerobica dopo essere state sterilizzate; questo processo porta anche alla formazione di biogas utilizzabile.
I trattamenti di tipo termico comprendono ogni tipo di intervento di incenerimento e portano alla generazione di calore che può essere convertito in energia elettrica oppure sfruttato nelle reti di teleriscaldamento.
Mediante la pirolisi, un processo di trasformazione, ad alta temperatura in assenza di ossigeno viene modificata la composizione chimica dei rifiuti. Tale processo porta inoltre alla formazione di gas, che viene immesso in rete, e alla produzione di scorie.



B 2.59



B 2.60



B 2.61

B 2.62

Mezzo di trasporto	Lavoro W/km [%]	Carico tipico [%]	Raggio d'azione tipico [km]	Tipiche lunghezze di tragitto [km]	[min]	[km/h]	Utilizzo dei mezzi di trasporto [%] Totale	Zona rurale	Aree ad alta densità abitativa
A piedi	100	100	–	1,4	21,1	4,3	22	21	24
Bicicletta	30	100	–	3,3	22,3	10,6	9	11	9
Bus e treno	420	20–25[1]	[2]	12,6	39,6	18,1	8	5	12
Auto	930 (area interurb.) 2700 (città)	–	25–30	14,1 –	20,7	32,8[3]	61 (B: 45 A: 16)	63 (B: 46 A: 18)	55 (B: 40 A: 15)
Aereo	830	60	>200 km	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

[1] Bus extraurbano: 60%; treno ad alta velocità: 45%.
[2] Bus e tram: 400 m; treno suburbano: 500-1000 m.
[3] Valori relativi al guidatore; altri occupanti auto: 15,4 km / 22,0 km / 31,6 km.

B = biciclette
A = altri occupanti auto

B 2.63

Il piano programmatico valido fino al 2020 stilato dal Ministero federale tedesco per l'ambiente (BMU) prevede l'impiego del trattamento termico dei rifiuti per coprire l'1% del fabbisogno energetico nazionale (Fig. B 2.60).

Trasporto

In una società fondata sulla divisione del lavoro, la mobilità rappresenta una condizione necessaria per lo sviluppo economico e dell'individuo. Dato che è soprattutto tra i diversi edifici che hanno luogo i flussi di traffico, la struttura e il consumo energetico relativi a questi ultimi sono stettamente correlati alle condizioni urbanistiche e architettoniche da cui sono originati. In Germania, il settore dei trasporti è il secondo per consumo di energia (Fig. B 2.3). Attraverso interventi costruttivi e incentivi è possibile creare le condizioni per indirizzare il traffico individuale su mezzi di trasporto pubblico più efficienti e su tecnologie ad autotrazione, ad esempio le biciclette.
I flussi di trasporto vengono suddivisi in due grandi categorie: trasporto di beni e trasporto di persone (Fig. B 2.65).

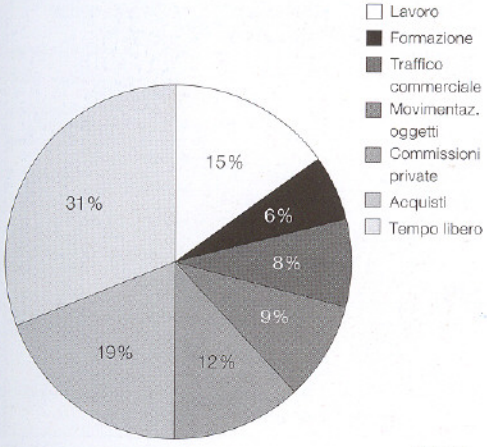
Infrastrutture per il trasporto

Le infrastrutture per il trasporto distribuite su tutto il territorio nazionale sono costituite dalla rete di strade e di ferrovie. La rete stradale pubblica tedesca si estende per 626 300 km circa e copre all'incirca l'1,2% della superficie totale; il 63% di tale valore è relativo alle vie di accesso locale (strade comunali, Fig. B 2.66). La rete ferroviaria tedesca è di circa 43 800 km.
Il fabbisogno pro capite di superficie destinata alle infrastrutture per il trasporto, pari circa a 50 m², è maggiore rispetto al fabbisogno medio pro capite di superficie residenziale (vedi Architettura e sostenibilità: una relazione difficile, pag. 18). In relazione al fabbisogno di superficie e al rendimento di trasporto, la rete ferroviaria presenta un grado di efficienza doppio rispetto alla rete stradale. La rete idrica permette il trasporto di merci su mare, fiumi e canali. Il limitato consumo di superficie da parte del trasporto aereo è compensato da un elevato inquinamento acustico e ambientale.

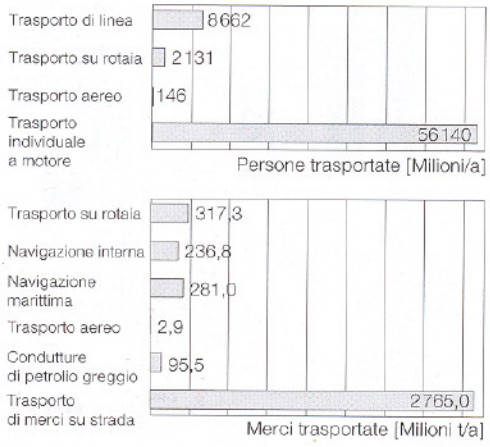
Mezzi di trasporto

Sono tre i fattori principali che condizionano il fabbisogno energetico del sistema di trasporto: l'efficienza del mezzo, la velocità e il carico. Mentre per efficienza e carico sono richiesti valori il più possibile elevati, la velocità ottimale dipende dalla distanza da percorrere. La velocità di sistema ideale per gli spostamenti a lungo raggio attraverso l'Europa centrale si colloca tra i 250 e i 300 km/h. La riduzione della velocità porta di norma a un risparmio energetico. Nel trasporto pubblico cittadino su rotaia, ad esempio, il fabbisogno energetico viene ridotto del 50% se si riduce la velocità massima da 70 a 50 km/h. Efficienza, accessibilità e velocità determinano il raggio di azione di ciascun mezzo di trasporto (Fig. B 2.63).

Nel settore del trasporto merci, treni e navi offrono un sistema efficiente; il trasporto su gomma permette invece di ottimizzare la distribuzione dei beni di consumo, anche se richiede una maggiore quantità di energia (Fig. B 2.65). Anche nel trasporto motorizzato di persone la ferrovia rappresenta la tecnologia a più elevata efficienza energetica. L'elevato fabbisogno energetico del trasporto individuale a motore deriva soprattutto dalla minore incidenza di carico (25-30%) e dal minore grado di sfruttamento energetico, oltre che dalla notevole massa di peso totale da trasportare rispetto al ridotto carico di persone trasportate. Un aumento di carico in questo tipo di trasporto può essere ad esempio ottenuto aumentando l'offerta di trasporto pubblico a corto raggio, oppure con l'offerta di sistemi di car-sharing e di punti di noleggio auto.
Il sistema più efficiente per gli spostamenti è quello che utilizza la propria forza corporea; lo spostamento in bicicletta richiede il 70% di forza fisica in meno rispetto allo spostamento a piedi.
Un fattore importante nella valutazione delle diverse modalità di trasporto è rappresentato anche dagli effetti sulle condizioni climatiche. Ad esempio, il vapore acqueo prodotto da una combustione ha effetti limitati negli strati inferiori dell'amosfera; se raggiunge gli strati superiori può invece contribuire in modo decisivo ai cambiamenti climatici. Il traffico aereo è in tal senso la forma di trasporto con il maggiore impatto climatico.
Nel settore del trasporto urbano si sta cercando di promuovere l'utilizzo di auto a trazione



B 2.64



B 2.65

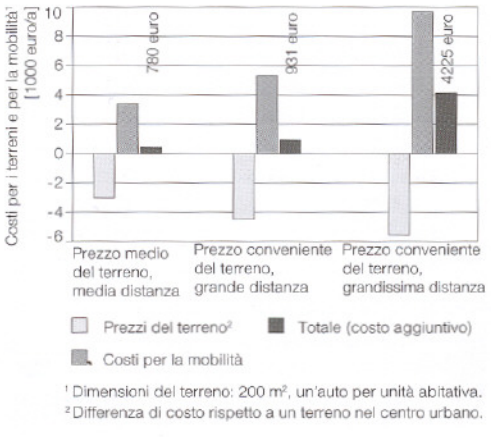
Strade	Lunghezza [km]	Quota [%]
Autostrade nazionali	11786	1,9
Strade nazionali	41228	6,6
Strade regionali	86838	13,9
Strade provinciali	90996	14,5
Strade comunali	395400	63,1

B 2.66

Mezzi di trasporto per merci	Distanze di trasporto [t km/MJ]
Aereo	0,3
TIR	1,7
Ferrovia	3,3
Nave	4,3

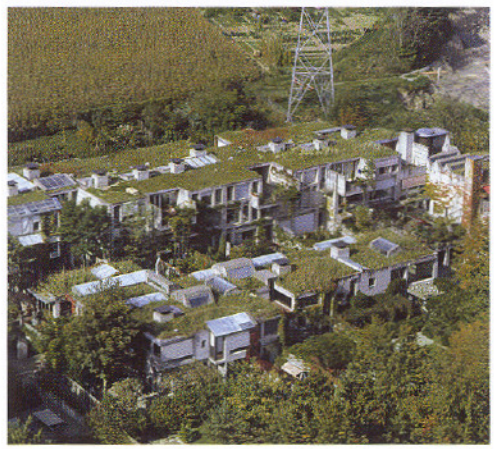
B 2.67

B 2.62 Separatore ad aria: separazione di imballaggi leggeri da pellicole mediante pressione dell'aria in un impianto di separazione
B 2.63 Alcuni parametri tipici relativi a diversi mezzi di trasporto
B 2.64 Volumi di traffico in relazione a diversi scopi
B 2.65 Persone e merci trasportate in Germania nel 2005
B 2.66 Tipologie di strade della rete stradale tedesca nel 2004
B 2.67 Efficienza dei mezzi di trasporto per la movimentazione delle merci
B 2.68 Costi aggiuntivi per un terreno all'interno dell'area urbana e risparmio per la riduzione degli spostamenti in un esempio relativo alla città tedesca di Amburgo
B 2.69 Quartiere privo di auto, insediamento di Thalmatt 1, Herenschwanden, Svizzera, 1974, Atelier 5
B 2.70 Serie di fermate di tram, Hannover, Germania, 2000, Despang Architekten



¹ Dimensioni del terreno: 200 m², un'auto per unità abitativa.
² Differenza di costo rispetto a un terreno nel centro urbano.

B 2.68



B 2.69

elettrica che presentano il vantaggio di un impatto neutro sull'ambiente locale. Il bilancio di energia primaria e gli effetti climatici a esso correlati possono essere valutati solo sulla base della produzione di energia per l'elettricità.

Fabbisogno di mobilità

Ogni giorno l'uomo spende dai 75 agli 85 minuti del suo tempo per la mobilità, indipendentemente dal mezzo di trasporto scelto e dal contesto nazionale o regionale in cui si muove [8]. Mentre il consumo di tempo per la mobilità è soggetto a variazioni insignificanti, aumentano invece il raggio degli spostamenti e le mete raggiungibili con i trasporti, e aumenta contemporaneamente anche il volume complessivo dei trasporti. Ciò è espressione della crescente tendenza alla flessibilità delle nostre abitudini di vita [9]. L'uomo compie ogni giorno mediamente 3,5 spostamenti da un luogo all'altro. Il 50% di tali spostamenti avviene su una distanza inferiore ai 3 km.

Trasporti urbani

Se consideriamo il fatto che le persone trascorrono il 90% del loro tempo all'interno di edifici, per quanto concerne la mobilità il trasporto può essere descritto come spostamento da un edificio all'altro.

Uno dei tragitti più comuni collega il luogo di residenza con il luogo di lavoro (Fig. B 2.64). Considerando l'esempio di una città come Amburgo, è dimostrato che un luogo di residenza all'interno della città, nonostante i prezzi più alti del 700% per l'acquisto di un terreno edificabile, è economicamente più conveniente di una residenza dello stesso valore in aree extraurbane grazie al risparmio sui costi per la mobilità (Fig. B 2.68). Una simile situazione può essere considerata valida anche per altre realtà locali. I risparmi che ne possono derivare riguardano anche la diminuzione del numero di automobili e il risparmio del tempo (fino a 5 volte) altrimenti dedicato ai trasferimenti. In un confronto di tipo energetico, un edificio vecchio che consuma 200 kWh/m²a e ha una superficie utile di 150 m² come casa passiva presenta lo stesso valore di un totale di spostamenti individuali con mezzo a motore di 10 000 km all'anno. Il bilancio energetico di una famiglia che vive all'interno di una città può essere più basso di 4 volte rispetto a quello di una famiglia analoga che vive in campagna.

La migliore strategia per evitare i flussi di traffico per spostamenti locali si fonda su un'edilizia ad alta densità accompagnata da un'offerta locale di spazi abitativi interessanti e di diversa tipologia vicini ai luoghi con offerta di beni e servizi. Le distanze brevi verso scuole, negozi, lavoro, svago e altre funzioni consentono un risparmio per quanto riguarda il trasporto e tutti i costi energetici correlati (Fig. B 2.69).

Rispetto agli insediamenti rurali, gli spazi urbani si avvantaggiano di una migliore offerta di trasporto pubblico a corto raggio e di strutture per la mobilità a piedi o su due ruote; una serie di elementi di stimolo (ad esempio facile accesso, frequenze ravvicinate e maggiore senso di sicurezza) possono promuovere ulteriormente il passaggio dal trasporto individuale a motore verso i mezzi di trasporto pubblico. All'interno dei quartieri cittadini, a seconda della loro accessibilità, è possibile ricorrere a diverse forme di organizzazione del trasporto individuale che possano vincolare gli utenti in misura più o meno accentuata (Fig. B 2.73).

Un buon collegamento con la rete dei trasporti pubblici locali può diventare un fattore determinante nella scelta del luogo di residenza. Nella progettazione urbana vanno considerati anche gli aspetti relativi alla riconoscibilità dei punti di connessione della rete di trasporti, e il fatto che gli utenti giudicano positivamente le soluzioni per il trasporto in superficie (Fig. B 2.70 a-c). In caso di strutture sotterranee è necessario provvedere a un'adeguata illuminazione che possa compensare l'assenza di luce naturale soprattutto nelle ore notturne e in caso di scarsa frequentazione degli spazi. Le stazioni sotterranee riducono il consumo di superficie utile nello spazio urbano, ma necessitano di un maggiore impiego di energia per aerazione e illuminazione nel caso non sia possibile provvedere a un'immissione di luce e di aria direttamente dall'esterno (Fig. B 2.71).

Per il collegamento con le aree circostanti, il progetto della mobilità dovrebbe prevedere la creazione di percorsi prioritari per pedoni e ciclisti, con elevati standard di sicurezza, attrattiva e posteggi per biciclette facilmente accessibili.

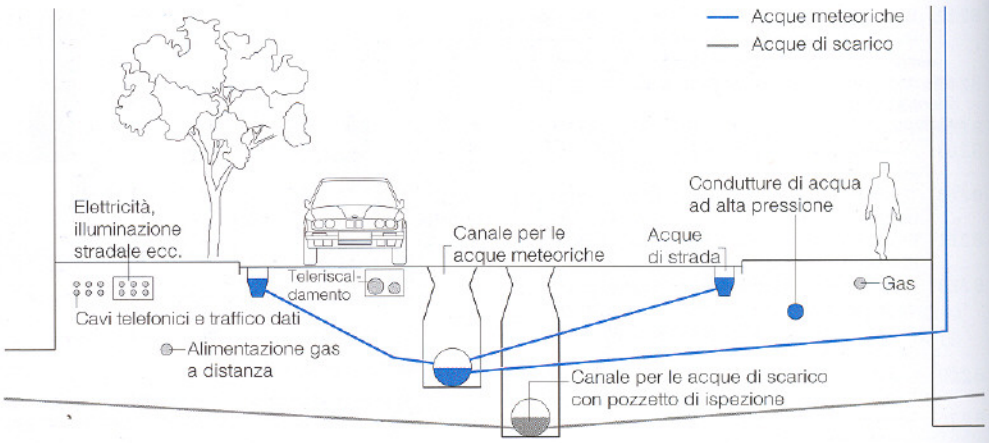
a

b

c

B 2.70

B 2.71



B 2.72

Sede stradale

Le infrastrutture relative al trasporto pubblico all'interno delle aree abitate occupano in media il 39% della superficie. Di fronte a un valore così elevato appare sensato ogni tipo di intervento che miri da un lato a ottimizzare e dall'altro a ridurre l'utilizzo di superficie, oltre che a trasformare la destinazione delle superfici per il trasporto non sufficientemente utilizzate (Fig. B 2.72).

Le diverse modalità di trasporto determinano la compresenza nella sede stradale di flussi di traffico con diverse velocità, che possono rappresentare un ostacolo alla scorrevolezza o essere fonte di pericolo. La sicurezza può essere garantita uniformando le varie velocità o destinando diverse sedi a ciascuna modalità di trasporto. Quest'ultima soluzione comporta tuttavia un maggiore utilizzo di superifice e può compromettere il livello della qualità urbana.

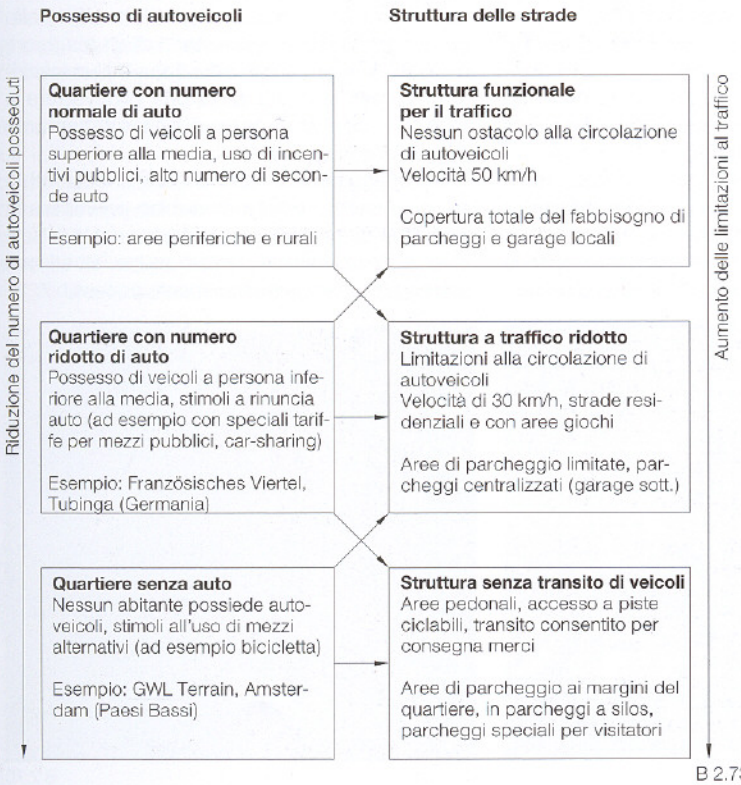
Mediante adeguati interventi sulla struttura della sede stradale è possibile indurre i conducenti dei mezzi di trasporto a una maggiore attenzione in corrispondenza dei punti in cui è necessario ridurre la velocità, considerando che rallentare i flussi di traffico contribuisce a migliorare la qualità della permanenza nelle aree stradali (Fig. B 2.73).

Un flusso di traffico veloce e intenso ha ripercussioni negative sull'ambiente sociale circostante, poiché favorisce l'isolamento e contribuisce alla riduzione dei contatti umani tra gli abitanti di una stessa area urbana. In prossimità degli edifici vi sono aree destinate alla sosta degli automezzi, soprattutto in corrispondenza degli accessi e in funzione della tipologia e della conformazione di tali accessi. La predisposizione di rastrelliere per biciclette, la sistemazione il più possibile ordinata e compatta delle aree di parcheggio per gli autoveicoli e la riduzione dei parcheggi stessi in funzione di un maggiore utilizzo dei mezzi pubblici possono contribuire al cambiamento verso forme di spostamento a maggiore efficienza energetica. A tale obiettivo può contribuire anche l'introduzione di tariffe e biglietti integrati per il trasporto urbano.

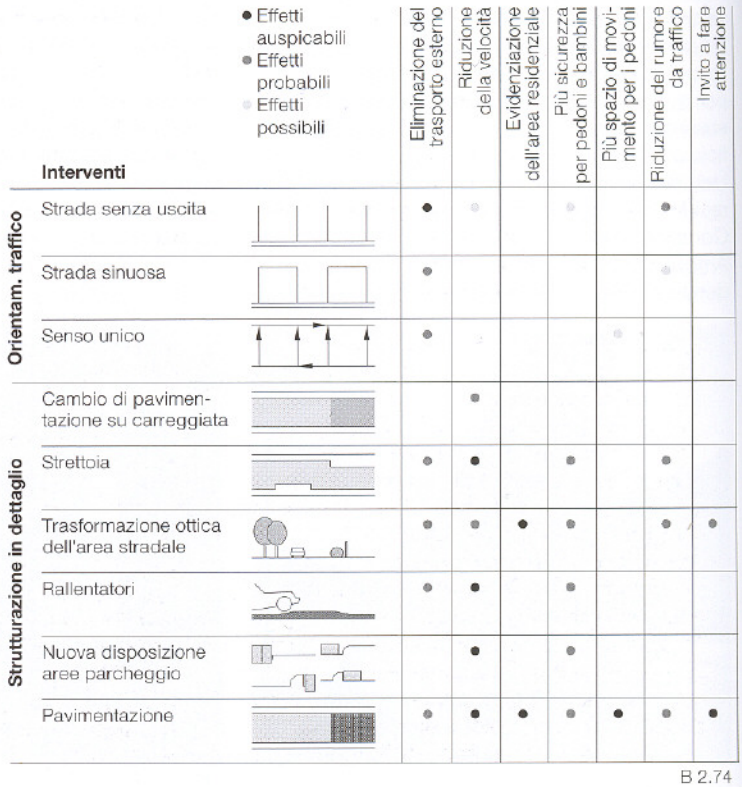
Automezzi in sosta

La mobilità è necessariamente legata alla sosta dei veicoli, se si considera il fatto che in media un veicolo per il trasporto di persone è posto in movimento solo per l'1% della sua vita [1]. Accanto al fabbisogno di infrastrutture per la mobilità, i veicoli producono quindi un aggiuntivo e consistente fabbisogno di spazio per aree di parcheggio.

Il fabbisogno di superficie di parcheggio per la totalità degli autoveicoli per il trasporto di persone immatricolati in Germania corrisponde al 20% circa della superficie residenziale tedesca. Per quanto riguarda le possibilità di parcheggio in superficie, tale situazione provoca un conflitto tra le destinazioni d'uso ad alto valore degli spazi urbani e quelle con valore inferiore per far fronte allo stazionamento dei veicoli (Fig. B

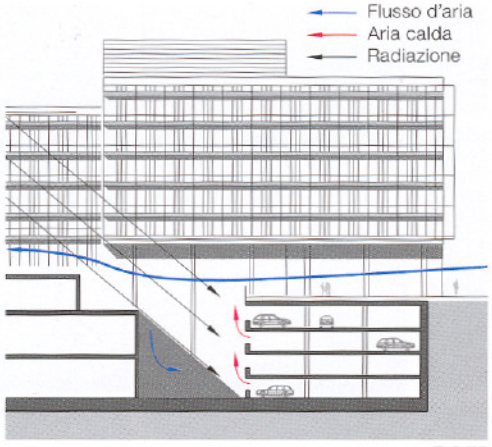


B 2.73



B 2.74

B 2.71 Illuminazione naturale nella stazione di ferrovia urbana Rathaus-Süd a Bochum, Germania, 2006, Pahl + Weber-Pahl
B 2.72 Sezione schematica di sede stradale
B 2.73 Tipologie di possesso di autoveicoli, fabbisogno di parcheggi e limitazioni agli utenti
B 2.74 Interventi e loro effetti sul traffico stradale
B 2.75 Rappresentazione schematica del garage sotterraneo di un edificio amministrativo a Wiesbaden, Germania, 2001, Thomas Herzog
B 2.76 Veduta aerea del centro di Huston, Texas, USA
B 2.77 Fabbisogno di superficie per diverse tipologie di parcheggio
B 2.78 Rappresentazione schematica di diversi sistemi di parcheggio:
a parksafe
b garage su più livelli
c garage a due livelli



B 2.75

B 2.76

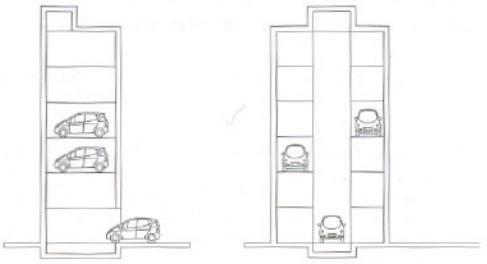
2.76). È pertanto fondamentale la ricerca di soluzioni che permettano di risparmiare il più possibile lo spazio disponibile.

- Parcheggi di superficie
  A seconda della disposizione dei posti auto è possibile ridurre del 35% il fabbisogno di superficie (Fig. B 2.77). Nei quartieri residenziali è possibile risparmiare spazio utilizzando il sistema dei garage a piattaforme mobili a due o tre livelli. L'altezza dei garage a due livelli con piattaforme mobili deve essere compresa tra 3,50 e 4,95 m.
- Garage in silos
  Grazie alla sovrapposizione su più livelli delle superfici di parcheggio si può ridurre il fabbisogno di superficie nell'area urbana. L'accesso dei veicoli necessita tuttavia all'incirca della stessa superficie dei posti auto (Fig. B 2.78). Nei quartieri residenziali, i garage comuni sia sotterranei che in silos contribuiscono a decongestionare gli spazi pubblici dagli automezzi e svolgono una funzione sociale all'interno del quartiere, fungendo da punto di incontro e aumentando la sensazione di sicurezza da parte degli utenti.
- Garage sotterranei
  La costruzione e la gestione di garage sotterranei è particolarmente onerosa, e la necessità di ininterrotte illuminazione e aerazione comporta un fabbisogno energetico che può essere di gran lunga superiore al fabbisogno di energia termica di un comune edificio. Deve pertanto essere considerata la possibilità di dotare i garage sotterranei di illuminazione e aerazione naturali, tanto più se tali condizioni contribuiscono ad aumentare la percezione di sicurezza da parte degli utenti (Fig. B 2.75). La collocazione sotterranea delle aree di parcheggio permette di aumentare l'offerta di aree in superficie da destinare a progetti edilizi ad alta densità abitativa e ad alto valore economico.
- Sistemi di parcheggio automatico
  Si tratta di sistemi basati sul principio del posizionamento meccanico dell'auto all'interno di strutture a più piani nel centro cittadino, che si sviluppano verticalmente sia in superficie che in profondità, oppure sono integrati all'interno degli edifici stessi. Dato che gli spazi auto non necessitano di vie di accesso, tali sistemi permettono un significativo risparmio di superficie e di spazio rispetto ai tradizionali garage a più piani, nonostante i maggiori costi di esercizio (Fig. B 2.78).

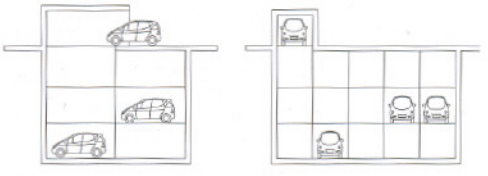
Da un punto di vista energetico, le auto in sosta, che vengono utilizzate solo per il 18% delle loro potenzialità negli spostamenti, rappresentano delle potenziali centrali per la produzione di energia elettrica. Il patrimonio automobilistico tedesco dispone di circa 46 milioni di veicoli con prestazioni del motore medie pari a 60 kW e prestazioni meccaniche di 2,8 terawatt. In quanto meccanismi azionati da un motore, i veicoli presentano tutte le condizioni per poter fungere da centrali locali di cogenerazione di energia elettrica e termica. Considerando un tempo di sosta annuo di circa 8600 ore, si potrebbero produrre 24 000 TWh di energia elettrica. La produzione lorda di elettricità in Germania ammonta a circa 550 TWh, che corrisponde al 2% circa di questo potenziale teorico. Grazie a questo processo verrebbero generati circa 50 000 TWh di energia termica, una quantità di 20 volte superiore al fabbisogno annuo di energia finale e di 575 volte superiore alla produzione annua di calore mediante teleriscaldamento in Germania.

Possibile numero di posti auto su 100 unità	34	40	68	80
Possibile numero di posti auto su 100 m² di superficie	4,4	3,2	4,4	5
Fabbisogno di superficie per posto auto incluso accesso in m²	22,5	30,8	22,5	20

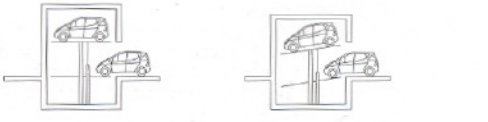
B 2.77



a Sezione trasversale Sezione longitudinale



b Sezione trasversale Sezione longitudinale



c Sezione trasversale Sezione trasversale

B 2.78

Note

[1] Knoflacher H., *Stehzeuge*, Wien/Köln/Weimar 2001.
[2] Hauff V., *Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*, Greven 1987.
[3] *Mehr Wert für die Fläche: Das "Ziel-30-ha" für die Nachhaltigkeit in Stadt und Land*, Rat für Nachhaltige Entwicklung (a cura di), Berlino 2004.
[4] *Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020* (denaNetzstudie), Agenzia tedesca per l'energia (a cura di), Colonia 2005.
[5] Meyer F., *"Kältespeicher in großen Kältenetzen*, in: Projektinfo 10/05, Bine Informationsdienst 2005.
[6] Wasser-Wissen, RWE AG.
[7] *Steigerung der Energieeffizienz von Kläranlagen*, Vortrag zum BMU / UBA Fachgespräch Energieeffizienz auf Kläranlagen, Ingenieurberatung für Abwassertechnik Bernd Haberkern, Bonn 2007.
[8] Steierwald G., *Stadtverkehrsplanung*. Berlino/Heidelberg/New York 2005.
[9] Tully C.J., Baier D., *Mobiler Alltag – Mobilität zwischen Option und Zwang. Vom Zusammenspiel biographischer Motive und sozialer Vorgaben*, Wiesbaden 2006.