

I RIFERIMENTI LEGISLATIVI AMBIENTALI LEGATI ALL'EDIFICIO, ALL'AMBIENTE CHE LO CIRCONDA E ALL'INTERAZIONE DELL'EDIFICIO CON GLI OBIETTIVI NAZIONALI, EUROPEI ED INTERNAZIONALI

Ridurre il fabbisogno energetico e
progettare con l'ambiente

PARTE 1

A cura della commissione Sostenibilità ambientale CNGeGL



INDICE

Contenere i cambiamenti climatici	2
Energia e edifici sostenibili	2
Energia per il funzionamento degli edifici	2
Ridurre il fabbisogno energetico e progettare con l'ambiente	3
Il territorio	3
L'uso del suolo	3
L'abito paesaggistico, storico e culturale	4
La morfologia	5
L'assetto della vegetazione	6
L'assetto geologico, idrologico e idrogeologico	7
Riferimenti bibliografici	10

Contenere i cambiamenti climatici

I cambiamenti climatici non possono essere impediti, ma è possibile evitare gli effetti più estremi cercando di **stabilizzare la concentrazione dei gas serra nell'atmosfera**: un risultato che è possibile ottenere solo attraverso lo sforzo globale e coordinato di tutti i paesi. Partendo da questa consapevolezza, nel 1998 il **Programma delle Nazioni Unite per l'ambiente** (UNEP) e l'**Organizzazione meteorologica mondiale** (WMO) hanno organizzato dei gruppi di lavoro con lo scopo di indagare le cause e gli effetti dei cambiamenti climatici e le possibili strategie di contenimento degli impatti.

A seguire, nel 1992 è stata redatta la **Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (FCCC)**, un trattato ambientale che ha stabilito un accordo globale per la definizione delle strategie adottabili per contrastare gli effetti dei cambiamenti climatici; tale convenzione, seppure non vincolante, includeva la previsione di protocolli che avrebbero posto limiti obbligatori di emissioni.

Si inserisce in questo quadro il **Protocollo di Kyoto**, siglato in occasione della conferenza del 1997: i paesi firmatari furono concordi sul ridurre collettivamente - nel periodo 2008-2012 - le emissioni di gas serra del 5,2% rispetto ai livelli registrati nel 1990 (per i paesi membri dell'Unione Europea, la riduzione era pari all'8%). Tuttavia, affinché il protocollo entrasse in vigore, doveva essere ratificato da **un minimo di 55 Stati e dalle nazioni responsabili di almeno il 55% delle emissioni di gas serra del 1990**: ciò è stato possibile solo nel 2004 con la ratifica da parte della Russia, mentre gli Stati Uniti - che contano il 5% della popolazione globale e sono responsabili del 24% delle emissioni di CO₂ - hanno optato per obiettivi nazionali (Worldwatch 2003).

Energia e edifici sostenibili

L'obiettivo dell'edilizia sostenibile - in termini di consumi energetici - è di **offrire agli utenti un buon livello di qualità della vita**, o se possibile migliorarlo, **producendo una quantità minima di emissioni di CO₂**. La soluzione più diretta sarebbe quella di **cambiare le fonti energetiche passando da quelle fossili a quelle rinnovabili** che comportano basse emissioni di CO₂; tuttavia, un ricorso integrale a queste risorse sembra oggi poco probabile in funzione di una serie di problemi tecnici ed economici di non facile ed immediata soluzione.

Ciò premesso, per ridurre l'impatto ambientale dei consumi energetici è possibile attivare tre strategie:

1. studiare **sistemi costruttivi** che raggiungano lo stesso confort (o migliore) rispetto ai sistemi tradizionali, con l'impiego di materiali e tecniche a basso impiego di energia;
2. adottare **soluzioni progettuali** che consentano di ridurre al minimo i consumi attraverso sistemi passivi, e rivolgersi ai sistemi attivi che impiegano energia in modo efficiente attraverso l'impiego di impianti e involucri performanti e sistemi di controllo adeguati;
3. utilizzare **fonti di energia alternativa e rinnovabile** a quella fossile per coprire il fabbisogno energetico residuo.

Energia per il funzionamento degli edifici

L'energia per il funzionamento degli edifici varia in ragione **dell'ubicazione della costruzione, della fascia climatica, delle stagioni e della destinazione d'uso dell'edificio**; i dati climatici e stagionali influiscono in modo specifico sul fabbisogno per il riscaldamento e il raffrescamento dell'edificio, ma in ogni caso è indispensabile tenere conto di tutti gli altri elementi.

Progettare edifici caratterizzati da un **ridotto fabbisogno energetico** significa innanzitutto **porre attenzione alle planimetrie e agli involucri**, che dovrebbero seguire le **regole della bioclimatica**. Si tratta di strategie per aumentare i guadagni e la protezione climatica degli edifici ottenuti in maniera passiva, quali un corretto orientamento in funzione del sole, del vento e dell'orografia del luogo, un isolamento termico e una capacità di immagazzinare calore a seconda del clima, l'utilizzo di sistemi integrati di ventilazione e raffrescamento naturale, la presenza di un livello sufficiente di luce naturale in modo da ridurre al minimo il fabbisogno di illuminazione elettrica.

Gli edifici possono guadagnare calore in modo passivo da **fonti esterne**, come il sole, o da **sorgenti interne**, come le persone e le apparecchiature elettriche, e possono riceverlo da **fonti ausiliarie**, come gli impianti di riscaldamento e di ventilazione; per ridurre il fabbisogno ausiliario di energia per il riscaldamento, gli edifici dovrebbero essere progettati per sfruttare l'energia del sole e in modo da trattenere il calore nell'edificio.

Questi obiettivi sono conseguibili da una parte orientando le aperture trasparenti verso sud (nell'emisfero settentrionale), e dall'altro isolando l'involucro e limitando il più possibile le dispersioni per ventilazione: principi fondamentali da applicare se si vogliono ottenere edifici che possono contare su guadagni solari per provvedere ad un adeguato riscaldamento interno, senza fare ricorso a sistemi attivi ausiliari.

RIDURRE IL FABBISOGNO ENERGETICO E PROGETTARE CON L'AMBIENTE

SCHEMA DI SINTESI

- Orientare l'edificio in modo agevolare il guadagno passivo
- Orientare l'edificio in modo da sfruttare il passaggio e la ventilazione per proteggerlo o esporlo ai venti dominanti a seconda della stagione
- Impiegare la vegetazione per ombreggiare alcune parti dell'edificio e contenere i picchi di temperatura negli ambienti interni
- Orientare i singoli spazi di un edificio affacciando a sud quelli che possono trarre beneficio dai guadagni energetici passivi, e a nord quelli che si vorrebbe mantenere a temperature più ridotte
- Ridurre al minimo le dispersioni termiche
- Prendere in considerazione il buon uso della massa termica
- Utilizzare atri e serre come zone cuscinetto
- Favorire l'ingresso della luce naturale e sfruttare ventilazione e raffrescamento naturale

Il territorio

Nell'ambito dell'analisi del contesto, un momento fondamentale è rappresentato dallo **studio del territorio che interagirà con il futuro intervento** visto sotto i diversi aspetti dell'uso del suolo, della morfologia, della qualità del paesaggio, dei valori storico-culturali, degli assetti vegetazionali, geologico, idrologico e idrogeologico, nonché dello stato di inquinamento del suolo. Tutte le informazioni raccolte in questa fase sono fondamentali per lo **svolgimento delle successive indagini** riguardanti il clima, il soleggiamento, l'illuminazione naturale, la disponibilità di fonti energetiche rinnovabili, il clima acustico, i campi elettromagnetici, la qualità dell'aria.

L'uso del suolo

Un'analisi approfondita dell'uso del suolo, per un ambito territoriale congruo rispetto a quello strettamente di intervento, consente di **acquisire un repertorio di informazioni di natura fondante per tutte le future fasi della progettazione**. In primo luogo, quale operazione preliminare, occorre individuare **la dimensione conforme dell'ambito da indagare**, avendo cura di interpretare i confini:

- di natura **fisica** (il mare, un fiume, un lago, una montagna);
- di natura **produttiva** (aziende agricole, distretti industriali);
- di natura **urbanistica** (comprensorio, comparto edificatorio, zona omogenea);
- di natura **storico-paesaggistica** (ambito di paesaggio).

Delimitata (in prima approssimazione) la dimensione dell'ambito di studio, si passerà quindi ad analizzare in esso **l'effettivo uso del suolo** in funzione di due principali categorie:

1. caratteri **funzionali** del tessuto urbano;
2. caratteri **tipologici** del tessuto urbano.

La prima categoria riguarda **le destinazioni d'uso** in essere sul territorio interno all'ambito individuato (servizi pubblici e privati, attività produttive, aree a verde, aree agricole, aree incolte, aree degradate, aree dismesse), **le infrastrutture a rete** (collettori fognari, elettrodotti, acquedotti, linee ferroviarie metropolitane, viabilità), **le preesistenze storiche e archeologiche**. In particolare, **andranno indagate le destinazioni che possono interferire direttamente e indirettamente con il nuovo intervento**, sia sotto l'aspetto dell'**impatto ambientale** (discariche, cave, attività moleste, elettrodotti, centrali termoelettriche a carbone, raffinerie, autostrade), sia sotto l'aspetto della **tutela e valorizzazione di beni storico - ambientali - culturali** presenti, anche non vincolati (aree o reperti archeologici, boschi parchi, giardini).

La seconda categoria (caratteri tipologici del tessuto edilizio) riguarda **la struttura del soprasuolo e la morfologia del costruito**. In particolare, **andranno indagate le tipologie edilizie del tessuto interno all'ambito individuato** (quali stato di consistenza, altezze, materiali) **sia sotto l'aspetto dell'impatto ambientale** (soleggiamento, occlusioni delle visuali e dei con visivi), **sia sotto quello della compatibilità del futuro intervento con eventuali edifici di valore storico e con la capacità dell'ambito stesso di "digerire" il futuro intervento**. Tutte le informazioni acquisite in questa fase di analisi, correttamente interpretate, devono essere sintetizzate e tradotte in **specifici indicatori di natura prescrittiva** (quali distanze dell'edificio da fonti inquinanti, distacchi da fabbricati o da assi viari, altezze massime o di natura esigenziale (come rispetto di visuali, accessibilità).

L'abito paesaggistico, storico e culturale

L'inquinamento paesaggistico, storico e culturale ha **come obiettivo quello di giungere a una conoscenza il più possibile approfondita del contesto nel quale dovrà essere realizzato l'intervento**, al fine di valutare le possibilità e le potenzialità di **trasformazione del territorio** e garantire **l'armonizzazione dell'intervento con le caratteristiche del contesto**; dai risultati dell'analisi deriveranno importanti indicazioni sulle configurazioni plani-volumetriche complessive (sistema di edifici e di spazi aperti), sui caratteri dimensionali, formali, distributivi dell'intervento, sugli aspetti visivi e percettivi, sulle scelte cromatiche-materiche, che devono risultare coerenti con il paesaggio e l'ambiente circostante.

Un'analisi approfondita dei **valori storico e socioculturali**, nonché **degli usi e delle modalità costruttive locali**, rappresenta un passaggio propedeutico fondamentale del percorso progettuale finalizzato a garantire che il nuovo intervento si inserisca in modo armonico nell'unità paesaggistica individuata nell'analisi, rispettandone sia i valori ambientali, sia le connotazioni storiche e tipologiche: va tenuto presente, infatti, come **l'architettura di un luogo sia parte integrante, e spesso prevalente, dell'unità paesaggistica in cui è inserita**, per cui è molto importante che l'intervento edilizio non ne turbi il delicato equilibrio.

Le caratteristiche morfologiche, tecnologiche e cromatico-materiche dell'intervento nel suo complesso dovranno, pertanto, essere orientate a **ottimizzare l'inserimento nel contesto** (urbano, rurale o montano) attraverso l'adozione di:

- configurazioni coerenti con le caratteristiche del luogo;
- forme di involucro che facilitino l'orientamento rispetto alle coordinate geografiche e orografiche, e il rispetto delle caratteristiche geomorfologiche del luogo;
- soluzioni architettoniche compatibili e coerenti con le regole "compositive" proprie del contesto;
- tutela dei caratteri, materiali e tecnologia costruttive locali e mantenimento della tradizione storica negli interventi di recupero e ristrutturazione.

In particolare, nei **siti extra urbani** occorre individuare strategie per l'eliminazione dei possibili effetti negativi dell'inserimento di nuove costruzioni specialmente in **contesti naturalistici**, tramite la **minimizzazione dell'impatto visivo-percettivo** attraverso, ad esempio, l'uso di materiali locali legati alla tradizione storica e ad elementi tipologici caratteristici di quel luogo.

Nei **centri urbani** occorre armonizzare forme, materiali e tipologie edilizie con quelli che hanno costituito le caratteristiche di quel luogo nel suo processo storico evolutivo, e tenere conto del **piano di colore**, ove esistente, o comunque utilizzare **colori legati alla tradizione storica**.

Sotto il **profilo operativo**, il rilievo delle caratteristiche tipiche del territorio dovrà riguardare sia gli aspetti tipologico-morfologici, sia i caratteri percettivi del paesaggio naturale e antropico anche attraverso il loro processo storico evolutivo.

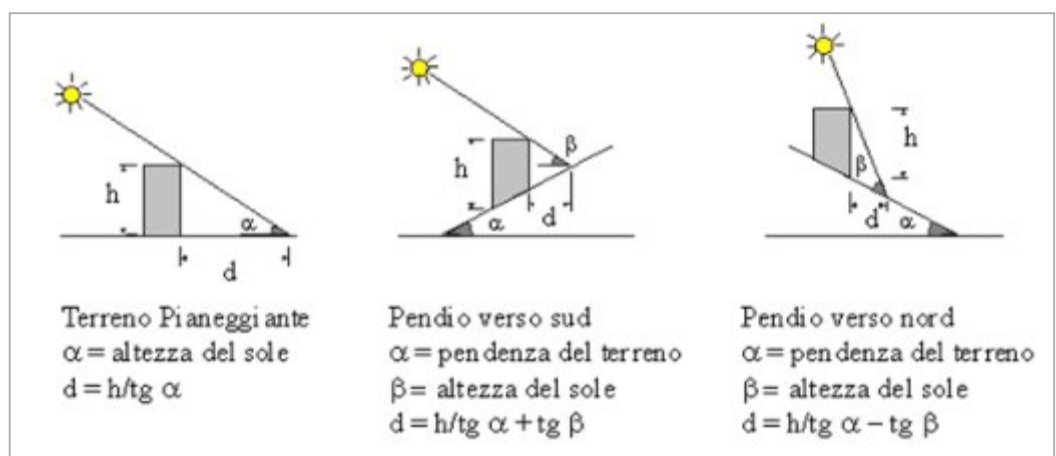
Va da sé che **l'approfondimento dell'analisi deve essere commisurato alla dimensione e all'importanza dell'intervento e alle caratteristiche del sito** in cui si inserisce; particolare riguardo dovrà essere riservato agli interventi che ricadono in aree assoggettate a vincoli paesaggistici o di natura storico-ambientale.

La morfologia

Lo studio della morfologia costituisce un passaggio di estrema importanza per la caratterizzazione del sito e per una **corretta localizzazione dell'organismo edilizio**. L'analisi comprende una **descrizione della orografia e della tipografia dell'area**, nonché degli **eventuali corpi idrici** presenti (laghi, fiumi, torrenti, eccetera).

Per quanto riguarda gli aspetti orografici, dovranno essere indagati - oltre all'altitudine del luogo e ai rilievi - **l'orientamento e la clivometria** (pendenza) dei pendii. L'orientamento dei pendii, infatti, condiziona notevolmente la temperatura dell'aria: i pendii orientati a sud ricevono una maggiore quantità di radiazione solare e quindi determinano una temperatura locale più elevata (in uno stesso territorio, due luoghi relativamente vicini ma situati su pendii aventi diverse esposizioni, sono caratterizzati da notevoli differenze microclimatiche).

Inoltre, a parità di condizioni di orientamento dei pendii e altezza del sole, **gli oggetti posti sul versante provocano ombre portate sul terreno più o meno ampie a seconda della pendenza del versante stesso**: è evidente, quindi, che a parità di percorso solare la distanza da mantenere tra due edifici per evitare che l'uno proietti ombra sull'altro dipende esclusivamente dalla clivometria del pendio; in particolare, a parità di angolo di elevazione solare e di altezza degli edifici, tale distanza diminuisce con l'aumentare dell'inclinazione dei pendii verso sud, e aumenta con l'aumentare dell'inclinazione dei pendii verso nord.



L'assetto della vegetazione

Lo studio della **vegetazione** rappresenta un elemento strategico nelle scelte progettuali da effettuare su un determinato sito, sia alla scala urbana sia a quella edilizia: oltre ad avere un'importanza vitale a livello globale per la vita sulla Terra in quanto fonte primaria di ossigeno nell'atmosfera, ed essere responsabile della regolazione di numerosi cicli biogeochimici quali ad esempio il ciclo dell'acqua, del carbonio e dell'azoto, **ha un ruolo determinante nel controllo di alcuni aspetti responsabili della qualità e del benessere ambientali a livello locale**. Tra questi, in particolare, vi sono **il microclima urbano, l'irraggiamento solare degli spazi aperti e degli edifici, la velocità e la direzione delle correnti d'aria, l'inquinamento atmosferico e acustico, la qualità delle acque, la protezione del suolo, la conservazione della vita animale**. Inoltre, la vegetazione ha un ruolo determinante nella **qualificazione del paesaggio e nella qualità dell'abitare** (identificazione del proprio ambiente, situazioni di confort visivo, privacy, eccetera)

Il **tema del verde** è pertanto una **componente progettuale di grande importanza e complessità**, che abbraccia discipline diverse e che necessita di un attento studio delle caratteristiche del luogo e delle essenze vegetali ivi presenti, con l'obiettivo di tutela delle specie esistenti e di integrazione dell'intervento nel contesto, sfruttando le potenzialità della vegetazione di nuovo impianto.

Sotto il profilo metodologico e operativo si procede - di norma - attraverso le seguenti fasi:

- schedatura e mappatura delle **essenze vegetali caratteristiche del territorio**, mettendo in evidenza eventuali specie di particolare pregio;
- studio delle **influenze della vegetazione esistente** sul sito e sul nuovo organismo edilizio;
- individuazione, in base agli obiettivi di progetto, delle **essenze da mantenere** e indicazioni delle eventuali **specie di nuovo impianto**;
- descrizione dell'**assetto vegetazionale di progetto**, mettendo in evidenza il ruolo svolto dalla vegetazione nel raggiungimento degli obiettivi di qualità edilizia.

L'analisi della vegetazione esistente dovrà, per ciascuna specie censita, mettere in evidenza gli elementi utili ai fini di una corretta progettazione. In particolare, dovranno essere raccolti dati essenziali per:

- l'identificazione delle **specie**: famiglia, nome scientifico, sinonimi, nomi comuni, distribuzione;
- la **caratterizzazione estetico-formale**: portamento, dimensioni (chioma, altezza totale, rapporto chioma/altezza), forma della chioma (fusiforme, ovoidale, sferoidale, conica, emisferica, eccetera) e delle foglie (latifoglie, aghifoglie), comportamento stagionale (chioma sempreverde, chioma caduca), tipologia delle radici (fittone, oblique, striscianti) e direzione preferenziale di propagazione, corteccia, fiori, frutti;
- la caratterizzazione delle **esigenze ecologiche**: limiti altitudinali, requisiti del substrato del terreno, compatibilità climatiche, resistenza all'inquinamento, frugalità o rusticità;
- la **caratterizzazione funzionale** in relazione agli obiettivi progettuali: manutenzione, fattori limitanti l'utilizzo, avversità ricorrenti, proprietà specifiche.

È opportuno raccogliere anche **immagini fotografiche** delle specie presenti, che possono essere un utile strumento per la rappresentazione grafica del progetto.

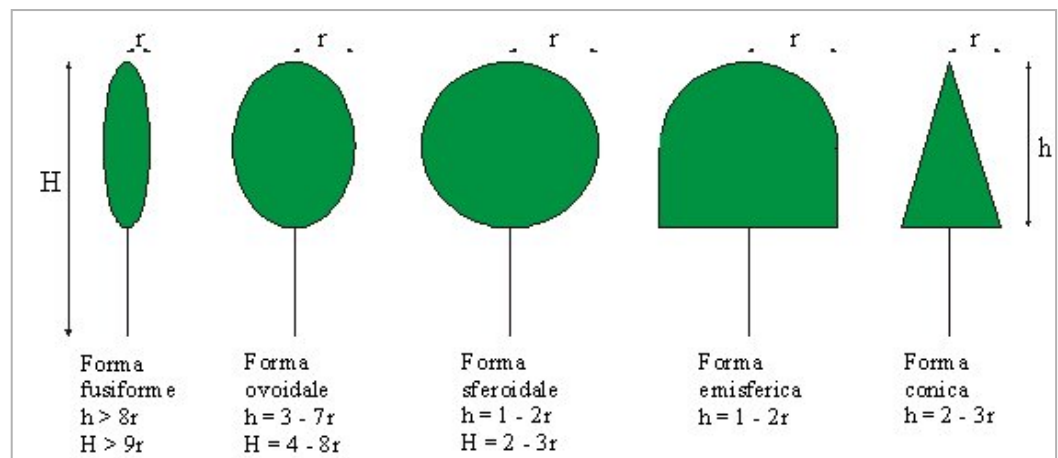
I dati sulla **caratterizzazione estetico-formale** risultano essenziali per la **schematizzazione geometrica di ogni singola specie** nel corso dell'anno, e per determinare i fenomeni di ombreggiamento sul suolo e sugli edifici, l'effetto frangivento e di barriera al rumore.

Per quanto riguarda l'**ombreggiamento**, gli alberi ad alto e medio fusto proiettano ombra sul suolo o sugli edifici in misura maggiore o minore a seconda della forma della chioma. In generale, l'effetto di ombreggiamento sul suolo è modesto per le chiome a forma fusiforme e ovoidale, mentre è sensibile per quelle sferoidale, conica ed emisferica; bisogna tuttavia considerare che sulle pareti verticali degli edifici l'ombreggiamento può essere rilevante in relazione alla densità degli alberi.

L'ombreggiamento provocato dagli alberi sul suolo o sulle pareti degli edifici può costituire un elemento favorevole o sfavorevole a seconda delle stagioni: in estate le alberature producono un effetto favorevole in quanto proteggono le colture a terra da un'eccessiva traspirazione creando luoghi di sosta ombreggiati, impediscono il surriscaldamento delle pareti opache e un eccessivo soleggiamento dei sistemi solari passivi. Le alberature possono produrre, invece, effetti sfavorevoli durante la stagione invernale, ostacolando l'evaporazione dell'acqua dal suolo o impedendo lo scioglimento di eventuali croste di ghiaccio; possono inoltre impedire il guadagno termico degli edifici dovuto al soleggiamento, istaurando fenomeni di condensa nelle pareti mantenute fredde.

Per quanto riguarda la **determinazione dell'entità quantitativa dell'ombra portata**, nelle varie stagioni, e la sua durata, durante l'arco della giornata, la chioma del singolo albero o di un insieme di alberi può essere assimilata, con buona approssimazione, a un **solido geometrico**.

Nel caso si debba ricorrere a nuove specie vegetali, nella scelta si dovrà tener conto - oltre che delle prestazioni che le piante da impiegare dovranno fornire - anche delle **esigenze delle piante stesse in relazione al clima, al tipo di terreno, alla loro necessità di irrigazione e potatura, nonché alla loro compatibilità con le funzioni previste**. In particolare, la scelta dovrà essere orientata preferibilmente verso specie la cui dimensione finale sia compatibile con lo spazio a disposizione, che dimostrino un buon adattamento all'ambiente in cui si inseriscono e che abbiano resistenza agli agenti inquinanti tipici del luogo.



Inoltre, è importante valutare la **compatibilità delle specie prescelte con la destinazione d'uso degli spazi esterni**: l'inserimento di essenze vegetali lungo le strade o all'interno di aree a parcheggio, ad esempio, dovrà tenere conto dell'eventuale produzione di resine, o della possibilità che determinati alberi lascino cadere semi o frutti, arrecando danni; devono essere valutati anche il grado di resistenza ai venti, oltre al portamento e alle caratteristiche della chioma in quanto fattori determinanti per valutare le potenzialità di ombreggiamento.

L'assetto geologico, idrologico e idrogeologico

Lo **studio delle fondazioni**, ovvero delle **interazioni terreno-struttura**, costituisce un problema di primaria importanza nell'ambito della progettazione e della realizzazione di un'opera edile. Tale studio presenta aspetti delicati e spesso molto complessi, essendo legato alla simultanea definizione della **resistenza del terreno di fondazione** - inteso come lo strato direttamente influenzato dalla presenza dell'opera - e delle **strutture di fondazione che a esso trasferiscono i carichi**.

In genere, la prima difficoltà si presenta nella **determinazione dei valori dei carichi** che provocano la crisi di resistenza del terreno di fondazione (capacità portante). Il fenomeno di rottura è di solito localizzato e accompagnato da cedimenti, anche differiti nel tempo, a volte di notevole entità.

Il **carico di rottura del terreno** dipende sia dall'ampiezza della superficie che trasmette i carichi, nonché dall'entità globale di questi, sia dalle caratteristiche fisiche e meccaniche del terreno stesso. È quindi necessario condurre un'approfondita **campagna geognostica** volta a caratterizzare il terreno di fondazione, allo scopo di procedere a un dimensionamento di massima delle fondazioni e confrontare il carico di rottura del terreno con i carichi effettivamente agenti.

Un'indagine geognostica rivolta ad **esplorare il sito di posa di una fondazione** si prefigge, in primo luogo, di **identificare la successione litostratigrafica dei terreni per tutta quella fascia di sottosuolo direttamente a contatto con la fondazione**, e comunque influenzata dalla sua presenza. In generale, si definisce **volume significativo** quella parte di sottosuolo che viene influenzata dalla costruzione dell'opera e che ne influenza a sua volta il comportamento, cioè quella parte di sottosuolo che, soggetta a variazioni dello stato tensionale, interagisce con la struttura stessa. La **relazione geologica**, condotta sulla base di specifiche indagini tecniche, dovrà pertanto comprendere:

- l'identificazione delle **formazioni presenti nel sito**, lo studio dei tipi litologici, della struttura e dei caratteri fisici del sottosuolo;
- la definizione del **modello geologico** del sottosuolo;
- la caratterizzazione degli **aspetti stratigrafici, strumentali, idrogeologici, geomorfologici**;
- il conseguente livello di **pericolosità geologica**.

Per quanto riguarda la **componente idrogeologica**, occorre delineare - attraverso **letture piezometriche** - le caratteristiche geometriche e idrodinamiche degli eventuali acquiferi e la permeabilità dei terreni (prove Lefranc o prove Lugeon). In particolare, occorre determinare **la profondità alla quale giace la superficie freatica e la velocità dell'acqua**, nonché conoscere le **oscillazioni stagionali** non soltanto ai fini della resistenza a compressione del substrato di fondazione, ma anche allo scopo di adeguare i lavori, le opere e i materiali alle condizioni idrogeologiche del sottosuolo. In particolare, la conoscenza delle oscillazioni stagionali è indispensabile per prevedere se e per quanto tempo le fondazioni rimarranno a contatto con l'acqua, e per identificare la stagione più favorevole all'esecuzione dei lavori di fondazione. La mancanza di tali studi preventivi può portare a fenomeni di **allagamento periodico di cantinati o di assestamento del terreno**, a tutto danno della costruzione realizzata. Le acque sotterranee, inoltre, possono produrre la diminuzione delle resistenze meccaniche dei terreni, il rigonfiamento dei materiali argillosi, la dissoluzione di rocce particolarmente solubili, quali i gessi e le anidridi, nonché determinare fenomeni di scorrimento.

Dopo aver effettuato uno studio geologico adeguato, occorre procedere a una **indagine geotecnica** per conoscere le principali proprietà fisico-meccaniche dei terreni, ricorrendo - di norma - ai tradizionali mezzi investigativi quali **sondaggi meccanici a carotaggio continuo** in corrispondenza del sito di posa della fondazione e **indagini geofisiche di tipo sismico a rifrazione o geo-elettrico**. Inoltre, in presenza di materiale non lapideo, si possono acquisire importanti informazioni sulle proprietà meccaniche dei terreni attraverso l'esecuzione di specifiche **prove in sito** quali quelle **penetrometriche, sia statiche sia dinamiche**, per la misurazione della resistenza, quelle di **carico su piastra** e quelle **pressiometriche in foro** per la misurazione della deformabilità.

Le indagini geognostiche in sito vanno comunque (e necessariamente) integrate con specifiche **prove di laboratorio** su campioni opportunamente prelevati dall'area di interesse; tali prove sono sostanzialmente tese a conoscere in modo ancora più dettagliato le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali geologici interessati dalle opere di fondazione. I dati di maggiore interesse riguardano quelli relativi alla resistenza al taglio, al modulo di deformabilità e, per i terreni non lapidei, al modulo di compressibilità.

La raccolta di tutti i dati acquisiti attraverso la campagna di indagini è, in primo luogo, finalizzata al calcolo della capacità portante dei terreni e dell'entità dei cedimenti degli stessi. Occorre comunque precisare che, nonostante la bontà dei calcoli tecnici, resta sempre un problema di **indeterminazione statica**, a causa della difficoltà di schematizzare il comportamento del terreno di fondazione. Si comprende, quindi, che **i criteri mediante i quali si definiscono i coefficienti di sicurezza possono variare fortemente anche per il medesimo terreno**, a seconda del tipo di fondazione e delle caratteristiche delle strutture in elevazione.

Sulla base dei **valori di sollecitazione e di deformazione** ipotizzati, dunque si può procedere alla **definizione delle tipologie strutturali più idonee** che, considerando il meccanismo di trasferimento del carico del terreno di fondazione, è possibile distinguere in:

- **Fondazioni dirette** su terreno resistente poco profondo. Sono le fondazioni su terreni resistenti (roccia lapidea che ammette un buon grado di sicurezza) che si trovano affioranti o a poca profondità dal piano campagna; si distinguono in: fondazioni continue (normali, a larga base); fondazioni discontinue (a pilastri, a plinti isolati).
- **Fondazioni indirette** su terreno resistente profondo. Sono le fondazioni che si eseguono quando il terreno resistente (roccia lapidea che ammette un buon grado di sicurezza) si trova a una profondità di 5-6 m rispetto al piano campagna; si distinguono in: fondazioni a pozzi o a piloni (armati, rivestiti); fondazioni su pali portanti: infissi (in legno, in ferro, in cemento armato); gettati in sito (per infissione, per trivellazione).
- **Fondazioni su terreni sciolti di scarsa resistenza**. Sono le fondazioni che si eseguono su un terreno superficiale di resistenza unitaria modesta rispetto al carico trasmesso dalla costruzione, essendo quello resistente eccessivamente profondo; si distinguono in: fondazioni superficiali (a zattera, a platea); fondazioni su pali sospesi.

La scelta dell'una o dell'altra tipologia strutturale sarà strettamente legata **alla capacità portante del terreno di fondazione e ai valori ammissibili di cedimento imposti al tipo di struttura in elevazione**. Infatti: le **strutture isostatiche** e quelle **in muratura** possono subire modesti cedimenti uniformi per tutta l'estensione dell'opera senza che si verificino fenomeni di instabilità per la possibilità di adattamento di tali strutture e per la natura dei materiali di cui sono formate; le **strutture iperstatiche**, invece, tollerano lievi cedimenti uniformi di tutto il complesso ma non cedimenti disuniformi o differenziati, né fenomeni di instabilità flessionale e torsionale. Tali fenomeni, difficili da valutare a priori per tenerne conto nel calcolo della struttura, richiedono una particolare accuratezza nel progetto delle fondazioni affinché si limitino al massimo i cedimenti; quando ciò non è possibile, occorre ridurre l'iper-staticità del sistema.

Le fondazioni con **roccia coerente**, per la nota solidità di tali rocce, necessitano di un piano di posa non troppo profondo, con conseguente riduzione dei costi di costruzione; tuttavia, occorre tenere ben presente che le rocce coerenti non hanno sempre le stesse caratteristiche di solidità. Ad esempio, molto pericolosi come terreni di fondazione sono i **gessi** che, a causa dell'elevata solubilità in acqua, possono spesso presentare anfratti cavernosi e dare luogo - se sottoposti a carichi da costruzione elevati - a **cedimenti** (anche differenziati) di notevole entità.

È evidente che per questo tipo di rocce **deve essere attentamente valutata la situazione idrologica del sottosuolo**, poiché la presenza di **falde freatiche** più o meno superficiali può dare luogo, nel tempo, a fenomeni di erosione che mettono a serio rischio il sistema di fondazione, e che difficilmente possono essere eliminati, anche con interventi costosi. Pertanto è buona norma, per questi tipi di terreno, adottare **soluzioni tecniche che abbiano ampi margini di sicurezza**, e ciò in particolare in presenza di edifici a torre, che presentano un carico elevato per unità di superficie.

Anche le **rocce calcare cavernose** presentano, sia pure in minor misura, problemi analoghi dovuti a fenomeni di erosione. In particolare, la presenza di caverne non è sempre riconoscibile e occorre pertanto effettuare una A, finalizzata ad individuare la presenza di **forme carsiche superficiali** (doline, grotte, voragini, inghiottitoi, eccetera), anche in zone limitrofe all'area strettamente interessata dall'intervento, per prevenire situazioni di rischio per le fondazioni. Non va sottovalutata, infatti, la circostanza che **i calcari cavernosi presentano spesso ampie fessurazioni che ne riducono fortemente le caratteristiche di resistenza meccanica complessiva**, per cui la presenza di una cavità sotterranea, non preventivamente indagata, può dar luogo ad improvvisi cedimenti della volta di roccia sovrastante caricata sulla base di prove di laboratorio.

È importante sottolineare come **l'approccio geognostico non si esaurisca con la determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, ma debba considerare altri aspetti di natura geologica** che, a seconda dei casi, andranno di volta in volta attentamente valutati. Tra questi, nel caso di **fondazioni posizionate lungo un versante**, rientrano le **condizioni di stabilità globale del pendio**.

Da ultimo, nella realizzazione di un complesso edilizio non si può prescindere dall'effettuare una **verifica legata alla sicurezza idrogeologica** dell'area. In particolare, per quanto riguarda l'area d'interesse idraulico devono essere presi in considerazione:

- la possibilità che corsi d'acqua adiacenti **escano dal loro alveo naturale** per interessare le aree urbanizzate, valutando diversi tempi di ritorno di accadimento del fenomeno;
- la **vicinanza con la falda freatica** che, oltre a costituire un elemento di aumento dell'accelerazione sismica, interessa principalmente i locali posti nei seminterrati.

Per quanto concerne, invece, l'area di interesse geologico, oltre al **grado di sismicità dell'area** (dal quale dipenderà, ai sensi della normativa vigente, il dimensionamento delle strutture di fondazione e di elevazione), deve essere valutata la possibilità che il sito sia interessato da fenomeni di **caduta massi** o da **fenomeni franosi di ampia portata**, segnalati negli strumenti urbanistici o negli studi di settore.

infine, bisogna tenere conto che - in qualsivoglia situazione territoriale - **si devono rigorosamente accertare le condizioni di sismicità della zona**, al fine di procedere nelle elaborazioni progettuali attenendosi ai criteri e alle normative previsti per le costruzioni ricadenti all'interno di aree sismiche.

Riferimenti bibliografici

Marco Casini, *Costruire L'Ambiente*, edizioni Ambiente, Milano, 2014

Bianca Bottero (a cura di), *Progettare e costruire nella complessità. Lezioni di Bioarchitettura*, Liguori, Napoli, 1994

Lloyd Jones, *Atlante di Bioarchitettura*, Utet, Torino, 1998

Uwe Wienke, *Dizionario dell'edilizia bioecologica*, DEI, Tipografia del Genio Civile, 2001

Giuseppe Fera, *Urbanistica teorie e storie*, Gangemi editore, Roma, 2002

Osservatorio Ambiente "Val D'Agri", 2014