

11 OTTOBRE 2021

#4 RUBRICA:
GLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI NZEB

DALLA TEORIA ALLA PRATICA

Dott. Ing. Michele Vio



Rubrica: Gli impianti negli edifici NZEB: dalla teoria alla pratica

Progettazione di un edificio NZEB: considerazioni generali sul peso dei singoli consumi

Nei primi tre articoli di questa serie ho affrontato il tema della disponibilità delle fonti energetiche rinnovabili, in particolare quella legata al sole. Da questo numero in poi cercherò di descrivere sinteticamente il percorso da seguire per progettare correttamente un edificio NZEB.

L'errore più diffuso è l'eccesso di zelo. Nella nostra epoca, lo sviluppo tecnologico è così rapido da confonderci. Siamo ebbri di tecnologia, tanto da ritenerla un deus ex machina in grado di risolvere ogni problema, per cui abbiamo smesso di porci domande e cerchiamo solo risposte, tanto c'è la tecnologia ad assisterci. Con questo approccio, molto diffuso, è semplice costruire un edificio NZEB: si isola al massimo un edificio, si utilizzano i generatori e le componenti di impianto più efficienti e il gioco è fatto. Purtroppo non funziona così: la ricerca del risparmio energetico è la somma di tanti piccoli particolari e bisogna di volta in volta capire dove e come agire. Per far ciò, bisogna seguire un percorso logico che richiede alcuni richiami teorici.

Per cominciare, non può esistere un impianto di climatizzazione a consumo zero: al massimo può esistere un impianto a basso consumo energetico che sfrutta così bene le fonti rinnovabili da arrivare nell'anno a bilanciare l'energia prodotta e quella consumata.

Bilancio energetico di un impianto di climatizzazione di un edificio

Per climatizzare un edificio durante tutto l'anno non basta solamente produrre l'energia necessaria, ma bisogna anche trasferirla all'interno degli ambienti. Di conseguenza, il consumo energetico è dato dalla somma dell'energia prodotta dai generatori e di quella spesa dalle pompe e dai ventilatori. Queste tre componenti sono presenti in tutte le tipologie di impianto, con la sola eccezione dei sistemi a espansione diretta, dove non esistono pompe e la spesa di movimentazione dell'energia attraverso le tubazioni grava sui compressori dei circuiti frigoriferi, quindi direttamente sulla generazione, aumentandone il consumo tanto più quanto più lunghe sono le tubazioni. Le tre componenti sono in qualche modo proporzionali ai fabbisogni dell'edificio: più questi sono bassi, minori dovrebbero essere anche le spese per la generazione e il trasferimento dell'energia.

Trascurando la produzione di acqua calda sanitaria, del resto energeticamente irrilevante in molti edifici del terziario, conviene procedere per passi, analizzando separatamente i fabbisogni degli ambienti dipendenti dall'involucro, comprensivi dei carichi endogeni dovuti alla presenza delle persone, e quelli per l'immissione di aria di rinnovo. Questa separazione è fondamentale: ai fabbisogni degli ambienti devono far fronte i terminali di impianto, mentre ai fabbisogni dell'aria di rinnovo devono far fronte i soli generatori. In sintesi, i terminali dell'impianto non "vedono" l'aria di rinnovo, se questa viene immessa in condizioni neutre, oppure la "vedono" per la sola parte necessaria a portarla dalle condizioni di immissione a quelle ambiente. Quindi, sono i fabbisogni dovuti alla struttura e ai carichi endogeni a determinare se l'impianto debba riscaldare oppure raffreddare l'aria per mantenere ogni singolo ambiente nelle condizioni ideali. Si comprende immediatamente perché con il solo isolamento termico non si possono ridurre contemporaneamente i fabbisogni per riscaldamento e per raffreddamento: a parità di carico endogeno, più si isola l'edificio, si riscalda meno in inverno e si raffresca di meno in piena estate, ma si raffresca di più nelle mezze stagioni.

Ridurre il riscaldamento a scapito del raffreddamento potrebbe anche essere una buona idea: infatti, mentre l'energia termica deve essere sempre prodotta da generatori, con rarissime eccezioni, quale l'utilizzo di acqua termale, l'energia frigorifera può essere prodotta anche con il free-cooling, sfruttando le condizioni favorevoli di sorgenti esterne all'edificio, quali l'aria esterna, il terreno o le

acque superficiali, ma non bisogna dimenticare che il free-cooling permette di ridurre il consumo dei generatori ma può incrementare il consumo dei ventilatori e/o delle pompe, a volte in misura tale da non risultare vantaggioso. Inoltre, sempre più spesso, negli edifici capita di avere una richiesta contemporanea di energia di segno opposto, ad esempio termica per riscaldare l'aria di rinnovo e frigorifera per raffrescare alcuni ambienti.

Se si utilizzano gruppi frigoriferi a recupero totale di calore, dal punto di vista logico conviene sempre considerare l'energia termica come prodotta da una pompa di calore, e l'energia frigorifera recuperata gratuitamente. Di solito si ritiene che una macchina frigorifera produca freddo e recuperi calore, ma si tratta solo di una convenzione: per produrre energia termica, una pompa di calore deve necessariamente raffreddare una sorgente termica che può essere aria, terreno o acqua refrigerata di un impianto; in quest'ultimo caso, si ottiene un recupero di calore e quindi una produzione gratuita di energia frigorifera. Converrebbe sempre ragionare così, considerando il recupero di calore in un gruppo frigorifero come lo sfruttamento di un cascame conseguente a una generazione di energia termica: l'energia termica non può essere prodotta che da generatori, mentre quella frigorifera potrebbe derivare dal free-cooling, per cui, quando si ha una produzione simultanea di energia termica e frigorifera, conviene considerare la seconda come recuperata, e la prima come necessaria.

Parametri per la determinazione del consumo di energia di generatori, pompe e ventilatori

Dal punto di vista pratico, è molto importante disporre di parametri in grado di permettere di determinare immediatamente il consumo di energia per la climatizzazione. Nel caso dei generatori tali parametri esistono da sempre: il rendimento per le caldaie e il COP invernale e l'EER estivo per le pompe di calore e per i gruppi frigoriferi consentono un calcolo semplice e rapido. Ad esempio, si supponga che per riscaldare un edificio siano necessari 100.000 kWh: se il COP fosse 2,5, il consumo sarebbe pari a 40.000 kWh, mentre se il COP fosse 4 il consumo scenderebbe a 25.000 kWh.

I valori di efficienza dei generatori sono noti e generalmente vanno da 2 a 6, sia per il COP_g che per il suo corrispettivo estivo EER_g . Come noto, il COP di una pompa di calore è il rapporto tra l'energia termica prodotta e l'energia consumata per produrla: $COP = 4$ significa che la macchina produce 4 kWh ogni kWh di energia elettrica consumata; è una grandezza dimensionale, espressa in kWh/kWh. Sarebbe utile avere parametri simili anche per le pompe e i ventilatori, definendo il COP anche delle pompe e dei ventilatori, in modo da determinare immediatamente quanta energia viene consumata per trasferire all'interno degli ambienti l'energia necessaria a bilanciare il fabbisogno energetico. Si tratta di un approccio inusuale, ma che può risultare di grande interesse nella progettazione degli impianti.

Spese per il pompaggio e per la ventilazione

Le spese di pompaggio e di ventilazione sono proporzionali alla portata rispettivamente di acqua e di aria, alla prevalenza richiesta e al rendimento delle pompe e dei ventilatori.

Nei sistemi idraulici, la portata di acqua è legata al salto termico: a parità di potenza termica, maggiore è il salto termico, minore è la portata. Nel caso dell'aria bisogna considerare anche la componente latente, legata alla differenza tra il valore di umidità specifica dell'aria ambiente e quello dell'aria immessa, e quindi bisogna ragionare in termini di salto entalpico. Anche in questo caso, maggiore è il salto termico, minore è la portata necessaria, a parità di ogni altra condizione. La prevalenza richiesta dipende dalle perdite di carico dei circuiti idraulici e aerulici, quindi nel primo caso dal dimensionamento delle tubazioni, nel secondo dalla dimensione delle condotte e dalla complessità delle centrali di trattamento dell'aria, ad esempio in termini di livello di filtrazione e tipologia di recuperatori di calore.

Il COP_p può essere scritto come:

$$COP_p = \frac{c_p}{\rho} DT \frac{\eta}{D_p} \quad (1)$$

con:

c_p calore specifico del fluido, espresso in $J K^{-1} kg^{-1}$

ρ densità del fluido, espressa in $kg m^{-3}$

DT salto termico del fluido, espresso in K (o in $^{\circ}C$: è lo stesso essendo una differenza)

D_p prevalenza richiesta alla pompa o ventilatore, espresso in Pa

La figura 1 mostra il COP_p dei sistemi di pompaggio al variare del salto termico dell'acqua e delle perdite di carico, nel caso di pompa con rendimento pari al 65%. L'asse delle ascisse è in scala logaritmica.

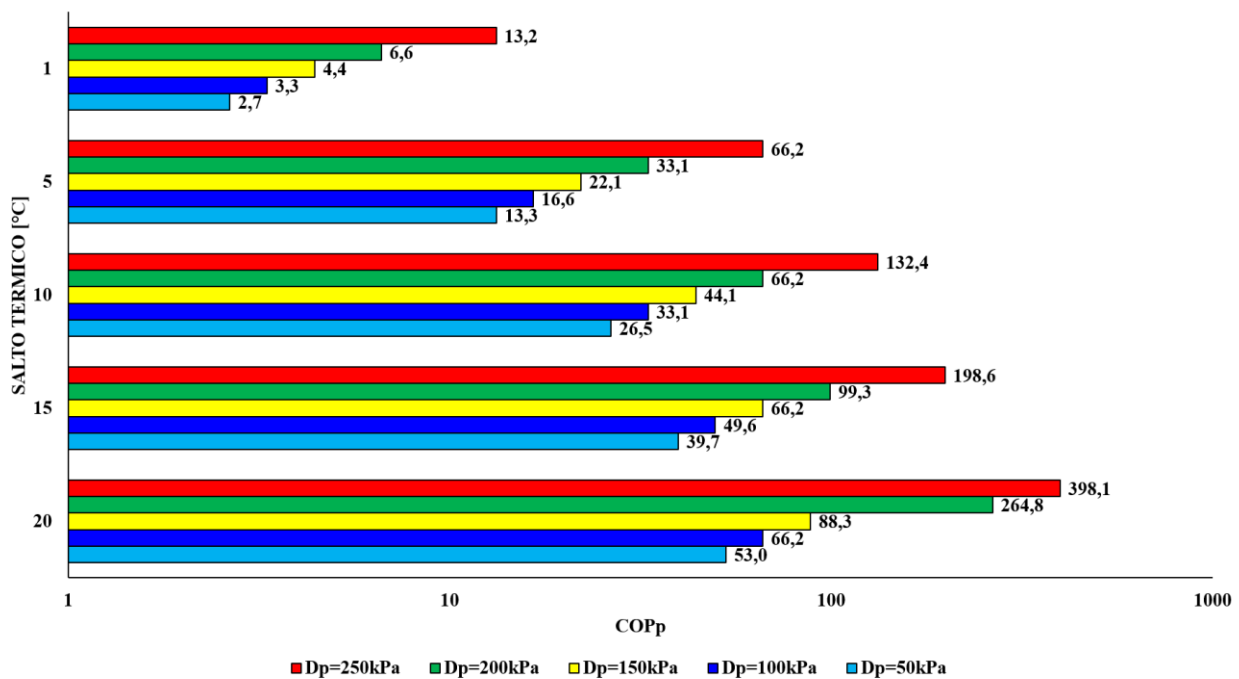


Figura 1: COP_p di un circuito idraulico al variare del salto termico e delle perdite di carico (rendimento della pompa = 65%)

Analogo ragionamento si può fare per i ventilatori, sostituendo il salto entalpico al salto termico. La figura 2 mostra il COP_v di un sistema di ventilazione al variare differenza di entalpia tra aria ambiente e aria immessa e delle perdite di carico, nel caso di ventilatore con rendimento pari al 65%. L'asse delle ascisse è in scala logaritmica.

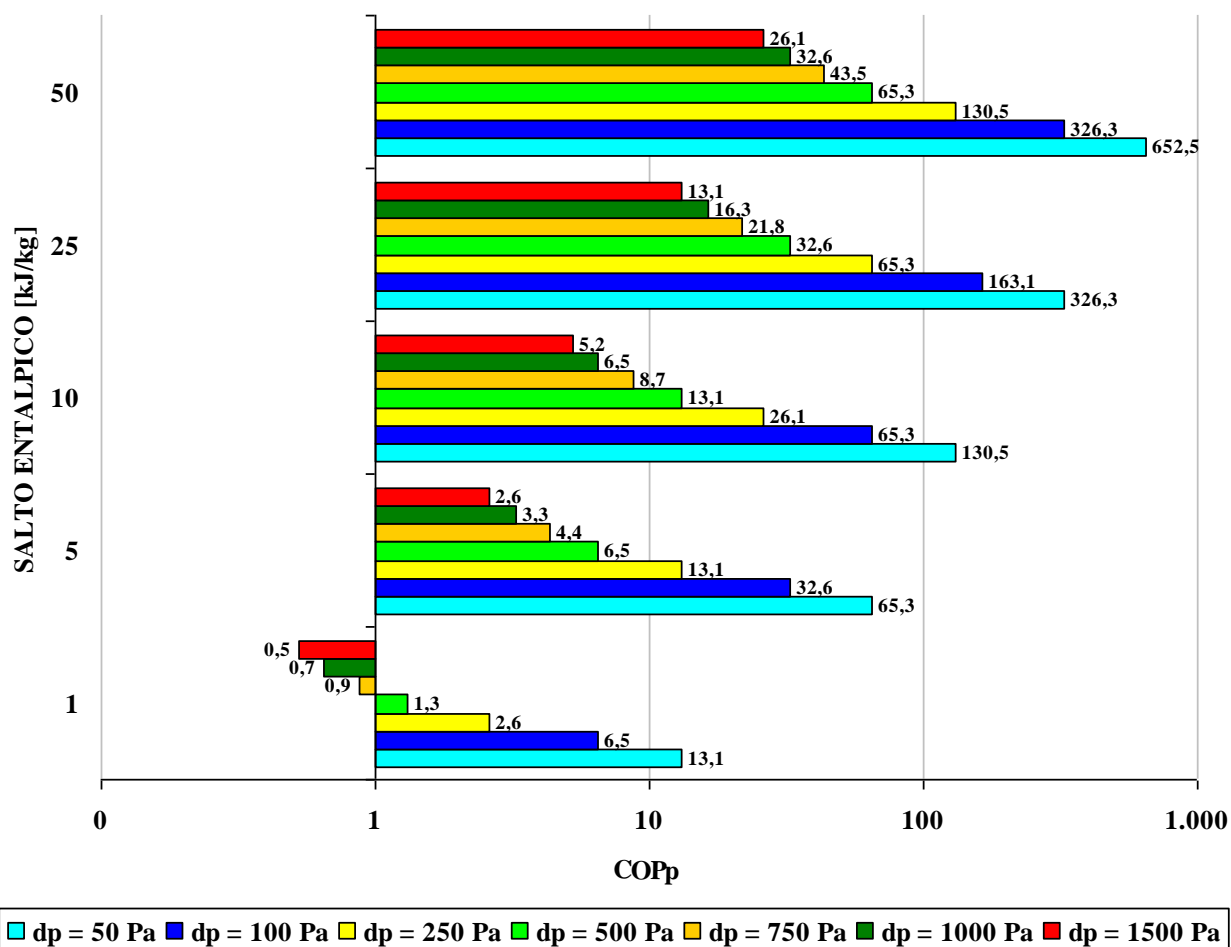


Figura 2: COP_v di un circuito aeraulico al variare del salto entalpico e delle perdite di carico (rendimento dei ventilatori = 65%).

Considerazioni sui singoli consumi

I consumi dell'impianto di climatizzazione dipendono in primo luogo dai fabbisogni dell'edificio: più questi sono bassi, minore è il consumo richiesto per la climatizzazione. Tuttavia, come si vedrà meglio nel prossimo articolo, non è possibile ridurre i consumi agendo solo sull'isolamento termico, in quanto se si riducono quelli in riscaldamento, aumentano quelli in raffrescamento, a casua dei carichi endogeni generati all'interno dell'edificio, per cui si deve trovare un punto di ottimo. Un edificio che non richieda energia per la climatizzazione è una pura utopia.

Ottimizzato l'involucro dell'edificio, si devono ridurre i consumi delle singole voci di consumo: generatori, pompe e ventilatori. Per i generatori la scelta è relativamente semplice, perché hanno un campo di efficienza abbastanza limitato e facilmente determinabile.

Pompe e ventilatori hanno comportamenti simili, ma si devono fare considerazioni diverse. Entrambi hanno un consumo che è funzione sia delle perdite di carico che del salto termico o entalpico: quindi le scelte dipende da criteri progettuali.

Le pompe

Per le pompe tutto è più semplice: le tubazioni non richiedono grandi spazi, per cui è possibile ottimizzarle per ridurre le perdite di carico. Inoltre è decisamente possibile progettare gli impianti con salti termici di progetto elevati: in raffreddamento si possono raggiungere tranquillamente 7 °C, anche 10°C in casi particolari nei quali la necessità di deumidificazione estiva sia limitata. Rispetto

aitradizionali 5 °C significa aumentare dal 50% al 100% il COP_P dei circuiti idraulici, con conseguente risparmio energetico. In riscaldamento i valori di salto termico potrebbero essere molto maggiori, fino a 20 °C e oltre, soprattutto con pompe di calore a CO₂ in ciclo transcritico, pompe di calore ad assorbimento e pompe di calore in tradizionale ciclo subcritico, dimensionate in modo opportuno [Vio, 2103; AA.VV., 2014].

Se si utilizzano impianti a portata variabile, con il ridursi del carico il salto termico aumenta, le perdite di carico diminuiscono e contemporaneamente si potrebbe ridurre anche la prevalenza richiesta alla pompa, se il sistema di controllo del numero di giri lo consentisse, con un beneficio enorme per il consumo. Invece con gli impianti a portata costante, il salto termico diminuisce al ridursi del carico e le perdite di carico rimangono inalterate. Quindi, adottando impianti a portata d'acqua variabile si ottiene un beneficio enorme dal punto di vista energetico. In ogni caso, il consumo energetico dei sistemi di pompaggio è almeno un ordine di grandezza inferiore a quello dei generatori.

I ventilatori

Per i ventilatori il discorso è diverso. Osservando la figura 2 si nota l'importanza delle perdite di carico sull'andamento del COP_V: in alcuni casi i valori sono simili o inferiori a quelli dei generatori. Le condotte richiedono dimensioni molto maggiori rispetto a quelle dei tubi, a parità di energia vettoriata, per cui non sempre è possibile reperire spazi sufficienti per un loro dimensionamento ottimizzato: la progettazione è sempre frutto di un compromesso, tra consumo energetico, possibilità reale di inserimento dell'impianto all'interno dell'edificio e costi iniziali. Le perdite di carico, inoltre, non dipendono solo dalle condotte, ma anche dal sistema di filtrazione richiesto: più è elevato, maggiori sono le perdite di carico. Infine, influiscono anche i sistemi di recupero dall'aria espulsa: se le loro perdite di carico sono eccessive si rischia di perdere parte del risparmio energetico.

Il salto entalpico dipende dalla temperatura e dall'umidità specifica dell'aria immessa. Non si può immettere in ambiente aria troppo fredda o troppo calda: generalmente il salto termico non può superare 10 °C – 12 °C. L'umidità specifica dell'aria immessa dipende sia dalle condizioni desiderate in ambiente che dalla presenza delle persone.

E' possibile variare la portata d'aria nelle condotte, ma con limiti molto più stringenti rispetto a quelli imposti per l'acqua, perché bisogna comunque garantire una portata minima di rinnovo e una corretta sovrappressione all'impianto. Generalmente il salto entalpico tende a diminuire sempre in condizioni di basso fabbisogno all'interno dei locali. Pertanto, rispetto ai circuiti idraulici, le spese dei ventilatori rappresentano sempre una voce importante, spesso maggiore anche di quella dei generatori.

Il percorso virtuoso dell'efficienza

La progettazione di un edificio NZEB richiede un percorso virtuoso, fatto passo dopo passo. L'idea dovrebbe essere quella di una scala da compiere in discesa, dove ogni gradino rappresenta una soluzione tecnica aggiuntiva o differente dal gradino precedente. I gradini non hanno tutti la stessa altezza, perché qualcuno permette risparmi maggiori, altri risparmi minori: l'importante è che i gradini siano sempre in discesa e non in salita.

Ovviamente, il percorso non è mai unico: dalla stessa posizione di partenza si possono seguire percorsi diversi, più o meno lunghi, come è idealmente mostrato in figura 3. Anzi, ad ogni passo si aprono nuove soluzioni e si devono compiere nuove scelte, sempre stando attenti alle esigenze del cliente.

Si deve partire dalle caratteristiche e dalla tipologia dell'edificio per minimizzare i fabbisogni, sia di riscaldamento che di raffreddamento, in funzione del clima e dei carichi endogeni. La scelta dei parametri termoigrometrici in ogni stagione diventa fondamentale: l'avvicinamento al consumo 0 passa anche per un nuovo modo di concepire il clima all'interno dell'edificio e di abbigliarsi di conseguenza.

A questo punto si deve scegliere la tipologia d'impianto, tenendo conto anche degli spazi disponibili. Impianti a tutta aria permettono di sfruttare molto il free-cooling in inverno e nella mezza stagione, aspetto fondamentale in edifici molto isolati con elevati carichi endogeni interni; per contro richiedono portate d'aria elevate, con relativo aumento di consumo per la ventilazione. Tali consumi possono ridursi solo se si costruiscono condotte con ampie sezioni, quindi se si hanno spazi disponibili, altrimenti è probabile convenga energeticamente utilizzare un impianto ad aria primaria e avviare un gruppo frigorifero per generare l'energia richiesta. A questo punto diventa fondamentale la scelta dei vari componenti dell'impianto, dai recuperatori di calore dall'aria esterna fino ai generatori, definendo nel contempo la loro logica di funzionamento e progettando in modo corretto ogni particolare dell'impianto, ad esempio le linee idrauliche.

Su ognuno di questi temi si tornerà nei prossimi articoli, proprio per analizzare il peso di ogni singola scelta.

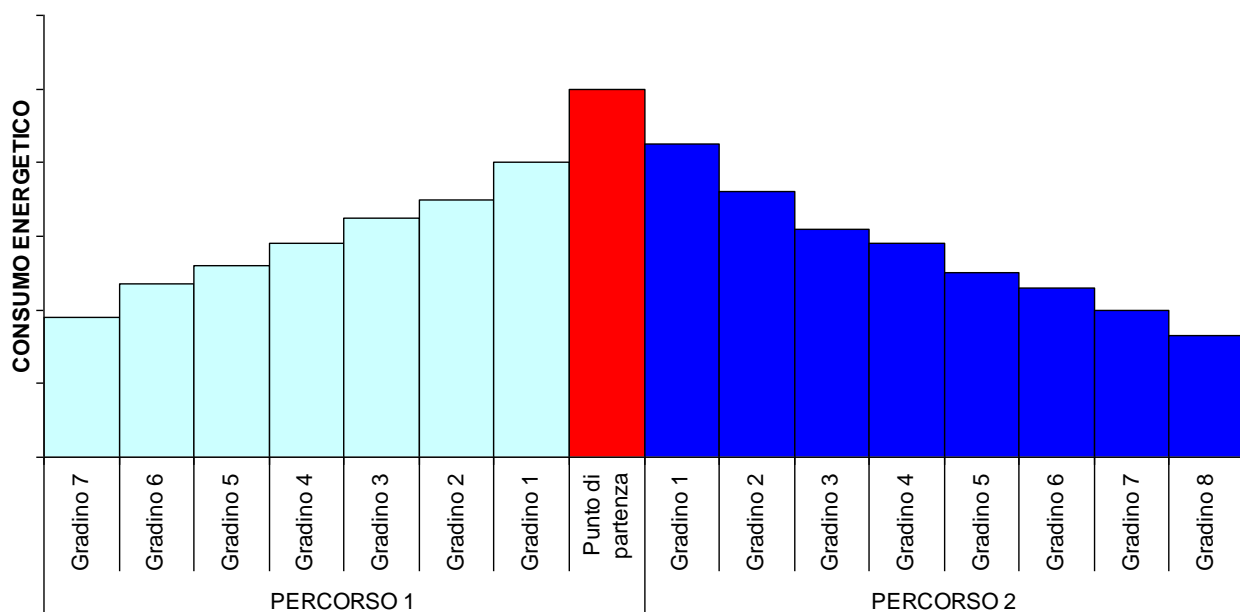


Figura 3: il percorso dell'efficienza

Bibliografia

Vio 2013: La pompa di calore nel retrofit di edifici esistenti con impianti a radiatori

AAVV: Manuale d'idronica, paragrafo 10.8.2