

Le analisi fisiche nella definizione della qualità dei suoli per la valutazione del territorio.

Edoardo A.C. Costantini, Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo
Piazza M. D'Azeglio 30, 50121 Firenze, Italia
tel: xx39-55-2491222
fax: xx39-55-241485
e-mail: ecostantini@dada.it

Riassunto

Vengono presentati i risultati ottenuti in due sperimentazioni realizzate in due sistemi colturali, quello tabacchicolo e quello vitivinicolo, molto diversi tra loro per ambiente fisico ed agrotecnica, ma simili perché entrambi puntano a prodotti di qualità. Le prove sono state realizzate nel comprensorio tabacchicolo di Bovolone, nel veronese, e in quello vitivinicolo di Montepulciano, in provincia di Siena.

Nel lavoro si dimostra come due qualità fisico-idrologiche del suolo, la capacità di acqua disponibile per l'evapotraspirazione e la capacità d'aria, possano contribuire a determinare la resa quantitativa e qualitativa delle colture. Ciò si realizza in modo "diretto", attraverso l'influenza sulle caratteristiche del pedoambiente, le quali determinano i processi metabolici che avvengono nelle piante e che definiscono la risposta fenologica, che "indiretto", condizionando la gestione agronomica della coltura.

Poiché attraverso il rilevamento pedologico è possibile distinguere suoli significativamente diversi per queste due proprietà fisiche, una loro accurata analisi può rappresentare un potente strumento di indagine ambientale per la definizione dell'attitudine dei suoli e la valutazione del territorio.

Parole chiave: capacità d'aria, acqua disponibile, vite, tabacco, Toscana, Veneto.

1. Introduzione

Quando si parla di analisi fisiche dei suoli per la definizione delle loro qualità, ci si riferisce generalmente ad alcune caratteristiche semplici, quali la tessitura della terra fine, cioè la proporzione relativa delle particelle di diametro inferiore ai due millimetri, oppure alla granulometria, considerando anche la presenza di scheletro e pietrosità. Se è vero che queste rimangono a tutt'oggi le determinazioni fisiche più diffuse, o anche le uniche ad essere effettuate, è anche vero però che in molti rilevamenti pedologici, soprattutto in quelli finalizzati alla gestione irrigua delle colture, è ormai diffusa la realizzazione delle cosiddette analisi "fisico-idrologiche", cioè delle analisi delle caratteristiche fisiche che hanno una particolare valenza sul comportamento dell'acqua nel suolo. Tra queste, le più comuni sono l'analisi della densità apparente e delle cosiddette "costanti idrologiche", cioè dei contenuti idrici di campioni disturbati (più raramente indisturbati) a tensioni che simulano le condizioni del suolo alla capacità di campo e al punto di appassimento.

Le qualità del suolo che è possibile ricavare da tali analisi sono principalmente due: la capacità di acqua disponibile per l'evapotraspirazione (Available Water Capacity: A.W.C.), stimabile per differenza tra il contenuto idrico del suolo alla capacità di campo e al punto di appassimento, e la capacità d'aria (Air Capacity: A.C.), data dalla differenza tra la porosità totale e la porosità alla capacità di campo.

Dalle analisi condotte sulla terra fine di ogni singolo orizzonte che costituisce il profilo pedologico, ponderate in funzione della profondità cosiddetta "utile per le radici", del volume di suolo non così compatto da impedire la diffusione delle radici, nonché della quantità e natura dello scheletro e pietrosità presente nel profilo, è poi possibile ricavare i valori di acqua disponibile per le piante e di capacità d'aria relativi all'intero suolo (Gardin et al., 1998).

Nella presente relazione si forniranno degli esempi di come queste due qualità fisiche possano essere importanti nel determinare la risposta fenologica delle colture e il loro risultato produttivo, quantitativo e qualitativo, quindi rappresentare dei potenti strumenti di indagine ambientale per la definizione dell'attitudine dei suoli e la valutazione del territorio. I due esempi riportati fanno riferimento a due sistemi colturali, quello tabacchicolo e quello vitivinicolo, molto diversi tra loro per ambiente fisico ed agrotecnica, ma simili perché entrambi puntano a prodotti di qualità. La sperimentazione è stata realizzata in comprensori tipici, cioè di larga e consolidata tradizione agronomica: il sistema produttivo tabacchicolo a Bovolone, nel veronese, e quello vitivinicolo in provincia di Siena, a Montepulciano.

2. Materiali e metodi

2.1 Metodi di analisi

Con il termine acqua disponibile si è intesa la differenza tra il contenuto idrico volumetrico del campione tra la capacità di campo e il punto di appassimento, valori che approssimativamente corrispondono all'acqua trattenuta alle tensioni di 5 kPa su campione indisturbato o 33 kPa se disturbato, e di 1500 kPa. Per capacità d'aria invece si è intesa la porosità per l'aria, o macroporosità, quella cioè di diametro superiore ai 60 μm , che consente lo sgrondo dell'acqua dal suolo per azione della gravità.

Per quanto concerne le analisi chimiche, i metodi sono stati quelli della S.I.S.S. (1985); la misura della densità apparente dei suoli è stata effettuata con il metodo dei cilindretti replicati per ogni orizzonte al momento dello scavo dei profili pedologici. Pur essendo avvenuto in tempi e stagioni diverse, il campionamento è stato realizzato su suoli appositamente inumiditi e lasciati sgrondare, oppure in condizioni naturali, se a umidità vicina alla capacità di campo, per cui si può ritenere che esso non sia stato influenzato in maniera significativa da variazioni stagionali di porosità.

La capacità idrica di campo e il punto di appassimento sono stati stimati mediante l'impiego dell'apparato a pressione su campioni di terreno setacciati a 2 mm e replicati tre volte (Page et al., 1982); a Montepulciano, oltre che sui profili, sono stati stimati anche a partire dai dati analitici relativi a tivellate, utilizzando le formule di stima (Salter and Williams, 1969; Manrique, Jones and Dyke, 1991) che più si avvicinavano ai dati di laboratorio dei profili capisaldo di ogni unità pedologica.

La capacità d'aria è stata valutata a partire dalla misura della densità apparente effettuata in campo e della capacità di campo misurata in laboratorio.

La profondità di riferimento è stata variabile secondo i suoli, aggirandosi intorno ai 60-90 cm, sia per il comprensorio tabacchicolo (profondità massima della maggiore attività radicale) che per quello vitivinicolo (profondità relativa allo scasso).

Poiché, come è noto, le determinazioni dell'A.W.C. soffrono di notevoli margini di errore, è stata realizzata a Montepulciano una loro validazione tramite misura diretta dell'umidità dei suoli di cinque aree sperimentali con il metodo termogravimetrico per due anni (Costantini e Lizio-Bruno, 1996).

2.2 Metodologia sperimentale e di valutazione del territorio.

Lo studio realizzato ha previsto la descrizione delle qualità del territorio, la definizione dei requisiti colturali e la valutazione dei suoli del comprensorio. La prima fase è consistita nella raccolta dei dati sulle risorse e sulle limitazioni dei comprensori in esame, quindi la loro organizzazione in modelli descrittivi tematici di base, quali la carta geomorfologica, la carta litologica e la carta pedologica, tutte realizzate a scala di dettaglio. Nella seconda fase sono stati stabiliti i requisiti colturali mediante una serie di ricerche volte, da una parte, a conoscere la risposta agronomica delle colture nelle diverse situazioni pedologiche, da un'altra, a individuare le caratteristiche funzionali dei suoli, quelle cioè per le quali si hanno significative variazioni di resa. A questo scopo sono stati raccolti ed elaborati i dati pluriennali di produzione presso alcune aziende operanti nei due comprensori (49 campi sperimentali a Bovolone per nove anni, 54 vigneti sperimentali a Montepulciano per quattro anni), nonché i dati relativi alle analisi chimico-agrarie routinarie. Sono stati effettuati, inoltre, una serie di studi riguardanti alcuni aspetti della fertilità fisica, chimica e biologica dei suoli (Costantini et al., 1992; Costantini e Pinzauti, 1992; Costantini et al., 1996a).

3. Risultati e discussione

3.1. Influenza della capacità d'aria e dell'acqua disponibile del suolo nella valutazione del territorio per la produzione di tabacco Virginia Bright.

3.1.1. Il sistema produttivo del tabacco Virginia Bright nel veronese, il modello fenologico della coltura e i fattori funzionali del suolo.

La coltura del tabacco di tipo Virginia Bright nel comprensorio tabacchicolo veronese è coltura ad alto reddito, di qualità e ad elevato input energetico ed economico. La coltivazione si è sviluppata nella zona di pianura denominata Bassa Veronese, considerata il miglior ambiente italiano per la produzione del Bright, interessando più o meno intensamente 35 comuni gravitanti attorno a Bovolone. Le ragioni dello sviluppo di una forte tabacchicoltura in quest'area sono da ricercare nella disponibilità di terreni leggeri e profondi, nell'abbondanza di acqua e nella presenza di famiglie agricole con notevole esperienza nella coltivazione dei tabacchi chiari. Le aziende tabacchicole, di medie e grandi dimensioni, sono generalmente condotte in economia, per lo più organizzate in cooperative.

Per ottenere buone produzioni di tabacco sono necessarie condizioni che permettano un rapido e ininterrotto sviluppo della pianta. Il Bright sopporta bene la siccità a condizione che non si prolunghi esageratamente, mentre piogge frequenti, soprattutto nei mesi primaverili, rendono difficili la sterilizzazione e la preparazione del terreno per il trapianto, per cui, in linea generale, una piovosità insufficiente è da preferire ad una piovosità eccessiva. Un limitato deficit idrico durante i primi 20-30 giorni dopo il trapianto, anzi, è auspicabile, in quanto stimola l'accrescimento delle radici in profondità e assicura una minore sensibilità della coltura allo stress idrico estivo e consente di ridurre il numero e la tempestività degli interventi irrigui (Doorenbos e Kassam, 1979). E' in effetti la pronta disponibilità di acqua che assicura una adeguata turgidità della pianta e permette la formazione di foglie larghe ed estese di ottima qualità tecnologica. Al contrario, i terreni che cedono difficilmente la loro acqua tendono a produrre foglie di superficie meno estesa, più ispessite, più grossolane, di qualità inferiore. Le condizioni di asfissia poi, anche temporanee, provocano una vistosa diminuzione di produzione.

Per tutti questi motivi la coltura è di solito consigliata nei suoli più sabbiosi. Questi terreni, infatti, tendono a comportarsi come un substrato inerte e ad avere un elevato grado di risposta agli interventi dell'agricoltore. La possibilità di ottenere da questi suoli tabacco di tipo flue-cured di elevata qualità, nonostante la loro bassa fertilità naturale, e di apportare i nutrienti con le modalità e nelle quantità desiderate, ha portato alcuni a considerare la coltivazione del tabacco Bright come una forma di coltivazione idroponica.

I requisiti per la coltivazione del tabacco di tipo Virginia Bright nel comprensorio veronese sono riassunti in tabella 1.

Tabella 1. Requisiti per la coltivazione del tabacco di tipo Virginia Bright nel comprensorio veronese.

Requisiti colturali	Condizioni
disponibilità di ossigeno	elevata e costante
disponibilità idrica	moderata
profondità del suolo	maggiore di 100 cm
accrescimento radicale	rapido
disponibilità di nutrienti	moderata
salinità del suolo	bassa
reazione del suolo	da neutra a moderatamente alcalina
Requisiti gestionali	
trafficità	tempestiva
lavorabilità e meccanizzazione	facile
Requisiti per la conservazione del suolo e dell'ambiente	
rischio di inquinamento delle falde	basso
rischio di degradazione per costipamento	basso

3.1.2. Le caratteristiche ambientali nel comprensorio veronese di produzione del tabacco Virginia Bright.

Il territorio è geograficamente parte del "grande conoide dell'Adige", il quale non si è evoluto in modo isolato dopo la sua costruzione, risalente al Pleistocene superiore, nonostante sia stato successivamente abbandonato dall'Adige, ma ha risentito degli eventi che hanno interessato le aree limitrofe. L'apparente monotonia del paesaggio pianeggiante, infatti, presenta in realtà tutta una successione di dossi, terrazzi ed alvei che incidono il conoide e gli si sovrappongono. I suoli rispecchiano fedelmente la grande varietà degli ambienti presenti: la distribuzione dei suoli si articola secondo tre sequenze evolutive: la prima riguarda i dossi e le aree terrazzate costituite in prevalenza da sabbie grossolane, la seconda si ritrova sulle aree terrazzate dove predominano le sabbie fini, la terza caratterizza le aree con paleoalvei, canali riempiti e zone morfologicamente depresse. I risultati delle indagini di campagna, confermate da quelle di laboratorio, indicano che le prime due sequenze sono definite dalla progressiva rubefazione dei profili e dalla formazione di orizzonti argillici a diverso grado evolutivo, mentre la terza dalla formazione di orizzonti calcici e petrocacici di origine pedologica e idrogeologica.

Il clima della stazione di Bovolone nel periodo 1956-90 è caratterizzato da una temperatura annuale media di 12.7 °C, una precipitazione media di 687 mm, un'evapotraspirazione potenziale (Thorntwaite) pari a 755 mm. Si tratta di un clima di tipo mesotermico umido senza stagione secca che, secondo la classificazione climatica del Köppen, appartiene al tipo climatico "Cfa", subtropicale umido, per molti aspetti simile a quello degli stati nordamericani che si affacciano sul golfo del Messico. Il pedoclima, secondo la Soil Taxonomy, è ustico, se calcolato con il metodo di Newhall, udico se viene utilizzato il modello EPIC (Costantini et al., 1996b).

3.1.3. I caratteri funzionali dei suoli e la valutazione del territorio.

Le dotazioni di azoto e sostanza organica nell'orizzonte lavorato dei suoli sono risultate basse, se si fa riferimento alle ordinarie colture erbacee, mentre sono state considerate adeguate per la coltura di tabacco; la disponibilità degli altri elementi nutritivi è stata classificata media o elevata ed è sembrata influenzata dalle concimazioni (P e K) o dai materiali originari del suolo (Ca, Mg, Fe e Mn). Per quanto riguarda lo studio della fertilità biologica dei suoli, sono state determinate le attività fosfatasiche acida ed alcalina di cinque profili. Le analisi hanno evidenziato una netta prevalenza della fosfatasi alcalina

su quella acida; quest'ultima, tuttavia, è sempre presente e in alcuni casi tende ad essere predominante, nonostante la reazione subalcalina di tutti i suoli esaminati. Dall'analisi dei risultati emerge che i suoli considerati presentano buoni livelli di fertilità biologica, senza discostarsi marcatamente l'uno dall'altro (Costantini et al., 1992).

Relativamente alle caratteristiche fisiche ed idrologiche, sono state considerate densità apparente, capacità idrica di campo, punto di appassimento, acqua disponibile e capacità d'aria. Quest'ultima è risultata essere il fattore che ha influenzato più sensibilmente le rese in senso positivo in dodici stazioni sperimentali, dove si era in possesso sia dei dati pedologici che dei risultati produttivi relativi a uno o più anni (tab.2 e fig.1). In particolare, i suoli dove si realizzano i migliori risultati sono quelli con capacità d'aria superiore al 30%, risultati intermedi si ottengono con valori tra il 20 e il 30%, decisamente scarsi in suoli la cui capacità d'aria scende al di sotto del 20%. I suoli invece con maggiore acqua disponibile si collocano tra quelli a minore attitudine produttiva (tab.3).

Tabella 2. Produzione di tabacco di alcuni suoli dove sono state rilevate le capacità d'acqua disponibile (AWC) e la capacità d'aria (AC) medie ponderate del profilo.

Profilo n°	Media delle rese		AWC % vol.	AC % vol.
	Kg*ha-1	n° oss.		
23	3012	4	3.9	36.6
2	2750	1	12.2	23.9
7	2735	4	3.9	34.8
9	2677	3	4.3	34.6
20	2650	1	5.8	34.3
51	2579	5	10.2	22.1
68	2540	2	8.1	32.3
25	2434	13	9.7	29.8
24	2329	5	7.6	27.0
22	2281	3	6.0	26.6
64	2212	2	13.4	23.0
1	2120	48	18.0	13.9

Figura 1. Produzione media annua di tabacco curato in relazione alla capacità d'aria media ponderata dei suoli (PRODUZIONE = 1747.56 + 27.61*A.C., r2 = 0.52, F= 10.8, P< 0.001.)

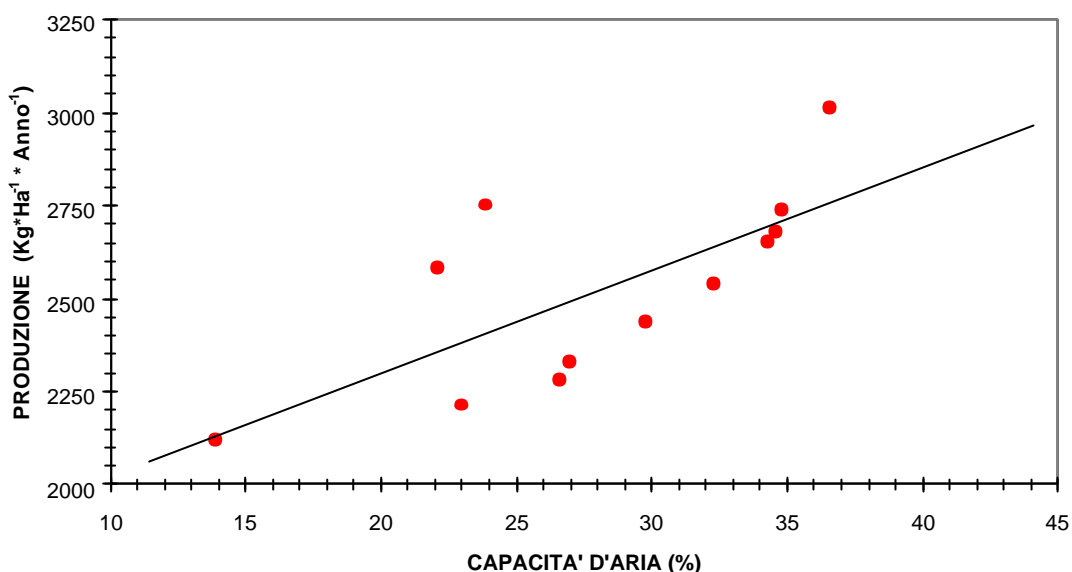


Tabella 3. Capacità d'aria e acqua disponibile (% vol) medie ponderate per l'intero profilo di suoli a diversa classe di attitudine alla produzione di tabacco di tipo Virginia Bright.

Classe di attitudine	Elevata	Moderata	Modesta	Bassa
Tipologie pedologiche (n°)	7	11	10	7
Capacità d'aria (media)	34.9a*	26.3b	26.0b	16.9c
Acqua disponibile (media)	5.0c	8.8b	9.1b	13.0a

*: Medie con la stessa lettera non sono significativamente differenti (analisi della varianza: capacità d'aria F= 12.95***, acqua disponibile F = 7.24***; confronto delle medie col metodo Student - Newman - Keuls per p<= 0.05).

L'alta capacità d'aria, infatti, soddisfa i due principali requisiti per la coltivazione del tabacco di tipo Virginia Bright: l'elevata e costante disponibilità di ossigeno (requisito colturale), la tempestiva trafficabilità (requisito gestionale). Dal punto di vista delle caratteristiche fisiche, quindi, il suolo ideale per il Virginia Bright è quello che assicura una ottima ossigenazione, un rapido drenaggio e un profondo radicamento. Quest'ultimo viene favorito da una modesta quantità di acqua disponibile specifica, di modo che le radici, in primavera, all'inizio della coltivazione in pieno campo, siano indotte ad esplorare un elevato volume di suolo per assicurare alla pianta l'approvvigionamento idrico. In definitiva, tenendo conto del fatto che nel comprensorio veronese il tabacco viene coltivato in irriguo, l'elevata macroporosità sembra essere il fattore determinante per il successo della coltura.

L'influenza dell'A.C. dei suoli sulle rese del tabacco è quindi evidente, anche se il coefficiente di determinazione non è elevato. Altre cause di variazione delle rese, infatti, possono risultare

determinanti e concorre a definire i fattori funzionali del suolo funzionali per la coltivazione del tabacco di tipo Virginia Bright (tab.4).

Tabella 4. Classi delle caratteristiche del suolo (primi 90 cm circa) funzionali per la coltivazione del tabacco di tipo Virginia Bright nel comprensorio veronese.

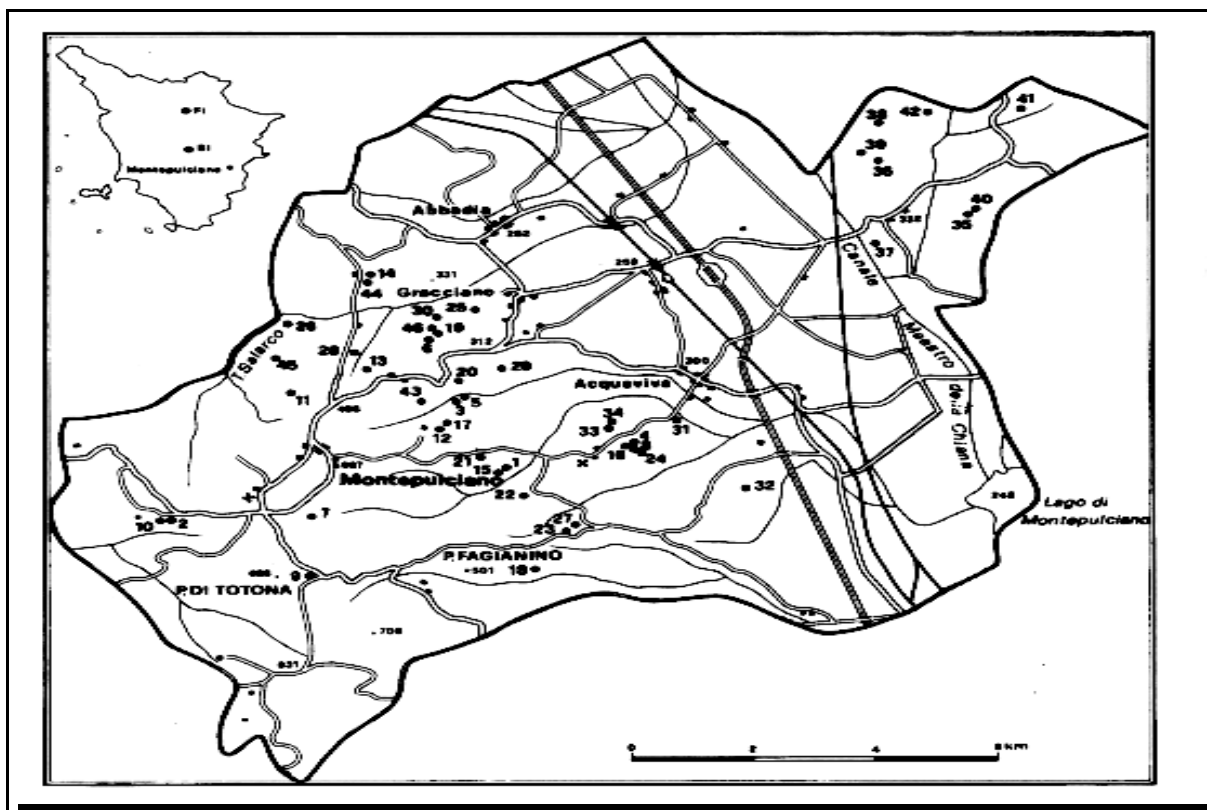
Capacità d'aria (%)
a0 – alta < 30
a1 – moderata 30 ÷ 20
a2 – basa < 20
Profondità della falda permanente
w0 – profonda o molto profonda
w1 – poco profonda (< 100 cm dalla superficie)
Torba
t0 – assenza di torba
t1 – presenza di torba
Suola di aratura
s0 – assente
s1 – tendenza alla formazione della suola di aratura
Pietrosità
p0 – da assente a comune (ghiaie ciottoli e pietre < 35%)
p1 – frequente (ghiaie ciottoli e pietre > 35%)
Fertilità chimica
f0 – moderata
f1 – eccessiva

3.2. Influenza della capacità d'aria e dell'acqua disponibile del suolo nella valutazione del territorio per la produzione di vino Nobile di Montepulciano.

3.2.1. Le caratteristiche ambientali nel comprensorio del vino Nobile di Montepulciano.

Il comune di Montepulciano si estende su circa 165 Km² e comprende un territorio che è geograficamente suddivisibile in tre macro-aree: la parte collinare maggiore, che comprende anche l'abitato di Montepulciano, la Val di Chiana e, opposta a Montepulciano, l'area collinare di Valiano fig.2).

Figura 2. Localizzazione dei vigneti sperimentali a Montepulciano.



L'evoluzione geologica di tutto il territorio è strettamente connessa all'origine tettonica di questo bacino intramontano, avvenuta in modo analogo agli altri bacini a sedimentazione pliocenica e pleistocenica toscani, quali quelli del Val d'Arno, di Firenze-Prato-Pistoia, del Mugello e del Casentino (Lazzarotto et alii, 1989). Anche in Val di Chiana infatti, dopo la sedimentazione marina, verificatasi nel Pliocene inferiore e medio, tra il Pliocene medio e l'inizio del Pleistocene la regressione del mare, avvenuta in seguito al sollevamento della maggior parte della Toscana e dell'alto Lazio, ha causato la formazione di ambienti lagunari e lacustri e di depositi di tipo continentale. Durante l'Olocene, il grande lago che era presente venne gradualmente colmato dalle alluvioni dei fiumi prospicienti e parzialmente svuotato artificialmente, ad opera degli etruschi prima e dei romani poi. Durante il Medioevo, l'abbandono delle opere di bonifica causò il tornare ad impaludarsi di buona parte della valle, fino a quando, nel Rinascimento, i lavori di bonifica ripresero e furono infine completati in epoca Granducale.

Il modello di distribuzione dei suoli nell'area è essenzialmente connesso con la litologia. Alle quote più elevate si ritrovano i suoli evoluti sui sedimenti pliocenici marini costituiti da sabbie grossolane sciolte o diagenizzate, con o senza ghiaie, e da livelli lenticolari di puddinghe (serie Cusona, Strada e Rondolino prevalenti). I depositi più grossolani passano gradualmente alle sabbie fini, con intercalazioni di limi sabbiosi e lenti limose (serie San Gimignano e Pietrafitta), e ai limi argillosi (serie San Quirico), i quali possono localmente trovarsi al di sopra delle sabbie grossolane. Scendendo di quota, man mano che ci si sposta verso un ambiente di sedimentazione di mare più profondo, i sedimenti limoso argillosi passano gradualmente verso le argille limose (serie Quercia e Monte prevalenti). I sedimenti pliocenici marini sono in contatto netto ed erosivo con i sedimenti pleistocenici continentali, situati nelle aree morfologicamente più basse del comune. Questi ultimi, in raccordo con i sedimenti alluvionali olocenici della Val di Chiana, sono costituiti da sabbie prevalentemente grossolane con ciottoli in massima parte silicei e in minor percentuale calcarei (serie Nottola, Poggio Golo e Valiano).

Relativamente alla caratterizzazione pedoclimatica, sono stati elaborati i valori delle precipitazioni e della temperatura relativi agli anni 1967-1986 registrati dalla stazione di Montepulciano (605 m s.l.m.)

al fine di calcolare il pedoclima dell'area in esame, tramite il programma di elaborazione climatica "Newhall Simulation Model" (Newhall, 1972) (tab. 5). Il regime termico dell'area studiata è risultato sempre "termico", mentre per il regime idrico si sono avuti risultati diversi secondo gli anni. Nel primo decennio considerato il pedoclima dell'area di Montepulciano è risultato essere più di frequente ustico, mentre nel secondo prevalentemente xerico; considerando che i vigneti sono posti a quote generalmente più basse, quindi più calde e asciutte rispetto a Montepulciano, sembra ammissibile che il regime idrico prevalente nell'area viticola sia lo xerico.

Tabella 5. Precipitazioni, temperature e regime idrico relativi al ventennio 1967-1986

Anno	giorni in cui la sezione di controllo del suolo è asciutta (n)	Precipitazioni (mm)	Temperatura media annua (°C)	regime idrico per una riserva idrica di 200 mm
1967	100	504	14.6	xerico
1968	5	699	13.8	ustico
1969	46	748	13.7	ustico
1970	84	635	14.1	xerico
1971	105	490	14.1	xerico
1972	19	731	13.7	ustico
1973	50	552	14.2	ustico
1974	42	618	14.2	ustico
1975	78	593	14.5	xerico
1976	0	927	13.8	udico
1977	4	689	14.3	ustico
1978	67	773	14.0	xerico
1979	51	861	14.0	xerico
1980	55	731	13.0	xerico
1981	15	656	13.9	ustico
1982	54	670	14.1	xerico
1983	134	504	13.7	xerico
1984	21	801	12.8	udico
1985	119	403	14.4	xerico
1986	96	488	13.7	xerico
media	57	654	13.9	

Dal punto di vista dell'uso del suolo, l'area di studio è grosso modo suddivisibile in tre fasce. Alla prima, compresa tra i 260 m e i 300 m s.l.m., appartengono i terreni coltivati per lo più a seminativo semplice, in cui le colture più diffuse sono frumento, mais, girasole e tabacco. La seconda fascia, compresa tra le quote di 300 m e di 450 m s.l.m., è caratterizzata dalle colture arboree specializzate, costituite essenzialmente dalla vite e dall'olivo, con rari impianti di frutteti. Nella terza fascia, compresa tra i 450 m e i 600 m s.l.m., le terre sono in modo più equilibrato utilizzate sia a colture arboree specializzate, vigneti, oliveti e frutteti, che a seminativi e a boschi cedui e misti, adibiti per lo più a riserve di caccia. L'area interessata dai vigneti, viste le disposizioni previste dal disciplinare che limitano l'impianto e la produzione di vino Nobile alle quote comprese tra i 260 m e i 600 m s.l.m., è circoscritta alle sole parti collinari del comune.

3.2.2. *Il modello fenologico della coltura e i fattori funzionali del suolo.*

Nell'ambiente mediterraneo, caratterizzato dal pedoclima xerico, la fenologia e il potenziale produttivo delle colture sono determinati soprattutto dalla disponibilità idrica, sia in termini di quantità di acqua a disposizione per le piante, che di potenziale, cioè dell'energia con cui l'acqua viene trattenuta dal terreno. Anche le attività vegetativa e riproduttiva della vite, che rinnova tutti gli anni buona parte del suo apparato assorbente, sono profondamente influenzate dall'andamento della disponibilità idrica durante l'anno.

Il modello fenologico di riferimento per il Prugnolo gentile, vitigno da cui si ricava il vino Nobile di Montepulciano, è contraddistinto da un'attiva ripresa vegetativa primaverile, la quale perdura fino alla fioritura, dopodiché la crescita della pianta rallenta per poi interrompersi dopo l'invasatura. Durante la maturazione la crescita cessa e vi sono sintomi di stress non accentuato.

Questa cinetica della parte aerea della pianta corrisponde ad un elevato approfondimento ed assorbimento radicale primaverile, a cui segue in estate una progressiva riduzione di attività della parte più superficiale dell'apparato radicale, quella maggiormente responsabile dell'approvvigionamento idrico e del vigore della pianta. L'acqua infatti è il principale regolatore dell'equilibrio ormonale nella vite (Champagnol, 1997). La regolazione si realizza attraverso la competizione tra sintesi di citochinine o di acido abscissico da parte delle estremità radicali. In primavera, quando l'acqua è abbondante, la produzione di citochinine è elevata, e con essa la crescita della pianta. All'inizio dell'estate, in corrispondenza del periodo fioritura-allegagione, l'acqua diviene meno abbondante e viene trattenuta più fortemente dal suolo, tanto che neanche la notte l'ambiente radicale riesce a reidratarsi. In queste condizioni la sintesi di citochinine diminuisce fino ad interrompersi, mentre si hanno le condizioni per la produzione di acido abscissico in primo luogo da parte delle radici, poi anche da parte delle foglie adulte. In tal modo la crescita della pianta si arresta precocemente, tanto che la maturazione può essere assimilata ad una senescenza, caratterizzata da un equilibrio ormonale nella vegetazione e nei frutti. Queste condizioni inducono tra l'altro l'accumulo nelle bacche di antociani, tannini e composti fenolici, mentre viene favorita la degradazione dell'acido malico: processi che contribuiscono a determinare la qualità dei vini rossi, in particolare la loro finezza e tipicità (Champagnol, 1997; Lebon et al., 1997). Se però le condizioni di stress si realizzano troppo precocemente e troppo a fondo, la pianta non riesce ad adattarsi al cambiamento ormonale e l'accumulo di composti nei frutti avviene in maniera squilibrata (Champagnol, 1997; Van Leeuwen et al., 1997).

Nella prova di Montepulciano, alcuni parametri pedologici di cui si era ipotizzata una possibile influenza sulle produzioni e sulla qualità delle uve raccolte sono stati analizzati per vedere se vi fossero differenze significative tra i suoli in esame. Le caratteristiche considerate sono state sia chimiche: capacità di scambio cationico, calcare totale ed attivo, conducibilità dell'estratto acquoso, carbonio organico, che fisico-idrologiche: capacità di acqua disponibile (Available Water Capacity: A.W.C.) e capacità d'aria (Air Capacity: A.C.).

Nel caso delle caratteristiche chimiche del suolo, i dati provenienti dalle analisi di laboratorio effettuate sui profili eseguiti nelle aree sperimentali sono stati raggruppati secondo quattro tipologie, distinguendo i suoli evoluti sul Pliocene marino da quelli sul Pleistocene continentale e, tra i primi, quelli evoluti sulle sabbie (suoli Cusona, Strada e San Gimignano) da quelli sui limi argillosi e argille (San Quirico, Quercia e Monte); tra i secondi sono stati distinti i paleosuoli (Poggio Golo) dai suoli più recenti (Valiano e Valiano idromorfi). L'analisi della varianza dei parametri considerati ha per tutti fornito risultati significativi o altamente significativi, fuorché per il contenuto in carbonio organico, individuando più spesso dei trend di variazione tra i suoli, anziché dei gruppi ben differenziati gli uni dagli altri (tab. 6).

Tabella 6. Capacità di scambio, calcare totale ed attivo, conducibilità di alcuni gruppi di suoli delle aree sperimentali.

Suoli	Capacità di scambio (cmol+/1000g)	Numero di dati e (aree)	Calcare totale (%)	Numero di dati e (aree)	Calcare attivo (%)	Numero di dati e (aree)	Conducibilità dell'estratto acquoso (dS/m)	Numero di dati e (aree)
Cusona, Strada e S.Gimignano	11,97 A*	11 (3)	12,16 B	15 (4)	1,48 AB	8 (2)	1,16 A	15 (4)
S.Quirico, Quercia e Monte	13,35 AB	11 (3)	18,63 C	20 (5)	7,59 C	11 (3)	5,62 B	20 (5)
Poggio Golo	17,95 BC	10 (2)	1,66 A	10 (2)	0,60 A	10 (2)	1,66 A	10 (2)
Valiano e Valiano idromorfi	18,67 C	17 (4)	10,03 B	17 (4)	2,98 B	17 (4)	2,26 A	17 (4)
media totale	14,49	49 (12)	10,76	62 (15)	3,16	46 (11)	2,68	62 (15)

* L'analisi della varianza dei parametri considerati ha fornito risultati significativi o altamente significativi (capacità di scambio $F=4,0$; calcare totale $F=33,6$; calcare attivo $F=28,2$; conducibilità $F=7,6$), le medie contrassegnate da lettere diverse sono statisticamente differenti per $P<0,05$, capacità di scambio e conducibilità, o per $P<0,01$, calcare totale ed attivo (test di Student-Newman-Keuls).

Volendo sintetizzare i principali risultati ottenuti da questo tipo di analisi, si può osservare che i suoli del Pliocene sabbioso sono stati, tra gli esaminati, quelli a minore capacità di scambio cationico e conducibilità dell'estratto acquoso, mentre hanno valori intermedi di calcare, sia totale che attivo. Sul Pliocene limoso-argilloso e argilloso, invece, i suoli hanno mostrato i valori significativamente più elevati di calcare, sia totale che attivo, e di conducibilità, intermedi di capacità di scambio cationico. I suoli evoluti sui sedimenti fluvio-lacustri del Pleistocene sono risultati simili tra loro per i valori di capacità di scambio, che sono i più elevati, ma si sono differenziati notevolmente in quanto a contenuto in calcare, sia totale che attivo.

Dal punto di vista dell'ecologia viticola, i valori medi riscontrati per il contenuto in sostanza organica possono essere definiti come bassi (come media generale inferiori al 2% per l'orizzonte lavorato), normali per la capacità di scambio cationico, con tendenza a valori bassi per i suoli Cusona, Strada e San Gimignano, ed elevati per i suoli evoluti sui sedimenti pleistocenici; per il contenuto in calcare totale

ed attivo i valori sono da ritenersi bassi o normali, salvo per i suoli San Quirico, Quercia e Monte, dove sono da considerarsi elevati; i suoli sui sedimenti pliocenici limoso-argillosi ed argillosi, inoltre, sono i soli dove è stata misurata una debole salinità dell'estratto acquoso (Euroconsult, 1989). Si ha quindi una situazione in cui non tutte le caratteristiche chimiche significativamente diverse tra i suoli possono essere considerate come funzionali per la vite.

Passando alle caratteristiche fisico-idrologiche dei suoli di Montepulciano, la capacità per l'aria è stata considerata per un numero ridotto di profili, di conseguenza non è stato possibile effettuare un'analisi statistica dei dati. In tabella 7 si è preferito riportare solo i valori relativi ai profili di riferimento. Riguardo questi, si può osservare che l'A.C. varia in modo notevole tra i suoli, in relazione non solo alla loro tessitura, ma anche alla struttura. In assoluto, i valori sono risultati alti per il suolo Cusona, medi per i Strada e San Gimignano, bassi per i Valiano e Valiano idromorfi, molto bassi per gli altri (Euroconsult, 1989).

Tabella 7. Capacità per l'aria (A.C.) dei profili di riferimento dei suoli oggetto della sperimentazione (% media del profilo fino alla profondità di scasso).

Suoli	Capacità per l'aria
Cusona	16,2
Strada	10,9
San Gimignano	10,6
Valiano	9,7
Valiano erosi	5,5
San Quirico	3,8
Quercia	3,0
Poggio Golo	2,3
Monte	1,4

Relativamente all'acqua disponibile, i suoli sono stati riuniti in quattro gruppi per essere sottoposti all'analisi della varianza: suoli erosi (Monte e Cusona), suoli con orizzonti di profondità difficilmente penetrabili dalle radici delle viti (Poggio Golo, Valiano idromorfi, San Quirico), suoli piuttosto ben strutturati a tessitura fine (Valiano e Quercia), o moderatamente grossolana (San Gimignano e Strada).

L'A.W.C. dei suoli delle aree sperimentali è risultata variare in maniera significativa nonostante gli interventi di scasso e sistemazione del terreno, che si suppone uniformino notevolmente le condizioni pedologiche (tab. 8). Le differenze tra una tipologia pedologica e l'altra sono da imputarsi alle diversità di tessitura, ma anche di struttura e volume esplorabile dalle radici. E' per questo motivo che i suoli molto erosi della serie Monte, nonostante abbiano una tessitura simile a quelli della Quercia e della San Quirico, hanno mostrato valori significativamente più bassi di A.W.C. Così i suoli della Cusona rispetto a quelli della San Gimignano e Strada, e della Valiano idromorfa ed erosa rispetto alla Valiano, seppure in maniera meno evidente. Nel caso della Poggio Golo, poi, è l'elevata densità apparente dell'orizzonte argillico sottosuperficiale (tendente al fragipan) che è risultata essere il fattore limitante. Sembra da

sottolineare come anche in questa circostanza tale limitazione persista dopo l'intervento di scasso realizzato all'impianto dei vigneti.

Tabella 8. Acqua disponibile (A.W.C.) media dei suoli delle aree sperimentali (mm fino alla profondità di scasso).

Suoli	Acqua disponibile	Numero di aree indagate
Monte e Cusona	84 A*	10
Poggio Golo, Valiano idromorfi e S.Quirico	142 B	13
Valiano e Quercia	167 BC	9
S.Gimignano e Strada	176 C	14
	media 152	totale 46

* L'analisi della varianza del parametro A.W.C. ha fornito risultati altamente significativi ($F=31,1$), le medie contrassegnate da lettere diverse sono statisticamente differenti per $P<0,01$ (test di Student-Newman-Keuls).

Come è noto, le determinazioni dell'A.W.C. soffrono di notevoli margini di errore: il metodo di Richards, in particolare, nella stima della capacità idrica di campo; la stima con formule quando i suoli hanno un contenuto di argilla superiore al 35%. Un controllo della loro rispondenza è stato realizzato tramite misura diretta per due anni dell'umidità dei suoli di cinque aree sperimentali, che ha consentito di realizzare i grafici in figura 3-6. In essi vengono indicati, oltre al volume percentuale di acqua disponibile per le piante, anche quello non disponibile e il volume di suolo occupato dall'aria in quella data.

Il suolo San Gimignano (fig. 3), per le sue ottime caratteristiche fisico-idrologiche, è riuscito a conservare dell'acqua disponibile per le viti per tutto il periodo estivo e, allo stesso tempo, non ha mostrato carenze nella disponibilità di ossigeno in alcun momento dell'anno. Il suolo Cusona (fig. 4), in cui la macroporosità è dominante, ha avuto sempre una abbondante disponibilità di ossigeno, ma scarsa o assente in acqua a fine estate. In estate, il suolo San Quirico (fig. 5) tende a prosciugarsi in superficie, mantenendo però una ridotta disponibilità idrica in profondità, mentre in inverno si satura completamente in profondità e solo parzialmente in superficie. Un andamento analogo è stato riscontrato nei suoli delle serie poggio Golo e Quercia. Nel grafico in figura 6 invece è riportato il comportamento di un suolo appartenente alla fase fortemente erosa della serie Quercia, simile per comportamento a quelli della serie Monte. In questo sia la secchezza estiva, che l'eccesso idrico invernale, sono risultati molto più accentuati.

Figura 3. Comportamento idrologico di un suolo San Gimignano: aria e acqua disponibile e non disponibile a due profondità e per due anni.

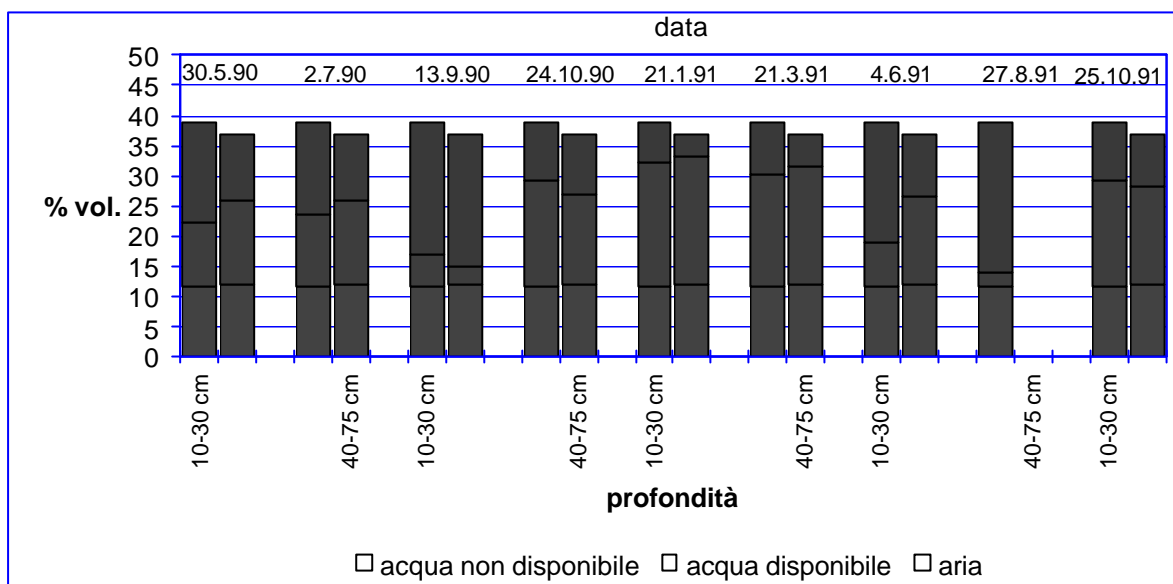


Figura 4. Comportamento idrologico di un suolo Cusona: aria e acqua disponibile e non disponibile a due profondità e per due anni.

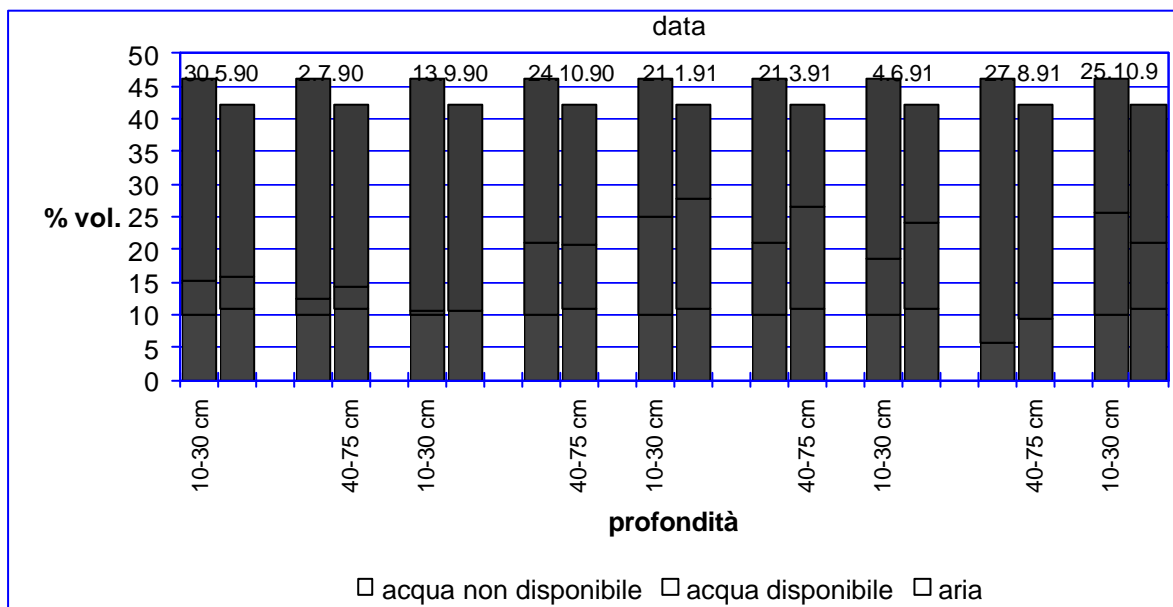


Figura 5. Comportamento idrologico di un suolo San Quirico: aria e acqua disponibile e non disponibile a due profondità e per due anni.

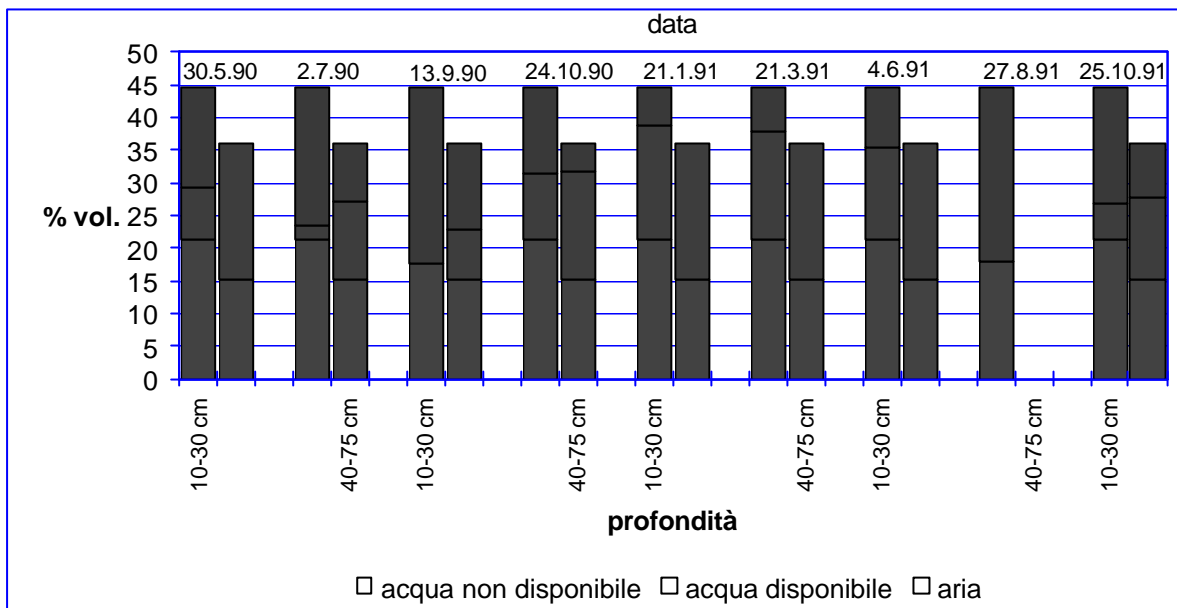
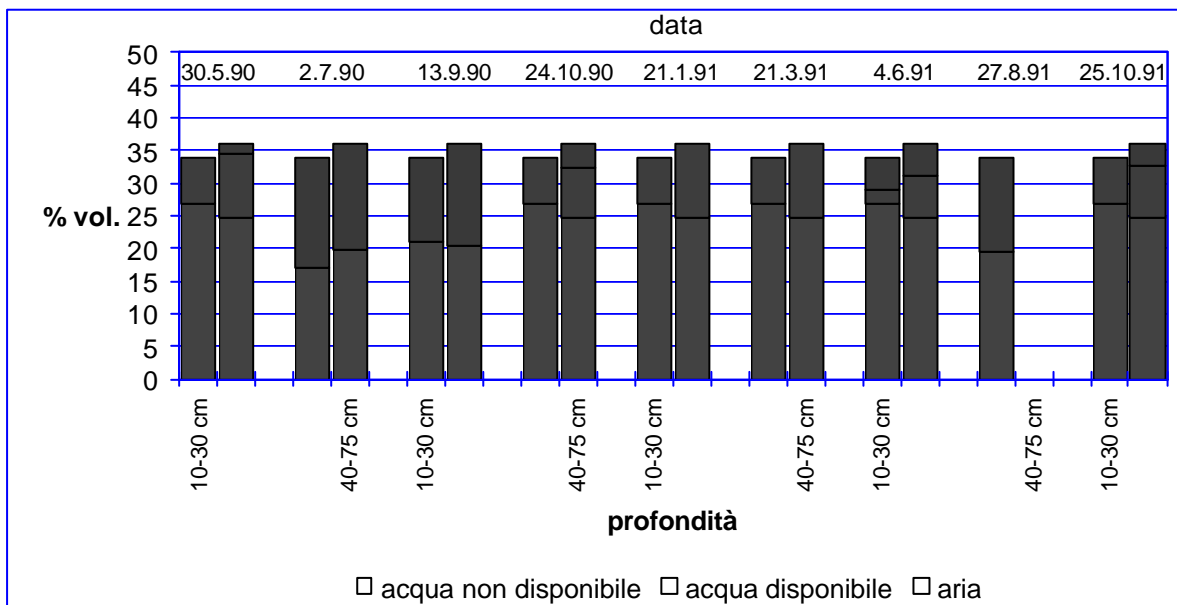


Figura 6. Comportamento idrologico di un suolo Quercia fortemente eroso: aria e acqua disponibile e non disponibile a due profondità e per due anni.



3.2.3. *Modalità di azione della fertilità del suolo sulla fenologia della coltura e la qualità del vino.*

I suoli della serie San Gimignano sono sicuramente tra i più fertili dell'area, sia dal punto di vista della fertilità fisica che chimica, inoltre non presentano limitazioni permanenti di rilievo alla coltivazione delle specie più diffuse a Montepulciano. La grande fertilità di questi suoli risulta però eccessiva per il Prugnolo gentile, determinando una elevata produzione a ceppo, peso del grappolo e degli acini (Campostrini et al., 1997). L'assenza di siccità estiva, in particolare, provoca un ritardo nella maturazione, infatti è la serie di suoli che è risultata più tardiva (tab. 9).

Tabella 9. Risposta fenologica della coltura e qualitativa del vino in relazione all'intensità delle limitazioni imposte dal suolo.

Suoli	Limitazioni	Resa in uva	Precocità di maturazione	Risposta enologica			
				struttura	tipicità	armonia	costanza di qualità
San Quirico	moderate	***	****	**	**	**	**
Poggio Golo	moderate	**	**	**	**	**	**
Quercia	moderate	***	***	**	**	**	**
Monte e Cusona	severe	*	****	**	**	**	*
Valiano erosi	lievi	****	***	**	**	**	*
San Gimignano e Strada	assenti	****	*	*	*	*	**
Valiano	assenti	*****	*	*	*	*	**

I suoli Quercia, Poggio Golo e San Quirico sono quelli che hanno fornito risultati enologici buoni e stabili nel tempo. Caratteristica comune di questi suoli è quella di fornire un ambiente di buona fertilità per la crescita delle piante in genere, ma con qualche limitazione. Sono tutti suoli a tessitura tendenzialmente argillosa, con una certa idromorfia in profondità, causata dalla presenza di una falda idrica sospesa durante la stagione piovosa. I suoli Quercia e San Quirico, inoltre, presentano qualche ulteriore limitazione in ordine al contenuto in calcare totale ed attivo e alla salinità, mentre quelli della serie Poggio Golo per la ridotta penetrabilità alle radici, causata dalla presenza di un orizzonte compattato. Queste limitazioni, tutte di moderata entità, fanno sì che si realizzino quelle condizioni di contenuto stress idrico estivo, indispensabili per ottenere un vino di buona qualità.

I suoli Monte, Cusona e Valiano erosi hanno fornito buoni risultati enologici, ma molto variabili a seconda dell'annata. I suoli Monte e Cusona, inoltre, sono risultati di elevata precocità e ridotta produzione. Dal punto di vista pedologico, tutte e tre le tipologie, pur diverse tra loro per molti aspetti, in primo luogo per la tessitura, hanno dei caratteri funzionali simili, in conseguenza dell'erosione più o meno forte che hanno subito soprattutto al momento dell'impianto. Siamo di fronte a suoli con rilevanti e permanenti limitazioni di crescita per le specie agrarie, non eliminabili con le normali pratiche agricole (Costantini, 1992). La riserva di acqua utilizzabile per le piante, in particolare, è fortemente ridotta, soprattutto nei suoli Monte e Cusona, e predispone le viti a subire un forte stress idrico estivo. I suoli Monte, oltre alla ridotta riserva idrica, hanno anche una capacità per l'aria molto bassa, un elevato

contenuto in calcare e una certa salinità; i suoli Cusona, invece, hanno una elevata e costante disponibilità di ossigeno, ma una bassa fertilità chimica.

La scarsa fertilità complessiva di questi suoli, in particolare la loro incapacità di ridurre gli effetti sulle viti della variabilità climatica, fanno sì che il risultato enologico dei vigneti posti su questi suoli possa in alcuni anni non corrispondere alle attese, nonostante le basse produzioni che comunque si ottengono.

Conclusioni

Le sperimentazioni realizzate hanno dimostrato che a suoli definiti come diversi dall'indagine pedologica possono corrispondere quantità di prodotto diverse, ma anche differenti qualità dei prodotti ottenuti. Hanno inoltre messo in luce che, tra le numerose caratteristiche e qualità che rendono due unità pedologiche significativamente diverse tra loro, ve ne sono alcune che possono risultare maggiormente importanti nel determinare il modello fenologico della coltura, la sua risposta quantitativa, la sua gestione agronomica e il rischio di degrado ambientale. Tra queste vi sono certamente le proprietà fisico-idrologiche, in particolare la capacità d'aria e l'acqua disponibile.

La relazione si realizza in modo "diretto", attraverso l'influenza sulle caratteristiche del pedoambiente, le quali determinano i processi metabolici che avvengono nelle piante e che definiscono la risposta fenologica, che "indiretto", condizionando la gestione agronomica della coltura.

Pur essendo i metodi di valutazione di queste due qualità pedologiche ancora piuttosto grossolani, sono comunque capaci di mettere in evidenza variazioni di condizioni ambientali significative anche per colture come quelle indagate, in cui un parametro piuttosto difficile da valutare, come la qualità delle rese, è importante come e più della quantità. In questo senso, l'affinamento delle metodologie potrà certamente migliorare la stima di risposta delle piante.

Un'ultima considerazione che si può trarre dai risultati ottenuti a Bovolone e a Montepulciano è che la qualità del suolo non può essere considerata un valore assoluto, ma relativo alla coltura e al tipo di risultato desiderato, per cui anche gli indici analitici che si vorranno utilizzare per definire la qualità del suolo stesso non potranno essere univoci, ma dovranno essere calibrati a seconda dell'ambiente e del sistema produttivo considerato.

Bibliografia citata

CAMPOSTRINI F., COSTANTINI E.A.C., MATTIV F., NICOLINI G. (1997). Effect of "Terroir" on quanti-qualitative parameters of "Vino Nobile di Montepulciano". 1er colloque international "les terroirs viticoles" Angers, France, INRA, p. 461-468.

CHAMPAGNOL F. (1997). Caractéristiques éda fiques et potentialités qualitatives des terroirs du vignoble languedocien. 1er colloque international "les terroirs viticoles" Angers, France, INRA, p. 259-263.

COSTANTINI E.A.C. (1992). Study of the relationships between soil suitability for vine cultivation, wine quality and soil erosion through a territorial approach. *Geoökoplus*, III, 1-14.

COSTANTINI E.A.C., PINZAUTI S. (1992). L'importanza dell'indagine pedologica in viticoltura. Atti del convegno internazionale: La zonazione viticola tra innovazione agronomica, gestione e valorizzazione del territorio. L'esempio del Trentino. S.Michele/Adige, agosto 1992, 137-156.

COSTANTINI E.A.C., CASTELLI F., CASTALDINI D., RODOLFI G., NAPOLI R., PANINI T., BRAGATO G., PELLEGRINI S., ARCARA P.G., CHERUBINI P., SPALLACCI P., BIDINI D., SIMONCINI S. (1992). Valutazione del territorio per la produzione di tabacco di tipo Virginia Bright: uno studio interdisciplinare nel comprensorio veronese (Italia settentrionale). *Suppl. Annali ISSDS*, vol. XX, pp. 157.

COSTANTINI E.A.C., CAMPOSTRINI F., ARCARA P.G., CHERUBINI P., STORCHI P., PIERUCCI. (1996a) Soil and climate functional characters for grape ripening and wine quality of "Vino Nobile di Montepulciano". *Acta Hort.* 427 ISHS, p. 45-55.

COSTANTINI E.A.C., LIZIO-BRUNO F. (1996). I suoli del comprensorio vitivinicolo di Montepulciano. Le loro caratteristiche, gli ambienti, i caratteri funzionali per la produzione di Vino Nobile di Montepulciano. In: "Vino Nobile di Montepulciano: zonazione e valorizzazione delle risorse naturali del territorio" a cura di F. Campostrini ed E. Costantini. Regione Toscana, Firenze, p. 47-74.

COSTANTINI E.A.C., CALÌ A., CASTELLI F., LORENZONI P., RAIMONDI S., RUSTICI L. (1996b). Esperienze di applicazione e validazione di alcuni modelli tradizionali ed innovativi per la classificazione del pedoclima. *Agricoltura Ricerca*, XVIII, 164-165-166 p.7-24.

DOORENBOS J., KASSAM A.H. (1979). Yield response to water. *Irrigation and drainage bulletin* 33. FAO, Roma.

EUROCONSULT (1989). *Agricultural Compendium*, Elsevier, Amsterdam pp.740.

GARDIN L., SULLI L., NAPOLI R., GREGORI E., COSTANTINI E.A.C. (1998). *Manuale per il rilevamento del suolo*. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Firenze, pp.83.

LAZZAROTTO A., LIOTTA D., PIERUCCINI U., DANI G., GIANNETTI F., ROSSI PACCANI S. (1989). Studio geologico - strutturale e geomorfologico dell'area rilevante per la nuova centrale termoelettrica policombustibile di S. Barbara. *Rapporto inedito Enel*.

LEBON E., DUMAS V., MORLAT R. (1997). Influence des facteurs naturels du terroir sur la maturation du raisin en Alsace. 1er colloque international "les terroirs viticoles" Angers, France, INRA, p. 359-366.

MANRIQUE L.A., JONES C.A., DYKE P.T. (1991). Predicting soil water retention characteristics from soil physical and chemical properties. *Comm. Soil Science Plant An.* vol. 22 (17-18), 1847-1860.

NEWHALL, F. (1972). Calculation of Soil Moisture Regimes from the Climatic Record . Rev. 4. Mimeographed, 17 pages, 3 tables, 7 figures. Soil Conservation Service, USDA, Washington, D. C.

PAGE A.L., MILLER R.M., KEENEY D.R. (1982). *Methods of soil analysis. Part. 1 - Physical properties*. Madison, Wisconsin, U.S.A.

SALTER P.J., WILLIAMS J.B. (1969). The influence of texture on the moisture characteristics of soils: V. relationships between particle size composition and moisture content at the upper and lower limits of available water. *J. of Soil Sc.* 20.

SISS - Società Italiana per la Scienza del Suolo (1985). *Metodi normalizzati di analisi del suolo*. Edagricole , Bologna.

VAN LEEUWEN C., SEGUIN G. (1997). Incidence de la nature du sol et du cépage sur la maturation du raisin, à Saint emilion, en 1995. 1er colloque international "les terroirs viticoles" Angers, France, INRA, p. 154-157.