



Titolo: ADAttamento della viticoltura al cambio climatico: studio del contributo dell'irrigazione Multifunzionale

Acronimo: ADAM

Durata del progetto: 36 mesi

1. ANALISI DEI FABBISOGNI E STATO DELLE CONOSCENZE

1.1 Analisi della realtà produttiva del settore di riferimento

Il settore di riferimento per il progetto ADAM è quello vitivinicolo.

La produzione di vino in Lombardia ha toccato nel 2016 quota 1.47 milioni di ettolitri, +4% sul 2015 e +16% sulla media del decennio precedente. I vini bianchi sono in crescita marcata, +22% nel 2016 per un equivalente di 758.000 ettolitri (+30% sulla media storica), mentre i vini rossi calano del 10% a 715.000 ettolitri (3% sopra media). Pertanto, il 2016 ha anche sancito lo storico sorpasso della produzione di vini bianchi rispetto ai rossi. I vini DOC sono praticamente stabili rispetto al 2015, a 781.000 ettolitri, mentre gli IGT crescono del 16% a 535.000 ettolitri toccando il 36% della produzione totale. I vini da tavola, -3% a 157.000 ettolitri sono inferiori di un 30% alla media storica e ormai non rappresentano che l'11% del totale. Dunque, è netto lo spostamento verso vini di maggiore qualità e remunerazione.

La forte vocazione territoriale della filiera vitivinicola lombarda, evidenziata appunto dalla prevalenza (90% ca.) della produzione di vini di origine (DOC e IGT), fa sì che la garanzia di ottenere materia prima, ovvero uve, in quantità e qualità adeguate e con continuità negli anni, riducendo l'aleatorietà legata agli effetti della variabilità dei fenomeni meteorologici, assuma un'importanza fondamentale al fine di rafforzare le imprese del settore e proseguire nel trend di sviluppo delle produzioni e dei ritorni economici ed occupazionali. Si deve tenere presente, infatti, che i disciplinari di produzione per i vini di origine escludono la possibilità di surrogare o migliorare la materia prima locale con uve e/o vini base eventualmente acquisiti da altre zone produttive, anche qualora eventi meteorologici avversi dovessero ridurre le rese o peggiorare la qualità della produzione della zona d'origine.

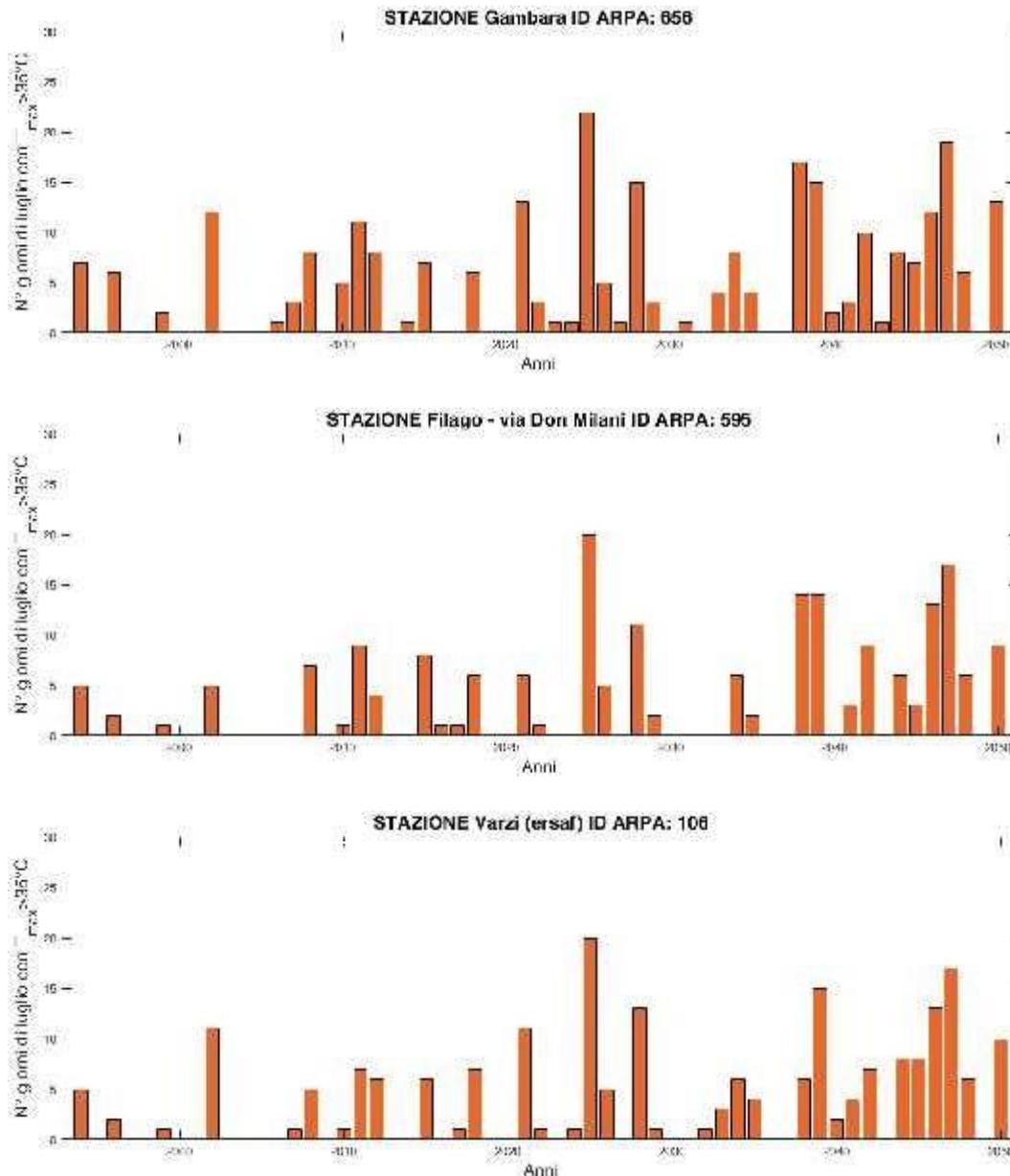
1.2 Il fabbisogno emergente

In questo quadro generale è del tutto evidente come le tecniche colturali del vigneto debbano essere indirizzate alla produzione di uve di elevate qualità, che garantiscano al contempo un'adeguata produttività. Gli stress estivi, conseguenti alle frequenti ondate di calore (giorni con temperature massime diurne e minime notturne particolarmente elevate) in fase di maturazione dell'uva, insieme alle gelate tardive primaverili, rappresentano insidie costanti per la produttività dei vigneti lombardi e la qualità delle uve. Le uve destinate alla produzione di vini spumanti e dei vini bianchi di pronta beva sono particolarmente sensibili a questi fenomeni, che tuttavia toccano in modo significativo anche le uve destinate alla produzione di vini rossi, seppure con minore intensità. Con riferimento alle gelate primaverili ricordiamo l'evento più recente, ossia la vasta gelata della notte tra il 19 e il 20 'aprile 2017 che ha ridotto di un terzo la produzione di uva della nostra Regione. In relazione invece alle ondate di calore è da citare l'estate 2012 durante la quale ben sette ondate di calore provocarono un forte anticipo della vendemmia e una riduzione della produzione di vini per basi spumante in Franciacorta e Oltrepò pavese del 20% circa.

Allo stesso tempo nei disciplinari delle DOC e DOCG italiane è stata introdotta la possibilità di utilizzare l'irrigazione di soccorso dei vigneti. L'introduzione di questo fondamentale fattore produttivo per l'agricoltura apre importanti scenari nell'ambito di una gestione innovativa dell'irrigazione finalizzata a contrastare i problemi emergenti a causa dell'intensificarsi dei fenomeni meteorologici citati, indotti dai cambiamenti climatici. Si tratta, infatti, di una tendenza già piuttosto evidente negli ultimi anni e che appare destinata a proseguire, sulla base di quanto emerge dall'analisi degli scenari più recenti e autorevoli, forniti dagli studi dell'International Panel for Climate Change (IPCC). Il Quinto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (2013) ha infatti identificato quattro possibili scenari climatici futuri, noti come RCP (Representative Concentration Pathways), basati su diverse ipotesi relative alle forzanti antropogeniche e quindi su diversi andamenti della concentrazione di gas serra in atmosfera. L' RCP 4.5, ad esempio, è uno scenario intermedio in cui si prevede la stabilizzazione del forzante radiativo a 4.5 W/m² a fine secolo, corrispondente a una concentrazione di gas serra ~650 ppmCO₂e_q (Van Vuuren et al., 2011). La figura seguente mostra



il possibile andamento del numero di giorni con temperatura massima superiore a 35°C nel mese di luglio dal 1993 fino al 2100 in corrispondenza di due stazioni meteorologiche della pianura settentrionale (Gambara e Filago) e di una dell'appennino pavese (Varzi). I valori sono stati ottenuti elaborando alcune delle proiezioni fornite dal progetto EURO CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment - Domain) attraverso una procedura statistica di downscaling (IPCC, 2015; Rätty et al., 2014) che permette di renderle più aderenti alle condizioni locali. Il valore soglia di 35°C è stato scelto in quanto la maturazione dell'uva subisce una forte inibizione per temperature superiori (Pallotti et al., 2014) ed è quindi indicativo delle ondate di calore.



Andamento del numero di giorni con $T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ nei mesi di luglio dal 1993 al 2100 a Gambara (47 m slm), Filago (190 m slm) e Varzi (500m slm) – elaborazioni da proiezioni EURO CORDEX per scenario RCP 4.5 (IPCC), modello globale EC-EARTH (Irish Centre for High-End Computing) e modello regionale RCA4 (Istituto Meteorologico e Idrologico Svedese)

Gli andamenti in figura mostrano un'evidente tendenza all'incremento dei giorni con temperature particolarmente elevate in luglio già a partire dai prossimi decenni ed in modo ancor più accentuato nella seconda metà del secolo. Andamenti analoghi si riscontrano anche per il mese di agosto in tutte le stazioni, seppure con valori del numero di giorni di superamento della soglia inferiori. Le aree viticole lombarde si trovano quindi in un contesto di previsto incremento della frequenza e intensità delle ondate di calore e, di conseguenza, è fondamentale anticipare la messa a punto di strategie di riduzione dei rischi che ne conseguono. La possibilità di introdurre tecniche e modalità



di gestione innovative nell'irrigazione dei vigneti rappresenta indubbiamente una risposta tecnica con grandi potenzialità. Si tratta, in sostanza, di utilizzare tecniche di irrigazione di precisione che consentano un controllo mirato dello stato dell'acqua nel suolo, mantenendolo nelle condizioni più adeguate per facilitare la pianta nella messa in atto dei processi fisiologici che consentono di contrastare in modo efficace lo stress termico. Accanto al controllo dell'acqua nel suolo, è possibile, inoltre, intervenire, sempre attraverso opportune tecniche di irrigazione, sul controllo del contenuto di umidità dell'aria nella fascia occupata dalla vegetazione, in modo da incrementarlo in occasione delle ondate di calore e favorire così l'assorbimento di calore per evaporazione, inducendo una riduzione locale della temperatura. Grazie ad un'opportuna gestione delle stesse tecniche irrigue è altresì possibile ottenere un miglioramento quantitativo e qualitativo delle produzioni, dal momento che è noto che la coltura trae beneficio dal mantenimento di specifiche condizioni di potenziale idrico nel suolo, in particolare in alcune fasi fenologiche, come ad esempio nella fase post-invaiaitura per non limitare il processo fotosintetico e quindi l'accumulo zuccherino, senza al contempo forzare una crescita delle bacche eccessiva (Acevedo-Opazo et al., 2010).

Il progetto mira quindi a soddisfare il fabbisogno emergente di protezione del vigneto dalle ondate di calore attraverso la sperimentazione e divulgazione di tecniche irrigue e pratiche di gestione che hanno un carattere di multifunzionalità, ovvero sono in grado di combinare le tradizionali funzioni di difesa dallo stress idrico con quelle di salvaguardia dallo stress termico. L'introduzione dell'irrigazione multifunzionale richiede evidentemente un adeguato supporto di sperimentazione e ricerca scientifica per l'individuazione dei metodi irrigui e dei relativi protocolli di gestione che consentano il raggiungimento dei profili di maturazione dell'uva della qualità attesa, minimizzando al contempo i consumi idrici ed energetici.

In definitiva, ADAM intende rappresentare il punto di sintesi tra tre ordini di fattori: *i*) le recenti tendenze evolutive del comparto vitivinicolo lombardo, *ii*) gli effetti locali del cambiamento climatico globale e *iii*) l'innovazione nelle pratiche irrigue e nelle tecnologie per il monitoraggio del sistema suolo-coltura.

1.3 Descrizione delle conoscenze

La **maturazione dell'uva** è un processo fisiologico complesso che coinvolge il metabolismo primario e quello secondario. Il processo fotosintetico e di traslocazione degli zuccheri dall'apparato fogliare ai frutti è senza dubbio l'aspetto quantitativamente dominante. Si tratta di un processo fortemente dipendente dalle condizioni termiche ambientali e dallo stato idrico della pianta. Pur avendo un optimum termico relativamente elevato (25-30°C), esso subisce una forte inibizione quando le temperature ambientali salgono oltre i 35°C (Palliotti et al., 2014). Peraltro, nelle condizioni climatiche lombarde è più frequente che gli eccessi termici estivi abbiano conseguenze negative sul metabolismo della bacca piuttosto che su quello più generale della pianta (Mariani et al., 2012).

Il decorso della maturazione è associato ad una progressiva riduzione dell'acidità titolabile del succo d'uva (il futuro mosto) in seguito alla ossidazione dell'acido malico e alla diluizione dell'acido tartarico per effetto del continuo accumulo di acqua e zucchero nella polpa della bacca. Il processo di ossidazione dell'acido malico è fortemente dipendente dalla temperatura e decorsi meteorologici caratterizzati da eccessi termici durante la maturazione dell'uva possono ridurre eccessivamente il contenuto di acido malico nei mosti con grave nocimento della qualità enologica dell'uva, specie per la produzione di basi spumante e di vini bianchi destinati alla pronta beva.

Le elevate temperature in maturazione (> 35°C) inducono inoltre una serie di fenomeni negativi per la qualità enologica dell'uva quali: ossidazione degli aromi varietali (terpeni, norisoprenoidi) e dei loro precursori, ossidazione degli antociani (responsabili della colorazione rossa del vino), nonché più in generale uno sfasamento negativo tra la cosiddetta maturità tecnologica (rapporto zuccheri/acidi), con la maturità aromatica, fenolica e cellulare dell'uva (Rustioni et al., 2011a; Rustioni et al., 2011b, Zarrouk et al., 2016), fondamentali non solo per raggiungere la piena espressione varietale del vino ma anche importante perché consente di realizzare il processo di vinificazione senza fare ricorso, o facendo comunque un ricorso limitato, a pratiche correttive. Queste coprono uno spettro piuttosto vasto, che va dall'acidificazione, all'impegno di coadiuvanti enzimatici e di additivi diversi, fino alla de-alcolizzazione. Si tratta, in ogni caso, di pratiche enologiche assolutamente lecite e senza impatto sulla salute del consumatore, che tuttavia rappresentano un costo aggiuntivo al processo di vinificazione e limitano il potenziale di promozione commerciale del prodotto.



Oltre agli eccessi termici, la disponibilità o meno di acqua nel suolo ha evidentemente una forte influenza sullo sviluppo del vigneto. Infatti, se leggeri deficit idrici non riducono la capacità fotosintetica della vite, stress idrici intensi limitano fortemente il processo. Condizioni di forte deficit idrico andrebbero sempre evitate, soprattutto nella fase di maturazione quando sono particolarmente negative per la fisiologia della maturazione dell'uva. D'altra parte, invece, stress moderati non solo sono tollerabili dal vigneto, ma se presenti in particolari momenti del ciclo fenologico favoriscono un bilanciamento ottimale nel tra crescita vegetativa della pianta e maturazione dell'uva (Kuhn et al, 2014). Ciò perché nei diversi stadi fenologici cambia la suscettibilità della vite al deficit idrico, ma anche la risposta a disponibilità d'acqua elevate.

Al germogliamento e all'inizio della crescita dei germogli, la richiesta evaporativa dell'atmosfera è in genere ridotta, così come non è ampia la superficie fogliare delle viti; peraltro in questo periodo può invece essere elevato il consumo di acqua da parte dell'eventuale coltura di copertura (inerbimento temporaneo o permanente). Il periodo successivo, che comprende il periodo di crescita dei germogli, la fioritura, l'allegagione e la prima crescita delle bacche, è senz'altro quello più delicato dal punto di vista del controllo del potenziale idrico nel suolo del vigneto. La richiesta evaporativa dell'atmosfera è elevata, la superficie traspirante del vigneto raggiunge i valori massimi della stagione, la piovosità è generalmente bassa e spesso insufficiente a coprire le necessità idriche della pianta. In questa fase è anche importante l'assorbimento di nutrienti minerali, azoto e potassio in particolare, che in condizioni di deficit idrico significativo può essere compromesso. Nei suoli con bassa capacità di ritenzione idrica la probabilità di deficit idrici diviene elevata.

Nella successiva fase, che va dalla fine della crescita dei germogli alla invaiatura è bene che la pianta subisca un leggero deficit idrico, per favorire la transizione dalla fase vegetativa a quella di accumulo, che si manifesta nell'inizio della maturazione del legno (agostamento) e dell'uva (invaiaura). Nel corso della maturazione dell'uva si deve ancor di più favorire l'instaurarsi di deficit idrici progressivamente più intensi, ma comunque mai limitanti per la fisiologia della fotosintesi e della maturazione dell'uva. Ciò facilita la buona maturazione dell'uva senza che la produttività del vigneto ne risenta. Anzi qualora per decorsi meteorologici piovosi o per eccessive irrigazioni, il terreno permanga a lungo ben dotato d'acqua, la possibilità di peggiorare la qualità dell'uva sono elevate. Dopo la vendemmia, specie dei vitigni più precoci può essere necessario proseguire con l'irrigazione al fine di favorire un buon accumulo di sostanze di riserva.

Per quanto riguarda i rapporti tra acqua nel suolo e coltura, quindi, le conoscenze disponibili concordano sull'importanza di operare un controllo adattivo del potenziale idrico, in grado di adeguare in continuo il valore del potenziale stesso al progredire delle fasi fenologiche e al variare delle condizioni meteorologiche. Al fine di gestire razionalmente l'irrigazione è dunque necessario decidere l'opportunità dell'intervento irriguo in relazione al reale stato di idratazione del terreno, alla fase fenologica in cui si trova la vite, al decorso meteorologico effettivo e atteso. In base al momento del ciclo vegeto-produttivo del vigneto e all'ambiente di coltivazione cambiano i criteri per decidere l'opportunità dell'intervento irriguo, ovvero la soglia critica del potenziale idrico nel suolo raggiunta la quale è opportuno intervenire. Cambia anche la soglia di potenziale a cui deve essere portata l'acqua presente nel suolo al termine dell'intervento irriguo. Si tratta di temi già oggetto di numerosi studi e per cui si dispone di pratiche irrigue sperimentate e consolidate, soprattutto in alcuni contesti territoriali, che nel complesso si collocano nell'ambito della cosiddetta irrigazione a deficit idrico controllato (Regulated Deficit Irrigation - RDI) (Chaves et al., 2010).

Più recente e ancora ampiamente oggetto di studio è la ricerca di soluzioni impiantistiche e di gestione dell'irrigazione che affianchino all'obiettivo di evitare dannosi stress colturali provocati da deficit idrici eccessivi, quello di mitigare stress termici indotti da temperature particolarmente elevate che possano produrre effetti negativi sulla maturazione dell'uva. I meccanismi secondo cui l'irrigazione può intervenire in questo senso sono essenzialmente due. Il primo, più ovvio, è legato alla possibilità di utilizzare micro-irrigatori sotto-chioma per incrementare il contenuto di umidità dell'aria nella fascia occupata dalla vegetazione in occasione delle ondate di calore, favorendo così un incremento del tasso di evaporazione (McCarthy, 2016; Caravia et al., 2017). Il calore estratto dall'aria per consentire il passaggio di stato dell'acqua in essa presente determina una riduzione locale della temperatura, con una mitigazione diretta dell'ondata di calore. Si tratta di una pratica analoga alla più diffusa e consolidata irrigazione antigelo, dove, specularmente, la solidificazione dell'acqua comporta una cessione di calore all'aria e ne provoca un aumento di temperatura. In



effetti lo stesso impianto, se adeguatamente progettato e realizzato, può prestarsi alle due funzioni anti-calura e anti-gelo.

Il secondo meccanismo, meno ovvio e non ancora scientificamente consolidato, è legato al ruolo che può svolgere il mantenimento di condizioni di potenziale idrico elevato durante le ondate di calore. In sostanza, somministrando un intervento irriguo notturno ogni volta che le previsioni di temperatura indicano il superamento di un determinato valore soglia (tipicamente, massime superiori a 35°C circa) si assicurano condizioni di facile accesso all'acqua per la coltura, che può così più facilmente mettere in atto i processi fisiologici di difesa dallo stress termico. Il principale vantaggio di questo meccanismo rispetto al precedente risiede nella possibilità di innescarlo utilizzando gli impianti di irrigazione a goccia, con manichette superficiali o interrate, più diffusi ed efficaci per il controllo del deficit idrico, senza dover prevedere ulteriori linee di erogatori dedicati. Tuttavia, le evidenze dell'efficacia di questa particolare gestione irrigua sono ancora molto limitate e relative a contesti territoriali diversi da quello lombardo (McCarthy, 2016).

L'importanza delle ricerche su queste tematiche è quindi considerevole e il loro sviluppo beneficia dei perfezionamenti e delle innovazioni nelle tecnologie per il monitoraggio delle condizioni dell'acqua nel suolo e dello stato della vegetazione e del continuo miglioramento dell'accuratezza delle previsioni meteorologiche. È evidente infatti che l'implementazione di sistemi di irrigazione multifunzionale comporta la necessità di disporre di misure in continuo delle condizioni dell'acqua presente nel suolo (potenziale idrico, principalmente), oltre che delle temperature locali dell'aria nello strato occupato dalla vegetazione, sulla base delle quali attivare in modo automatico l'intervento irriguo, attraverso sistemi di trasmissione dati senza fili ed elettrovalvole regolate da appositi attuatori. Tra le due grandezze (temperatura dell'aria e potenziale idrico nel suolo) è certamente più problematica la misura della seconda. Per la temperatura di dispone infatti di dispositivi di misura accurati e a basso costo, oltre a trovarsi in presenza di una grandezza la cui variabilità spaziale a scala di vigneto è relativamente modesta. Diverso è il discorso per il potenziale idrico del suolo, sia per la maggiore variabilità spaziale conseguente alle disomogeneità a piccola scala delle caratteristiche del suolo, sia per la maggiore difficoltà della misura e la minore accuratezza degli strumenti disponibili. Alcuni progressi recenti in questo campo, tuttavia, consentono di realizzare schemi sperimentali efficaci per le finalità di ricerca, con prospettive positive di trasferibilità alla gestione ordinaria nell'ambito della viticoltura lombarda in tempi molto brevi.

Prospettive che sono ulteriormente ampliate dalle evoluzioni in corso nell'ambito del monitoraggio dello stato della vegetazione e, in particolare, di una delle grandezze fondamentali che caratterizzano la presenza di stress idrico nella pianta: il potenziale idrico fogliare. La possibilità di misurarlo in modo frequente e diffuso, in diversi punti del vigneto, è molto onerosa e difficoltosa da attuare con le metodiche di misura tradizionali, basate sull'utilizzo di strumenti (tipicamente, la camera di Scholander) di utilizzo piuttosto laborioso (Scholander et al., 1965; Jones, 2007; Kursar et al., 2009; Mencuccini et al., 2000). Alla luce dei vantaggi che disporre rapidamente di informazioni di questo tipo può invece fornire per meglio gestire le diverse fasi colturali, è in atto negli ultimi anni un sostanziale cambiamento nelle metodologie di misura, sostituendo o affiancando alle tecniche classiche di indagine nuove metodiche basate prevalentemente su approcci fisici di rapida esecuzione, di limitata invasività, dall'elevata sostenibilità ambientale (Giovenzana et al., 2018b; De Bei et al., 2011; Santos and Kaye, 2009). Fra le diverse tecniche disponibili, la spettroscopia vis/NIR si è affermata nel settore agro-alimentare come valido strumento di analisi (Giovenzana et al., 2018a; Beghi et al., 2017; Guidetti et al., 2010; Magwaza et al., 2012). In particolare, la ricerca si è concentrata negli ultimi anni su studi di fattibilità e simulazioni di sistemi semplificati di ridotte dimensioni basati sull'analisi dell'informazione contenuta negli spettri vis/NIR dei campioni (Zhang et al., 2012; Giovenzana et al., 2014). Questi studi risultano propedeutici alla progettazione di dispositivi di misura dedicati a singole tipologie di prodotto (Giovenzana et al., 2015), di dimensioni ridotte e dal costo contenuto che, in prospettiva, potranno integrare i sensori di temperatura dell'aria e potenziale idrico nel suolo ai fini del controllo degli interventi irrigui.

1.4 Bibliografia

- Acevedo-Opazo C., S. Ortega-Farias, S. Fuentes, 2012 Effects of grapevine (*Vitis vinifera* L.) water status on water consumption, vegetative growth and grape quality: An irrigation



scheduling application to achieve regulated deficit irrigation, *Agricultural Water Management*, 97, 7: 956-964

- Beghi, R., Giovenzana, V., Brancadoro, L., & Guidetti, R. (2017). Rapid evaluation of grape phytosanitary status directly at the check point station entering the winery by using visible/near infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, 204, 46-54.
- De Bei R, Cozzolino D, Sullivan W, Cynkar W, Fuentes S, Dambergers R et al., (2011). Non-destructive measurement of grapevine water potential using near infrared spectroscopy. *Aust J Grape Wine Res* 17:62–71.
- Caravia L., V. Pagay C. Collins S.D. Tyerman 2017 Application of sprinkler cooling within the bunch zone during ripening of Cabernet Sauvignon berries to reduce the impact of high temperature. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23, 1: 48-57
- Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A.P., Rodrigues M.L., Lopes, C.M. 2010 Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105(5), 661–676. doi:10.1093/aob/mcq030
- EURO-CORDEX Guidelines, Version 1.0 – 2017, www.euro-cordex.net/imperia/md/content/csc/cordex/euro-cordex-guidelines-version1.0-2017.08.pdf
- Giovenzana V., Beghi R., Malegori C., Civelli R., Guidetti R. (2014). Wavelength selection with a view to a simplified handheld optical system to estimate grape ripeness. *Am. J. Enol. Vitic.* 65(1): 117-123.
- Giovenzana V., Beghi, R., Tugnolo A., Brancadoro L., & Guidetti R. (2018a). Comparison of two immersion probes coupled with visible/near infrared spectroscopy to assess the must infection at the grape receiving area. *Computers and Electronics in Agriculture*. 146, pp. 86-92.
- Giovenzana, V., Beghi, R., Parisi, S., Brancadoro, L., & Guidetti, R. (2018b). Potential effectiveness of visible and near infrared spectroscopy coupled with wavelength selection for real time grapevine leaf water status measurement. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(5), 1935–1943.
- Giovenzana, V., Civelli, R., Beghi, R., Oberti, R., & Guidetti, R. (2015). Testing of a simplified LED based vis/NIR system for rapid ripeness evaluation of white grape (*Vitis vinifera* L.) for Franciacorta wine. *Talanta*, 144, 584-591.
- Guidetti, R.; Beghi, R.; Bodria, L. (2010). Evaluation of Grape Quality Parameters by a Simple Vis/NIR System. *Trans. ASABE*, 53, 477–484.
- IPCC 2013 Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- IPCC 2015 IPCC Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies, IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, pp.21-23.
- Jones HG, (2007). Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. *J Exp Bot* 58:119–130.
- Kuhn, N., Guan, L., Dai, Z. W., Wu, B. H., Lauvergeat, V., Gomès, E., Li, SH., Godoy, F., Arce-Johnson, P., Delrot, S. 2014 Berry ripening: Recently heard through the grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 65(16), 4543–4559. doi:10.1093/jxb/ert395
- Kursar TA, Engelbrecht BMJ, Burke A, Tyree MT, El Omari B and Giraldo JP, (2009). Tolerance to low leaf water status of tropical tree seedlings is related to drought performance and distribution. *Funct Ecol* 23:93–102.
- Magwaza LS, Opara UL, Nieuwoudt H, Cronje PJR, Saeys W, Nicolaï B, (2012). NIR spectroscopy applications for internal and external quality analysis of citrus fruit – a review. *Food Bioprocess Technol* 5:425–444.
- Mariani L., Parisi S.G., Cola G., Failla O. 2012 Climate change in Europe and effects on thermal resources for crops. *International Journal of Biometeorology*. 56, 1123-1134. Doi: 10.1007/s00484-012-0528-8



- McCarthy, M., 2016 Cost-effective viticultural strategies to adapt to a warmer, drier climate. FINAL REPORT to AUSTRALIAN GRAPE & WINE AUTHORITY, South Australian Research and Development Institute, Project Number: SAR1304
- Mencuccini M, Mambelli S and Comstock J, (2000). Stomatal responsiveness to leaf water status in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a function of time of day. *Plant Cell Environ* 23:1109–1118.
- Palliotti A., Tombesi S., Silvestroni O., Lanari V., Gatti M., Poni S., 2014 Changes in vineyard establishment and canopy management urged by earlier climate-related grape ripening: A review, *Scientia Horticulturae*, 178: 43-54
- Rätty, O., J. Räisänen, and J. Ylhäisi, 2014 Evaluation of delta change and bias correction methods for future daily precipitation: Intermodel cross-validation using ENSEMBLES simulations. *Climate Dyn.*, 42, 2287–2303
- Rustioni L., Rossoni M., Calatroni M., Failla O. 2011b Influence of bunch exposure on anthocyanins extractability from grapes skins (*Vitis vinifera* L.). *Vitis*, 50, 4: 137-143.
- Rustioni L., Rossoni M., Cola G., Mariani L., Failla O. 2011a Bunch exposure to direct solar radiation increases ortho-diphenol anthocyanins in northern Italy climatic condition. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, 45, 2: 85-99.
- Santos AO and Kaye O, (2009). Grapevine leaf water potential based upon near infrared spectroscopy. *Sci Agric* 66:287–292.
- Scholander PF, Bradstreet ED, Hemmingsen EA and Hammel HT, (1965). Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148:339–346.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M. et al., 2011 The representative concentration pathways: an overview, *Climatic Change*, 109: 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-Z>.
- Zhang Q, Li Q and Zhang G, (2012). Rapid determination of leaf water content using VIS/NIR spectroscopy analysis with wavelength selection. *J Spectrosc* 27:93–105.
- Zarrouk, O., Brunetti, C., Egipto, R., Pinheiro, C., Genebra, T., Gori, A., Lopes C.M., Tattini M., Chaves, M. M. 2016 Grape Ripening Is Regulated by Deficit Irrigation/Elevated Temperatures According to Cluster Position in the Canopy. *Frontiers in Plant Science*, 7 (November), 1–18. doi:10.3389/fpls.2016.01640

1.5 Altri progetti correlati

- Regione Campania, Bando Misura 124 'Cooperazione per lo sviluppo di nuovi prodotti, processi e tecnologie nei settori agricolo e alimentare e settore forestale – Health Check', progetto 'VARIVI - Valorizzazione della Risorsa Idrica per la Viticoltura dell'isola di Ischia' (DRD – n° 42 – 15/4/2014): il progetto ha coinvolto sette cantine dell'isola di Ischia con l'obiettivo di formulare una valutazione dell'impronta idrica (WFP) del settore vitivinicolo sull'isola. Sono state fatte alcune misure sperimentali che correlano la strumentazione NIR allo stress idrico della vite. Il coordinatore scientifico è stato il prof. Riccardo Guidetti
- Regione Lombardia, Bando PSR Operazione 1.2.01 "Progetti dimostrativi e azioni di informazione" Progetto 'Tecniche di concimazione e irrigazione di precisione in frutticoltura e orticoltura – NUTRIPRECISO' d.d.s 9243 del 2 luglio 2017. il progetto ha realizzato su tre differenti colture (pomodoro da industria, pero e vite da vino) ha mostrato le più recenti tecniche di agricoltura di precisione inerenti la nutrizione idrica e minerale di queste colture. Il coordinatore scientifico è il dott. Lucio Brancadoro
- H2020-ICT-2016-2017. Project "Integrated and Stand Alone Grape Maturation and Vine Hydric stress Monitoring System", 2018, Topic: ICT-03-2016, coordinato dal prof. R. Guidetti, Università degli Studi di Milano (in valutazione). Il progetto ha come obiettivo la progettazione e realizzazione di device ottici di basso costo (ordine di grandezza, decine di dollari) da posizionare direttamente in mezzo ai grappoli e in prossimità delle foglie di vite per un monitoraggio della maturazione e dello stato idrico con controllo da remoto (senza operatore). Risultati attesi: il progetto prevede la produzione di un sensore dall'hardware semplificato (Led e fotodiodi) che possa essere posizionato e lasciato in un numero anche



elevato nei vigneti per il monitoraggio in continuo dell'andamento della maturazione e dello stato idrico.

- Regione Lombardia, Bandi di cooperazione internazionale, progetto "SO-QUIC, Sistemi Ottici per la Qualità delle Uve Italiane e Cilene", 2010, coordinato dal prof. R. Guidetti, Università degli Studi di Milano: il progetto ha identificato modelli chemiometrici atti a valutare la qualità dell'uva direttamente in campo grazie alla tecnologia NIR. E' stato svolto in partenariato con l'INIA, istituzione cilena a supporto dell'agricoltura.
- Università degli Studi di Milano, Piano di Sostegno alla Ricerca Linea 2, 2017, progetto "Ingegnerizzazione e sperimentazione di un prototipo di sistema ottico compatto a poche lunghezze d'onda e integrabile con smartphone per l'analisi rapida e non distruttiva della maturazione di frutta e verdura (SmartOptic)", coordinato dal dr. Roberto Beghi, Università degli Studi di Milano.
- Unione Italiana Vini, Progetto Tergeo, nel quale il DiSAA è rappresentato nel comitato tecnico-scientifico fin dalla sua nascita (2010). È un progetto promosso da Unione Italiana Vini di raccolta, qualificazione e divulgazione di soluzioni innovative, tecnologiche e gestionali, per migliorare la sostenibilità dell'impresa vitivinicola. Ad oggi circa 300 aziende vitivinicole partecipano a Tergeo (www.tergeo.it).
- Progetto WATPAD – "WATER impacts of PADdy environment", Progetto triennale (2015-2017) finanziato dalla Fondazione Cariplo con partner Università degli Studi di Milano (capofila), Ente Nazionale Risi e Università del Piemonte Orientale. Il progetto ha avuto come obiettivo il monitoraggio in ambiente di risaia dei flussi idrici e della qualità delle acque a diverse scale territoriali, con l'obiettivo di indagare l'efficienza irrigua della coltivazione del riso e gli impatti dei fitofarmaci sulle acque superficiali e sotterranee. Pur riguardando un settore diverso da ADAM, è esemplificativo dei progetti ad elevata intensità di sperimentazione di campo e di laboratorio sui temi dell'irrigazione che hanno visto coinvolti componenti del progetto ADAM. Il coordinatore scientifico è la prof. Arianna Facchi

2. OBIETTIVI DEL PROGETTO E RISULTATI ATTESI

2.1 Obiettivi del progetto

L'obiettivo principale del progetto è quello di esplorare le potenzialità dell'irrigazione multifunzionale del vigneto, confrontando diversi sistemi irrigui (intesi come l'insieme delle componenti impiantistiche e delle pratiche adottate nella loro gestione con l'ausilio di strumenti di monitoraggio e di controllo automatico degli interventi irrigui) sulla produzione e la qualità delle uve durante tre stagioni agrarie. I sistemi irrigui che verranno indagati sono finalizzati a minimizzare gli effetti negativi di eventi meteorologici estremi (stress estivi idrici e termico-radiativi e gelate primaverili), dunque a favorire la resilienza dei vigneti alla variabilità delle condizioni ambientali, migliorando la quantità e qualità delle produzioni e riducendone la variabilità interannuale. I trattamenti, ovvero le combinazioni tra tipologia di impianto e criteri di gestione, che saranno prese in considerazione sono quattro:

- 1) assenza di irrigazione;
- 2) irrigazione a goccia e gestione finalizzata alla regolazione della maturazione delle uve mediante controllo del deficit idrico;
- 3) irrigazione a goccia e gestione finalizzata anche alla protezione dagli stress termico-radiativi, oltre che alla regolazione della maturazione delle uve;
- 4) irrigazione con mini-sprinkler con gestione finalizzata anche alla protezione dagli stress termico-radiativi e dalle gelate primaverili, oltre che alla regolazione della maturazione delle uve.

Il trattamento 1 rappresenta tuttora la condizione prevalente della viticoltura lombarda, che sconta un certo ritardo rispetto ad altri paesi nella visione del ruolo dell'irrigazione nel processo produttivo; con il trattamento 2 si intende sperimentare la tecnica irrigua a deficit idrico controllato (RDI), che punta sul controllo del potenziale idrico nel suolo per ottenere un regolare sviluppo vegetativo delle viti, evitando eccessi di crescita, favorendo la migliore maturazione dell'uva ed esaltandone il potenziale enologico; il trattamento 3 intende ampliare le funzionalità dell'irrigazione, affiancando ai medesimi obiettivi del trattamento 2 l'opzione di attivare l'irrigazione in prevenzione delle ondate di calore, riportando il suolo in condizioni di elevata disponibilità idrica in anticipo rispetto all'innalzamento termico previsto, al fine di consentire un'intensa attività traspiratoria delle piante e



di conseguenza un incremento dell'effetto di termoregolazione della chioma; il trattamento 4, infine, si propone di verificare l'ulteriore beneficio in termini di protezione dalle ondate di calore che può derivare dall'integrazione del controllo del contenuto idrico del suolo, come nel trattamento 3, dall'utilizzo di micro-sprinkler per nebulizzazioni di acqua sottochioma che favoriscano l'assorbimento di calore per evaporazione dall'aria nello strato interessato dalle piante, provocando una diminuzione locale della temperatura. Un vantaggio di questo trattamento è che gli stessi micro-sprinkler possono essere utilizzati per irrigazione antibrina in caso di gelate tardo-primaverili.

Tutti i trattamenti saranno implementati in doppio nell'appezzamento pilota dell'azienda sperimentale e in ogni replica sarà installata strumentazione di alta precisione per la misura della temperatura dell'aria a due livelli nella zona della chioma e del potenziale idrico nel suolo a due profondità in prossimità delle piante. I dati rilevati dai dispositivi di misura saranno utilizzati per il controllo dell'irrigazione, in modo differenziato e indipendente per le coppie di repliche di ogni trattamento, attraverso un impianto di irrigazione appositamente progettato e realizzato. Saranno inoltre installati in ogni replica sensori di bagnamento e di temperatura dell'acino. Obiettivo dei tre anni di sperimentazione è di raccogliere una mole di dati sperimentali sufficiente per poter confrontare le prestazioni dei diversi trattamenti in termini di quantità e qualità delle produzioni e, per i trattamenti irrigui, per poter definire i protocolli di gestione dell'irrigazione più adatti per il contesto territoriale e produttivo oggetto della sperimentazione (vini spumanti e vini bianchi di pronta beva)

Il secondo obiettivo del progetto è quello di applicare tecniche ottiche (spettroscopia nel visibile e vicino infrarosso) per la valutazione rapida e precoce del potenziale idrico della pianta, soprattutto al verificarsi di condizioni di stress idrico o termico. Verranno, infatti, elaborati modelli per la stima del potenziale idrico fogliare basati sull'elaborazione di misure speditive con sensori ottici. Per la messa a punto dei modelli saranno effettuate misure di riferimento del potenziale fogliare con la camera a pressione di Scholander in contemporanea con le misure ottiche sulle stesse foglie, ripetendole per diverse condizioni di stress idrico e termico. L'analisi della correlazione tra le misure ottiche e quelle di riferimento fornirà elementi utili per la calibrazione dei modelli, nella prospettiva di mettere a punto un indice spettrale per il monitoraggio di campo veloce ed economico dello stato idrico della coltura. Qualora i risultati fossero positivi si aprirà la possibilità di utilizzare sensori ottici in modo integrato con quelli di potenziale idrico del suolo e di temperatura dell'aria per il controllo adattivo degli interventi irrigui che tenga conto delle condizioni idriche sia del suolo che della pianta e dello stato termico dell'aria.

Ulteriore obiettivo del progetto è, infine, quello di valutare la sostenibilità tecnica ed economica delle diverse soluzioni sperimentate. Saranno quindi calcolati sia i fabbisogni idrici che energetici e, in collaborazione con il Consorzio di Bonifica e Irrigazione Garda-Chiese, che assicura l'approvvigionamento irriguo ad una vasta porzione del territorio dei Colli Morenici, si valuteranno le implicazioni sulla gestione consortile delle risorse idriche derivanti da un'eventuale diffusione dell'irrigazione multifunzionale nelle aziende del territorio. Sarà anche applicato lo strumento dell'impronta idrica (water footprint, WFP), come indicatore di sostenibilità basato sul calcolo del consumo specifico di acqua dolce in vigneto e in cantina per la produzione del vino (ad esempio, litri d'acqua utilizzati per ogni litro di vino prodotto). Si verificherà in che misura la valutazione della sostenibilità attraverso l'analisi dell'impronta idrica possa diventare parte integrante dei metodi di pianificazione ambientale ed economica ed essere inclusa tra i "marcatori" delle valenze ecologiche di un territorio.

Il progetto si collega, nell'ambito del Bando Ricerca di Regione Lombardia, all'Obiettivo F, Tematica: 'Miglioramento dei sistemi di produzione attraverso l'uso sostenibile di nutrienti, energia, acqua, suolo e substrati colturali'.

2.2 Risultati attesi

I principali risultati che il progetto intende ottenere sono:

- creazione di una vasta base di dati osservativi sulle prestazioni di tre diversi trattamenti irrigui, con crescenti caratteri di multifunzionalità, e sul comportamento di un trattamento testimone privo di irrigazione; i dati saranno acquisiti nel corso di tre stagioni agrarie su 2 parcelle di un vigneto sperimentale per ogni trattamento (8 parcelle in totale);



- definizione di un protocollo per la gestione dell'irrigazione multifunzionale nei contesti produttivi di vini spumanti e di vini bianchi di pronta beva;
- messa a punto di un indice spettrale per il monitoraggio di campo veloce ed economico dello stato idrico della coltura basato sull'utilizzo di sensori ottici;
- verifica tecnico-economica delle ricadute sulla gestione delle risorse irrigue a scala di distretto irriguo dell'eventuale diffusione dell'irrigazione multifunzionale.

Nello specifico, i risultati attesi dalla sperimentazione dell'irrigazione a deficit idrico controllato e multifunzionale (trattamenti 2, 3 e 4) rispetto al test non irriguo, sono i seguenti:

- migliore sviluppo vegetato-produttivo delle viti (rapporto superficie fogliare / uva; struttura della chioma);
- maggiore efficienza fisiologica delle viti (incremento dell'attività fotosintetica delle viti);
- miglioramento del microclima termico luminoso dell'intorno dei grappoli (grappoli mediamente ombreggiati da uno strato fogliare).

Inoltre, sotto il profilo della regolazione del processo di maturazione e della qualità dell'uva (trattamenti 3 e 4 rispetto ai trattamenti 1 e 2), i risultati attesi sono i seguenti:

- maturazione tecnologica dell'uva maggiormente idonea alla spumantizzazione e alla produzione di vini bianchi di pronta beva;
- vini con una maggiore contenuto di aromi varietali.

Si tratta di risultati sicuramente rilevanti e immediatamente spendibili, sia per favorire l'adozione di pratiche innovative nelle aziende del settore vitivinicolo e negli enti gestori dell'irrigazione collettiva, sia per orientare le misure di supporto allo sviluppo del settore messe in campo da Regione Lombardia.

3. DESTINATARI DEI RISULTATI E RICADUTA

3.1 Destinatari dei risultati

Destinatari del progetto sono tutti i viticoltori italiani, a partire dalle aziende presenti sul territorio regionale lombardo. Le tematiche di gestione ottimale dell'irrigazione e di protezione della coltura delle viti da eventi climatici estremi interessano infatti in modo trasversale tutti i viticoltori. Con l'intento di raggiungere il maggior numero possibile di agricoltori, saranno coinvolti i tecnici operanti nel settore, appartenenti alle società private produttrici e distributrici di mezzi tecnici e alle Associazioni di categoria (Assoenologi, Unione italiana vini, Federvini), ai servizi tecnici dei consorzi di tutela e delle cantine sociali, nonché agli agronomi liberi professionisti. Per la diffusione su larga scala dei risultati del progetto saranno inoltre coinvolti sia imprenditori, consulenti e tecnici aziendali,



PROGETTO ADAM

ADAttamento al cambio climatico
con irrigazione Multifunzionale per
la viticoltura



DiSAA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

Progetto cofinanziato da  Regione
Lombardia

sia tecnici degli enti gestori del servizio irriguo collettivo, che potranno ricevere la dimostrazione dei vantaggi conseguiti dall'applicazione delle tecnologie/pratiche esplorate nel progetto in termini di miglioramento della gestione dell'acqua in viticoltura, così come delle implicazioni in termini di fabbisogni idrici ed energetici. A questo scopo saranno organizzate delle giornate dimostrative presso il vigneto sperimentale (almeno una nel primo e secondo anno, e almeno 2 nel terzo anno). La pubblicazione dei risultati su riviste internazionali e la loro presentazione in convegni di settore consentirà di raggiungere un'ampia audience di ricercatori e tecnici di tutte le regioni viticole italiane e internazionali.

3.2 Ricaduta

La principale ricaduta del progetto sarà la messa a punto di metodiche di irrigazione multifunzionale che permetteranno agli agricoltori non solo di rispondere efficacemente agli effetti che i cambiamenti climatici hanno sulla coltivazione della vite in termini di resa e di qualità, ma di ottenere anche una maggiore stabilità nel tempo delle rese e un controllo più efficace sul processo di maturazione a favore della migliore qualità delle uve. In particolare il settore vitivinicolo regionale, con il suo primato nella produzione di spumanti metodo classico, potrà avvalersi di un importante strumento di regolazione dello sviluppo maturativo delle uve, fondamentale per questa tipologia di vini, prodotti soprattutto in territori (Franciacorta e Garda) soggetti a frequenti fenomeni di stress idrico.

La divulgazione dei risultati della ricerca alle Associazioni di categoria (Assoenologi, Unione italiana vini, Federvini), ai servizi tecnici dei consorzi di tutela e delle cantine sociali, nonché agli agronomi liberi professionisti consentirà di accrescere la possibilità di attuazione dei protocolli di gestione irrigua presso le aziende del territorio.

Infine, ADAM avrà ricadute positive sui gestori di sistemi di irrigazione collettiva, che potranno disporre di elementi oggettivi di valutazione relativi all'introduzione dell'irrigazione multifunzionale, utilizzabili nell'ambito delle proprie attività di pianificazione dell'uso delle risorse idriche a fini irrigui. Il Consorzio di Bonifica Garda-Chiese, che ha espresso in una lettera d'intenti (in allegato) il proprio interesse e la volontà di collaborare alle attività del progetto, sarà un interlocutore fondamentale sia durante lo sviluppo delle attività, sia in fase di divulgazione dei risultati, con funzione di collegamento con la rete dei Consorzi di Bonifica anche attraverso le rappresentanze associative di URBIM Lombardia e ANBI



PROGETTO ADAM

ADattamento al cambio climatico
con irrigazione Multifunzionale per
la viticoltura



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

Progetto cofinanziato da  Regione
Lombardia



PROGETTO ADAM

ADattamento al cambio climatico
con irrigazione Multifunzionale per
la viticoltura



DiSAA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

Progetto cofinanziato da  Regione
Lombardia



PROGETTO ADAM

ADattamento al cambio climatico
con irrigazione Multifunzionale per
la viticoltura



DiSAA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI MILANO

Progetto cofinanziato da  Regione
Lombardia