



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale

Ministero delle Politiche Agricole e Forestali

PROGETTO 'CLIMAGRI'

Sottoprogetto 3

Ricerca 3.5

**Impatto del cambiamento climatico sui sistemi agricoli:
ricerca di indicatori di tolleranza alla siccità**

Responsabile della ricerca: Dr. Enrico Brugnoli

RELAZIONE FINALE DELLE ATTIVITA' SVOLTE

Terzo anno

Le attività di ricerca durante l'ultimo periodo del terzo anno sono state prevalentemente rivolte a alla conclusione delle analisi isotopiche per il carbonio e l'ossigeno e all'analisi di tutti i risultati ottenuti durante il progetto. La massa di dati, ottenuta dalle ricerche protratte per un periodo poliennale abbastanza lungo, consente di trarre conclusioni di una certa rilevanza e di sicura solidità scientifica. L'associazione di analisi isotopiche $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ consente di valutare le componenti biochimiche e stomatiche dell'adattamento alla siccità e al cambiamento globale in maniera molto dettagliata. Naturalmente, i risultati ottenuti oltre a confermare le ipotesi di lavoro e consentire il raggiungimento degli obiettivi del progetto, hanno aperto nuove problematiche che necessitano ulteriori approfondimenti futuri. Per questo si auspica una prosecuzione delle ricerche attraverso un ulteriore progetto su simili tematiche.

Vengono di seguito illustrati i principali risultati ottenuti durante l'ultimo periodo di attività.

La concentrazione dei gas serra nell'atmosfera (CO_2 , CH_4 , N_2O e CFCs) sta incrementando in modo sensibile, prevalentemente, a causa delle combustioni fossili e in minore misura delle deforestazioni. Secondo le stime dell'Inter-governmental Panel for Climate Change, l'anidride carbonica sta aumentando attualmente dello 0.4% l'anno e si stima che la concentrazione di CO_2 raggiungerà il doppio di quella pre-industriale nel 2100 (IPCC, 2001). Similmente, gli altri gas serra aumentano a ritmi simili, provocando ulteriori conseguenze dovute, ad esempio, al maggiore effetto serra del metano rispetto alla CO_2 o alla distruzione dell'ozono stratosferico nel caso dei CFCs.

Porano, 30 gennaio 2006

Dr. Enrico Brugnoli

I modelli globali di previsione (GCM), pur con differenze quantitative nelle stime, sono abbastanza concordi nel prevedere come conseguenza dell'aumento di concentrazione dei gas serra, un aumento della temperatura media globale di 1.4-5.8°C nel 2100 (IPCC, 2001). Nel secolo appena trascorso la temperatura è aumentata di 0.6°C, ma quest'incremento, ricadendo nell'intervallo di variabilità normale, di per se stesso non costituisce una prova del fatto che le attività umane stiano causando un riscaldamento globale. Tuttavia, i nove anni più caldi dal 1860 al presente sono stati registrati tutti dopo il 1980 e questo è un forte indizio del riscaldamento globale.

Con i previsti incrementi di temperatura globale, si prevede che anche il ciclo idrologico potrebbe venire intensificato, con un incremento del 7-15% nelle precipitazioni globali e un aumento del 5-10% nell'evapotraspirazione, con conseguenti effetti sullo scioglimento dei ghiacci e modificazione della circolazione globale. I modelli prevedono un incremento del livello degli oceani e una modificazione della distribuzione delle precipitazioni, con aumenti alle alte latitudini e diminuzione a quelle più basse. Pertanto, ci saranno vaste aree continentali nelle quali l'evapotraspirazione dovrebbe eccedere le precipitazioni con conseguenti periodi di siccità più severi e di più lunga durata. Questi eventi possono creare vere e proprie crisi idriche che riducono le riserve d'acqua negli invasi naturali ed artificiali.

Pertanto, se il cambiamento globale procederà ai ritmi attuali, è verosimile credere che ci saranno ampie zone ove il rischio siccità e desertificazione aumenterà in maniera sostanziale. Lo studio delle risposte delle piante e degli ecosistemi ai cambiamenti climatici è perciò assolutamente prioritario al fine di assicurare l'alimentazione, prevenire la desertificazione, proteggere la biodiversità e prevenire la degradazione dei suoli.

Nello studio della risposta delle piante alla siccità, una delle metodologie più affidabili è rappresentata dallo studio degli isotopi stabili degli elementi leggeri, ovvero carbonio, ossigeno e idrogeno. Il contenuto isotopico di una sostanza, espresso come rapporto isotopico, è molto variabile a causa degli "effetti isotopici" che favoriscono un isotopo rispetto ad un altro, creando così dei serbatoi arricchiti e altri impoveriti in un certo isotopo. In natura, i rapporti isotopici variano a causa degli effetti isotopici associati a processi fisici, chimici e biologici che avvengono durante i cicli biogeochimici. Quando un elemento diffonde o subisce trasformazioni chimiche, gli effetti isotopici causano discriminazione; in genere, è la forma isotopica più leggera a reagire più rapidamente di quella pesante. Pertanto, nel tempo si forma un prodotto di reazione che è arricchito nell'isotopo leggero (Farquhar et al. 1989). Inoltre, in una reazione di equilibrio, l'isotopo pesante si concentra in una delle due specie in equilibrio, mentre nell'altra si concentra la forma isotopica leggera (O'Leary, 1993).

La composizione in isotopi stabili (δ), viene misurata mediante spettrometri di massa, come deviazione relativa del rapporto isotopico del campione rispetto a quello di uno standard internazionalmente accettato: nel caso del carbonio lo standard è VPDB (Vienna-Pee Dee belemnite) mentre per l'ossigeno (e l'idrogeno) è VSMOW (Vienna-Staandard Mean Ocean Water, Brugnoli & Farquhar, 2000).

La composizione isotopica del carbonio nelle piante è determinata dagli effetti isotopici associati alla fissazione fotosintetica di CO₂. Infatti, la specie isotopica ¹²CO₂ diffonde più rapidamente (del 4.4‰) rispetto a ¹³CO₂; inoltre, gli enzimi carbossilasi legano la forma isotopica più leggera più velocemente rispetto a quella pesante (Farquhar et al. 1982). L'effetto isotopico è profondamente diverso a seconda che la carbossilasi coinvolta sia la rubisco (30‰) o la PEP-carbossilasi (2.2‰, Farquhar et al. 1989; Brugnoli & Farquhar, 2000). Come risultato delle discriminazioni dovuta alla diffusione e al biochimismo fotosintetico, i prodotti fotosintetici sono sempre alleggeriti rispetto alla CO₂ atmosferica, ma con sostanziali differenze (pari a circa 15‰) tra piante a fotosintesi C3 (frumento cereali, la quasi totalità delle piante arboree, e la maggior parte delle specie coltivate) rispetto a quelle a fotosintesi C4 (mais, sorgo, canna da zucchero e altre).

La discriminazione isotopica viene definita come la deviazione tra composizione isotopica del prodotto di un certo processo rispetto al substrato, e pertanto è priva di dimensioni e si esprime in per mille (‰) o in $\times 10^{-3}$, similmente alla composizione isotopica.

A causa degli effetti isotopici diffusivi e biochimici coesistenti, la discriminazione isotopica (Δ) fotosintetica è linearmente correlata con il rapporto tra le pressioni parziali intercellulare e atmosferica di CO_2 (Farquhar et al., 1982). Pertanto, Δ è fortemente influenzato da variazioni di capacità fotosintetica e di conduttanza stomatica e da tutti i fattori che possono influenzare questi ultimi.

La misura di Δ in un certo organo o composto della pianta fornisce una stima di p_i/p_a , durante il periodo in cui quel carbonio è stato fissato; così che mentre l'analisi di Δ sulla biomassa della pianta esprime una stima di p_i/p_a che si approssima all'intera vita della pianta, la misura dei prodotti primari della fotosintesi esprime una stima quasi istantanea dei parametri fisiologici. È stato dimostrato che la misura di Δ nei carboidrati fogliari (amido, saccarosio, glucosio e fruttosio) fornisce una stima su una scala di pochi giorni (Brugnoli et al. 1988, Brugnoli e Farquhar, 2000).

La possibilità di stimare sulla base di diverse scale temporali il rapporto p_i/p_a tramite Δ è di grande rilevanza per lo studio dell'efficienza d'uso idrico fotosintetica (WUE). A livello fogliare WUE è definita come rapporto tra le moli di CO_2 fissate rispetto alle moli di H_2O traspirate ed è inversamente correlata a p_i/p_a . Pertanto, WUE è correlata negativamente alla discriminazione isotopica. L'analisi di Δ è considerato un ottimo metodo per la stima di WUE (Condon et al., 2002) e può essere utilizzata per studiare le interazioni pianta-ambiente e per individuare genotipi tolleranti/resistenti alla carenza idrica. Il vantaggio di questa metodologia è che la stima di WUE può essere effettuata precocemente e permette dunque una rapida comparazione tra specie o tra genotipi all'interno di una stessa specie.

Lo studio degli isotopi stabili dell'ossigeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) è molto utile sia per studi di idrologia che nello studio della fisiologia ed ecofisiologia delle piante. Le piante assumono acqua dal terreno senza alcun significativo effetto isotopico. Infatti lo studio isotopico dell'acqua xilematica in organi lignificati, riflette la composizione isotopica dell'acqua del suolo, ove le radici attingono. Tuttavia, una volta arrivata alle foglie o ad altri organi traspiranti, l'acqua subisce un forte arricchimento in ^{18}O , poiché durante la traspirazione vengono favorite molecole contenenti ^{16}O ; infatti, le molecole d'acqua contenenti ^{18}O diffondono più lentamente e hanno una più bassa pressione di vapore rispetto a quelle contenenti ^{16}O (Farquhar et al. 1998). La traspirazione è determinata dalla differente pressione di vapore tra atmosfera e spazi intercellulari fogliari ed è dunque influenzata da parametri fisiologici intrinseci della pianta (quali la conduttanza stomatica) e/o da parametri ambientali (quali temperatura e umidità relativa). Il segnale isotopico di arricchimento dell'acqua fogliare viene trasferito alla CO_2 e poi alla sostanza organica a causa dello scambio tra acqua e CO_2 nella reazione di idratazione catalizzata nelle foglie dall'enzima anidrasi carbonica. Pertanto, la CO_2 fissata per via fotosintetica porta un segnale in ^{18}O pressoché interamente derivato dall'acqua fogliare. Quindi, lo studio di $\delta^{18}\text{O}$ nella sostanza organica consente di valutare il grado di apertura stomatica e le risposte delle piante a variazioni di temperatura e umidità. Inoltre, lo studio integrato di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ permette di separare gli effetti della variazione della conduttanza stomatica da quelli della capacità fotosintetica consentendo uno studio quali-quantitativo degli scambi atmosfera-vegetazione.

OBIETTIVI GENERALI E SPECIFICI

Gli obiettivi di questo progetto di ricerca riguardano sia aspetti di ricerca che applicativi. L'obiettivo principale è rappresentato dall'individuazione di indicatori di tolleranza a stress

ambientali, con particolare riferimento alla siccità ed alle elevate temperature, al fine di prevedere gli effetti sulla produttività agricola dei mutamenti climatici causati dall'aumento di gas serra.

Ulteriori obiettivi specifici riguardano *i*) lo studio della composizione in isotopi del carbonio per la stima precoce dell'efficienza idrica e della tolleranza a siccità; *ii*) la caratterizzazione dei rapporti isotopici $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ al fine di ripartire le limitazioni stomatiche e biochimiche in condizioni di stress ambientali e lo studio della variabilità nelle composizioni isotopiche nelle piante in funzione del clima, del sito geografico e del genotipo.

MATERIALI E METODI

Gli esperimenti sono stati effettuati su specie coltivate appartenenti alle principali colture cerealicole (frumento tenero, frumento duro ed orzo) allevate in diversi siti sperimentali. I siti sperimentali, scelti lungo un gradiente naturale di aridità, sono stati caratterizzati dal punto di vista climatico ed isotopico. Le analisi isotopiche sono state eseguite sulle cariossidi di numerosi genotipi di queste specie collezionati in anni differenti nei campi sperimentali di Orvieto (orzo, frumento tenero e duro), Papiano (frumento tenero e duro), Fiorenzuola d'Arda (orzo), Barrafranca (frumento tenero e duro), Castel di Judica (frumento duro) e Caltagirone (frumento duro). In particolare, grazie alla collaborazione con il Dipartimento di Agronomia dell'Università di Perugia è stato possibile analizzare serie storiche di cariossidi di frumento tenero e duro raccolto dalla fine del 1800 all'attualità.

Le cariossidi sono state finemente macinate e liofilizzate. Un'aliquota del campione (circa 1 mg per l'analisi di $\delta^{13}\text{C}$ e 0.5 mg per $\delta^{18}\text{O}$) è stata preparata in una capsula di alluminio. Per la misura della composizione in isotopi del C ($\delta^{13}\text{C}$), le capsule sono state immerse in un analizzatore elementare (NA 1500, Carlo Erba, Milano, Italia), nel quale il campione viene combusto in maniera quantitativa e la CO_2 così prodotta, dopo separazione cromatografica, viene immessa nello spettrometro di massa per isotopi stabili in flusso continuo di elio (VG Instruments, SIRA II, Middlewich, UK). Al fine di controllare la combustione e l'accuratezza delle analisi, uno standard saccarosio con un $\delta^{13}\text{C}$ noto di 25.07 ± 0.11 , veniva combusto e analizzato ogni dieci campioni.

I valori di $\delta^{13}\text{C}$ della CO_2 atmosferica venivano misurati su campioni d'aria collezionata in bottiglie di vetro da 2 litri preventivamente evacuate, dopo purificazione della CO_2 atmosferica, mediante separazione criogenia e analisi in modo statico. Nel caso di serie storiche di cariossidi, il valore di $\delta^{13}\text{C}$ della CO_2 atmosferica nell'anno corrispondente è stato ottenuto da data-base disponibili relativamente ad analisi dirette e/o a misure effettuate sulla CO_2 intrappolata in carote di ghiaccio (Friedli et al., 1986; Brugnoli & Farquhar, 2000).

Per l'analisi di $\delta^{18}\text{O}$, il campione di circa 0.5 mg viene posto in un pirolizzatore ottenuto modificando un analizzatore elementare (NA-1500, Carlo Erba, Milano, Italia) dove, alla temperatura di 1200°C su carbone nickelizzato, mediante reazione di pirolisi tutto l'ossigeno del campione viene convertito in monossido di carbonio. Per ridurre il contatto tra carbone a 1200°C e la parete di quarzo del reattore di pirolisi, quest'ultima è stata rivestita da un foglio di nickel (Farquhar et al., 1998). Dopo separazione cromatografica di N_2 da CO , quest'ultimo viene iniettato nello spettrometro di massa in flusso continuo di elio e dalla integrazione del picco si ottiene la composizione in isotopi stabili dell'ossigeno. Anche in questo caso, la composizione $\delta^{18}\text{O}$ veniva controllata contro standard internazionali e materiali di controllo (IAEA, Vienna).

RISULTATI E DISCUSSIONE

La discriminazione isotopica del carbonio, analizzata nella granella di frumento duro, frumento tenero e orzo, è risultata correlata con i parametri climatici dei siti in esame e con la variabilità interannuale nelle precipitazioni di ciascun sito, confermando i risultati ottenuti in precedenza negli stessi siti (Di Orazio et al. 2004).

In Figura 1 viene mostrata la correlazione altamente significativa ($r=0.87$) tra discriminazione isotopica del C (Δ) e precipitazioni cumulate durante il ciclo vegetativo di frumento duro, in diversi anni e diversi siti sperimentali. Sono state analizzate le annate dal 1995 fino al 2004. E' evidente come al diminuire delle precipitazioni durante il ciclo, e quindi della disponibilità idrica per la coltura, si ha una marcata diminuzione di Δ nella granella, di oltre 3‰. Risultati simili sono stati ottenuti in frumento tenero (Fig. 2), comparando i valori di Δ con i valori cumulati di precipitazioni nel periodo aprile-giugno ($r=0.75$).

Questi risultati sono in accordo con quanto previsto dal modello di Farquhar et al. (1982). Infatti, al diminuire della disponibilità idrica si ha una riduzione del rapporto delle pressioni parziali di CO₂ intercellulare e atmosferica (p_i/p_a) a causa della ridotta conduttanza stomatica, che limita la diffusione di CO₂ fino ai cloroplasti. La conseguenza di ciò è che la CO₂ fissata risulta più arricchita nell'isotopo ¹³C poiché il frazionamento isotopico dovuto alla diffusione diviene prevalente rispetto a quello dovuto alla carbossilazione. I risultati consentono di concludere che le limitazioni diffusive furono certamente preponderanti e dovute alla ridotta disponibilità idrica, anche se un leggero effetto sulla capacità fotosintetica non può essere del tutto escluso. Risultati simili sono stati ottenuti anche in orzo (dati non mostrati) con una relazione simile a quelle mostrate per il frumento.

La discriminazione isotopica è risultata positivamente correlata con la produttività in granella delle colture analizzate (Fig. 3), in accordo con i precedenti risultati (Di Orazio et al., 2004), e con numerosi lavori precedentemente riportati da altri autori (si veda Brugnoli e Farquhar, 2000 e Condon et al., 2002 e i lavori citati in questi articoli). Queste relazioni sono state verificate in tutto il periodo considerato (1995-2004).

La Figura 4 mostra la correlazione tra Δ e produttività in granella nei diversi siti sperimentali in studio in frumento tenero. I dati sono ottenuti analizzando in ogni sito lo stesso materiale genetico. Pertanto, questi risultati descrivono la variabilità ambientale tra siti e dimostrano come sia possibile distinguere, a livello isotopico, il materiale originato da diverse provenienze geografiche. In questo caso, la differenza in Δ tra i siti è in massima parte spiegabile con differenze in disponibilità idrica e stress. Simili considerazioni possono essere fatte per i dati del frumento duro (Fig. 5). Similmente, in questo stesso progetto erano state trovate correlazioni tra Δ e produttività della granella all'interno di ciascun sito sperimentale, analizzando genotipi differenti (Di Orazio et al., 2004). Era stato così possibile differenziare varietà di cereali (frumento tenero, frumento duro e orzo) sulla base della loro produttività, efficienza d'uso idrico e resistenza a stress idrico. Questi risultati sono in accordo con i risultati ottenuti in precedenza in questo e altri laboratori. Includendo nell'analisi diverse specie in diversi siti sperimentali e diverse annate, si è ottenuta una correlazione significativa tra composizione isotopica e un indice di aridità calcolato sulla base delle precipitazioni e delle temperature medie ($r=0.79$). Sono state evidenziate leggere differenze in queste correlazioni tra specie diverse (dati non mostrati), a dimostrazione di strategie diverse nella resistenza/tolleranza a stress ambientali.

Queste ipotesi di lavoro trovano poi conferma nei risultati di composizione isotopica dell'ossigeno, effettuata in alcune annate campione nei siti in esame. Questi risultati sono in accordo con precedenti lavori sull'argomento (Brugnoli & Farquhar, 2000, Condon et al, 2002) e aprono importanti prospettive per l'utilizzazione degli isotopi stabili nella previsione degli effetti del cambiamento globale e nel miglioramento delle specie agrarie per alta produttività, alta efficienza d'uso idrico e tolleranza a stress idrico.

In precedenza, nell'ambito di questo progetto, erano stati studiati i rapporti isotopici del carbonio in cariossidi di frumento tenero di una collezione storica raccolta tra l'anno 1898 e il presente. I risultati ottenuti avevano mostrato una marcata diminuzione nella composizione isotopica $\delta^{13}\text{C}$ (Fig. 6), che era solo in parte attribuibile alla diminuzione della composizione isotopica della CO_2 atmosferica da fine 1800 all'attualità (Friedli et al., 1986). Infatti, le combustioni fossili, essendo impoverite in ^{13}C provocano una progressiva diluizione del ^{13}C dell'atmosfera, che viene trasferita interamente alla biomassa che da quella CO_2 è formata. Inoltre, questo trend di composizione isotopica si sovrapponeva ad una variabilità interannuale, prevalentemente attribuibile a variabilità delle condizioni climatiche, oltre che alla variabilità stagionale e interannuale del segnale isotopico della CO_2 atmosferica.

Utilizzando i dati di composizione isotopica delle cariossidi collezionate tra il 1898 e il 2005 e i dati di $\delta^{13}\text{C}$ della CO_2 atmosferica nell'anno corrispondente è possibile calcolare la discriminazione isotopica Δ , che è indipendente da variazioni di composizione della CO_2 atmosferica (Brugnoli & Farquhar, 2000). In questo modo, si è potuto dimostrare che, durante questo periodo di oltre un secolo, si è registrato un aumento di Δ in frumento (Fig. 6), attribuibile a variazioni della fisiologia delle colture. Infatti, a quest'aumento di Δ corrisponde un aumento del rapporto p_i/p_a ed una diminuzione dell'efficienza d'uso idrico, dovuti ad una riduzione delle limitazioni stomatiche o a una riduzione della capacità fotosintetica, o in parte a entrambi questi effetti (Di Orazio et al., 2004).

Tuttavia, i dati isotopici del C non consentono di interpretare univocamente questi effetti. Sono state allora condotte analisi di $\delta^{18}\text{O}$ sulla biomassa delle stesse cariossidi, precedentemente analizzate per i rapporti isotopici $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. L'ossigeno della biomassa, ha diverse provenienze a seconda che derivi direttamente dalla CO_2 o da ulteriori reazioni metaboliche di ossidazione. La CO_2 atmosferica, come detto, all'interno della foglia viene equilibrata rapidamente con l'acqua, tramite l'anidra carbonica, e l'ossigeno viene interamente scambiato. Pertanto, quest'ossigeno deriva quasi esclusivamente dall'acqua fogliare, fissando l'arricchimento traspirativo in ^{18}O .

La Figura 7 mostra la relazione tra i valori di $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ misurate nelle cariossidi di frumento originate in questo lungo periodo. E' evidente come esista una correlazione tra la varianza nella composizione isotopica del carbonio e quella dell'ossigeno. Questi risultati, farebbero supporre che le variazioni osservate sono prevalentemente attribuibili a regolazioni stomatiche, solo con una componente minore dovuta a variazioni di capacità fotosintetica (Barbour et al., 2002; Scheidegger et al., 2000). Infatti, un aumento di conduttanza stomatica, preponderante rispetto a variazioni di capacità fotosintetica, provocherebbe l'osservato arricchimento progressivo in ^{18}O dell'acqua fogliare a causa dell'aumento di traspirazione e del maggiore effetto isotopico associato (Farquhar et al., 1998). Questa variazione di segnale isotopico dell'acqua sarebbe poi trasferito alla sostanza secca mediante lo scambio di ossigeno tra CO_2 e acqua, ad opera dell'anidra carbonica.

Anche se questi risultati dovranno essere approfonditi con ulteriori studi, aprono importanti prospettive nello studio del cambiamento globale in atto e nello studio dei passati cambiamenti climatici, attribuiti alle attività umane.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il presente lavoro di ricerca ha messo in evidenza come, mediante lo studio degli isotopi stabili, sia possibile comprendere gli effetti dei cambiamenti climatici sulle piante. In particolare, gli isotopi del carbonio e dell'ossigeno consentono di prevedere la tolleranza a siccità di genotipi e specie coltivate. Inoltre, mediante approcci isotopici è possibile separare il materiale in base alla provenienza geografica e in base alle caratteristiche di aridità del sito di produzione. Pur con variazioni molto marcate d'aridità tra i siti, i genotipi sono risultati classificabili sulla base della discriminazione isotopica del carbonio e dell'ossigeno.

E' evidente come questi risultati aprano rilevanti prospettive applicative nel campo dei cambiamenti climatici e nella lotta alla siccità e alla desertificazione. Questi risultati e queste

applicazioni necessitano di essere approfonditi in studi successivi, ove le analisi isotopiche possano essere estese ad altre specie e in condizioni di pieno campo, parallelamente a studi mirati ad interpretare le composizioni isotopiche di piante e metaboliti. La disponibilità di nuove apparecchiature che uniscono la cromatografia, gassosa e liquida, all'analisi degli isotopi stabili (GC-IRMS e LC-IRMS), oltre all'estensione d'uso della pirolisi, aprono nuove prospettive di studio e applicazioni nel settore del cambiamento globale. Inoltre, la possibilità di applicazione delle analisi degli isotopi dell'idrogeno-deuterio alla biomassa vegetale oltre che all'acqua rende possibili nuove applicazioni nel settore dei cambiamenti climatici. Questo Istituto ha acquistato all'inizio del 2006 una nuova strumentazione che consente di estendere l'analisi di $\delta^{18}\text{O}$ e di deuterio sia ai campioni liquidi che vegetali in maniera molto più rapida. Inoltre è stata acquisita uno spettrometro di massa in linea con un cromatografo liquido che consentirà l'analisi dei carboidrati, e altri prodotti metabolici nelle piante e delle risposte di queste ai cambiamenti climatici.

BIBLIOGRAFIA

- Barbour M.M., Fischer R.A., Sayre K.D., Farquhar G.D., 2000. Oxygen isotope ratio of leaf and grain material correlates with stomatal conductance and grain yield in irrigated wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 27: 625-637
- Brugnoli & Farquhar, 2000. Photosynthetic fractionation of carbon isotopes, in *Photosynthesis: Physiology and Metabolism*, R.C. Leegood, T.D. Sharkey, S. von Caemmerer (eds.) Kluwer Academic Publ., pp399-434.
- Brugnoli E., Hubick K.T., von Caemmerer S., Wong S.C., Farquhar G.D. 1988. Correlation between carbon isotope discrimination in leaf starch and sugars of C_3 plants and the ratio of intercellular and atmospheric partial pressures of carbon dioxide. *Plant Physiol.* 88: 1418-1424.
- Condon A.G., Richards R.A., Rebetzke G.J., Farquhar G.D., 2002. Improving intrinsic water use efficiency and crop yield, *Crop Science* 42: 122-131.
- Di Orazio F., Scartazza A., Gratani L., Brugnoli E. 2004. Impatto del cambiamento climatico sui sistemi agricoli: ricerca di indicatori di tolleranza alla siccità. Progetto di Ricerca CLIMAGRI, Collana Climagri n. 23, UCEA, Roma
- Farquhar G.D., O'Leary M.H., Berry J.A. 1982. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves, *Aust. J. Plant Phys.* 9:121-137.
- Farquhar, G.D., Ehleringer J.R., Hubick K.T. 1989. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiol Plant Mol. Biol.* 40: 503-537
- Farquhar G.D., Marbour M.M., Henry B.K.. 1998. Interpretation of oxygen isotope composition of leaf material, in *Stable Isotopes*, H Griffiths (Ed.), BIOS Scientific Publishers, Oxford, pp.27-62.
- Friedli H., Lotscher H., Oeschger H., Siegenthaler U., Stauffer B. 1986. Ice core recorded of the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio atmospheric CO_2 in the past two centuries, *Nature* 324: 237-238
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2001. *Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the third assessment report of the IPCC.* Eds. Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A.. Cambridge University Press.
- O'Leary M.H. 1993. Biochemical basis of carbon isotope discrimination. In Ehleringer JR, Hall AE, Farquhar GD (Eds) *Stable Isotopes and Plant Carbon-Water relations*, pp. 19-28, Academic Press, San Diego
- Scheidegger Y., Saurer M., Bahren M., Siegwolf R. 2000. Linking stable oxygen and carbon isotopes with stomatal conductance and photosynthetic capacity: a conceptual model. *Oecologia* 125: 350-357

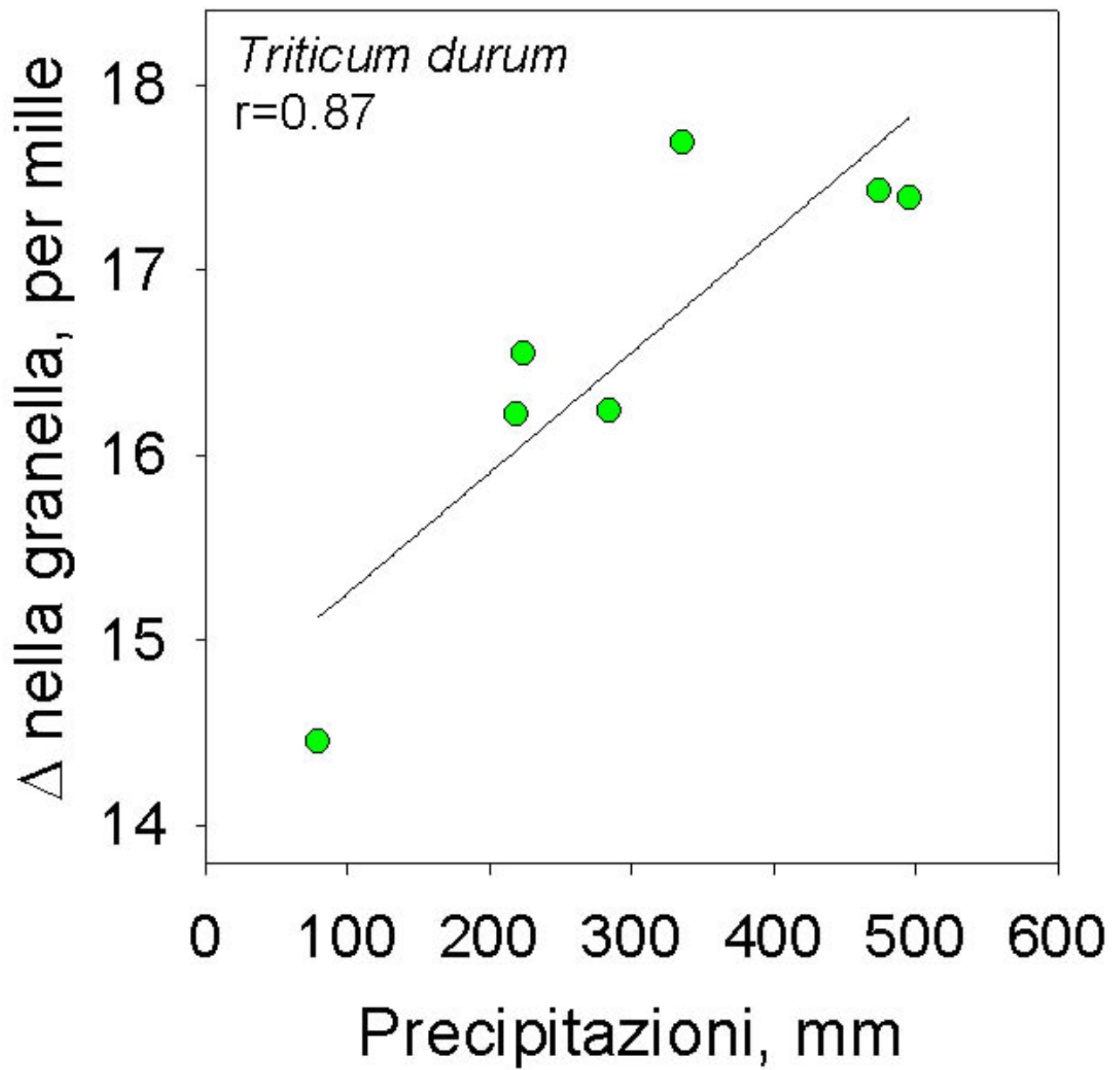


Figura 1. Relazione tra discriminazione isotopica (Δ) misurata nella granella e precipitazioni cumulate durante il ciclo colturale in frumento duro.

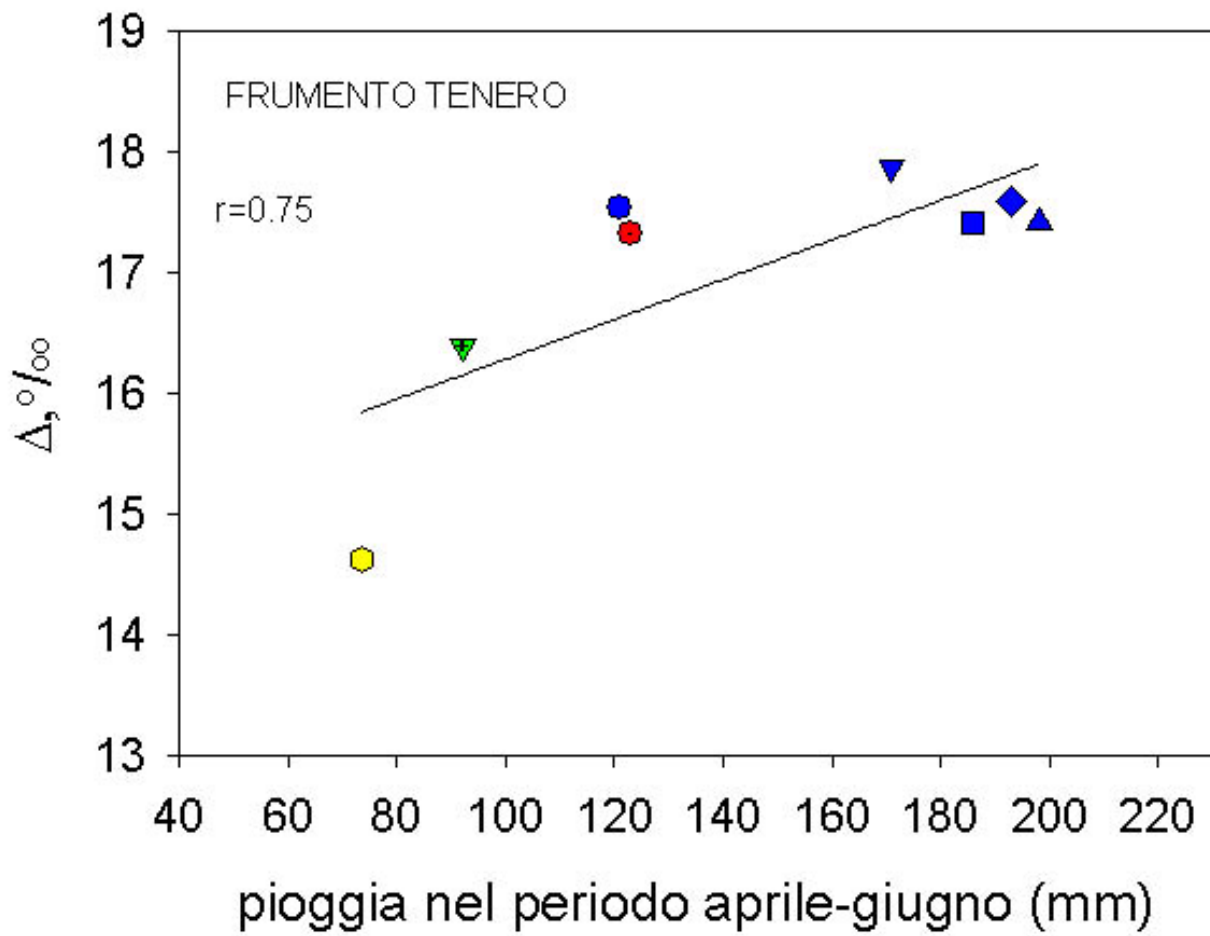


Figura 2. Relazione tra discriminazione isotopica (Δ) misurata nella granella e precipitazioni cumulate durante il periodo aprile-giugno, che rappresentava il periodo che maggiormente influenza la composizione isotopica delle cariossidi.

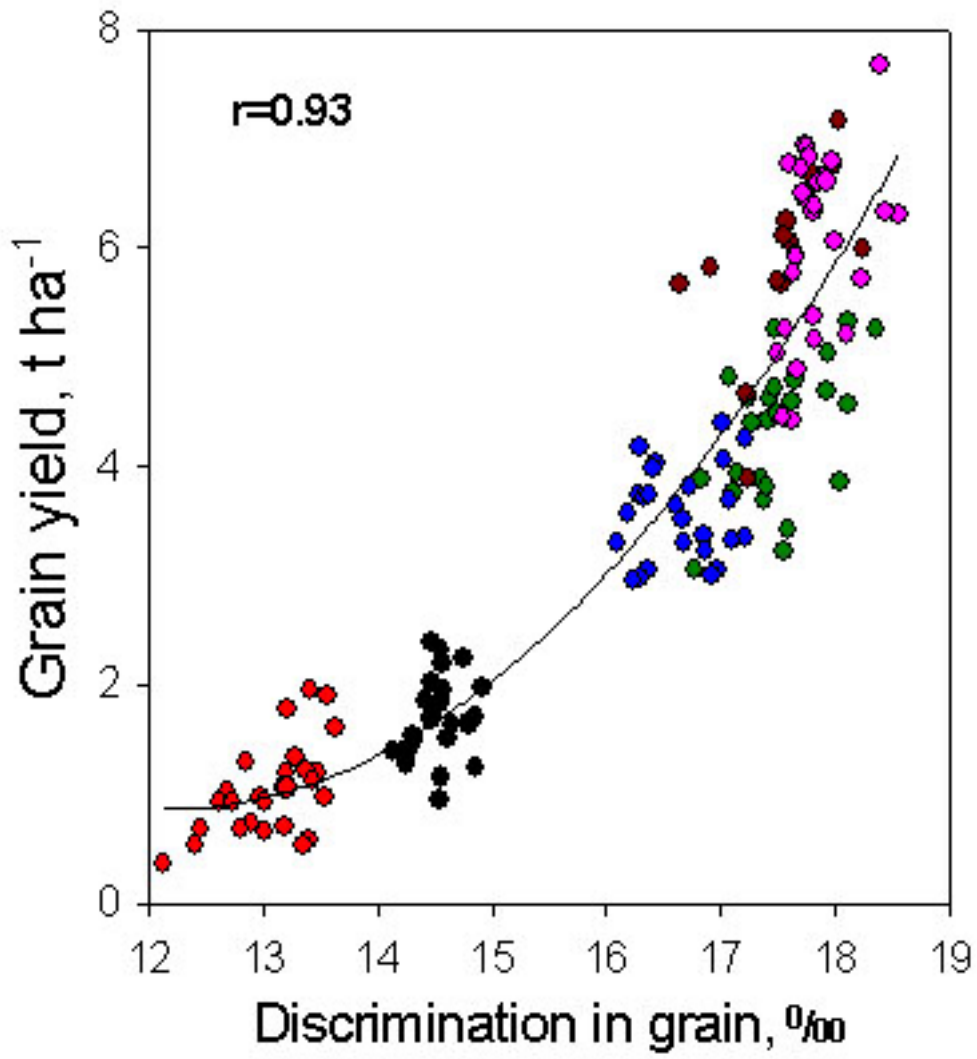


Figura 3. Relazione tra discriminazione isotopica e produttività in frumento duro analizzando diverse annate e diversi siti geografici.

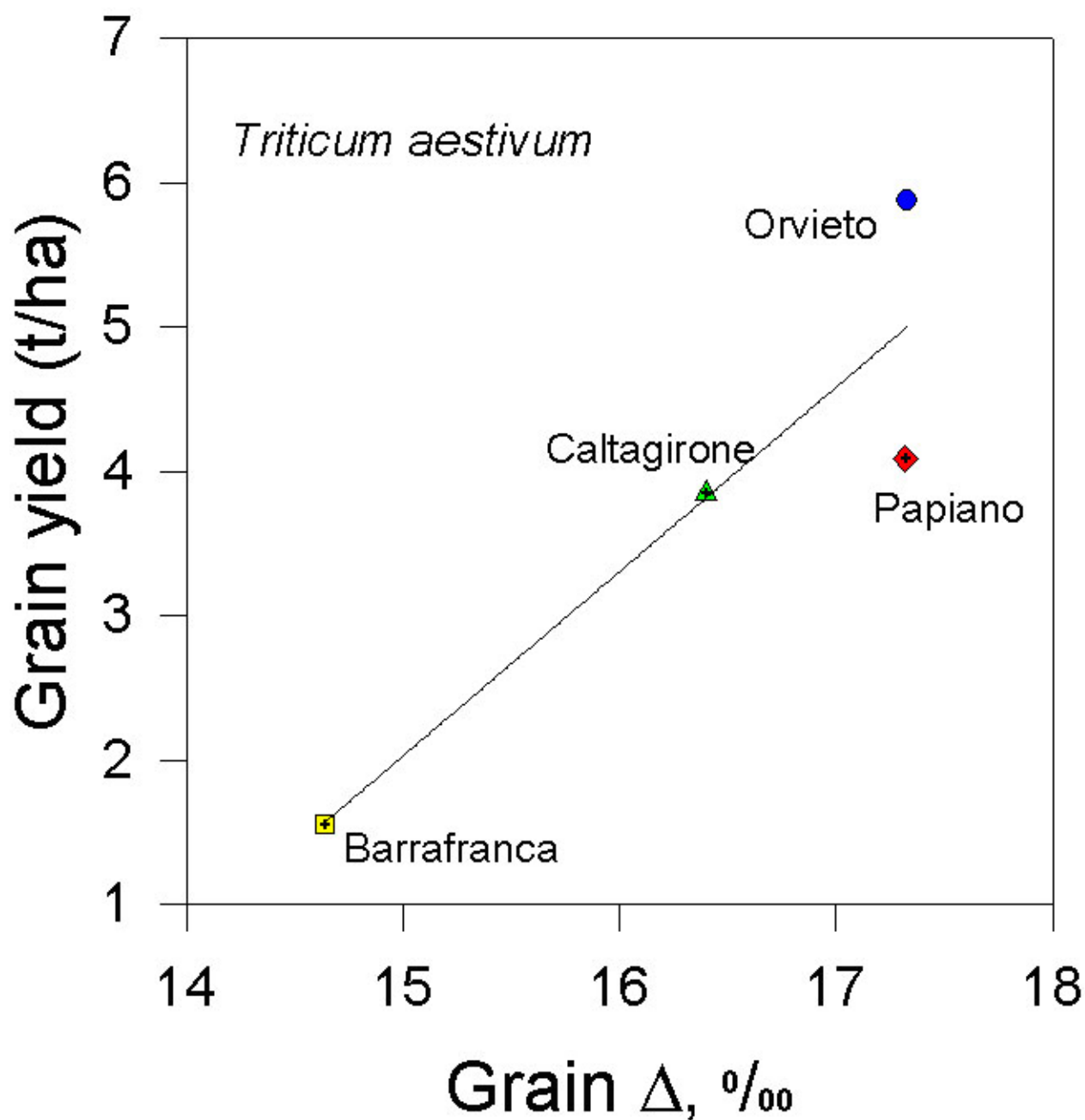


Figura 4. Relazione tra discriminazione isotopica nella granella e produttività analizzata nelle varietà comuni di frumento tenero presenti nelle prove sperimentali (siti di Barrafranca, Caltagirone, Papiano e Orvieto) e nei diversi anni di prova.

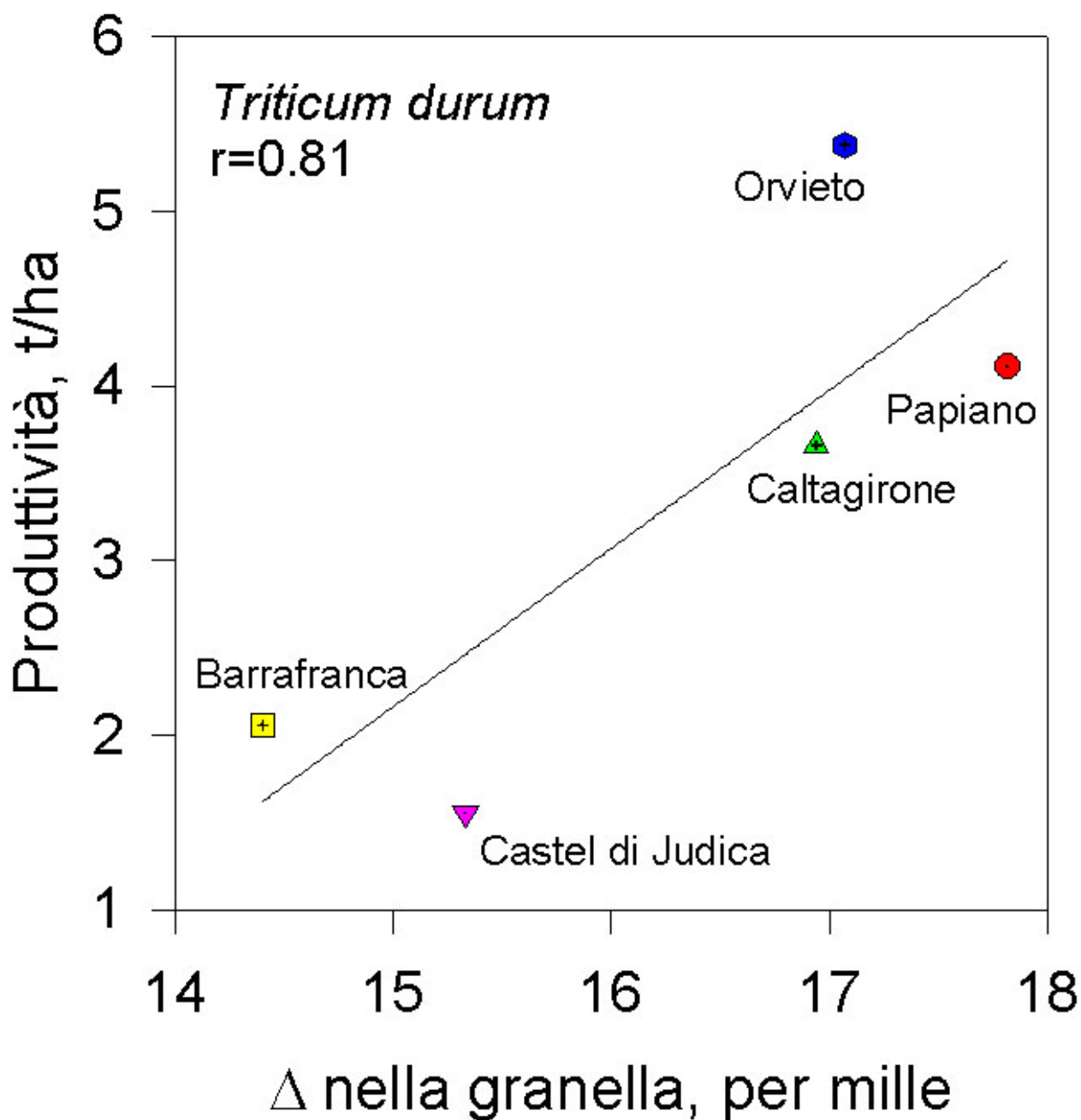


Figura 5. Relazione tra discriminazione isotopica nella granella e produttività analizzata nelle varietà comuni di frumento duro presenti nelle diverse prove sperimentali (siti di Barrafranca, Caltagirone, Castel di Judica, Papiano e Orvieto) e nei diversi anni di prova.

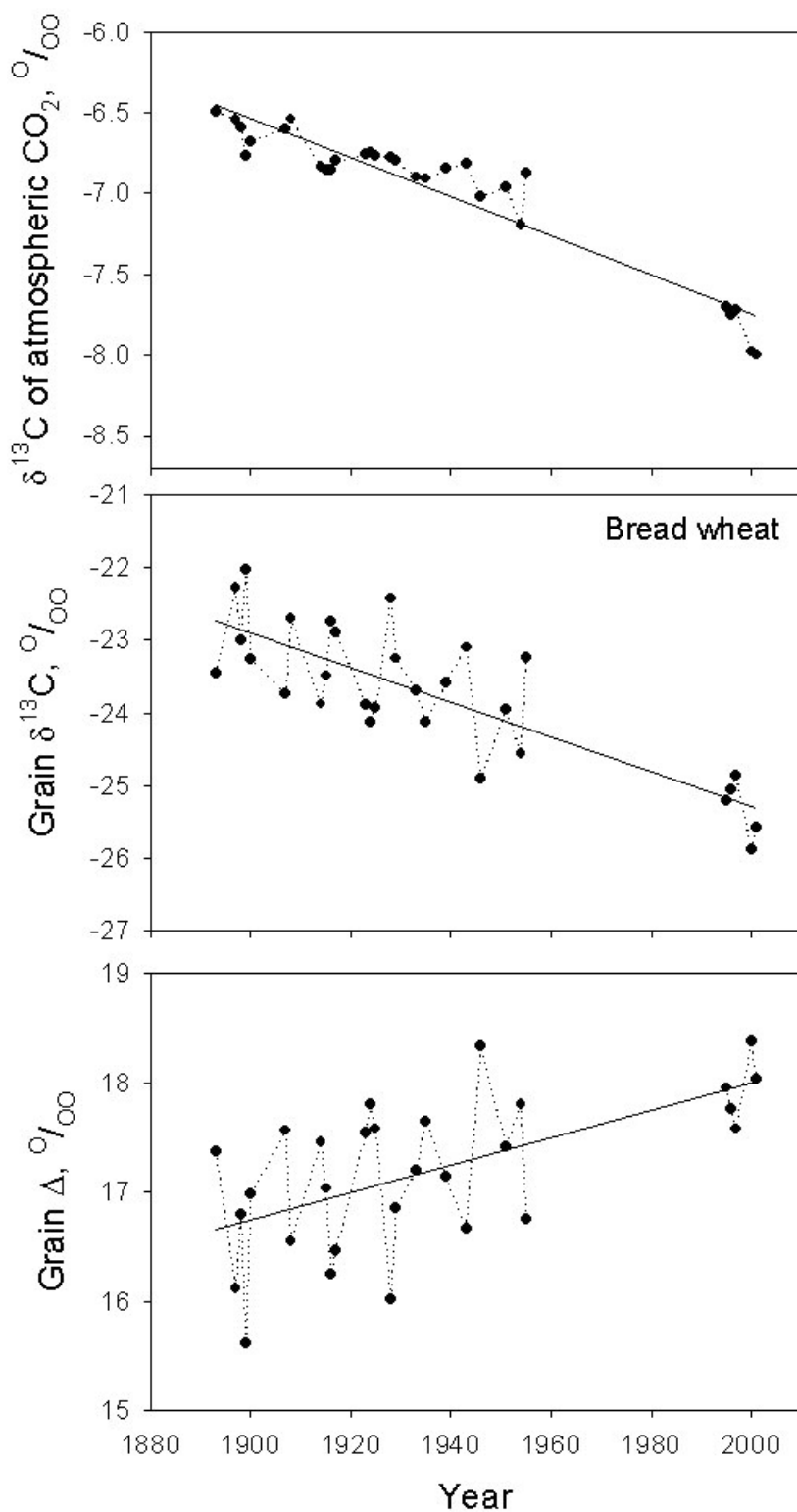


Figura 6. Variazione nella composizione isotopica della CO_2 atmosferica (grafico in alto), nella composizione isotopica nelle cariossidi di frumento tenero conservato in erbario (grafico centrale) e variazione di discriminazione isotopica (Δ) misurata nelle cariossidi (grafico in basso) raccolte durante il periodo 1898 fino al presente.

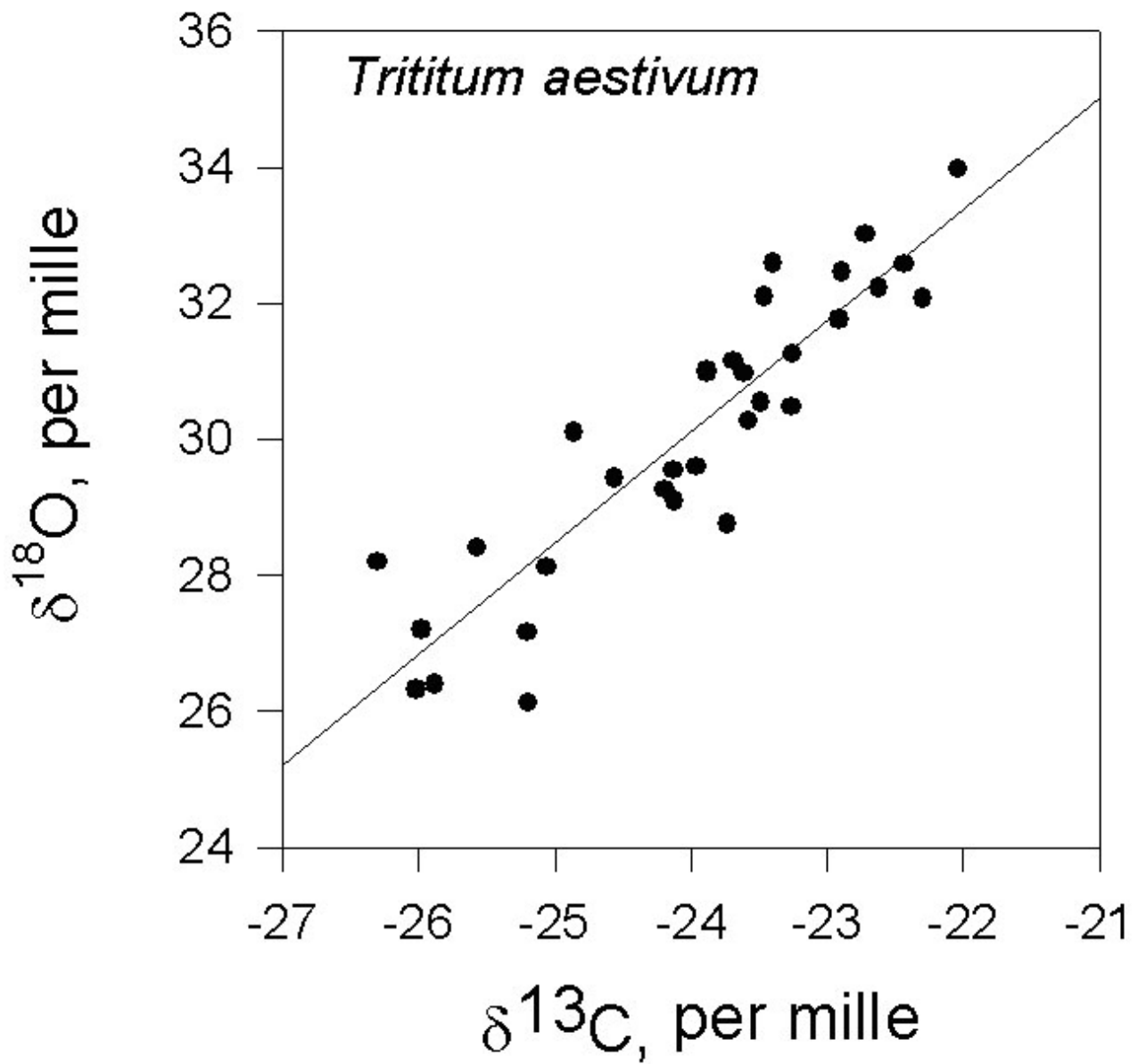


Figura 7. Correlazione tra i valori di composizione isotopica $\delta^{13}\text{C}$ del carbonio e $\delta^{18}\text{O}$ dell'ossigeno misurati in cariossidi di frumento tenero conservato in erbario e raccolte durante il periodo 1898 fino al presente.