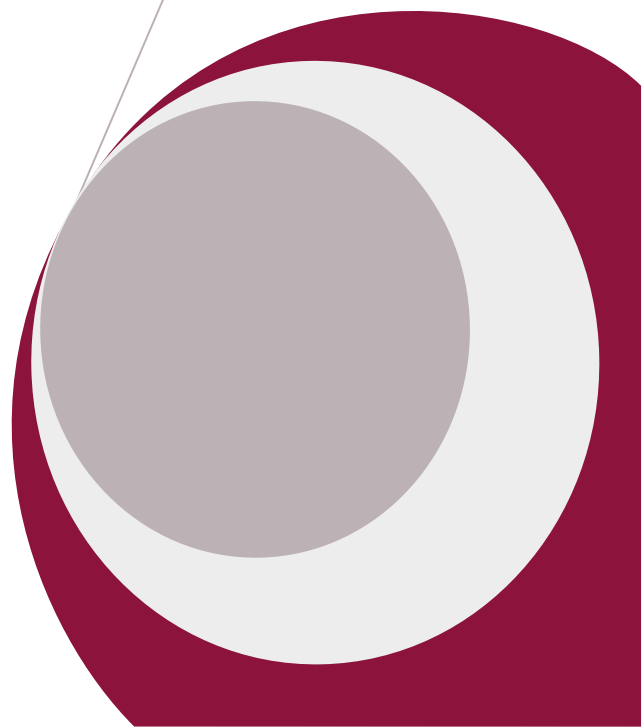
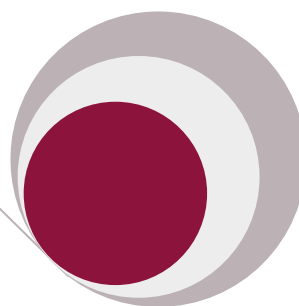
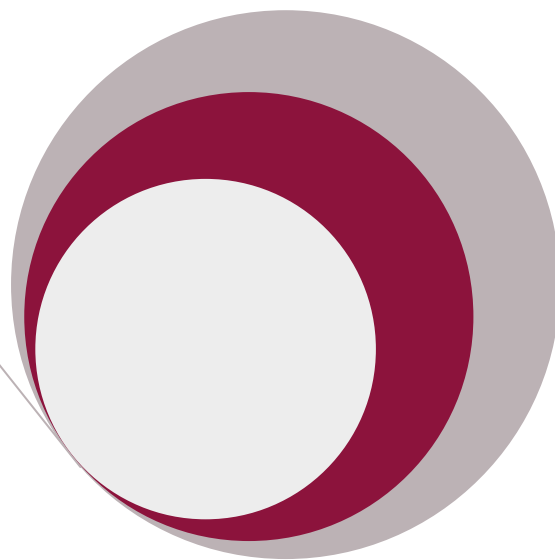




***“IL CICLO NATURALE  
DELLE ACQUE”***

**PROF.SSA PAOLA IODICE**



# Indice

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> -----	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>BILANCIO IDROLOGICO A SCALA DI BACINO</b> -----	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>MISURA DELLE GRANDEZZE IDROLOGICHE</b> -----	<b>10</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> -----	<b>20</b>



*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*

# 1 Introduzione

I comparti ambientali acqua, aria, suolo, vengono considerati separatamente in quanto differiscono per tipologia di inquinanti, procedure di campionamento, metodiche di analisi, limiti normativi... Tuttavia, le naturali interazioni tra i comparti ambientali spesso impongono di considerare le trasformazioni da una forma di inquinamento a un'altra. La categorizzazione delle forme di inquinamento all'interno di una struttura divisa in compartimenti ambientali spesso mal si presta alla descrizione della complessità delle cause e degli effetti prodotti. E' sempre opportuno avere una visione 'globale' che tenga conto dell'effetto che le trasformazioni all'interno di un certo comparto hanno su di un altro comparto ambientale. Per comprendere i processi di trasporto e trasformazione dell'acqua è fondamentale l'analisi del cosiddetto ciclo globale idrologico.

Il ciclo idrologico (o ciclo dell'acqua) rappresenta l'insieme di tutti i fenomeni legati all'acqua nel suo naturale movimento sulla superficie terrestre. Nel termine ciclo è insita l'idea di un meccanismo di ricircolo come è ben evidenziato nella frase di Leonardo da Vinci: ".....da cui si può concludere come l'acqua vada dai fiumi al mare e dal mare ai fiumi, quindi costantemente circolando e tornando e come tutti i mari e i fiumi siano passati infinite volte dalla foce del Nilo ....." L'acqua segue un ciclo idrologico ovvero subisce una serie di trasferimenti e di trasformazioni che interessano l'atmosfera, la superficie del suolo e il sottosuolo. Esso è strettamente legato ai cicli dell'energia e del trasporto delle sostanze minerali ed interessa l'acqua presente negli oceani, sulla superficie terrestre, all'interno del suolo e del sottosuolo e in atmosfera. Il lavoro necessario per la messa in movimento delle particelle d'acqua nel ciclo idrologico è fornito, sostanzialmente, da due sorgenti di energia (la radiazione solare e la forza di gravità) che assicurano, con la loro conservazione, la regolarità e l'equilibrio del ciclo globale. L'acqua è trasportata in un sistema chiuso costituito dalla terra e dall'atmosfera, all'interno del quale cambia stato da liquido a gassoso o solido e viceversa. Ogni goccia d'acqua segue un percorso dagli oceani all'atmosfera alla terra, attraverso movimenti di superficie e sotterranei. I principali processi fisici in gioco sono l'evaporazione, la condensazione le precipitazioni, l'infiltrazione ed i deflussi. La precipitazione che raggiunge la superficie del suolo all'inizio di un evento meteorico è, in parte, trattenuta dalla vegetazione per intercettazione vegetale ed, in parte, dalle depressioni o piccoli invasi superficiali. Al proseguire dell'evento la superficie del suolo viene ricoperta da un sottile strato d'acqua, secondo un fenomeno di tipo transitorio (detenzione superficiale), che scorre fino a

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*

raggiungere il reticolo idrografico (scorrimento superficiale), determinando la formazione del deflusso superficiale. In ognuna di queste fasi (soprattutto in quella di invaso superficiale), l'acqua può infiltrare nel suolo, facendone variare il contenuto idrico ovvero l'umidità. Una parte dell'acqua di infiltrazione torna in atmosfera per effetto dell'evapotraspirazione, un'altra parte torna in superficie per effetto dell'assorbimento capillare ed il resto raggiunge le acque sotterranee. Le acque infiltrate nel terreno possono riemergere in superficie tramite il deflusso ipodermico o quello sotterraneo. Le precipitazioni variano enormemente da luogo a luogo ed il volume d'acqua che raggiunge il suolo è in funzione dell'intensità di precipitazione, della copertura vegetale, della pendenza, della capacità di infiltrazione, della permeabilità e del contenuto iniziale di umidità. Intensità di pioggia moderate possono essere più efficaci nella penetrazione nel suolo, soprattutto quando esso è poroso. Piogge leggere vengono rapidamente perse per evaporazione, mentre elevate intensità, più alte della capacità di assorbimento del suolo, si accumulano sulla superficie e scorrono su di essa.

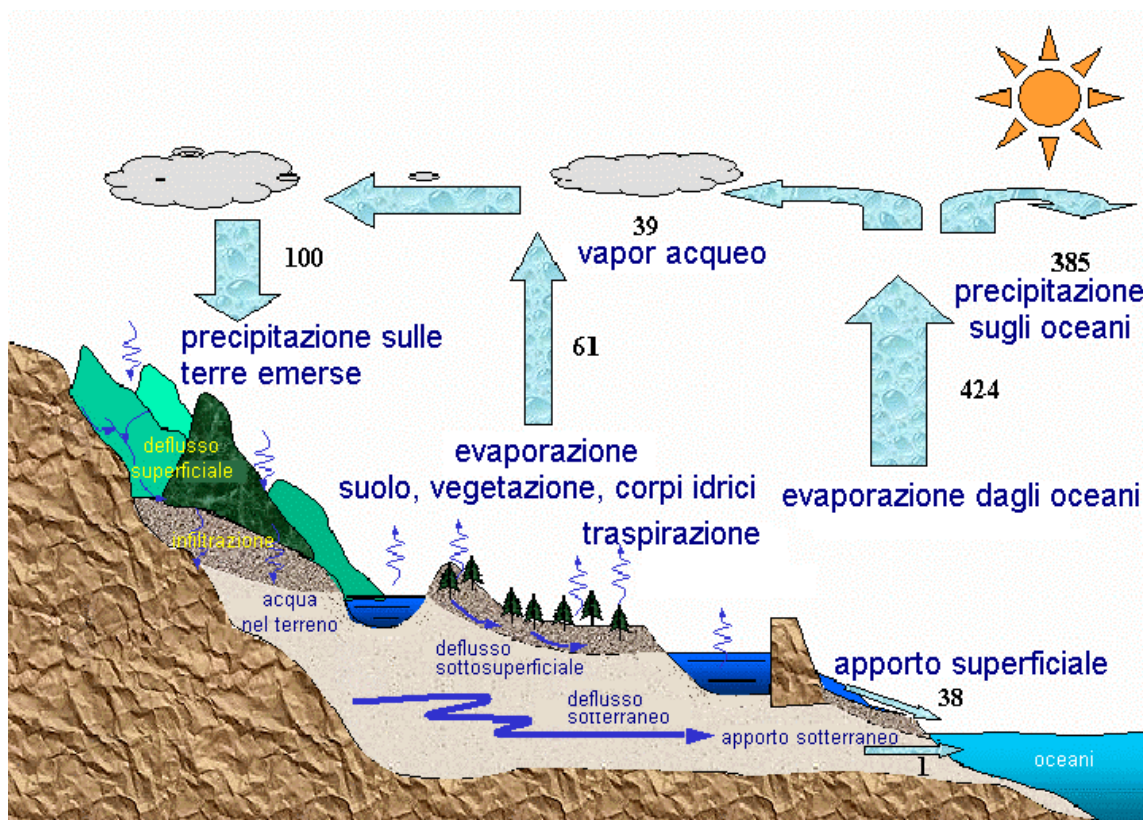


Figura 1- Flussi all'interno del ciclo idrologico. Le unità sono in termini relativi alla precipitazione annuale sulla superficie terrestre (100 = 119.000 km<sup>3</sup>anno<sup>-1</sup>)

Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)

La figura rappresenta in maniera schematica il ciclo idrologico del pianeta, in cui i valori relativi alle diverse forme di trasporto sono proporzionali al valore di precipitazione sulle terre emerse che è stato posto pari a 100.

Il ciclo idrologico può essere descritto analizzando i flussi in ingresso, quelli in uscita, le trasformazioni e i vari livelli di immagazzinamento. Quantitativamente si applica, quindi, il principio di conservazione della massa, tramite il quale è possibile impostare un bilancio idrologico. Il bilancio può essere formulato con riferimento ad un qualsiasi "volume di controllo" ovvero un elemento tridimensionale attraverso il quale avvengono i flussi in ingresso ed uscita.

L'equazione generale del principio di conservazione della massa per il bilancio idrologico, applicabile ad ogni volume di controllo è la seguente:

"la variazione nel tempo della massa d'acqua (M) corrispondente alla fase assegnata è pari alla differenza fra il flusso entrante (I) e il flusso uscente (O)"

I = flusso entrante o input del sistema

O = flusso uscente o output del sistema

t = tempo entrante (input) e quello uscente (output)"

$$dM/dt = I - O$$

In relazione agli obiettivi dell'indagine, il volume di controllo può essere costituito da una parcella di terreno o da un versante, ma l'unità territoriale più conveniente per l'indagine idrologica è quella del bacino idrografico. Il ciclo idrologico a scala globale costituisce un sistema chiuso in termini di bilancio idrologico. Altrettanto importante è l'identificazione del periodo di riferimento nel quale effettuare il bilancio idrologico. Si può utilizzare una scala temporale mensile, stagionale, annuale, pluriennale. La scala stagionale può coincidere con le stagioni convenzionali (estate, ecc.) o riferirsi a stagioni idrologiche: stagione secca e stagione umida. La prima inizia, a seconda delle zone, tra la fine di aprile e la fine di giugno e termina tra l'inizio di settembre e la fine di ottobre. La seconda ovviamente copre la restante parte dell'anno. Resta essenziale quando si effettua un bilancio idrologico fissare il volume di controllo ed il periodo di riferimento.

## 2 Bilancio idrologico a scala di bacino

L'insieme dei processi idrologici che, nel loro insieme, costituiscono la trasformazione afflussi deflussi operata dal bacino idrografico è rappresentabile, in una forma generale ma sufficientemente completa, nello schema a blocchi della figura 2.

Nella figura i blocchi rappresentano forme di immagazzinamento dell'acqua e le linee che li collegano rappresentano i singoli processi che trasferiscono l'acqua da una forma di accumulo all'altra. Complessivamente il contorno tratteggiato blu delimita la parte del ciclo idrologico che rappresenta la trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino idrografico che in questo caso è il volume di controllo.

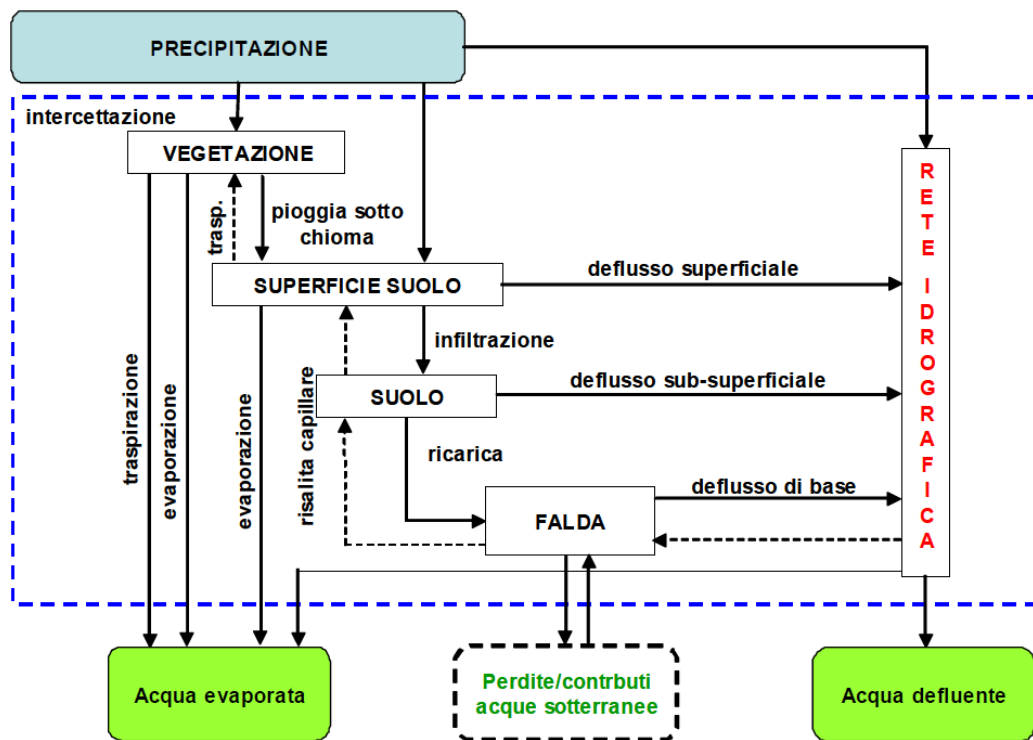


Figura 2- Schema a blocchi per il bilancio idrico di bacino.

Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)



La precipitazione  $P$  va in gran parte ai blocchi che rappresentano la superficie del bacino (inclusa la copertura vegetale) ed in piccola parte direttamente a quello che rappresenta la rete drenante del bacino. I tre blocchi che rappresentano la superficie del bacino, la rete idrografica e la copertura vegetale alimentano l'evaporazione attraverso la quale si ha ritorno dell'acqua nell'atmosfera. L'evaporazione comprende, quindi, l'evaporazione dall'apparato fogliare, l'evaporazione dal velo d'acqua che copre il terreno durante la pioggia e dalle depressioni superficiali, l'evaporazione dagli specchi d'acqua e quella dal terreno umido. Il blocco che rappresenta la superficie alimenta anche l'infiltrazione nel suolo  $F$  e la componente  $Q_s$  di deflusso superficiale.

Il blocco che rappresenta il suolo alimenta anche lo scorrimento sottosuperficiale (o sub-superficiale o ipodermico)  $Q_i$  e la ricarica degli acquiferi (o percolazione profonda)  $R$ . Il blocco che rappresenta gli acquiferi (falda) alimenta lo scorrimento profondo che si suddivide in due parti: lo scorrimento che corrisponde al deflusso di base  $Q_b$  nella rete drenante e lo scorrimento verso gli strati più profondi o verso l'esterno  $Q_u$ , che rappresenta comunque una perdita nell'ambito del bilancio di bacino. Dal blocco che rappresenta la rete drenante esce infine il deflusso totale  $Q$  alla sezione di chiusura del bacino dato dalla somma:

$$Q = Q_s + Q_i + Q_b$$

Si può inoltre scrivere la relazione che rappresenta il principio di conservazione della massa applicato a tutto il volume di controllo. L'equazione di continuità globale in questo contesto prende il nome di equazione del bilancio idrologico del bacino. Applicando l'equazione globale al volume di controllo che ha la base coincidente con lo strato impermeabile su cui poggiano gli acquiferi, il limite superiore al di sopra della vegetazione ed un contorno cilindrico che passa per lo spartiacque del bacino, per l'unità di tempo considerato possiamo scrivere la seguente relazione:

$$P + Q_e = E_a' + E_a'' + E_t + E_v + T + Q + Q_u + \Delta V_v + \Delta V_s + \Delta V_u + \Delta V_a + \Delta V_r$$

dove:

- $P$  è la precipitazione complessiva sul bacino;
- $Q_e$  è la quantità d'acqua entrata nel bacino per scorrimento sotterraneo;
- $E_a'$  è la quantità d'acqua evaporata dalla rete idrografica o da altri specchi d'acqua come i laghi;
- $E_a''$  è la quantità evaporata dal velo d'acqua che copre la superficie del suolo durante e poco dopo la precipitazione;
- $E_t$  è la quantità d'acqua evaporata dallo strato areato del terreno;

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*

- $E_v$  è la quantità d'acqua evaporata dalla copertura vegetale durante e poco dopo la precipitazione;
- $T$  è la quantità di acqua traspirata dalla vegetazione;
- $Q$  è il deflusso totale alla sezione di chiusura del bacino;
- $Q_u$  è la quantità d'acqua uscita dal bacino per scorrimento sotterraneo;
- $\Delta V_v$  è l'incremento del volume d'acqua immagazzinato dalla vegetazione ipotizzato in gran parte dovuto al fenomeno di intercezione vegetale  $I$ ;
- $\Delta V_s$  è l'incremento del volume d'acqua immagazzinato nelle depressioni superficiali;
- $\Delta V_u$  è l'incremento del volume d'acqua immagazzinato come umidità nello strato del suolo areato;
- $\Delta V_a$  è l'incremento del volume d'acqua immagazzinato negli acquiferi;
- $\Delta V_r$  è l'incremento del volume d'acqua immagazzinato nella rete idrografica del bacino.

In particolare

- i termini  $P + Q_e$  rappresentano il flusso entrante o input
- i termini  $E_a' + E_a'' + E_t + E_v + T + Q + Q_u$  rappresentano il flusso uscente o output
- i termini  $\Delta V_v + \Delta V_s + \Delta V_u + \Delta V_a + \Delta V_r$  rappresentano la variazione del contenuto di acqua all'interno del volume di controllo nel tempo considerato

Più sinteticamente si può porre l'evapotraspirazione  $ET$  pari alla somma dell' evaporazione e della traspirazione:

$$ET = E_a'' + E_a' + E_t + E_v + T$$

Nell'equazione di bilancio globale si può condensare nella variazione complessiva di volume la somma dei termini corrispondenti nei cinque blocchi:

$$\Delta V = \Delta V_v + \Delta V_s + \Delta V_u + \Delta V_a + \Delta V_r$$

Pertanto l'equazione di continuità globale (bilancio idrologico di bacino) si può scrivere nella forma:

$$P + Q_e = ET + Q + Q_u + \Delta V$$

Spesso si può assumere che le due quantità  $Q_e$  e  $Q_u$  siano trascurabili o siano circa uguali tra loro. La forma più sintetica dell'equazione di continuità globale risulta pertanto:

$$P = ET + Q + \Delta V$$

Scritta in questa forma l'equazione del bilancio idrologico ci dice che la precipitazione è pari alla somma delle perdite per evapotraspirazione  $ET$ , del deflusso  $Q$  alla sezione di chiusura e dell'incremento  $\Delta V$  del volume d'acqua immagazzinato in varie forme all'interno del volume di

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*



controllo assunto a rappresentare il bacino nel tempo di riferimento considerato. Vale la pena porre l'attenzione sul caso di estremo interesse in cui il volume di controllo considera solo lo strato più superficiale del terreno (Figura 3). A meno della risalita capillare ritenuta trascurabile, l'unico flusso idrico entrante nel volume di controllo è costituito dalla precipitazione  $P$ , depurata dell'aliquota,  $I$ , trattenuta per effetto dell'intercezione dalla copertura vegetale. I flussi uscenti sono rappresentati: dalla componente superficiale del deflusso,  $Q_s$ ; dall'infiltrazione,  $F$ , verso gli strati più profondi del suolo; dal contributo all'evapotraspirazione,  $ET$ . Il termine  $\Delta V$  coincide, in questo caso, con il solo  $\Delta V_s$  cioè al volume di acqua immagazzinato nelle depressioni superficiali del terreno. L'equazione di bilancio, pertanto diventa:

$$P=ET+Q_s+F+I+\Delta V_s$$

Nelle applicazioni pratiche la grandezza che più spesso è oggetto di investigazione è rappresentata dal termine  $Q_s$ . Per questo motivo, tutti quei fenomeni per i quali il deflusso superficiale alla sezione di chiusura risulta minore dell'afflusso meteorico al bacino sono spesso indicati come "perdite".

Tra le perdite, la componente che assume un ruolo predominante in caso di eventi di piena è senza dubbio l'infiltrazione.

Facendo riferimento alla perdite del bacino è possibile introdurre le definizioni di pioggia efficace e pioggia netta.

La pioggia efficace è la frazione di pioggia che riesce effettivamente a raggiungere il suolo dopo la perdita per intercezione dovuta alla copertura vegetale.

La quantità di pioggia efficace, depurata delle altre perdite, che effettivamente alimenta il deflusso superficiale è chiamata pioggia netta.

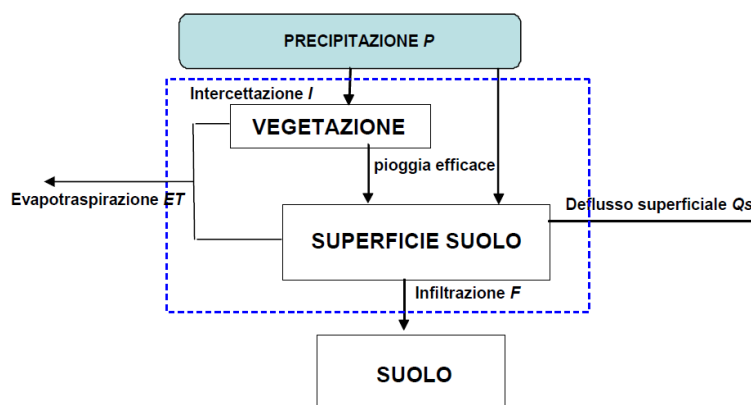


Figura 3 - Schema a blocchi per il bilancio idrico di bacino in cui il volume di controllo considera solo lo strato più superficiale del terreno.

Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)

### 3 Misura delle grandezze idrologiche

Il ciclo idrologico può essere descritto analizzando i flussi in ingresso, quelli in uscita, le trasformazioni e i vari livelli di immagazzinamento. In particolare per i diversi termini che compongono i dati di ingresso e dati in uscita possiamo indicarne i metodi di misurazione e gli strumenti più comunemente utilizzati, che possono essere utili nella professione dell'ingegnere ambientale.

#### Misura della precipitazione P

Definiamo Altezza di precipitazione : l'altezza della lama d'acqua che coprirebbe una superficie orizzontale qualora tutta l'acqua raccolta dalla superficie in un assegnato intervallo di tempo fosse trattenuta, così da formare uno strato di spessore uniforme.

Valori usali di precipitazione annua per Napoli si aggirano attorno a 400 – 450 mm.

Mentre chiameremo Intensità di pioggia : il rapporto, espresso per esempio in mm/ora, tra l'altezza totale di precipitazione e la durata corrispondente. E' l'intensità di pioggia molte volte a determinare l'importanza di un evento pluviometrico. Ad esempio 100

mm di pioggia in un mese sono del tutto normali, 30 mm in un'ora possono essere catastrofici.

A determinare il clima in Italia intervengono:

- la posizione astronomica, compresa fra i 36 ed i 45° N di latitudine, sede di un fronte di convergenza da Nord e da Sud di masse d'aria di contrastanti caratteristiche termodinamiche;
- la posizione geografica, gravante sul lato occidentale della grande massa dei vecchi continenti, prossima all'Oceano Atlantico ed all'Africa Settentrionale;
- l'estensione della penisola, in direzione Nord-Sud per oltre 10° di latitudine;
- il carattere marittimo del clima (almeno per la penisola), per la forma lunga e stretta della penisola nel Mar Mediterraneo;
- la configurazione orografica, influente in particolare sul clima invernale, con la barriera dell'arco alpino a protezione dai venti freddi provenienti dal I e IV quadrante e con la dorsale appenninica a riparo del versante tirrenico dai venti freddi di Nord-Est.
- La stagionalità degli eventi meteorologici è legata alla variazione dell'angolo di incidenza dei raggi solari sulla superficie terrestre.

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*

Circa il regime pluviometrico, la penisola italiana presenta, con esclusione dell'arco alpino, un netto minimo estivo. Di contro, il massimo delle precipitazioni è presente con una unica punta massima durante l'inverno nelle regioni più meridionali della penisola, mentre nelle regioni centrali mostra un massimo principale in autunno ed uno secondario in primavera. Il valore di quest'ultimo aumenta e si sposta verso l'estate salendo alle regioni settentrionali fino a divenire un unico massimo estivo nelle zone alpine. Le curve di possibilità pluviometrica definiscono i valori di altezza di pioggia (DDF) o di intensità di pioggia media (IDF) in funzione della durata dell'evento per assegnati valori del Tempo di Ritorno. Si ottengono mediante elaborazioni statistiche su campioni di altezze max annuali di pioggia misurate in N anni di osservazione per diverse durate.

Il grafico relativo alla variazione dell'intensità di pioggia nel tempo, durante un evento piovoso prende il nome di Ietogramma di pioggia. Con ietogramma di progetto si intende un evento pluviometrico generato sinteticamente con l'obiettivo di pervenire ad un corretto dimensionamento delle opere. E' dedotto da analisi statistiche sulla base di osservazioni pluviometriche e ad esso è associato un tempo di ritorno  $T_r$ .

Lo strumento per la misura della pioggia si chiama Pluviometro. Fino a circa 10-20 anni fa si indicavano come pluviometri quegli strumenti che di fatto non avevano modo di registrare l'evoluzione temporale della pioggia e che venivano controllati a cadenza quotidiana. Diversamente il pluviografo era uno strumento che riusciva, mediante un sistema di registrazione meccanico, a riportare graficamente la quantità di pioggia caduta in un certo intervallo di tempo (giornaliero, settimanale, ecc.), su un'apposita striscia di carta millimetrata. Con questi strumenti era possibile arrivare a risoluzioni temporali massime dell'ordine di cinque minuti, anche se nella maggioranza dei casi la risoluzione utilizzata era nell'ordine della mezz'ora. Ovviamente la registrazione di un evento di pioggia con questo sistema comportava una serie di problemi di manutenzione, affidabilità degli strumenti, lettura e trattazione dei dati che doveva essere fatta comunque a mano. Con lo sviluppo dell'elettronica prima e dell'informatica poi, i pluviografi sono andati sempre più affermandosi dato che acquistavano facilità di gestione e di utilizzo, soprattutto perché si passava da strumenti meccanici a strumenti elettronici con la possibilità di archiviare i dati in maniera digitale. Oggi la distinzione tra i due tipi di strumenti è di fatto quasi scomparsa e ha senso solo quando sono considerati i vecchi strumenti che non hanno una capacità di registrazione delle precipitazioni inferiori alle 24 ore.

Pluviometro manuale: è costituito da un apposito vaso cilindrico, solitamente in plastica, dotato di una scala graduata. L'altezza dell'acqua che riempie il vaso equivale alla pioggia caduta

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*

che si misura in millimetri. Con tale unità di misura l'ammontare della precipitazione risulta indipendente dalla superficie in cui la si misura, mentre sarebbe dipesa dalla superficie se fosse stata espressa in unità di volume cioè ad esempio millilitri. Pluviometri totalizzatori: si tratta di un grosso cilindro, sormontato da un imbuto, con la capacità di raccogliere diversi litri di acqua. Viene utilizzato per monitorare le precipitazioni in zone isolate poiché permette la lettura dei valori cumulati di precipitazione una volta ogni diversi mesi.

Pluviografi a sifone: è costituito da un tamburo rotante che ruota con velocità costante, su di esso vi è una griglia di carta in cui in ascissa si ha il tempo ed in ordinata l'altezza della pioggia, che viene definita grazie ad un pennino, che muovendosi verticalmente (per mezzo di un galleggiante) segna sulla carta l'altezza della pioggia. Se non piove, il livello dell'acqua rimane costante e dunque il pennino segna una linea diritta orizzontale. Quando inizia a piovere, l'acqua entra dentro l'imbuto, mentre il tamburo ruota, il galleggiante sale, originando sulla carta degli incrementi verticali (inclinati). Con questa strumentazione è possibile definire ogni ora quanti mm di pioggia sono caduti. Se il pennino arriva sul margine alto della striscia di carta, significa che il livello nel recipiente corrisponde al beccuccio della cannula, quindi s'innescano un funzionamento a sifone per il quale si origina una depressione nel galleggiante, mentre l'acqua continua ad uscire fino a che entra aria nel sifone (corrisponde ad una linea verticale nel grafico). Questo strumento permette di misurare l'intensità media di pioggia in un certo intervallo di tempo.

Pluviografi a doppia vaschetta basculante: l'imbuto porta acqua in una doppia vaschetta metallica o di plastica, incernierata in un punto. È un sistema il cui equilibrio varia a seconda di quanta acqua c'è nelle vaschette. Il ribaltamento avviene per 0,2 mm (all'estero 0,254 mm = 1/10 inch), quindi ogni volta che cadono 0,2 mm di pioggia si ribalta. Tale vaschetta è collegata ad un sistema che scrive su carta, avvolta su 2 rulli, che tendono la carta in modo che il pennino scriva su una porzione di carta "piana". Il pennino è incernierato, quindi in caso di pioggia, viene rappresentato un arco di cerchio (il cui raggio equivale alla distanza dalla cerniera), in caso di assenza di pioggia si ha una linea orizzontale. Nel periodo di riempimento della vaschetta il pennino registra un tratto orizzontale, al momento del ribaltamento, segna un gradino di 0,2 mm. In conclusione si ha una funzione a gradini, la cui alzata è costante (0,2), mentre la pedata (la base dello scalino) varia in base al tempo di riempimento della vaschetta. Una volta che il pennino arriva in cima allo spazio carta, si ribalta e segna in discesa. Sommando tutte le alzate in salita ed in discesa sulle 24 ore si calcola il totale di pioggia caduta (in mm) nella giornata. Anche con questo strumento si leggono le intensità di pioggia. Ultimamente sono in commercio pluviometri in cui la

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*

registrazione avviene in modo elettronico che possono essere collegati ad un server centrale che immagazzina tutti i dati raccolti. Con questo strumento si può effettuare la misurazione anche in caso di neve: l'imbuto viene munito di resistenza termica, che scioglie l'acqua (in fase solida), riduce il volume misurato ad 1/10 della neve equivalente e misura l'equivalente in acqua.

Le cause più comuni negli Errori di misura del pluviometro sono:

- vento: provoca una distorsione della traiettoria della particelle di acqua che non cadono verticalmente ma inclinate e quindi si riduce la superficie di captazione ; per questo il pluviometro deve essere collocato con bocca orizzontale altrimenti la quantità di acqua raccolta risulta maggiore o minore a seconda che la bocca sia inclinata verso il

vento o nella direzione opposta. Il problema si risolve in parte ponendo dei paraventi nell'intorno del pluviometro.

- perdita volumetrica: quando piove forte la bascula oscilla velocemente e c'è il rischio che l'acqua cada in tutte e 2 le vaschette. Si cerca di eliminare queste perdite variando opportunamente la loro forma geometrica.

Bisogna che il bordo dell'imbuto sia a spigolo vivo e che in esso ci siano 2 reti : una a maglia grossa per le foglie ed una a maglia fine per la terra. Oggi i pluviometri a bascula sono dotati di relè che trasformano un segnale meccanico (cambio di direzione della bascula) in uno alfanumerico; devono riportare una misura lineare fino a 20 cm/ora.

Viene utilizzato il Pluviometro anche per misurare la neve, infatti nelle zone dove precipita neve si possono usare resistenze per sciogliere la neve oppure usare un sistema a gas (esiste anche un particolare dispositivo contenente liquido anticongelante inventato dagli americani). Le precipitazioni nevose si misurano attraverso il loro equivalente in acqua. Un altro strumento utilizzato per la misura delle precipitazione

è radar meteorologico: è stata trovata una relazione tra riflettanza delle onde radar e dove  $r_0$  è il raggio delle gocce di pioggia – relazione di Marshall-Power; tramite il radar otteniamo immediatamente una distribuzione di pioggia nel tempo e nello spazio ma non otteniamo la quantità di pioggia.

Stima della precipitazione areale: le dimensioni della bocca tarata (max 1000 cmq) sono molto piccole rispetto alle dimensioni reali del bacino e quindi per avere una misura corretta bisogna usare più pluviometri. Il numero di pluviometri necessari dipende sia dall'uso che si vuole fare delle osservazioni sia dal modo in cui le piogge sono distribuite (es. per lo studio di piogge brevi ed intense che interessano una zona tanto più ristretta quanto più è grande l'intensità della

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*

pioggia – sono queste piogge le principali responsabili delle piene nei piccoli bacini – può essere giustificata l'installazione di 4-5 pluviometri per kmq). La densità della rete pluviometrica non è uniforme e dipende dalla distribuzione spaziale delle precipitazioni (in Italia abbiamo in media uno strumento ogni 80 kmq). Dato che ogni strumento è rappresentativo dell'area che lo circonda, se si vuole che ogni pluviometro abbia circa lo stesso peso bisogna aumentare la densità degli strumenti nelle aree dove i totali di pioggia sono più alti.

#### Misure del livello della portata

La grandezza più interessante da misurare per fini idrologici è la portata. Spesso però non è facile misurare direttamente la portata, ma si misura il livello idrometrico e allo stesso tempo si costruisce una relazione (scala di deflusso) da cui è possibile stimare la portata.

Portata: volume di acqua che passa attraverso una sezione fluviale predeterminata nell'unità di tempo. Spesso si misura in m<sup>3</sup>/s, ma dipende dalla grandezza del fiume.

Livello idrometrico: quota del pelo libero di una corrente in una sezione fluviale predeterminata. Di solito viene misurato in m.

Lo strumento di misura del livello dell'acqua in un fiume o in un lago è l'idrometro.

L'idrometro più semplice è l'asta idrometrica : si tratta di un'asta graduata, disposta per lo più verticalmente, lunga abbastanza da restare in parte immersa nell'acqua anche quando il livello è eccezionalmente basso e visibile anche quando è eccezionalmente alto, solidamente fissata alla sponda, per esempio alla spalla di un ponte o a un muro di protezione. Requisito essenziale della sezione in cui si installa l'idrometro è la stabilità

dell'alveo, senza la quale la costanza della scala delle portate non può essere garantita ; per migliorare la precisione delle misure è bene scegliere, nella misura del possibile, una sezione in cui la variazione di livello sia particolarmente sensibile a parità di variazione di portata. La lettura delle aste idrometriche si fa generalmente una volta al giorno a ora fissa ( in Italia a mezzogiorno ).

Idrometrografo a galleggiante :Poiché non è chiaramente possibile eseguire con l'asta idrometrica letture dirette con frequenza maggiore, la registrazione continua dei livelli si ottiene per mezzo di strumenti automatici che prendono il nome di idrometrografi.

L'idrometrografo di rilevamento più comune è costituito un galleggiante opportunamente zavorrato, fissato a uno dei due estremi di un filo appoggiato sopra una puleggia, al cui secondo estremo è fissato un contrappeso ; le escursioni di livello del pelo libero fanno salire e scendere il galleggiante e il filo, mantenuto in tensione dal contrappeso, scorre sulla puleggia facendola ruotare

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*



( naturalmente si deve escludere ogni slittamento del filo sulla puleggia, la cui rotazione deve risultare proporzionale alla variazione di livello ).

Idrometrografo ad ultrasuoni : misura il livello calcolando il tempo di percorrenza in aria del suono dalla fonte al pelo libero dell'acqua (il segnale emesso dalla sorgente vi ritorna dopo un tempo  $t$  grazie alla riflessione sulla superficie dell'acqua); allo strumento è associato un termometro perché la velocità del suono dipende dalla temperatura e questo è un problema perché non sempre la temperatura dello strumento coincide con quella del fiume; bisogna eseguire diverse misurazioni per evitare "l'effetto uccello" : si fanno circa 10 misure e si scartano la più alta e la più bassa ; la precisione dello strumento dipende dalla distanza e quindi quando l'acqua sale la misura migliora (buono per le piene).

Le misure dirette delle portate si eseguono attraverso i seguenti strumenti di misura:

Metodo del secchio: si cronometra in quanto tempo si riempie ed ottengo la portata ; si usa per Corsi piccolissimi ( 0.1 – 10 l/min).

Stramazzo: conoscendo l'altezza dell'acqua sullo stramazzo riusciamo a trovare, tramite formule riportate sui manuali , direttamente la portata. Utile per Corsi piccoli (20 – 30 l/s).

Venturimetro : sagomato per creare l'effetto Venturi, cioè passiamo da corrente lenta a corrente veloce e quindi una differenza di livello dalla quale si riesce a calcolare la portata. Corsi medio-piccoli (1 – 2 m<sup>3</sup>/s).

Per misure indirette delle portate si utilizza la scala di deflusso.

Scala di deflusso: la relazione che viene supposta costante nel tempo che esiste tra livello idrometrico e portata in una data sezione fluviale.

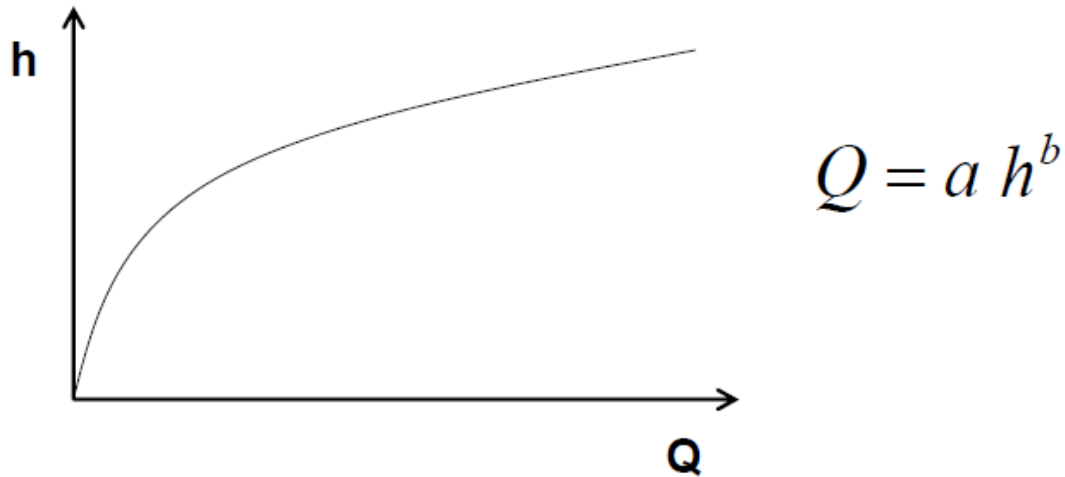
Nota la misura del livello idrometrico  $h$ , si fa una stima della portata, utilizzando una relazione livello-portata  $Q = f(h)$ .

$$Q = a \cdot h^b$$

Per la costruzione di una scala di deflusso:

1. Si misurano nello stesso tempo  $h$  e  $Q$  in diverse condizioni di deflusso (magra, piena, ecc.)
2. Si riportano in grafico  $h$ - $Q$  i punti trovati dalle misure
3. Si trovano i parametri  $a$  e  $b$  che meglio approssimano la legge di potenza  $Q = a \cdot h^b$

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*



Misura della velocità della corrente idrica:

Il Mulinello è lo strumento che misura la velocità in un preciso punto di una corrente in funzione della rotazione di un elica. Il costruttore fornisce delle curve sperimentali tipiche dello strumento che si sta utilizzando che legano il numero di giri all'asse dell'elica alla velocità della corrente. Di solito è solidale ad un asta idrometrica per rilevare immediatamente la profondità di immersione. Per Velocità modeste si usa il mulinello ad asse verticale, per velocità elevate il mulinello ad asse orizzontale.

Misura della evaporazione

Evaporazione: fenomeno fisico della trasformazione di fase dell'acqua dallo stato liquido a quello gassoso. Viene indicata anche il volume di acqua che per evaporazione si perde da uno specchio d'acqua come il mare, i laghi, ecc...Di solito si misura in mm/giorno. Gli strumenti utilizzati per misurare il tasso di evaporazione sono gli evaporimetri. Sono essenzialmente costituiti da una bacinella contenete dell'acqua e da un galleggiante o da un'asta graduata per la misura della variazione del livello d'acqua; va posto in zone rappresentative ( né sui tetti né sotto gli alberi ).

Sono fondamentali le dimensioni e le condizioni dello strumento che devono essere convenzionalmente fissate per poter confrontare misure fatte in luoghi diversi. I tassi di evaporazione osservati in questo modo si possono generalmente considerare come dei valori massimi e costituiscono una buona approssimazione del potere evaporante dell'atmosfera ; moltiplicando questi tassi per dei fattori di riduzione si possono determinare i valori relativi alle superfici di pratico interesse (es. laghi, terreni coperti da vegetazione, ecc.). Le bacinelle disposte in superficie sono molto sensibili alle variazioni della temperatura dell'aria e all'insolazione, ma

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*

semplici da installare e riparate dalle gocce di pioggia che rimbalzano al suolo. Un esempio è l'evaporimetro di

classe A del Weather Bureau realizzato in ferro galvanizzato non verniciato e posto su un appoggio in legno col fondo a circa 6 pollici dal suolo.

La quantità d'acqua evaporata si misura leggendo le variazioni di livello con una piccola asta graduata o con una vite micrometrica; dato che gli evaporimetri sono esposti alla pioggia è necessario porre accanto all'evaporimetro un pluviometro per misurare l'altezza di precipitazione. Va poggiato su una cassetta in legno per evitare trasferimenti di calore col terreno; la precisione è di 1/10 di mm; va posto dentro un recinto con sopra una rete sufficientemente rada da far passare i raggi solare ma non per far passare gli uccelli.

Evaporimetro "Colorado": in particolare questo tipo di evaporimetro, oltre ad avere delle precise misure standard, è interrato per avvicinarsi il più possibile alle condizioni di un lago.

Evaporimetro "Weather bureau": Questo evaporimetro è completato con un termometro ed un anemometro per la misura di temperatura e vento, due variabili molto influenti sul tasso di evaporazione. Lo strumento è fuori terra.

Evaporimetro "Livingston": Tiene conto anche di una certa efficienza di evaporazione del mezzo poroso.

#### Misura della Evapotraspirazione

Traspirazione: è il fenomeno di utilizzo di acqua da parte delle piante. Le piante attingono dal suolo l'acqua a loro necessaria per mezzo delle radici, che si spingono da qualche decimetro a diversi metri sotto terra; l'acqua assorbita dalle radici raggiunge, attraverso il sistema vascolare, il tronco, i rami, le foglie (la struttura delle foglie comporta una rete di interstizi, collegati a numerosi pori - stomi superficiali ; in questo modo la superficie evaporante effettiva è diverse volte più grande della superficie della foglia). La traspirazione, come l'evaporazione, è funzione innanzi tutto del potere evaporante dell'atmosfera; inoltre è funzione dell'apertura degli stomi, che a sua volta dipende dalla luce, dal calore e dall'umidità dell'aria; infine la traspirazione è influenzata dall'umidità del suolo nella zona delle radici. Ai fini pratici importa la quantità d'acqua totale che passa, in un modo o nell'altro, dal bacino, idrografico all'atmosfera, per evaporazione dagli specchi d'acqua, dal terreno, dalla vegetazione o per traspirazione dalle piante. Il fenomeno globale, risultante dal sovrapporsi dei diversi fenomeni particolari, prende il nome di evaporazione totale o evapotraspirazione.

Evapotraspirazione potenziale : acqua che evapotraspira nelle condizioni ideali.

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*

E' il valore limite, dato dall'altezza d'acqua effettivamente evaporata quando la quantità d'acqua disponibile è almeno uguale a quella che può essere trasformata in vapore dal complesso di fattori atmosferici e dalla vegetazione (l'ET reale è in genere minore dell'ET potenziale).

La nozione di ET potenziale è utile per la valutazione dei fabbisogni irrigui, dato che il rendimento delle colture è massimo quando l'ET reale uguaglia quella potenziale; il calcolo dei fabbisogni irrigui si basa sulla considerazione che la somma dell'acqua di pioggia e di quella fornita attraverso l'irrigazione deve essere uguale alla somma del consumo d'acqua della coltura in condizioni ottimali e delle perdite (per percolazione, per scorrimento superficiale e per evaporazione) la cui entità dipende anche dal regime pluviometrico. Evapotraspirazione reale: acqua che evapotraspira nelle condizioni reali.

Lo strumento di misura dell'evapotraspirazione è lisimetro.

Esistono vari tipi di lisimetri, in grado di effettuare una misura più o meno precisa. Tra i lisimetri di precisione si annovera il lisimetro a pesata. L'unità base consiste in un cilindro in metallo (o in plastica o altro materiale) di 1-2 metri d'altezza, contenente un campione rappresentativo di terreno e incassato nel terreno in un locale sotterraneo che permette l'accesso per l'ispezione dei dispositivi di rilevamento e per le operazioni di servizio. Il cilindro è sostenuto da un sistema di pesata a bascula. Il fondo ha un dispositivo di drenaggio che raccoglie l'acqua di percolazione. Intorno al cilindro è applicato un dispositivo di recupero dell'acqua che ristagna o fluisce in superficie (acqua di ruscellamento). L'impianto è completato da strumenti di misura di parametri climatici e geoclimatici (pioggia, temperatura dell'aria e del terreno, umidità atmosferica, ecc.). Il sistema permette la misura degli apporti idrici e delle perdite per percolazione profonda e ruscellamento. La registrazione del peso del cilindro permette di rilevare le variazioni di peso e, per differenza, la quantità d'acqua persa per evapotraspirazione. Il terreno del cilindro e quello circostante sono coltivati in genere con una coltura di riferimento (prato di Festuca), con lo scopo di rilevare l'evapotraspirazione potenziale. I lisimetri di precisione sono impianti complessi e costosi, in genere costituiti da più dispositivi modulari per consentire rilevamenti comparati. Sono impiegati solo in centri avanzati di ricerca, in generale per tarare modelli semplificati di lisimetri oppure per tarare metodi di stima dell'evapotraspirazione.

Misura della radiazione solare

Definiamo la Radiazione solare come la quantità di energia solare incidente la superficie terrestre e la radiazione solare netta, la radiazione solare al netto della radiazione riflessa dalla superficie terrestre ed assorbita dall'atmosfera.

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*

Si chiama Radiometro lo strumento per la misura della energia di radiazione. I radiometri sono di solito accoppiati, uno per la misura della radiazione incidente e l'altro per la misura della radiazione riflessa. Così è possibile stimare la radiazione netta.

Umidità del terreno:

Possiamo voler esprimere l'umidità del terreno come percentuale volumetrica di acqua presente. Abbiamo allora bisogno di una quantità che permetta la conversione tra i due metodi di misura.

Gli strumenti che si utilizzano per misurare l'umidità nel terreno sono i Tensiometri.

Il tensiometro è uno strumento per la misurazione del carico di suzione, cioè la forza con cui l'acqua è attratta e trattenuta nel terreno. Serve anche per misurare il fronte bagnato, cioè la profondità a cui il terreno è saturo.

Lo strumento, formato da un tubo con una punta porosa, va riempito d'acqua e infilato nel terreno. Per una buona ed efficace prova si dovranno utilizzare più tensiometri per diverse profondità (solitamente: 15-30-40 cm). Se il terreno è saturo l'acqua all'interno non scenderà e lo strumento misurerà il valore "zero"; se il terreno è non saturo l'acqua inizierà a permeare verso il terreno permettendo così allo strumento di misurare la pressione interstiziale. Quindi a seconda della pressione misurata si deduce il carico di suzione e in base all'altezza in cui lo strumento misura "zero" si comprende il livello a cui il terreno è saturo. Un altro strumento di misura per l'umidità del terreno è l'ECH2O probes, che misura la costante dielettrica del mezzo tramite le variazioni del voltaggio letto da un sensore messo nel terreno. Altro metodo di misura è rappresentato dal TDR metodo legato alle caratteristiche elettriche. Il sistema TDR è formato sostanzialmente di un generatore di segnale, un oscilloscopio, e una sonda che viene infissa nel terreno. Il generatore manda un impulso lungo il cavo; l'impulso entra nella sonda prosegue fino alla fine e viene riflesso completamente.

Quando questo segnale ripasserà dal punto di ingresso della sonda sarà letto dall'oscilloscopio.

## Bibliografia

- Caroni et al., a cura di, (1982) Valutazione delle piene, Pubblicazione n. 165 CNR P.F.
- Conservazione del suolo, Dinamica fluviale
- Desio A., (1987), Geologia applicata all'ingegneria, Hoepli, Milano
- Moisello U., (1985), Grandezze e fenomeni idrologici, La Goliardica Pavese, Pavia
- Panizza M., (1988), Geomorfologia applicata, La Nuova Italia Scientifica, Roma
- Paris E. e Preti F., (1991), Conoscenza dell'ambiente fluviale, in Tutela e gestione dell'ambiente fluviale, Serie Atti e Studi n. 8 WWF, Roma
- Renoldi M., Torretta V., Vismara R., (1995), Gestione ecologica dei fiumi: il problema della portata minima vitale, Quaderni Ingegneria Ambientale n. 22, CIPA, Milano
- Strahaler A. N., (1984), Physical Geography, John Wiley & s., New York
- Tonini D., Elementi di idrografia ed idrologia, Cortina Padova
- Versace P. Scheda didattica n.1- Il ciclo idrologico ed il bilancio idrologico a scala di bacino

*Attenzione! Questo materiale didattico è per uso personale dello studente ed è coperto da copyright. Ne è severamente vietata la riproduzione o il riutilizzo anche parziale, ai sensi e per gli effetti della legge sul diritto d'autore (L. 22.04.1941/n. 633)*