

● METODI DIRETTI E INDIRETTI PER MISURARE LO STATO IDRICO IN VIGNETO

# Rilevare il deficit idrico della vite per irrigare al meglio

di **Alessia Cogato,**  
**Francesco Marinello,**  
**Franco Meggio**

**M**algrado sia considerata una delle specie più efficienti nell'uso dell'acqua disponibile, la vite ne è una grande consumatrice. Richiede, infatti, dai 300 ai 600 L/m<sup>2</sup> nei climi temperati, e 800 L/m<sup>2</sup> in climi più caldi.

Storicamente l'irrigazione è stata praticata nei Paesi in cui la viticoltura si è sviluppata in epoca più recente: Australia, Argentina, Cile e Stati Uniti. Negli ultimi vent'anni si è assistito a una rapida diffusione degli impianti irrigui anche nella maggior parte dei vigneti europei. Il cambiamento climatico in corso richiede l'implementazione di una serie di strategie volte alla riduzione dell'impronta idrica della vite. Il consumo idrico può essere ridotto adottando le più appropriate tecniche di gestione della chioma, sfruttando i benefici delle cover crops e scegliendo opportunamente densità d'impianto, cultivar e portainnesto. Tuttavia, sarà necessario un uso sempre più strutturato ed efficiente dell'irrigazione. Determinare lo stato idrico della vite risulta, pertanto, uno strumento fondamentale per adattare le pratiche agronomiche alle condizioni effettive del vigneto e per impostare un programma di irrigazione efficiente e sostenibile.

**I metodi per stabilire lo stato idrico della vite possono essere divisi in indiretti e diretti. I primi stimano le condizioni idriche della vite valutando fattori fisici e ambientali relativi al terreno o all'atmosfera; i secondi si propongono di misurare la risposta fisiologica della pianta alle diverse condizioni ambientali.**

## Metodi indiretti

I metodi indiretti si possono basare sull'accertamento del contenuto idrico del suolo o della domanda evapotraspirativa dell'atmosfera per stimare lo stato fisiologico della coltura.

Il cambiamento climatico in corso richiede l'implementazione di una serie di strategie volte alla riduzione dell'impronta idrica della vite con un uso sempre più ponderato dell'irrigazione, pertanto risulta fondamentale determinare lo stato idrico della pianta per adattare le pratiche agronomiche alle condizioni effettive del vigneto

### Misurazioni del terreno

Per valutare il contenuto idrico del terreno vi sono diversi approcci. Il **metodo gravimetrico** consente di determinare il contenuto d'acqua per unità di volume del suolo. Un campione di terreno viene pesato prima e dopo essere essiccato in stufa a 105 °C. Dalla differenza tra i due pesi si ottiene il contenuto idrico del suolo espresso in percentuale di peso. Nota la densità del suolo, il peso percentuale può essere trasformato in percentuale volumetrica di acqua.

Con il **metodo tensiometrico**, invece, si determina il potenziale idrico del terreno, ossia la forza con cui l'acqua è trattenuta nel suolo o, detto in altre parole, l'energia che le piante devono spendere per estrarre l'acqua dal terreno. Tanto più negativo è il potenzia-

le idrico, tanto più difficile sarà per le radici estrarre acqua dal suolo.

Per il metodo tensiometrico gli strumenti più comuni sono il tensiometro e lo psicrometro.

Il **tensiometro** consiste in un contenitore cilindrico in materiale poroso riempito d'acqua e in un vacuometro, ossia un misuratore di depressione. Il contenitore poroso viene inserito nel suolo e, se il potenziale idrico del suolo è negativo, l'acqua migra dallo strumento al terreno. In tal modo, si forma all'interno dello strumento una depressione. Quando tale depressione entra in equilibrio con il potenziale idrico del suolo, la fuoriuscita termina e il vacuometro fornisce la misura del potenziale idrico.

Lo **psicrometro** determina la pressione di vapore all'interno di una camera stagna: una volta che il campione di terreno entra in equilibrio con il vapore, la misura della pressione relativa di vapore è direttamente correlata al potenziale idrico del campione.

Un altro modo per misurare l'umidità del suolo è il **metodo neutronico**, con l'utilizzo delle sonde a neutroni. Una volta inserite nel terreno, tali sonde emettono radiazioni sotto forma di neutroni. Il numero di neutroni che tornano alla sonda dopo la collisione con gli atomi di idrogeno contenuti nell'acqua presente nel suolo è in stretta correlazione con il contenuto idrico del terreno.

Infine, un approccio utilizzato per la sua velocità di risposta alle variazioni del contenuto idrico del suolo, è il **metodo elettromagnetico**. Quest'ultimo



Foto 1 Camera a pressione

si basa sulla variazione della costante dielettrica del terreno, che misura la propensione del suolo a contrastare l'intensità di un campo elettrico presente al suo interno. A questo scopo si possono usare i sensori TDR (Time Domain Reflectometry) o FDR (Frequency Domain Reflectometry). I primi consistono in sonde metalliche collegate a una componente elettronica. Le sonde inserite nel suolo riflettono un impulso elettromagnetico ad alta frequenza (GHz) propagato dal sensore. Il tempo impiegato dall'impulso per tornare indietro consente la stima dell'umidità del suolo. I sensori FDR propagano un segnale elettromagnetico attraverso due elettrodi. Dalla differenza di frequenza tra l'onda di andata e quella di ritorno è possibile risalire all'umidità del suolo in percentuale di volume.

**I metodi descritti sono generalmente di facile applicazione, precisi e in parte integrabili nei sistemi di automazione. Tuttavia, l'eterogeneità dei suoli richiede l'uso di molti sensori anche su superfici relativamente ridotte.** Inoltre, l'utilizzo diventa difficile nelle aree caratterizzate da suoli a scheletro prevalente o a elevata salinità. Infine, questi strumenti non valutano in genere la domanda evaporativa dell'ambiente, per cui non sono in grado di accertare l'eventuale livello di stress raggiunto dalla coltura.

## Misurazioni atmosferiche

Lo stato idrico delle viti può essere stimato anche attraverso la determinazione dell'evapotraspirazione del vigneto, qualora si opti per metodi indiretti basati su rilevazioni di tipo atmosferico. La stima dell'evapotraspirazione effettiva (ETe) si basa sul bilancio energetico totale. La radiazione netta (Rn) rappresenta l'energia disponibile alla superficie che viene in piccola parte trasferita come riscaldamento o raffreddamento del suolo (G), mentre la maggior parte viene ripartita fra calore sensibile (H) e calore latente (LE). L'equazione del bilancio energetico è così sintetizzabile:

$$Rn = G + H + LE$$

Il calore latente è dato dal prodotto del calore latente di vaporizzazione (L), ossia l'energia necessaria per far evaporare 1 kg di acqua, per il tasso di evaporazione (E), ossia la quantità



Foto 2 Porometro.

Fonte: wineindustrynetwork.com

d'acqua che evapora nell'unità di tempo e di superficie:

$$LE = L \times E$$

Dal calore latente è facilmente determinabile l'evapotraspirazione effettiva:

$$ETe = LE/L$$

Ai fini pratici è dunque necessario misurare tutte le componenti del bilancio energetico per poter quantificare l'evapotraspirazione del vigneto.

Per la misurazione della radiazione netta (Rn) esistono in commercio numerosi strumenti quali albedometri e radiometri netti.

G, la componente di energia trasferita al suolo, può essere misurata utilizzando piastre di flusso di calore del suolo e sensori di temperatura. Le piastre sono costituite da una termopila che percepisce le differenze di temperatura tra la faccia superiore e inferiore della piastra. Una stima precisa di G, tuttavia, è molto difficile a causa della variazione giornaliera delle frazioni di ombra all'interno dei filari, che influenza continuamente il flusso di calore del suolo.

La misura più complessa rimane, quindi, quella del calore sensibile (H) e del calore latente (LE) dato che entrambi vengono influenzati da diversi fattori, come la fase fenologica o le caratteristiche del vigneto e altrettanto complesso è separarne il contributo

tra suolo e vite.

Per la misura di questi componenti può essere utilizzata la tecnica micrometeorologica dell'«eddy covariance».

Il metodo dell'eddy covariance è un approccio diretto e accurato che consente la misura diretta dei flussi turbolenti di calore latente e sensibile nella bassa atmosfera. Partendo dal presupposto che i flussi turbolenti in atmosfera sono costituiti da un certo numero di vortici («eddies») che trasportano la materia, la tecnica dell'eddy covariance prevede, nella sua formulazione più elementare, la misura della covarianza tra velocità verticale del vento e le quantità di cui si voglia quantificare il flusso, in questo caso il vapore acqueo, con i seguenti strumenti:

- analizzatore di gas all'infrarosso (IRGA), per la misura della concentrazione del vapore d'acqua (o altri scalari, quali anidride carbonica) in atmosfera. Questi analizzatori sono basati sull'attenuazione di specifiche bande spettrali nell'IR;
- anemometro a ultrasuoni, per la misura delle tre componenti ortogonali della velocità del vento oltre che della temperatura dell'aria a elevata frequenza (fino a 100 volte al secondo, Hz);
- radiometro netto, per la misura della radiazione netta;
- piastre per la misura del flusso di calore nel suolo.

## Bilancio idrico

Va infine considerato il metodo del bilancio idrico del vigneto. Questa metodologia deriva dall'uso contemporaneo di misure del terreno e dell'atmosfera e consente di stimare l'«evaporazione del vigneto» nel suo insieme. Il bilancio idrico si propone di valutare le variazioni della quantità totale di acqua traspirabile nel suolo. Inizialmente viene determinata l'acqua traspirabile nel momento in cui il suolo si trova alla capacità di campo. Questa quantità risulta dalla differenza tra gli input (irrigazione, precipitazioni ed eventuali apporti da falda) e gli output (evapotraspirazione, ruscellamento e percolazione). Nuovamente, la difficoltà nella rendicontazione del bilancio idrico è la stima dell'evapotraspirazione da parte delle viti. L'evapotraspirazione effettiva (ETe) della coltura può essere stimata moltiplicando l'evapotraspirazione potenziale (ET0) per un coefficiente tipico per ogni coltura definito come «coefficiente coltu-

rale» (kc). ETO dipende dalle condizioni climatiche, mentre il kc può essere ricavato da valori tabellari o misurato direttamente con i lisimetri a pesata. Per avere una stima più precisa del kc andrebbe però discriminato il contributo dell'evapotraspirazione tra le viti e l'interfila, tipicamente inerbite. Esistono in commercio dei misuratori dei flussi linfatici che forniscono una misura diretta dell'ETe. Qualora non fosse realizzabile una misura dell'ETe o del kc è possibile stimarli attraverso indici vegetazionali ricavati da immagini satellitari ad alta risoluzione spaziale e temporale.

L'uso contemporaneo di misurazioni atmosferiche, modelli di bilancio idrico e dati satellitari rappresenta un approccio promettente per stimare l'ETe del vigneto, ma richiede ancora la calibrazione con misurazioni dirette basate sulla pianta.

## Metodi diretti

Numerosi sono i metodi diretti per la stima dello stato idrico della vite. Di seguito vengono illustrate le metodologie più utilizzate, provando a evidenziarne i vantaggi e gli svantaggi.

**Un metodo semplice e largamente usato è quello dell'analisi visiva. L'osservazione dello stato degli apici vegetativi può fornire un'idea della condizione di stress della vite.** Gli apici vegetativi di una pianta in buone condizioni idriche si presentano eretti, con la prima foglia espansa piccola e posta appena sotto l'apice. La prima risposta al deficit idrico è il rallentamento della crescita con la prima foglia espansa che arriva a ricoprire l'apice. In condizioni di forte stress, il germoglio cessa la crescita e l'apice si presenta troncato. Un fenomeno che può manifestarsi in caso di deficit idrico severo è l'epinastia fogliare, ovvero il ripiegamento verso il basso delle foglie in seguito alla diminuzione della pressione di turgore. Ovviamente, l'analisi visiva è un metodo empirico e molto soggettivo che può portare a interventi intempestivi, data anche la tendenza della vite a manifestare i sintomi a un comportamento fisiologico già fortemente alterato.

Una misura molto efficace è quella del potenziale idrico ( $\psi$ ), ossia la pressione di suzione che la pianta deve esercitare per estrarre l'acqua dal suolo. Essendo un valore negativo, per mantenere un flusso d'acqua continuo

attraverso lo xilema dalle radici alle foglie, il potenziale idrico all'interno delle diverse parti della vite deve essere inferiore al potenziale idrico del suolo. **Se la quantità di acqua disponibile nel suolo diminuisce, la vite diminuisce il suo potenziale idrico per garantire l'approvvigionamento idrico per la fotosintesi e la crescita.** Lo strumento più utilizzato per determinare il **potenziale idrico** è la camera a pressione (o camera di Scholander). Una foglia viene inserita all'interno di una camera a tenuta stagna facendone fuoriuscire solo il picciolo. Qui la foglia viene pressurizzata fintanto che la pressione della linfa xilematica eguaglia quella della camera manifestandosi sulla superficie del punto di taglio del picciolo sottoforma di una piccola goccia d'acqua. La pressione necessaria a fare uscire la goccia linfatica è uguale e contraria al potenziale idrico del campione. È possibile leggere il valore della pressione sul manometro in dotazione allo strumento.

A seconda della procedura seguita, la camera a pressione può misurare il potenziale idrico fogliare ( $\psi_{\text{leaf}}$ ), dello stelo ( $\psi_{\text{stem}}$ ) o fogliare prima dell'alba ( $\psi_{\text{PD}}$ ).

Il potenziale idrico fogliare è il più semplice da misurare, scegliendo una foglia adulta ben esposta ed eseguendo la misura nelle ore centrali del giorno. Purtroppo si tratta di un parametro poco stabile, che subisce numerose fluttuazioni dovute alle condizioni ambientali e microclimatiche. Può essere usato solo in condizioni ambientali molto stabili.

La misura del potenziale idrico dello stelo segue gli stessi principi ma prima della misura la foglia viene inserita all'interno di una busta di plastica ricoperta di un foglio di alluminio per 45-120 minuti. Questa procedura blocca la traspirazione fogliare, cosicché il potenziale idrico della foglia si pone in equilibrio con quello dello stelo. In questo modo si riescono ad avere misure più accurate anche in caso di stress idrico moderato.

Il potenziale idrico fogliare prima dell'alba mira a identificare il livello di umidità del suolo, presupponendo che durante la notte la pianta e il terreno giungano a uno stato di equilibrio.

La camera a pressione (foto 1) è in grado di fornire un quadro preciso e attendibile dello stato idrico di un vigneto ma si tratta di uno strumento tutt'altro che pratico. Malgrado la facilità di utilizzo, infatti, la strumen-

tazione è piuttosto pesante (5-10 kg, a seconda dei modelli) e si adatta poco ai vigneti posti in pendenze. Inoltre, le misure da eseguire per avere un campione affidabile sono numerose e vanno ripetute frequentemente.

## Misure delle risposte vegetative della vite allo stress

La più rilevante risposta fisiologica della vite allo stress idrico è la chiusura stomatica, fenomeno che si manifesta molto tempestivamente. Esiste una gamma di strumenti di misura degli scambi gassosi fogliari. La conduttanza stomatica ( $g_s$ ) è una misura del grado di apertura stomatica ed è un importante indicatore dello stato idrico della pianta. Può essere misurata utilizzando uno dei seguenti principi:

- valutando la diffusione del vapore acqueo dalla foglia a un sensore di umidità mediante un porometro;
- misurando i flussi di fotosintesi ( $\text{CO}_2$ ) e traspirazione ( $\text{H}_2\text{O}$ ) da e verso la foglia mediante analizzatori di gas all'infrarosso (IRGA).

I porometri (foto 2) rappresentano uno strumento di misura non distruttivo che misura la quantità d'acqua rilasciata dagli stomi mediante un sensore alloggiato in una cuvetta fogliare. All'interno di una cuvetta di volume noto l'aria viene essiccata, per poi registrare il tempo necessario alla traspirazione per portare l'umidità fino a un valore pre-stabilito. Da questo intervallo di tempo è possibile determinare la conduttanza stomatica.

Gli analizzatori di gas all'infrarosso (IRGA) basano il proprio funzionamento sull'attenuazione di specifiche bande spettrali nell'infrarosso (IR). Ogni gas, infatti, ha uno spettro di assorbimento delle lunghezze d'onda dell'IR caratteristico. Gli IRGA misurano l'attenuazione della radiazione IR proveniente da una sorgente nota da parte di  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ . L'assorbimento è direttamente proporzionale alla concentrazione dei due gas.

Dalla concentrazione di  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  vengono ricavati il tasso di fotosintesi netta (espressa in  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{sec}$ ) e la conduttanza stomatica ( $\text{mol H}_2\text{O}/\text{m}^2/\text{sec}$ ). Un sistema portatile per la misura degli scambi gassosi (foto 3, pubblicata online all'indirizzo presente a fine articolo) è composto da un analizzatore a IR, una camera fogliare, una consolle di controllo e un sistema di tubazioni per il ricircolo dei gas.

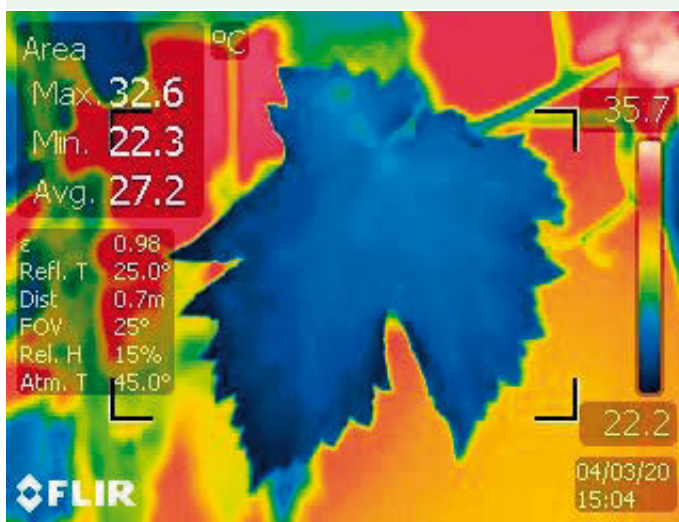
## Porometri e analizzatori di gas a

**infrarosso sono strumenti di rilievo tanto precisi quanto complessi da utilizzare, richiedendo periode calibrazioni. Il costo di un IRGA, inoltre, è piuttosto sostenuto.**

Alcuni strumenti per la determinazione dello stato idrico si basano sulla misura della portata linfatica nei vasi capillari. Tra questi, il metodo della dissipazione termica utilizza una coppia di sonde a forma di ago, ciascuno contenente una termocoppia. Una termocoppia, detta anche trasduttore, è un sensore di temperatura il cui funzionamento è basato sull'effetto termoelettrico che si genera grazie a una coppia di conduttori costituiti da due metalli diversi uniti a una estremità. Una sonda viene costantemente riscaldata mentre l'altra registra la temperatura del legno. Il sistema si basa sul principio che la differenza di temperatura tra l'ago riscaldato e quello di riferimento diminuisce quando il flusso di linfa aumenta. Il metodo è viziato dalla natura della matrice in cui vengono inseriti i sensori, che potrebbe essere di tipo non conduttivo. Un altro modo per misurare la portata linfatica è quello del bilancio termico del fusto. Si tratta di una manichetta riscaldata che, avvolta attorno a una sezione del fusto, lo riscalda uniformemente a una temperatura nota. Delle termocoppie a contatto con il fusto misurano a monte i flussi di calore dissipati per conduzione nel fusto. Il calore residuo rimanente dalla differenza tra il calore fornito e quello dissipato per conduzione viene trasportato alla linfa, incrementandone la temperatura. Dal calore specifico della linfa e dal suo aumento di temperatura è possibile determinare in modo affidabile la portata linfatica.

Limitatamente alla fase di maturazione, lo stato idrico della pianta può essere rilevato con il metodo della discriminazione isotopica del carbonio. Tra i due isotopi stabili del carbonio presenti in atmosfera ( $^{13}\text{C}$  e  $^{12}\text{C}$ ), gli enzimi coinvolti nella fotosintesi utilizzano preferibilmente il  $^{12}\text{C}$ . In condizioni di deficit idrico la discriminazione è minore e gli zuccheri che vengono prodotti risultano, pertanto, più arricchiti in  $^{13}\text{C}$  rispetto a quelli che si formano in assenza di stress. Misurando il rapporto  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  degli zuccheri con uno spettrofotometro di massa è possibile

**FIGURA 1 - Particolare di un'immagine da camera termica**



avere indicazioni sullo stato idrico della pianta. Si tratta di un metodo accurato e di semplice esecuzione ma non può essere usato prima della maturazione degli acini.

Un metodo più recente ha visto l'introduzione di sensori termici. Si tratta di camere termiche (figura 1) montate su cavalletti, piattaforme o su droni o comunque in posizioni sopraelevate per il rilievo della temperatura della chioma o del suolo oppure di termometri contactless (foto 4, pubblicata online all'indirizzo presente a fine articolo) da utilizzare sulla vegetazione.

**Temperature della vegetazione superiori a quella dell'aria indicano uno stress idrico per la vite** che, a seguito della chiusura degli stomi, non riuscendo a utilizzare la traspirazione per termoregolarsi dissipando la radiazione incidente si vede costretta a rilasciarla come calore (sensibile) aumentando di temperatura. L'evapotraspirazione al suolo, invece, è direttamente proporzionale alla presenza di umidità in superficie. Ne consegue che la mappatura della temperatura può dare indicazioni qualitative e in alcuni casi quantitative rispetto alla presenza di disomogeneità nella disponibilità d'acqua e nella localizzazione di stress idrici.

## Stato dell'arte e prospettive

La necessità di limitare l'impronta idrica della viticoltura rende sempre più rilevante la possibilità di avere a disposizione strumenti per l'accertamento dello stato idrico delle piante. Si tratta di una misura tutt'altro che

semplice, molto sensibile alle variazioni delle condizioni ambientali. In questo articolo sono stati presentati i metodi di misura dello stato idrico della vite più applicabili. I metodi indiretti, basati su rilievi a livello di suolo e atmosfera, pongono alcune problematiche di natura pratica. In particolare, **l'eterogeneità di molti suoli rende necessario l'uso di un numero elevato di sensori, mentre nella misura dell'evapotraspirazione diventa difficile discriminare l'apporto delle sole piante di vite.** I metodi diretti si propongono di semplificare le misurazioni, consentendo di ottenere informazioni speci-

fiche con sensori e strumenti applicati direttamente alla vite o parti di essa. Quanto emerge da una breve analisi dei principali strumenti disponibili è la grande varietà di sensori utilizzabili. Tuttavia, è evidente che il metodo perfetto ancora non esiste.

**Gli strumenti più semplici forniscono misure valide ma poco accurate, quelli più sofisticati sono costosi e di difficile utilizzo nella pratica.** Risultati migliori sono ottenibili integrando metodi diretti e indiretti e avvalendosi delle informazioni ricavabili dalle immagini satellitari. Le attuali sperimentazioni si stanno concentrando anche sull'intelligenza artificiale, applicando tecniche di machine learning a grandi quantità di dati storici. La messa a punto di nuovi modelli a partire dagli output di questi approcci potrebbe costituire un ulteriore passo importante verso la sostenibilità della coltivazione della vite.

**Alessia Cogato**

*ISIS «G.B. Cerletti»*

*Conegliano (Treviso)*

**Francesco Marinello**

*Dipartimento Territorio e sistemi agro-forestali*

*(Tesa) - Università degli studi di Padova*

*Neos srl*

**Franco Meggio**

*Dipartimento di agronomia, animali, alimenti,*

*risorse naturali e ambiente (Dafnae)*

*Università degli studi di Padova*

**V** Questo articolo è corredato di bibliografia/contenuti extra. Gli Abbonati potranno scaricare il contenuto completo dalla Banca Dati Articoli in formato PDF su: [www.informatoreagrario.it/bdo](http://www.informatoreagrario.it/bdo)

# Rilevare il deficit idrico della vite per irrigare al meglio



**Foto 3** Analizzatore di gas a infrarosso (IRGA)



**Foto 4** Termometro contactless

# L'INFORMATORE AGRARIO

[www.informatoreagrario.it](http://www.informatoreagrario.it)



Edizioni L'Informatore Agrario

Tutti i diritti riservati, a norma della Legge sul Diritto d'Autore e le sue successive modificazioni. Ogni utilizzo di quest'opera per usi diversi da quello personale e privato è tassativamente vietato. Edizioni L'Informatore Agrario S.r.l. non potrà comunque essere ritenuta responsabile per eventuali malfunzionamenti e/o danni di qualsiasi natura connessi all'uso dell'opera.