



Associazione Italiana di
Ingegneria Agraria

VIII Convegno Nazionale di Ingegneria Agraria



Università degli Studi di Catania
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA AGRARIA

ATTI
CONVEGNO

***L'ingegneria agraria
per lo sviluppo sostenibile
dell'area mediterranea***

Catania, 27 - 30 giugno 2005



Associazione Italiana di
Ingegneria Agraria

VIII Convegno Nazionale di Ingegneria Agraria



Università degli Studi di Catania
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA AGRARIA

ATTI CONVEGNO

***L'ingegneria agraria
per lo sviluppo sostenibile
dell'area mediterranea***

Catania, 27 - 30 giugno 2005

Finito di stampare:

Giugno 2005

Edito da:

GeoGrafica - Catania

ISBN 88-901860-0-3

Stampato da:

Tip. ElleDue - Ragusa

Volume realizzato a cura di:

Università degli Studi di Catania
Dipartimento di Ingegneria Agraria
Via Santa Sofia, 100 - 95123 Catania

© Associazione Italiana di Ingegneria Agraria

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione e del CD allegato può essere riprodotta o utilizzata senza il previo consenso scritto del detentore dei diritti.

La responsabilità del contenuto dei lavori, inclusi in questa pubblicazione, spetta interamente agli autori. L'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria non si assume alcuna responsabilità su eventuali priorità e contenuti.

Finito di stampare:

Giugno 2005

Edito da:

GeoGrafica - Catania

ISBN 88-901860-0-3

Stampato da:

Tip. ElleDue - Ragusa

Volume realizzato a cura di:

Università degli Studi di Catania
Dipartimento di Ingegneria Agraria
Via Santa Sofia, 100 - 95123 Catania

© Associazione Italiana di Ingegneria Agraria

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione e del CD allegato può essere riprodotta o utilizzata senza il previo consenso scritto del detentore dei diritti.

La responsabilità del contenuto dei lavori, inclusi in questa pubblicazione, spetta interamente agli autori. L'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria non si assume alcuna responsabilità su eventuali priorità e contenuti.

Con il patrocinio di:



Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca



Ministero delle Politiche Agricole e forestali



Università degli Studi di Catania



Regione Siciliana - Assessorato Turismo, Comunicazioni e Trasporti



Regione Siciliana - Assessorato Agricoltura e Foreste

Comitato Scientifico:

Prof. E. Gasparetto – Presidente
Prof. G. Blandini
Prof. A. Failla
Prof. M. Falciai
Prof. P. Guarella
Prof. S. Indelicato
Prof. V. Mennella

Comitato Organizzatore:

Prof. G. Blandini - Presidente
Prof. S. Barbagallo
Prof. G. Cascone
Prof. G.L. Cirelli
Prof. A. Failla
Prof. S. Indelicato
Prof. G. Schillaci
Prof. G. Tomaselli

Segreteria:

Università degli Studi di Catania
Dipartimento di Ingegneria Agraria
Via Santa Sofia, 100 - 95123 Catania

Ing. G. Manetto – Coordinatore
Tel. +39 095 7147515
Fax +39 095 7147600

Sig.ra M. Marella – Segretaria
Tel. +39 095 7147590
Fax +39 095 7147600

Sommario

Tema 1: Desertificazione e degrado del territorio

La carta dell'erosione potenziale del territorio siciliano	19
<i>Giordano G., Ferro V., Bagarello V., Di Stefano C., Iovino M., Minacapilli M.</i>	
Stima dell'erosione del suolo in bacini di grande estensione con un modello distribuito	20
<i>Romano N., Santini A., Bathurst J.C., White S.M.</i>	
Fenomeni erosivi in terreni coltivati a grano duro	21
<i>Emma G., Failla S., Manetto G., Romano E., Schillaci G.</i>	
Valutazione dell'indice mensile di aggressività delle piogge in Sicilia	22
<i>Bruno C., Ferro V.</i>	
Dinamica del contenuto d'acqua nel suolo in ambienti mediterranei suscettibili di degrado	23
<i>Romano N., Giannino F., Chirico G.B., Migliozzi A., Mazzoleni S., Mulligan M.</i>	
Proprietà meccaniche degli aggregati di un suolo sodicizzato	24
<i>Spugnoli P., Melani E.</i>	
Analisi della distribuzione salina in suoli molto secchi	25
<i>Santini A., Severino G., Sommella A.</i>	
A bimodal ARYA&PARIS approach for upscaling the hydrological properties of a structured soil	26
<i>Coppola A., Di Giacomo E., Palladino M., Romano N.</i>	
Sistemi per la valutazione del compattamento dei terreni agrari	27
<i>Carrara M., Comparetti A., Febo P., Orlando S.</i>	
Cambiamento climatico e rischio di desertificazione in Calabria	28
<i>Capra A., Malara S.L., Porto P., Scicolone B., Sidari M.</i>	

Tema 2: Edilizia per la produzione agricola in ambiente mediterraneo

Modelli matematici per la previsione delle temperature dell'aria	31
<i>Gusman A., Marucci A., Pagnello B.</i>	
Un software per la simulazione dinamica del clima interno degli edifici zootecnici	32
<i>Liberati P., Zappavigna P.</i>	
Zootecnia di precisione: il controllo del microclima dei ricoveri effettuato sul monitoraggio on-line dell'attività animale	33
<i>Guarino M., Berckmans D.</i>	
Determinazione dei coefficienti pressori per edifici zootecnici	34
<i>Cascone G., Fichera A., D'Emilio A., Guglielmino I.D.</i>	
Valutazione di proprietà radiometriche di materiali costruttivi per ricoveri zootecnici	35
<i>Vox G., Scarascia Mugnozza G.</i>	
Valutazione integrata ambientale degli allevamenti zootecnici	36
<i>Provolo G.</i>	
Impieghi in edilizia zootecnica di manufatti in plastica riciclata per uno sviluppo sostenibile	37
<i>Sica C., Tortora A., Capobianco R.L.</i>	

Impiego strutturale del legno massiccio negli edifici agricoli alla luce dell'evoluzione normativa	38
<i>Monti M., Pellegrini P.</i>	
Resistenza alle azioni orizzontali di pali in legno infissi nel terreno. Verifiche sperimentali	39
<i>Giacomin A., Monti M., Pellegrini P., Sorbetti Guerri F.</i>	
Condizioni ambientali nei ricoveri per bovini da latte in clima mediterraneo	40
<i>Riva E., Provolo G.</i>	
Sulle condizioni termiche e di ventilazione nelle stalle per bovine da latte	41
<i>Cascone G., D'Emilio A., Mazzarella R.</i>	
La protezione dagli eccessi termici delle bovine da latte in stabulazione libera	42
<i>Marucci A., Gusman A., Bibbiani C.</i>	
Tipologie edilizie ed impiantistiche e riduzione dello stress da caldo nelle bovine da latte	43
<i>Valesio G., Azzaro G., Dipasquale M., Gurrieri E., Mazzarella R., Licitra G.</i>	
La lettiera in sabbia per limitare lo stress da caldo negli allevamenti bovini da latte	44
<i>Calegari F., Frazzi E.</i>	
Effetto del clima sul comportamento di bovine da latte con mungitura robotizzata	45
<i>Frazzi E., Calegari F.</i>	
Modulo sostenibile di allevamento per bovine da latte in un comprensorio zootecnico della Murgia pugliese	46
<i>Dal Sasso P., Ruggiero G., Marinelli G.</i>	
Allevamenti estensivi di bovini - I parte: le strutture edilizie	47
<i>Barbari M., Monti M., Pellegrini P., Sorbetti Guerri F.</i>	
Allevamenti estensivi di bovini - II parte: il monitoraggio GPS-GIS del pascolo semibrado	48
<i>Barbari M., Conti L., Koostra B.K., Masi G., Sorbetti Guerri F., Workman S.R.</i>	
Progettazione di impianti di ricircolo di liquame in stalle per vacche da latte	49
<i>Barbari M., Ferrari P., Bresci E.</i>	
Preventive diagnosis of dairy cattle hoof pathologies under freestall housing systems	50
<i>Carvalho V., Nääs I.A., Massafra Jr V.</i>	
Analisi dei fattori che influenzano l'ambiente interno delle porcilaie in clima caldo	51
<i>Zappavigna P., Liberati P., D'Archivio S.</i>	
Condizioni di benessere in porcilaia dotata di impianto di raffrescamento evaporativo	52
<i>Arcidiacono C.</i>	
Confronto sperimentale tra diversi sistemi di raffrescamento delle scrofe in sala parto	53
<i>Barbari M., Bianchi M., Sorbetti Guerri F.</i>	
Sperimentazione su stazioni di raffrescamento con identificazione elettronica delle scrofe	54
<i>Barbari M.</i>	
Algoritmo per l'identificazione on-line della tosse infettiva in un allevamento suinicolo	55
<i>Guarino M., Costa A., Patelli S., Silva M., Navarotto P., Berckmans D.</i>	
Analisi sensoriale della diffusione di odori da una porcilaia per mezzo di un naso elettronico	56
<i>Brambilla M., Guarino M., Navarotto P.</i>	
Emissione di polveri (PM₁₀) dalla sala parto e dal settore magronaggio di un allevamento suinicolo	57
<i>Costa A., Guarino M., Decock J., Navarotto P., Berckmans D.</i>	

Illuminazione e distribuzione della luce in differenti tipologie stabulative di un allevamento suinicolo	58
<i>Costa A., Guarino M., Porro M., Van Brecht A., Navarotto P., Berckmans D.</i>	
Differenti soluzioni per il ricovero estivo di pecore da latte	59
<i>Cascone G., Biondi L., D'Emilio A., Piccione G., Pennisi P.</i>	
Comparative analysis of fungi on the bedding and ration in two different poultry houses	60
<i>Baracho M.S., Gigli A.C.S., Nääs I.A., Salgado D.D., Zago R., Silva R.A.</i>	
Criteri progettuali di strutture per l'allevamento del pollo all'aperto in zone temperate	61
<i>Monti M., Pellegrini P., Sorbetti Guerri F.</i>	
Impatto ambientale dell'orticoltura in serra nelle aree litoranee dell'Italia centrale	62
<i>Marucci A., Gusman A., Pagniello B.</i>	
Salute e sicurezza degli operatori negli apprestamenti per colture protette	63
<i>Tortora A., Sica C., Capobianco R.L.</i>	
Prove di solarizzazione con film plastici innovativi: aspetti tecnici ed agronomici	64
<i>Margiotta S., Castronuovo D., Candido V., Miccolis V., Manera C.</i>	
Caratterizzazione spettroradiometrica di film plastici per la solarizzazione del terreno	65
<i>Cascone G., D'Emilio A., Mazzarella R., Buccellato E.</i>	
Reti in plastica per l'agricoltura: modi d'uso, materiali, proprietà fisiche	66
<i>Castellano S., Russo G.</i>	
Caratteristiche meccaniche di reti per l'agricoltura	67
<i>Capobianco R.L., Sica C., Tortora A.</i>	
La trasmissività radiometrica delle reti in materiale plastico per l'agricoltura	68
<i>Russo G.</i>	

Tema 3: Evoluzione della meccanizzazione nell'agricoltura mediterranea

Modellistica e controllo dei processi di disinfestazione del suolo mediante vapore	71
<i>Gay P., Piccarolo P., Ricauda Aimonino D., Tortia C.</i>	
MaccAgri.Soft: database di macchine agricole con software per il calcolo dei costi di esercizio	72
<i>Bonera R., Lazzari M., Mazzetto F., Sacco P.</i>	
Realizzazione di sistemi di identificazione dei mezzi agricoli con soluzioni di basso costo	73
<i>Mazzetto F., Calcante A., Naldi E.</i>	
Concettualizzazione dell'azienda agraria per analisi integrate della meccanizzazione	74
<i>Mazzetto F., Sacco P., Bonera R.</i>	
L'astrazione modellistica delle macchine operatrici secondo una logica ad oggetti	75
<i>Mazzetto F., Sacco P., Bonera R., Castelli G.</i>	
Un modello di rintracciabilità per la filiera orticola	76
<i>Porceddu P.R., Babucci V.</i>	
Applicazione di sistemi GPS per la logistica delle macchine agricole	77
<i>Bentini M., Caprara C., Martelli R.</i>	

IL "RotoGPS": uno strumento per la misura di precisione e accuratezza di ricevitori GPS	78
<i>Mazzetto F., Azzoli G., Calcante A., Castelli G.</i>	
La misura della resistenza dei terreni agrari per l'agricoltura di precisione	79
<i>Formato A., Faugno S., Paolillo G.</i>	
Individuazione, tramite sensori ottici, di infestanti in colture sarchiate	80
<i>Fiala M., Pagliari F.</i>	
Individuazione automatica di patologie mediante misure ottiche da trattore	81
<i>Oberti R., Fiala M., Bodria L.</i>	
Progetto MESOVIP: applicazione di tecniche di viticoltura di precisione in contesti nazionali	82
<i>Mazzetto F., Calcante A., Naldi E., Oberti R.</i>	
Mappatura delle produzioni in vigneto tramite i quaderni di campagna informatici	83
<i>Mazzetto F., Calcante A.</i>	
L'erpice a dischi attivi: una nuova operatrice per il controllo fisico delle infestanti	84
<i>Peruzzi A., Raffaelli M., Ginanni M., Di Ciolo S., Fontanelli M.</i>	
Misura della qualità di erpicatura mediante image analysis sui residui vegetali nel terreno	85
<i>Menesatti P., Millozza M., Pincu M., Cervellini C.</i>	
Una macchina innovativa per la disinfezione del terreno a basso impatto ambientale	86
<i>Peruzzi A., Raffaelli M., Ginanni M., Di Ciolo S.</i>	
Controllo delle infestanti con getto di vapore	87
<i>De Zanche C., Baldoin C., Friso D., Sartorato I., Zanardi W.</i>	
Strategie e macchine per il controllo fisico delle infestanti su spinacio biologico	88
<i>Peruzzi A., Ginanni M., Di Ciolo S., Raffaelli M., Fontanelli M.</i>	
Strategie e macchine per il controllo fisico delle infestanti su carota biologica	89
<i>Peruzzi A., Ginanni M., Di Ciolo S., Raffaelli M., Fontanelli M.</i>	
Prove con seminatrice combinata Amazone su frumento duro nella collina materana	90
<i>D'Antonio P.</i>	
Sod-seeding: confronto fra diverse seminatrici impiegate in aree ad elevata vocazione cerealicola	91
<i>D'Antonio P., Bellomo F., D'Emilio F., D'Antonio C.</i>	
Studio e verifica della funzionalità di una trapiantatrice con dispositivo adacquatore per il trapianto del radicchio	92
<i>Bortolini L.</i>	
Valutazione della semina su contenitori alveolari in vivaio	93
<i>Blandini G., Emma G., Failla S., Tornello G.</i>	
Sviluppo di attrezzature e tecniche per la coltivazione del girasole	94
<i>Raffaelli M., Ginanni M., Peruzzi A., Di Ciolo S.</i>	
Proposta per una macchina per lo sfalcio di campi di ananas a fine ciclo produttivo	95
<i>Beltrami M., Cini E., Garbati Pegna F., Perez de Corcho Fuentes J.</i>	
Un sistema innovativo per il trattamento al grappolo abbinato alla sfogliatura della vite	96
<i>Balsari P., Marucco P., Tamagnone M.</i>	
Verifica funzionale e taratura delle irroratrici in Lombardia: analisi della situazione a tre anni dall'inizio del servizio	97
<i>Pessina D., Facchinetti D.</i>	

Analisi dei profili di distribuzione di irroratrici a singola e doppia ventola assiale <i>Pascuzzi S., Guarella A.</i>	98
Un banco prova per la classificazione delle barre irroratrici in funzione della deriva da loro generata <i>Balsari P., Marucco P., Tamagnone M.</i>	99
Effetto della portata d'aria e della velocità di avanzamento nei trattamenti alla vite <i>Pergher G., D'Antonio C.</i>	100
Effetti dell'aria e della velocità sul deposito fogliare nei trattamenti in vigneto <i>Cerruto E., Emma G.</i>	101
Influenza delle condizioni climatiche sulla qualità dei trattamenti fitosanitari su vigneto <i>Carrara M., Catania P., Vallone M., Pipitone F.</i>	102
Ottimizzazione della distribuzione dei fitofarmaci in vigneti collinari calabresi <i>Giametta F., Bonfà D., Abenavoli L.M.</i>	103
Valutazione dei trattamenti fitosanitari in vivaio <i>Emma G., Failla S., Romano E., Tornello G.</i>	104
Valutazione delle prestazioni di irroratrici a tunnel impiegate in vigneto <i>Ade G., Molari G., Rondelli V.</i>	105
Gestione delle acque di lavaggio e della miscela residua delle irroratrici <i>D'Antonio C., Pergher G., Cividino S.R.S.</i>	106
Il rinnovato ruolo del settore agro-forestale come produttore di energia <i>Riva G., Natalicchio E., Foppa Pedretti E., Toscano G.</i>	107
Analisi tecnico-economica nella produzione di pellets <i>Pantaleo A., Pellerano A.</i>	108
Valutazione di un motore agricolo alimentato a benzina e a G.P.L. con prove al banco ed in pieno campo <i>Bianchi B., Pascuzzi S.</i>	109
Confronto tra le prestazioni di trattatrici alimentate con B30 (30% biodiesel e 70% gasolio) e gasolio agricolo <i>Caliceti M., Capelli G., Venturi P.</i>	110
Combustione di granella di mais di bassa qualità in un impianto termico civile <i>Gubiani R., Lazzari M.</i>	111
Filiera girasole-energia in ambiente collinare del centro Italia <i>Foppa Pedretti E., Toscano G., Scrosta V.</i>	112
Un cantiere di raccolta delle potature di olivo per un utilizzo energetico <i>Porceddu P.R., Babucci V.</i>	113
Valorizzazione tecnico-economica del legno di potatura mediante pellettizzazione <i>Toscano G., Foppa Pedretti E., Valdes P.H.</i>	114
Organizzazione del lavoro nelle sale di mungitura di vacche da latte <i>Caruso L., Schillaci G.</i>	115
Strategie di riduzione dei consumi energetici negli allevamenti ovini <i>Murgia L., Pazzona A., Caria M.</i>	116
Prove comparative di sistemi di regolazione del vuoto negli impianti di mungitura <i>Pazzona A., Murgia L., Caria M.</i>	117
Influenza del prendicapezzoli sulla curva di pulsazione nella mungitura degli ovini <i>Caria M., Pazzona A., Murgia L.</i>	118

Controllo tecnico degli impianti di mungitura meccanica <i>Balloni S., Caruso L., Schillaci G.</i>	119
Aspetti tecnico-operativi di imprese boschive e di prima trasformazione in Calabria <i>Zimbalatti G., Abenavoli L.M.</i>	120
Razionalizzazione della decortica meccanica del sughero <i>Paschino F., Merella M.</i>	121
Stima termografica del contenuto idrico del terreno agrario <i>Millozza M., Menesatti P., Solaini S.</i>	122
Analisi dinamica delle barre falcianti a semplice lama <i>Maglioni C., Molari G.</i>	123
Un carro porta attrezzi per la trazione animale <i>Spugnoli P., Parenti A., Masella P., Melani E.</i>	124
Simulazione numerica ed analisi economica di impianti per il raffrescamento in zootecnia <i>Sarghini F., Palombo A.</i>	125
Sviluppo di tecnologie per l'allevamento del rombo chiodato nell'area mediterranea <i>Barone L., Barone M., Faugno S., Paolillo G., Formato A.</i>	126
Vendemmia meccanica, M.O.G. e qualità del vino <i>Parenti A., Spugnoli P., Baldi F., Vieri M.</i>	127
Un sistema integrato per il controllo funzionale delle vendemmiatrici <i>Bordini F., Liberzati P., Pezzi F.</i>	128
Sollecitazioni sulle uve durante la vendemmia meccanica e il trasporto e influenza sulla qualità del prodotto <i>Baraldi G., Bordini F., Caprara C., Pezzi F.</i>	129
Valutazione del danno nella raccolta meccanica del pomodoro lungo <i>Catalano P., Colelli G., Montel G.L., Rinaldi R.</i>	130
Prove di analisi della vibrazione di alberi soggetti alla scuotitura meccanica <i>Catalano P., De Palma C., Giametta F., Leone A., Montel G.L., Tamborrino A.</i>	131
Studio sulla risposta dinamica degli alberi nella raccolta meccanica delle olive per scuotimento <i>Giametta G., Mauro S., D'Agostino A., Abenavoli L.M.</i>	132
Confronto fra due cantieri di raccolta delle olive in Sicilia <i>Carrara M., Catania P., Pipitone F., Vallone M., Morello G.</i>	133
La raccolta agevolata di drupacee: meccanizzazione e analisi ergonomica <i>Caruso L., Cerruto E., Manetto G., Schillaci G.</i>	134
Moderne macchine per la raccolta della frutta in guscio <i>Monarca D., Cecchini M., Antonelli D.</i>	135
La raccolta meccanica delle nocciole negli ambienti collinari e montani della Sicilia <i>Caruso L., Schillaci G.</i>	136
Effetti della raccolta meccanica su qualità e conservabilità delle castagne <i>Biondi P., Monarca D., Cecchini M., Mordacchini Alfani M.L., Pagano M.</i>	137
Meccanizzazione della raccolta delle bacche di mirto (<i>Myrtus Communis L.</i>) <i>Paschino F., Pinna G.</i>	138
Influenza dei parametri di raccolta sul danneggiamento meccanico dei tuberi <i>Bentini M., Caprara C., Martelli R.</i>	139
La raccolta meccanica di agrumi: stato dell'arte e prospettive <i>Blandini G., Cannatella G., Cerruto E., Manetto G.</i>	140

Impiego di un harvester a ruote in ambiente alpino italiano <i>Cavalli R., Zuccoli Bergomi L.</i>	141
La sicurezza nel ribaltamento di trattori agricoli e forestali cingolati usati <i>Gasparetto E., Pessina D., Cianotti R., Laurendi V., Pirozzi M.</i>	142
Verifica di applicabilità del DPR 459/96 alle macchine agricole usate <i>Calvo A., Deboli R., Delmastro R.</i>	143
Valutazione della resistenza degli ancoraggi delle cinture di sicurezza nei trattori <i>Molari G., Rondelli V.</i>	144
Caratterizzazione dei tamponi di fine corsa dei sedili dei veicoli industriali e fuoristrada <i>Deboli R., Gioco M., Lenzini P., Calvo A.</i>	145
Vibrazioni sulle grandi operatrici agricole semoventi: indicazioni per un progresso tecnico delle norme <i>Pessina D., Belli M.</i>	146
Requisiti di sicurezza di motocoltivatori e motozappatrici <i>Cianotti R., Laurendi V., Ferrazza A.</i>	147
Studio di una nuova metodologia per la misura del livello delle vibrazioni trasmesse dalle macchine agricole monoasse condotte a mano <i>Fabbi A., Guarnieri A.</i>	148
Il rischio da esposizione a vibrazioni per gli addetti all'uso delle tosaerba semoventi <i>Monarca D., Cecchini M., Vassalini G.</i>	149
Il rischio da esposizione a gas di scarico durante l'uso di motoseghe e decespugliatori <i>Monarca D., Cecchini M., Bernini M., Panaro A.</i>	150
Analisi dei tempi di esposizione alle vibrazioni degli operatori agro-forestali <i>Calvo A., Deboli R.</i>	151
La sicurezza nei cantieri di abbattimento ed allestimento del legname in Basilicata <i>D'Antonio P., D'Antonio C.</i>	152
Il rischio da esposizione a polveri per gli addetti alla raccolta delle nocciole <i>Cecchini M., Monarca D., Biondi P., Colantoni A., Panaro A.</i>	153
Valutazione dei fattori di rischio chimico fisico nelle serre <i>Carrara M., Catania P., Morello G., Planeta A., Vallone M.</i>	154
Sicurezza ed organizzazione del lavoro in cantieri per la fumigazione del terreno <i>Balloni S., Caruso L., Schillaci G.</i>	155
Valutazione del rischio rumore in aziende florovivaistiche della provincia di Bergamo <i>Pessina D., Belli M., Guerretti M.</i>	156
La sicurezza del lavoro in sala di mungitura <i>Monarca D., Porceddu P.R., Cecchini M.</i>	157

Tema 4: Gestione tecnica del territorio rurale

Pianificazione del territorio rurale: impatti delle politiche di settore <i>Bassi I., Scubla S., Bonfanti P.</i>	161
Linee guida per l'edificazione abitativa e strumentale nelle zone extraurbane <i>Barra M.</i>	162

Innovazione e sviluppo sostenibile: un sistema di supporto al piano per la valutazione della capacità territoriale ed energetica	163
<i>De Montis S., Marongiu I., Damiano A., De Montis A., Campagna M.</i>	
L'allocazione degli impianti agroindustriali: una proposta di approccio metodologico	164
<i>Tassinari P., Torreggiani D.</i>	
Il Laser Scanner per la determinazione di parametri inventariali forestali	165
<i>Turco S., Alberti G., Barilotti A., Beinat A., Sigura M., Bonfanti P.</i>	
Valutazione delle interrelazioni tra territorio rurale e greenway	166
<i>Mennella V.G.G., Menconi M.E.</i>	
Analisi territoriale della viabilità rurale del comune di Viterbo	167
<i>Marucci A., Gusman A., Pagnello B.</i>	
Analisi della sostenibilità ambientale degli allevamenti della provincia di Viterbo	168
<i>Gusman A., Marucci A., Pagnello B.</i>	
Terre in mezzo al mare. Pianificazione sostenibile del paesaggio nelle isole Eolie	169
<i>Fichera C.R., Barreca F., Modica G.</i>	
Analisi degli interventi strutturali finanziati dal piano di sviluppo rurale in provincia di Lodi	170
<i>Riva E., De Marco R., Provolo G.</i>	
Uso di un SIT per lo studio degli effetti delle attività agricole sulle aree protette senesi	171
<i>Giotti M., Guerrini A., Nonis D., Pellegrini P., Sorbetti Guerri F.</i>	
Un meta-database per l'accesso ai dati territoriali e ambientali in Friuli-Venezia Giulia	172
<i>Peccol E., Muzzolini V.</i>	
Invecchiamento e caratteristiche costruttive di materiali per ingegneria naturalistica	173
<i>Capobianco R.L., Sica C., Tortora A.</i>	
Potenzialità del territorio marchigiano per la produzione di biomassa	174
<i>Foppa Pedretti E., Galli A., Marcheggiani E., Maldini E.</i>	
Teleriscaldamento da biocombustibili	175
<i>Fiala M.</i>	
Un sistema per la concimazione spazialmente variabile	176
<i>Carrara M., Comparetti A., Febo P., Orlando S.</i>	
Requisiti e metodologie di produzione dei modelli digitali del terreno	177
<i>Chiabrando R., Garnerò G., Godone D.</i>	
Progetto MOSAICO: monitoraggio automatico dello spandimento dei reflui zootecnici	178
<i>Mazzetto F., Calcante A., Landonio S.</i>	
Lo sviluppo di tecnologie satellitari per l'assistenza all'irrigazione: il progetto DEMETER	179
<i>D'Urso G., Calera Belmonte A., Jochum A.</i>	
Analisi della variabilità spaziale delle proprietà idrauliche del suolo con geostatistica multivariata	180
<i>Castrignanò A.M., Romano N., Lopez N.</i>	
Analisi territoriale per l'utilizzo sostenibile in agricoltura dei reflui oleari	181
<i>Castellano S., Candura A.</i>	
Analisi dei criteri di smaltimento dei reflui oleari nel territorio del Parco del Gargano	182
<i>Montel G.L., Caliandro L., Peri G., Colelli G.</i>	
Valutazione del rischio ambientale derivante dall'uso agronomico dei reflui zootecnici	183
<i>Provolo G., Ferrari O.</i>	

Misura in-situ del contenuto in nutrienti degli effluenti di allevamento <i>Provolo G., Martínez-Suller L.</i>	184
Analisi object-oriented di immagini VHR per la stima dei fattori erosivi nei singoli vigneti <i>Vincini M., Frazzi E.</i>	185
Trasporto di soluto inerte alla scala parcellare in relazione a differenti modalità di somministrazione <i>Comegna V., Coppola A., Severino G., Sommella A.</i>	186

Tema 5: Ingegneria agraria e organismi geneticamente modificati

Influenza della coltivazione degli OGM sull'impiego delle macchine agricole <i>Gasparetto E.</i>	189
Aspetti costruttivi degli ambienti confinati per la coltivazione di OGM <i>Castellano S., Scarascia Mugnozza G.</i>	190
Campionamento delle fumonisine durante la raccolta del mais <i>Cividino S.R.S., Gubiani R., Pergher G.</i>	191
Modificazioni della qualità delle uova destinate alla trasformazione <i>Berardinelli A., Giunchi A., Gradari P., Guarnieri A., Ragni L.</i>	192
Metodologie per l'analisi della resistenza meccanica della membrana vitellina <i>Giunchi A., Ragni L., Berardinelli A., Gradari P., Guarnieri A.</i>	193

Tema 6: Monitoraggio e interventi per la difesa del suolo

Influenza della stratificazione indotta dalle lavorazioni sul comportamento idrologico di un suolo strutturato <i>Damiani P., Ciollaro G., Coppola A.</i>	197
Applicazione del metodo inverso per la determinazione delle proprietà idrauliche del suolo con l'infiltrometro a depressione <i>Castellini M., Iovino M.</i>	198
Approfondimenti sul <i>Cube Method</i> per la misura della conducibilità idraulica del suolo <i>Bagarello V., Giordano G., Sgroi A.</i>	199
Monitoraggio spazio-temporale di concentrazione di soluti inerti alla scala di campo <i>Comegna A., Severino G., Sommella A.</i>	200
Analisi di prove di moto miscibile nel dominio delle frequenze <i>Severino G., Santini A., Sommella A., Comegna A.</i>	201
Valutazione della risposta idrologica in un piccolo bacino mediante un modello GIUH <i>Indelicato S., Licciardello F., Majone B., Zimbone S.M.</i>	202
Applicazione di un modello semplificato per l'analisi dei deflussi a scala di versante <i>Deangelis M.L., Bischetti G.B.</i>	203
Monitoraggio dell'erosione <i>ephemeral gully</i> in un piccolo bacino siciliano <i>Capra A., Scicolone B.</i>	204
Stima della produzione di sedimenti in due bacini sperimentali di differente estensione <i>Di Stefano C., Ferro V., Giordano G.</i>	205

Suspended sediment transport monitoring: relationship between hydrological parameters and discharges <i>Pavanelli D., Bigi A.</i>	206
Valutazione del potenziale detritico in un bacino torrentizio dell'Italia meridionale <i>Bisantino T., Gentile F., Trisorio Liuzzi G.</i>	207
Confronto della perdita di suolo da parcelle di differente lunghezza nell'area di Sparacia <i>Bagarello V., Di Piazza G.V., Ferro V.</i>	208
La tecnica del cesio-137 per la stima della produzione di sedimenti nel bacino SPA2 <i>Di Stefano C.</i>	209
Un programma di difesa idraulica compatibile con le esigenze di tutela ambientale <i>Chirico G.B., De Vita P., Nicodemo M., Romano N.</i>	209
L'ingegneria naturalistica nelle regioni mediterranee: la regione Lazio <i>Preti F., Milanese C.</i>	211
Criteri per la manutenzione della vegetazione ripariale di corsi d'acqua collinari e montani <i>Preti F., Guarnieri L.</i>	212
Il recupero ambientale attraverso l'ingegneria naturalistica. Tre casi di studio nel territorio della regione Basilicata <i>Margiotta S., Divincenzo G.</i>	213
Un canale sperimentale per la valutazione delle resistenze idrauliche della vegetazione <i>Chiaradia E.A., Bischetti G.B., Gandolfi C.</i>	214
La frana di Carlantino nel subappennino Dauno e i criteri per la sua sistemazione <i>Puglisi S., Spilotro G., Trisorio Liuzzi G.</i>	215
Efficacia delle briglie in terra nella sistemazione di aree calanchive <i>Gentile F., Puglisi S., Romano G., Trisorio Liuzzi G.</i>	216
Protezione dall'erosione di scarpate artificiali mediante impiego di residui organici <i>Andiloro S., Bombino G., Tamburino V., Zimbone S.M.</i>	217
Influenza della morfologia d'alveo sulla resistenza al flusso in torrenti montani <i>Mao L., Comiti F., Lenzi M.A.</i>	218
Velocità media della corrente in torrenti fortemente scabri <i>D'Agostino V.</i>	219
Difesa dalle valanghe: metodi di distacco programmato in Toscana <i>Bresci E., Vieri M.</i>	220
Impianti per il trattamento consortile di liquami zootecnici nei paesi mediterranei <i>Cavallo E.</i>	221

Tema 7: Nuove frontiere dei sistemi edilizi e degli impianti agroalimentari

Applicazioni dei metodi di simulazione numerica nell'ingegneria agroalimentare <i>Fabbri A.</i>	225
Valutazione delle caratteristiche delle industrie agrumarie in Calabria <i>Bonfà D., Giametta G., Zimbalatti G.</i>	226
Impianto multifunzionale per la preparazione e l'imballaggio di passata di pomodoro, salse pronte, confettura e succhi di frutta <i>Formato A., Faugno S., Romano R., Paolillo G.</i>	227

Il livello di automazione degli impianti per la produzione di pane "carasau"	228
<i>Paschino F., Gambella F., Giubellino F., Clemente F.</i>	
Ottimizzazione dell'imbottigliamento mediante programmazione lineare	229
<i>Berruto R., Gay P., Piccarolo P., Tortia C.</i>	
Un impianto per la produzione di terracci in Calabria: le fasi di lavorazione	230
<i>Giametta F., Bellantonio M., Abenavoli L.M.</i>	
Impianti e cicli produttivi in segherie calabresi	231
<i>Zimbalatti G., Proto A.R., Abenavoli L.M.</i>	
Legno lamellare strutturale: aspetti produttivi e normativi	232
<i>Pellerano A., Pantaleo A., Pellerano D.</i>	
Progettazione ottimizzata di un pastorizzatore di grandi capacità produttive	233
<i>Formato A., Faugno S., Paolillo G.</i>	
Progettazione ottimizzata di un distillatore per l'estrazione delle essenze vegetali	234
<i>Formato A., Faugno S., Romano R., Paolillo G.</i>	
Progettazione ottimizzata di una lavatrice per la separazione dei pomodori dal terreno	235
<i>Formato A., Faugno S., Paolillo G.</i>	
Ottimizzazione del funzionamento degli aerorefrigeranti negli ambienti per la conservazione dei prodotti agro-alimentari	236
<i>Di Renzo G.C., Altieri G., Genovese F.</i>	
Sistema in retroazione per il controllo in continuo del dosaggio di Imazalil in soluzione acquosa per gli agrumi	237
<i>Di Renzo G.C., Altieri G., Lanza G.</i>	
L'utilizzo di argon nel processo di trasformazione delle olive in olio	238
<i>Parenti A., Masella P., Spugnoli P., Calamai L.</i>	
Effetti della ventilazione raffreddante sull'erba medica disidratata	239
<i>Friso D.</i>	
Predizione del contenuto in solidi solubili delle mele mediante imaging iperspettrale	240
<i>Peri G., Colelli G., Romaniello R.</i>	
Misurazione della qualità dei prodotti orticoli in foglia mediante analisi d'immagine	241
<i>Peri G., Romaniello R., Colelli G., Amodio M.</i>	
Valutazione della consistenza dei frutti di actinidia mediante un low-mass impact sensor	242
<i>Peri G., Rinaldi R., Musio F., Colelli G.</i>	
Tecniche ottiche per valutare l'adulterazione del miele	243
<i>Guidetti R., Oberti R.</i>	
Caratterizzazione meccanica delle paste di oliva	244
<i>Formato A., Faugno S., Romano R., Paolillo G.</i>	
Analisi di immagine per il riconoscimento automatico del danneggiamento dei tuberi	245
<i>Baraldi G., Caprara C., Martelli R.</i>	
Cause di danneggiamento meccanico dei frutti di fico d'India	246
<i>Caruso L., Cerruto E., Manetto G., Romano E., Schillaci G.</i>	
Il danneggiamento delle arance nel post-raccolta: l'effetto degli urti	247
<i>Blandini G., Caruso L., Cerruto E., Manetto G., Romano E.</i>	
L'analisi energetica come indicatore di processo nel settore enologico	248
<i>Guidetti R.</i>	

Aspetti tecnici ed economici della estrazione meccanica dell'olio di girasole a scopi energetici	249
<i>Ciaschini F., De Carolis C., Toscano G.</i>	
Implementazione di un sistema di gestione ambientale EMAS in una centrale a biomasse	250
<i>Cerioni R., Scrosta V.</i>	
La distillazione nel trattamento dei reflui da impianti zootecnici e dell'agroindustria	251
<i>Barbari M., Cini E., Recchia L.</i>	
La progettazione delle cantine in un'ottica di sicurezza ed ergonomia	252
<i>Cividino S.R.S., Gubiani R., Zoppello G.</i>	
Criteri progettuali ai fini del contenimento del rumore all'interno di frantoi oleari	253
<i>Panaro V., Pascuzzi S., Santoro F.</i>	
Profili di rischio nei caseifici	254
<i>Porceddu P.R., Babucci V.</i>	
La sicurezza nelle cantine: situazione in Friuli Venezia Giulia	255
<i>Cividino S.R.S., Gubiani R., Zoppello G., Zucchiatti N.</i>	
Verifiche di sicurezza in piccoli frantoi oleari in Umbria	256
<i>Porceddu P.R., Babucci V., Panaro A.</i>	
Valutazione del rischio da polveri di legno duro nella lavorazione del legno	257
<i>Cecchini M., Monarca D., Paris P.G.</i>	
Esposizione a rumore in un'azienda agroalimentare	258
<i>Donati V., Dellaferrera E., Ragni L., Guarnieri A.</i>	
Il problema dei rumori nell'industria agro-alimentare: analisi sperimentale dell'imbottigliamento in due cantine	259
<i>Margiotta S., Divincenzo G., Manera C.</i>	
Problematiche connesse all'inquinamento da polveri e da rumore in un opificio per la lavorazione delle mandorle	260
<i>Cassano F., Bavaro P., Aloise I., Dal Sasso P., Ruggiero G.</i>	
Il database per la progettazione integrata	261
<i>Dioguardi L., Sangiorgi F., Divincenzo G., Margiotta S., Manera C., Bordin A., Guercini S.</i>	
La progettazione integrata applicata a piccoli caseifici e malghe della Val Camonica	262
<i>Dioguardi L., Franzetti L., Sangiorgi F.</i>	
La progettazione integrata applicata a tre cantine del nord Italia	263
<i>Dioguardi L.</i>	
La progettazione integrata per gli edifici di malga. Il caso del massiccio del Grappa	264
<i>Guercini S., Bordin A., Spolaor D., Cattelan A.</i>	
Primi risultati ottenuti per la realizzazione di una LCA sulla produzione di formaggio Asiago	265
<i>Guercini S., Bordin A., Spolaor D., Cattelan A.</i>	
Definizione di criteri progettuali per l'industria dolciaria	266
<i>Failla A., Strano L., Tomaselli G.</i>	
Prove di illuminazione artificiale per un sistema di crescita delle piante in microgravità	267
<i>Schettini E.</i>	
La sicurezza strutturale degli edifici rurali in zona sismica: analisi dello stato dell'arte	268
<i>Tassinari P., Benni S.</i>	

Tema 8: Patrimonio architettonico rurale e paesaggio

L'analisi della continuità ambientale nel paesaggio rurale	271
<i>Sigura M., Peccol E., Bonfanti P.</i>	
Analisi e valorizzazione del sito archeologico di Chan-Chan mediante immagini QuickBird	272
<i>Fangi G., Galli A., Malinverni E.S.</i>	
La cartografia della vegetazione per lo studio del paesaggio: un caso di studio	273
<i>Zorza R., Sigura M., Bonfanti P., Oriolo G.</i>	
Un sistema informativo per la gestione del patrimonio architettonico rurale	274
<i>Fichera C.R., Barreca F., Cilona R.</i>	
Tecniche per la valutazione della qualità visuale del paesaggio rurale	275
<i>Toccolini A., Senes G.</i>	
Viticultura paesaggistica ed ecocompatibile: innovazione tecnica e progettuale	276
<i>Vieri M., Preti F., Bresci E.</i>	
Impatti estetici ed ambientali di coperture agricole realizzate con materiali permeabili	277
<i>Picuno P.</i>	
L'uso di indicatori sintetici per un modello di pianificazione rurale integrata	278
<i>Marcheggiani E., Tummarello G.</i>	
Valorizzazione dell'identità del paesaggio agrorurale tradizionale	279
<i>Failla A., Milazzo A., Tomaselli G., Lanteri P.</i>	
La gestione territoriale dei paesaggi agrari terrazzati tra conservazione e sviluppo	280
<i>Di Fazio S., Malaspina D., Modica G.</i>	
Metodologia di analisi per la individuazione delle aree agricole residuali	281
<i>Tomaselli G., Pappalardo G., Russo P.</i>	
Sistemi costruiti innovativi nelle aree rurali della Sardegna: uno schema di ricerca	282
<i>De Montis S., De Montis A., Barra M.</i>	
Studio e definizione di matrici identificative delle diverse forme di paesaggio nella regione Molise	283
<i>Cialdea D.</i>	
Applicazione di misure agroambientali e paesaggio rurale: un caso di studio	284
<i>Bonfanti P., Sigura M., Turco S.</i>	
Valutazione dei fenomeni di frammentazione del paesaggio nella pianificazione territoriale	285
<i>Ripa M.N., Boccia L., Leone A., Recanatesi F.</i>	
La pianificazione delle aree naturali protette: compatibilità delle strutture per lo sviluppo delle attività turistiche	286
<i>Leone A., Boccia L., Ripa M.N., Ceccarelli L.</i>	
Progettazione di una scala di risalita per pesci nella riserva naturale di Tuscania (alto Lazio)	287
<i>Boccia L., Leone A., Ripa M.N., Pelorosso R.</i>	
Il recupero dei corridoi fluviali: analisi territoriale e riqualificazione paesaggistica	288
<i>Fumagalli N., Ferrario P.</i>	
Il recupero delle case cantoniere in Sardegna: sperimentazione di un sistema di supporto alla decisione	289
<i>De Montis S., De Montis A., Barra M.</i>	

Sistemi di valutazione dell'impatto percettivo di interventi sul territorio: analisi critica	290
<i>Tassinari P., Torreggiani D.</i>	
Interazioni fra costruzioni rurali e paesaggio. Indicatori per la tutela e la progettazione	291
<i>Agostini S., Bottigliola C.</i>	
Il rilievo delle informazioni per la classificazione funzionale degli edifici rurali tradizionali suscettibili di riuso	292
<i>Cascone G., Porto S.M.C., La Pergola P.</i>	
Caratteristiche formali degli edifici rurali nel rapporto con il paesaggio	293
<i>Pappalardo G., Russo P.</i>	
Un contributo metodologico ad un progetto regionale di riqualificazione paesaggistica	294
<i>Tassinari P., Negrini M.</i>	
Schede tecniche di intervento per il recupero di edifici rurali tradizionali nell'area etnea	295
<i>Failla A., Porto S.M.C., La Pergola P.</i>	
La tutela del paesaggio e le esigenze dell'attività agricola nelle aree protette	296
<i>Gusman A., Marucci A., Pagnello B.</i>	
Valorizzazione degli edifici e del paesaggio rurali attraverso la cartografia storica	297
<i>Guercini S., Marchiori G.</i>	
Tutela integrata di un complesso monastico con le sue pertinenze rurali nelle Alpi Cozie	298
<i>Chiabrando R., Drusi B.</i>	
Progetto di recupero e valorizzazione di un antico villaggio alpino in Val Vigezzo	299
<i>Drusi B.</i>	

Tema 9: Risorse idriche in agricoltura negli ambienti mediterranei

Sulla stima della conducibilità idraulica del suolo con metodi inversi	303
<i>Lorenzini G., Palladino M., Romano N.</i>	
Determinazione delle proprietà idrauliche del suolo in una pendice naturale	304
<i>Agnese C., Bagarello V., Iovino M., Sgroi A.</i>	
Sul tempo di risposta di un versante a prevalente deflusso hortoniano	305
<i>Agnese C., Baiamonte G.</i>	
Stima dei parametri idraulici del suolo per bilanci idrologici a scala di bacino	306
<i>Carriero D., Romano N., Fiorentino M.</i>	
Simulazione dell'avanzamento dell'acqua nella irrigazione col metodo della sommersione intermittente	307
<i>Allavena L., Monti A.</i>	
Analisi dell'influenza delle caratteristiche del suolo sul bilancio idrologico di un bacino	308
<i>Carriero D., Laguardia G., Romano N.</i>	
Un modello per la gestione della risorsa idrica superficiale a scala di bacino	309
<i>Casadei S., Bellezza M.</i>	
Effetti del cambio climatico sulle risorse idriche di un bacino irriguo lombardo	310
<i>Facchi A., Gandolfi C., Borghi A., Ortuani B.</i>	

Uso sostenibile della risorsa acqua e risparmio idrico in agricoltura <i>Merlo C.</i>	311
Prospettive della modernizzazione del settore irriguo nel Mediterraneo <i>Hamdy A., Lamaddalena N., Trisorio Liuzzi G.</i>	312
Applicazione della procedura SIMODIS per la gestione dell'irrigazione in un comprensorio irriguo siciliano <i>D'Urso G., Iovino M., Minacapilli M.</i>	313
Un modello basato sulle reti di Petri nell'automazione degli impianti irrigui <i>Todisco F., Vinci A., Mannocchi F., Boccadoro M.</i>	314
Un modello per la generazione delle portate in una rete irrigua con esercizio a domanda <i>Khadra R., Lamaddalena N.</i>	315
Valutazione della performance di impianti per la microirrigazione mediante misure di uniformità ed efficienza di distribuzione <i>Provenzano G., Pumo D., Rallo G.</i>	316
Effetti sull'asparago dell'iniezione d'aria nell'acqua irrigua utilizzando un impianto microirriguo interrato <i>Bortolini L.</i>	317
Effetti dell'irrigazione con acque reflue trattate su colture ortive e terreno <i>Cali G., Cirelli G.L., Consoli S., Pilastrò M., Spadaro G.</i>	318
Prove di funzionalità di erogatori e filtri per l'uso di acque reflue a scopo irriguo <i>Barbagallo S., Capra A., Piccione G., Scicolone B.</i>	319
Valutazione dell'efficienza di filtri ed erogatori per l'uso di acque reflue trattate <i>Aiello R., Cirelli G.L., Consoli S., Toscano A.</i>	320
Valutazione di erogatori e filtri per l'utilizzazione agronomica di acque reflue olearie <i>Capra A., Tamburino V., Andiloro S.</i>	321
Effetti dell'uso di acque reflue urbane depurate sugli apparecchi erogatori <i>Provenzano G., Pumo D., Di Dio P.</i>	322
Modellazione dei processi di fitodepurazione in un impianto pilota a due stadi <i>Barbagallo S., Cirelli G.L., Consoli S., Di Grande V., Milani M., Toscano A.</i>	323
Modelli fisici e numerici delle vasche di lagunaggio per la depurazione dei reflui di acquacoltura <i>Bresci E., Giacomini A., Niedda M.</i>	324
L'influenza dei parametri di esercizio FE e MRTFE sulla qualità delle acque reflue invase in un serbatoio a flusso continuo <i>Cirelli G.L., Consoli S., Di Grande V., Russo A., Toscano A.</i>	325
Stima dei consumi idrici delle colture mediante telerilevamento da satellite e modelli di simulazione del bilancio idrologico <i>Somma G., D'Urso G.</i>	326
L'utilizzo di tecniche di telerilevamento per la stima di indici di vegetazione e dei flussi di evapotraspirazione da agrumeti <i>Barbagallo S., Consoli S., D'Urso G., Toscano A.</i>	327
Stima dell'evapotraspirazione da agrumeti utilizzando tecniche di bilancio energetico: il caso studio di Lindsay, California <i>Consoli S., Snyder R.L.</i>	328
Il progetto DEMETER: tecnologie spaziali per l'assistenza all'irrigazione <i>D'Urso G., Marotta F.</i>	329

Un software integrato in ambiente GIS per la stima dei fabbisogni irrigui	330
<i>Ortuani B., Gandolfi C., Facchi A., Di Guardo A., Botta M., Greco S.</i>	
A hysteresis based scaling approach to deduce field hydraulic behaviour from core scale measurements	331
<i>Basile A., Coppola A.</i>	
Una rete di monitoraggio della falda per un modello integrato a scala di bacino	332
<i>Ortuani B., Maggi D.</i>	
Sulla parametrizzazione dell'attingimento radicale nei modelli di bilancio idrologico	333
<i>Palladino M., D'Urso G.</i>	
Un modello per la definizione degli eventi critici di siccità agricola	334
<i>Mannocchi F., Todisco F., Vergni L.</i>	

INDIVIDUAZIONE AUTOMATICA DI PATOLOGIE MEDIANTE MISURE OTTICHE DA TRATTORE¹

Oberti R., Fiala M., Bodria L.

Istituto di Ingegneria Agraria – Università degli Studi di Milano
via Celoria 2 – 20133 Milano

[Tel: 02503.16846, Fax: 02503.16845, email: roberto.oberti@unimi.it]

Riassunto

Questo lavoro presenta i risultati principali di un progetto di ricerca europeo finalizzato allo sviluppo di un sistema ottico per l'individuazione automatica di patologie su colture erbacee. Obiettivo generale della ricerca era di mostrare la fattibilità di un sistema integrato per la *difesa di precisione delle colture*.

Dopo una prima fase di sperimentazione delle tecniche spettrofotometriche e di analisi di immagine per la discriminazione dei sintomi patologici, è stato realizzato un prototipo costituito da una telecamera multispettrale ad alta risoluzione, un sistema spettrofotometrico con sonde distribuite, un GPS e un computer per l'acquisizione dei dati. Il prototipo, montato su trattore, ha percorso appezzamenti sperimentali di frumento, inoculati artificialmente con *Septoria tritici* e *Puccinia striiformis*, per valutare il grado di infestazione delle parcelle.

L'analisi delle immagini multispettrali, basata sulle sole bande spettrali del rosso e del vicino infrarosso, ha consentito di discriminare tra aree vegetali sane e lesioni clorotiche e necrotiche. L'accordo fra i risultati ottenuti e i valori rilevati dai patologi è andato crescendo col progredire delle malattie, raggiungendo una correlazione assai elevata ($R^2=0,87$), nelle fasi di massimo sviluppo dell'attacco patologico.

Parole chiave: immagini multispettrali, proprietà ottiche delle piante, difesa di precisione delle piante

Summary

This paper reviews the main results of a UE research programme aimed to develop an optical system to automatically detect crop diseases and, in a wider sense, to show the feasibility of a system for a precision pest-management approach.

*After preliminary tests of spectral and imaging techniques for symptoms identification, a prototype constituted by an hyperspectral system, a multispectral camera, a GPS and a PC for data acquisition, was developed. The tractor-mounted prototype run in wheat experimental plots, artificially inoculated with *Septoria tritici* and *Puccinia striiformis*.*

Multispectral image analysis, based on red and near-infrared band, allowed to discriminated lesions form healthy canopy areas. The agreement between the results and disease severity reported by pathologists inspections was growing with the disease progress, reaching a quite high correlation during the most severe disease stage.

Key words: multispectral imaging, optical properties of plants, precision pest management

¹ Lavoro svolto nell'ambito del V Programma Quadro Europeo "Quality of Life Programme"

1. INTRODUZIONE

Fitofarmaci e diserbanti vengono attualmente applicati alle colture in maniera uniforme, nonostante numerosi tipi di patologie e di infestanti si caratterizzino, specie nelle fasi iniziali di sviluppo, per una distribuzione spaziale disomogenea e localizzata attorno a focolai di infezione (McCartney and Fitt, 1998; Waggoner and Aylor, 2000). Peraltro, i prodotti fitoprotettivi rappresentano una delle componenti che più incidono sui costi di produzione in agricoltura e sono considerati fra i più importanti inquinanti della falda acquifera e dei prodotti agricoli stessi.

La difesa delle colture dalle avversità e dalle infestanti avrebbe, dunque, un notevole beneficio da un approccio basato sui principi dell'*agricoltura di precisione* che mira, appunto, alla gestione razionale dei fattori produttivi -biologici, chimici, energetici-, in funzione della variabilità spaziale e temporale delle condizioni e dei bisogni della coltura in campo. Ciò, al fine di incrementare la qualità delle produzioni ottenute e migliorare la sostenibilità economica e ambientale delle pratiche agricole.

In questa cornice, è andato crescendo l'interesse per quella che, con un piccolo abuso di linguaggio, si potrebbe definire *difesa di precisione delle colture*, ossia per i metodi e le tecnologie finalizzate alla distribuzione mirata e razionale di prodotti fitoprotettivi, secondo i principi cardine del *dove, quando* e, nei casi possibili, *quanto* necessario.

Un sistema per la difesa di precisione delle colture deve necessariamente comprendere un sensore capace di rilevare i sintomi della presenza di patologie, possibilmente a stadi precoci di sviluppo. Tra le possibili soluzioni, i sensori ottici occupano una posizione di primario interesse, in virtù di loro caratteristiche peculiari: i) consentono misure non distruttive che, quindi, possono essere effettuate su tutto il campo, e ripetute durante la stagione, senza interferire col normale sviluppo delle colture; ii) non richiedono contatto col campione esaminato e possono operare dalla distanza ritenuta più opportuna; iii) si basano su fenomeni istantanei che consentono misure rapide e compatibili con le velocità operative delle macchine in campo (Oberti, 2004).

La possibilità di valutare otticamente lo stato sanitario delle colture è basata sulle trasformazioni chimico-fisiche indotte dal patogeno nel tessuto vegetale che, a loro volta, modificano il modo in cui la radiazione luminosa incidente sulla pianta interagisce col tessuto stesso. Per esempio, Lorenzen e Jensen (1989) riportano un incremento della riflettanza (la frazione di luce riflessa rispetto a quella incidente) nella regione spettrale del visibile in foglie di orzo affette da oidio. Polischuk et al. (1997) individuano, in laboratorio, sintomi precoci di tobamovirus su tabacco osservando variazioni di riflettanza nel regioni di assorbimento delle clorofilla (470 nm e 670 nm). Similmente, Sasaki et al. (1998) presentano un sistema per l'individuazione automatica di lesioni fungine su foglie di cocomero mediante analisi di immagini acquisite, a 500-650 nm, in condizioni di laboratorio.

West et al. (2003) descrivono le principali modificazioni delle proprietà ottiche della coltre fogliare, evidenziando le potenzialità di applicazione delle loro misure nell'identificazione di sintomi di patologie in condizioni di campo. Gli autori concludono che la regione del rosso e del vicino infrarosso (650-800 nm), risultano di particolare interesse, specie per l'individuazione delle areole clorotiche e necrotiche che si sviluppano nelle zone in cui l'integrità dei tessuti cellulari è stata danneggiata dal patogeno.

Questo lavoro presenta i risultati del progetto di ricerca europeo Optidis, finalizzato allo sviluppo e alla sperimentazione di un sistema ottico per l'individuazione automatica dal trattore e la mappatura di patologie fungine su colture erbacee. Secondariamente, il progetto

di ricerca ha mirato a dimostrare la fattibilità di un sistema integrato per la difesa di precisione delle colture, costituito da: sensore di misura; sistema esperto epifitologico basato su GIS per la previsione dell'evoluzione delle infezioni; sistema di controllo per la distribuzione modulata dei fitofarmaci sulla base di una mappa digitale di applicazione.

In particolare, la relazione si focalizza sullo sviluppo e la sperimentazione di un sistema di visione multispettrale e la messa a punto degli algoritmi di analisi dell'immagine, per l'individuazione automatica di patologie in campo.

2. MATERIALI E METODI

Come caso di studio, la ricerca ha considerato alcune malattie fungine su frumento, articolando in lavoro in più fasi. In laboratorio si sono preliminarmente sperimentate diverse tecniche di acquisizione di immagini di piante inoculate, al fine di individuare un numero ristretto di lunghezze d'onda, adatte alla discriminazione dei sintomi. In campo sono state acquisite immagini a punto fisso in parcelle sperimentali inoculate, al fine di mettere a punto opportuni algoritmi di analisi delle immagini. Infine è stato sviluppato un prototipo, comprendente un sistema di visione, che ha operato su trattore in parcelle di frumento inoculate artificialmente.

2.1 MISURE PRELIMINARI IN LABORATORIO

Diversi gruppi di piante di frumento, *Triticum spp.*, sono state allevate in serra e inoculate, all'età di circa 15 giorni, con Oidio, Ruggine Gialla e Ruggine Bruna. Dopo l'inoculo, a intervalli regolari, le piante sono state temporaneamente trasportate in laboratorio per l'acquisizione di immagini.

Il sistema di acquisizione di immagini era costituito da una telecamera monocromatica a 10 bit (Pulnix TM1300) con una risoluzione di 1300x1000 pixel. La telecamera era equipaggiata con uno splitter ottico (OptoInsight MultiSpec4) in grado di suddividere l'immagine acquisita in quattro sotto-immagini, ognuna delle quali poteva essere filtrata in uno specifico intervallo spettrale, mediante filtri ottici passabanda. Un PC dotato di scheda di acquisizione di immagini (National Instruments IMAQ1422) consentiva di digitalizzare le immagini, registrandole su disco fisso. Quattro lampade alogene da 20 W provvedevano alla illuminazione dei campioni.

Per ogni pianta sono state scelte due foglie e rese riconoscibili mediante etichette per la ripetizione delle misure a diversi stadi di sviluppo della malattia. Le immagini venivano acquisite distendendo ogni foglia, lasciata attaccata alla pianta, sul piano del supporto illuminato. Ogni campione è stato esaminato a quattro stadi della patologia: a 2-3 *dai* (giorni dall'inoculo), a 7-8 *dai*, a 13-14 *dai* e a 18-20 *dai*

L'acquisizione di immagini monocromatiche a diverse lunghezze d'onda si è ottenuta montando nello splitter ottico, filtri interferenziali con banda passante di 20 nm centrata a diverse lunghezze d'onda del visibile e del vicino infrarosso (Lot-Oriel, 450FS20 - 800FS20).

2.2 MISURE DI CAMPO A PUNTO FISSO

Successivamente alle misure sperimentali di laboratorio, il sistema per l'acquisizione di immagini è stato montato su un carrello mobile per l'acquisizione di immagini di piante in campo (Fig.1). Sulla base dei risultati emersi in laboratorio, il sistema è stato equipaggiato con filtri per acquisire immagini nella banda del verde (550 nm), nel giallo (600 nm), nel rosso (675 nm) e nel vicino infrarosso (750 nm). L'area di vegetazione misurata aveva un diametro di circa 0,3-0,4 m, con una corrispondente risoluzione delle immagini monocromatiche di circa 0,4 mm/pixel.

Le misure sono state condotte con illuminazione naturale in parcelle di frumento inoculate con septoriosi e ruggine gialla. Negli stessi punti di acquisizione, un fitopatologo valutava la severità dei sintomi presenti, esprimendo in una scala percentuale la superficie fogliare interessata da sintomi delle malattie.



Fig. 1. A destra, il sistema di acquisizione di immagini sul carrello; a sinistra, acquisizioni in una parcella sperimentale e contestuale valutazione del grado di severità dell'infezione

2.3 ALGORITMO PER L'ANALISI DI IMMAGINI MULTISPETTRALI

Nella prospettiva di un'applicazione pratica su un prototipo di campo, gli algoritmi per l'analisi delle immagini multispettrali dovevano soddisfare alcune condizioni:

- basarsi su un'immagine multispettrale acquisita a un numero contenuto di lunghezze d'onda (possibilmente due, massimo tre);
- richiedere operazioni semplici per limitare il tempo di calcolo necessario;
- identificare sintomi comuni degli attacchi fungini per evitare calibrazioni specifiche per ogni patologia;
- quantificare la severità delle infezioni, in modo che la loro accuratezza potesse essere confrontata con i rilievi fitopatologici.

Tenendo in considerazione queste condizioni, è stato messo a punto un algoritmo basato su immagini della coltura vegetale acquisite nel rosso (675 nm) e nel vicino infrarosso (750 nm). Il suo principio di funzionamento si articola in due fasi operative: i pixel vengono dapprima discriminati in tessuto vegetale e sfondo (terreno, residui, spighe ecc.) mediante il calcolo di un indice normalizzato I_{NDVI} ; successivamente, fra i pixel classificati come tessuto vegetale vengono individuate le regioni corrispondenti a lesioni patologiche, in base al rapporto dei livelli di grigio nel rosso e nell'infrarosso I_{675}/I_{750} , sensibilmente correlato alla concentrazione di clorofilla nel tessuto e, dunque, in grado di rilevare le depigmentazioni tipiche delle lesioni.

Il processo di analisi, infine, quantifica la severità dei sintomi rilevati nell'area misurata, restituendo l'indice di lesioni LI :

$$LI = \frac{n_L}{n_L + n_S} \quad (1)$$

dove n_L è il numero di pixel nell'immagine classificati come appartenenti a lesioni e n_S è il numero di quelli classificati come tessuto sano.

2.4 MISURE DA TRATTORE

Nel periodo aprile-giugno 2003 un prototipo, montato su trattore, ha operato in appezzamenti sperimentali di frumento per l'individuazione e la mappatura automatica di lesioni derivanti da Septoriosi e Ruggine gialla. Il prototipo realizzato comprendeva: un GPS differenziale; un PC per l'acquisizione dei dati e la gestione della strumentazione; un sistema spettrofotometrico (SPECIM V900) con sonde distribuite, a intervalli di 1 m, su una larghezza di 15 m; una telecamera multispettrale ad alta risoluzione per l'acquisizione di immagini nel rosso e nel vicino infrarosso (Fig.2).

La telecamera, posizionata a circa 2 m di altezza dalla coltre vegetale, aveva un campo di visione di circa 2 m x 1 m, con una risoluzione di circa 0,8 mm/pixel. Gli appezzamenti sperimentali sono stati percorsi a intervalli regolari dal prototipo a una velocità ridotta, di circa 1 km/h. Durante le misure venivano registrate nel computer di bordo, posizione di acquisizione, immagini bispettrali e spettri di riflettanza della coltre vegetale. Le immagini acquisite a intervalli di avanzamento di circa 15-30 cm, venivano analizzate automaticamente per ottenere un indice di lesione LI puntuale. Utilizzando le coordinate geografiche del punto di misura, è stato possibile riunire i valori ottenuti in mappe di infestazione delle parcelle.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con i valori registrati dai fitopatologi in contestuali rilievi.



Fig. 2. Il prototipo montato su trattore

3 RISULTATI

3.1 IMMAGINI MULTISPETTRALI IN LABORATORIO

I sintomi delle malattie fungine considerate nelle misure preliminari, al di là di pigmentazioni specifiche di un determinato patogeno e del suo stadio di sviluppo, hanno mostrato alcune caratteristiche comuni, utili al fine di sviluppare un algoritmo di identificazione automatica di malattie basato su immagini multispettrali.

In particolare, nelle fasi iniziali della patologia (3-8 *dai*) compaiono sulla superficie fogliare, areole depigmentate di dimensioni di millimetriche, in corrispondenza dei punti in cui l'integrità dei tessuti cellulari è stata danneggiata dal patogeno. In queste areole, i pigmenti -e la clorofilla in particolare- degradano rapidamente, provocando un sensibile incremento localizzato della riflettanza soprattutto nella banda visibile (400-700 nm). Al progredire

dell'infezione (10-15 *dai*) le singole lesioni si estendono fino a raggiungere dimensioni centimetriche, senza mostrare ulteriori variazioni delle proprietà ottiche. Si osservano invece nuovi punti di inoculo che si producono a partire dalle lesioni esistenti. Nelle fasi successive (20 *dai*) il tessuto necrotizza, sviluppando pigmenti bruni che diminuiscono leggermente la riflettanza nel vicino infrarosso.

La figura 3.A. mostra un esempio rappresentativo di immagini di una foglia a 690 nm, acquisite dopo 3, 7, 14 e 20 giorni dall'inoculo con ruggine bruna. Sono evidenti le lesioni patologiche che si manifestano, a partire da 7 *dai*, come regioni di pixel con livelli di grigio significativamente più elevati di quelli corrispondenti al tessuto sano circostante. Ne consegue che l'identificazione precoce di patologie fungine mediante immagini necessita di una risoluzione spaziale millimetrica o sub-millimetrica

In figura 3.B. sono rappresentate, per diverse lunghezze d'onda del visibile e del vicino infrarosso, le variazioni medie nei livelli di grigio dei pixel, indotte da ruggine bruna. I dati rappresentati si riferiscono a dieci foglie a 12 giorni dall'inoculo e, come atteso, mettono in evidenza che le modificazioni più significative si hanno nella regione spettrale del picco di assorbimento della clorofilla, attorno a 675 nm. Risultati simili sono stati trovati per piante inoculate con ruggine gialla e oidio.

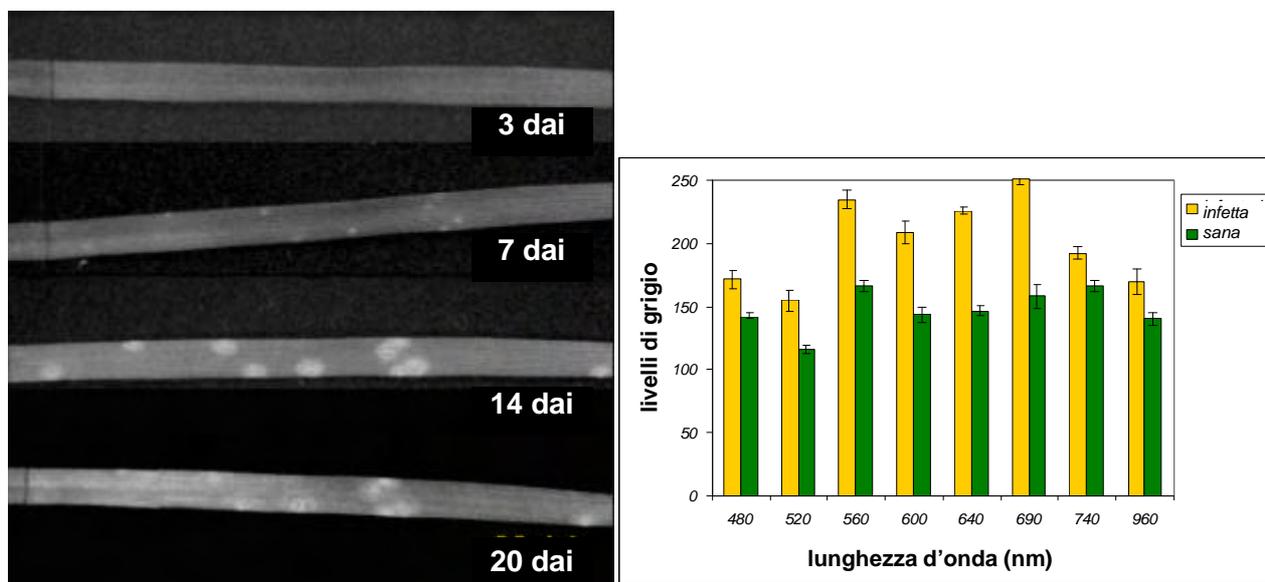


Fig. 3A. (Destra) Immagini a 690 nm di una foglia inoculata con ruggine bruna a diverse fasi di sviluppo della patologia.

Fig. 3B. (Sinistra) Valori medi dei livelli di grigio di pixel appartenenti a regioni sane e infette, ottenuti da immagini monocromatiche di 10 foglie inoculate attaccate da ruggine bruna a 12 *dai*

3.2 ANALISI DI IMMAGINI DA MISURE DI CAMPO A PUNTO FISSO

L'acquisizione di immagini in campo a punto fisso, oltre a evidenziare alcuni specifici problemi dovuti all'ampia variazione dei livelli di illuminazione e alla presenza di vento, ha confermato le caratteristiche spettrali delle lesioni osservate nelle immagini di laboratorio. I sintomi, indipendentemente da particolari pigmentazioni specifiche del tipo di patologia, risultavano evidenti nelle immagini a 675 nm come regioni di pixel con livelli di grigio significativamente più alti (contorno rosso in Fig.4-675) di quelli del tessuto sano (contorno verde in Fig.4-675). I sintomi patologici non hanno influenzato i livelli di grigio dei pixel nell'immagine a 750 nm che, tuttavia, può essere usata per discriminare la vegetazione, caratterizzata da un'elevata riflettanza a questa lunghezza d'onda, e suolo che ha livelli di

grigio molto più bassi (Fig.4-750).

Al fine di valutare la capacità di identificazione delle lesioni da patologie in immagini acquisite in condizioni di campo, l'algoritmo è stato applicato a un gruppo di 15 immagini multispettrali, scelte in modo da ottenere un insieme rappresentativo delle tipiche condizioni in cui si effettua la misura (intensità di illuminazione, densità della vegetazione, severità delle lesioni, copertura del suolo, presenza di materiali estranei ecc.). In ognuna delle immagini di prova sono state selezionate manualmente diverse regioni di dimensioni variabili tra 5×5 e 25×25 pixel. Ciascuna regione conteneva pixel corrispondenti a una sola classe (suolo, tessuto sano, lesioni patologiche).

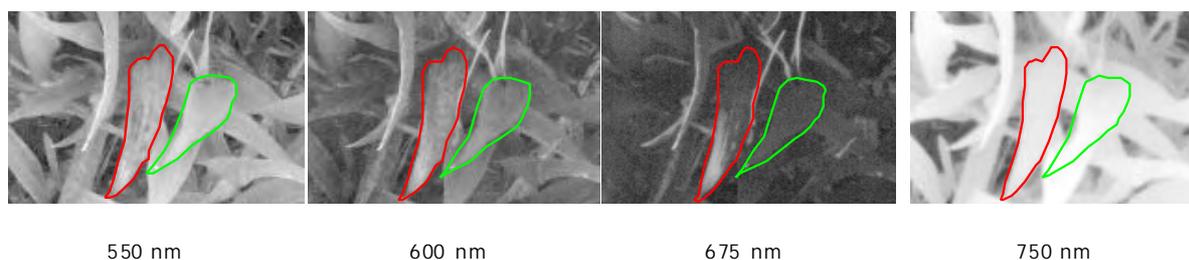


Fig. 4. Immagini multispettrali di campo su piante affette da septoriosi; nel contorno verde una foglia sana, in rosso una foglia malata

L'algoritmo di analisi è stato applicato al gruppo di immagini e i risultati della classificazione automatica dei pixel delle regioni selezionate sono stati confrontati con la classe assegnata manualmente (Tab.1).

Tab.1. Risultati della classificazione automatica dei pixel appartenenti a regioni selezionate manualmente da un gruppo di immagini multispettrali di prova.

		Classificazione automatica dell'algoritmo			
		tessuto sano	lesioni	suolo	(n° di pixel)
Classificazione manuale	tessuto sano	95.6 %	0.7%	3.7%	12117
	lesioni	2.1 %	88.8 %	9.1 %	3013
	suolo	0.8 %	2.1 %	97.1 %	9890
	(n° di pixel)	11726	2968	10326	Tot = 25020

La tabella 1 mostra una soddisfacente capacità di discriminazione dell'algoritmo, sebbene la classificazione corretta dei pixel appartenenti a lesioni sia risultata errata in circa il 10% dei casi. Un'analisi delle più frequenti cause di errore ha evidenziato che:

- i falsi positivi corrispondenti a tessuto sano classificato come lesioni (0.7%) avvengono generalmente per pixel corrispondenti a grani di polline maturo sviluppato dalle spighe; in applicazioni reali il sistema dovrebbe operare principalmente a stadi precoci di sviluppo della coltura, rendendo trascurabile l'incidenza di questo tipo di errore;
- l'errata classificazione di pixel corrispondenti allo sfondo come lesioni (2.1%) avviene principalmente in immagini con bassa densità di copertura e in condizioni di illuminazione disomogenea come, a esempio, in zone d'ombra;

- i falsi negativi corrispondenti a lesioni classificate come tessuto sano (2.1%) avviene per lesioni presenti su foglie prossime al terreno; il basso rischio epidemiologico legato a queste condizioni potrebbe rendere trascurabile questo tipo di errore;
- i falsi negativi causati da pixel di lesioni classificati come suolo (8.1%) costituiscono la più importante e rischiosa fonte di errore che è stata riscontrata specialmente in immagini a bassa densità di copertura; questo tipo di errore deve essere valutato attentamente nella definizione delle soglie di discriminazione adottate nell'algoritmo.

3.3 INDIVIDUAZIONE AUTOMATICA DI PATOLOGIE MEDIANTE ACQUISIZIONE DI IMMAGINI BISPETTRALI DA TRATTORE

L'andamento climatico della stagione 2003, caratterizzato da temperature elevate e assenza di precipitazioni rilevanti, ha fortemente limitato lo sviluppo delle patologie e la loro espansione attorno ai focolai di inoculo. Per questa ragione, le misure condotte nella prima parte della stagione hanno rilevato valori molto contenuti dell'indice di lesioni LI. Un'estensione dei sintomi sufficiente a valutare la sensibilità del sistema, è stata raggiunta solamente in fasi avanzate di sviluppo della coltura, successivamente alla comparsa delle spighe (prima decade di giugno). La presenza di spighe, specie con polline maturo, è risultata essere interferire sull'accuratezza di classificazione del sistema, a causa della similarità spettrale con le lesioni patologiche. Pertanto, al fine di provare il prototipo su piante che manifestavano una severità di infezione sufficientemente elevata senza l'interferenza delle spighe, queste sono state rimosse in un'area di circa 6 m x 2 m nell'intorno di un focolaio di inoculo, dove è stata condotta l'ultima sessione di misure (fine della seconda decade di giugno).

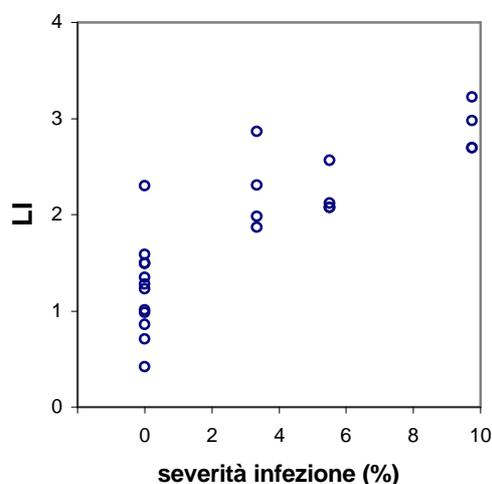


Fig. 5. Correlazione fra la severità dell'infezione registrata nei rilievi fitopatologici e l'indice di lesioni LI misurato dal prototipo durante stadi iniziali di sviluppo di ruggine gialla (seconda decade di maggio)

Il grafico in figura 5 mostra la relazione fra la severità dell'infezione rilevata dai patologi e l'indice LI misurato dal prototipo durante le fasi iniziali di sviluppo di ruggine gialla (seconda decade di maggio) in tre parcelle sperimentali. Le due misure risultano sufficientemente correlate per i rilievi fatti in prossimità dei punti di inoculo (punti del grafico con severità di infezione > 0). Viceversa, i dati relativi a misure effettuate in zone virtualmente sane (punti del grafico con severità di infezione =0) mostrano un'elevata dispersione. Tale dispersione non è soltanto dovuta al limite di accuratezza intrinseco della

misura (errata classificazione di una frazione dei pixel, presenza di materiale estraneo nell'immagine, riflessi speculari sulle foglie ecc.), ma anche al fatto che il prototipo ha rilevato una contenuta presenza di lesioni patologiche –facilmente osservabili nelle immagini registrate- in aree che erano state assunte come sane dai patologi, per la loro distanza dai punti di inoculo.

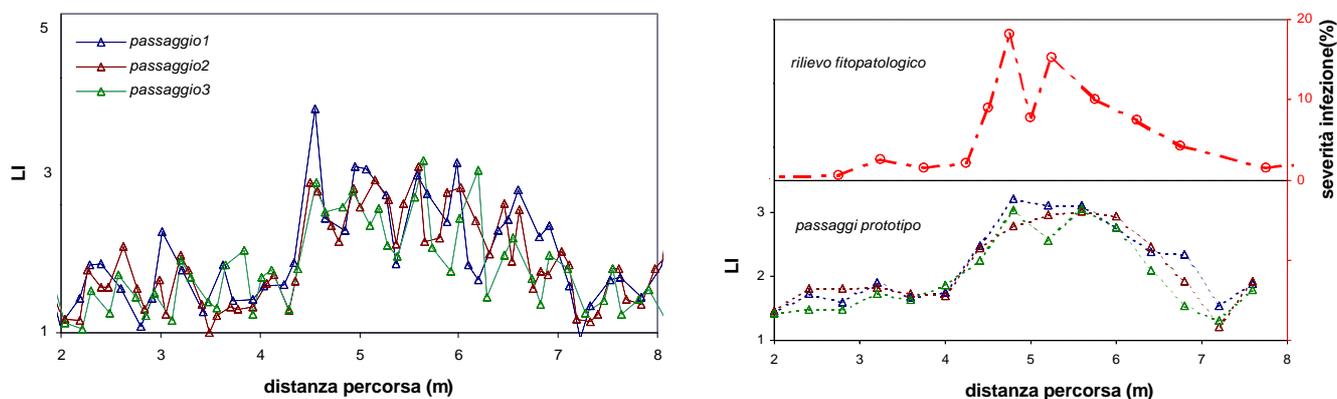


Fig. 6. A sinistra, profilo spaziale dei valori di LI ottenuti da ogni singola immagine acquisita durante misure ripetute in una parcella. A destra, i valori di LI mediati su intervalli di 40 cm, confrontati col profilo del rilievo fitopatologico nella stessa parcella (prima decade di giugno)

La figura 6 riporta, a sinistra, il profilo spaziale dei valori di LI ottenuti analizzando ogni singola immagine acquisita durante passaggi ripetuti in una parcella nella prima decade di giugno. L'interferenza della presenza delle spighe sull'accuratezza dell'algorithm di analisi delle immagini, è messa in evidenza dalla discontinuità dei profili ottenuti e dalla limitata ripetibilità delle misure nei passaggi successivi. Considerando, tuttavia, i valori medi di LI relativi a misure condotte in intervalli di 40 cm, la ripetibilità dei dati aumenta considerevolmente (Fig.6. destra) e il profilo rappresenta ragionevolmente bene il risultato del rilievo fitopatologico, mostrando un incremento di LI in corrispondenza del focolaio situato fra 4 e 6,5 m.

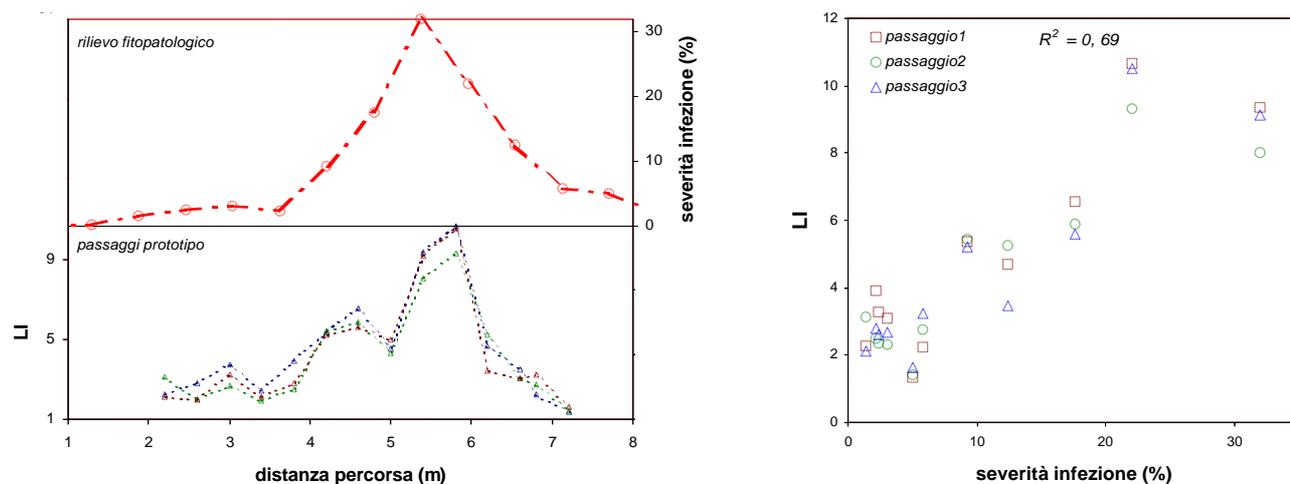


Fig. 7. Confronto tra valori di LI e severità dell'infezione registrata nel rilievo fitopatologico in una parcella con attacco intenso di ruggine gialla (seconda decade di giugno)

Nelle misure condotte in date successive (seconda decade di giugno) l'aumento delle lesioni sulla coltre fogliare ha ridotto l'incidenza delle delle spighe sull'accuratezza della misura e, in generale, la correlazione fra i rilievi fitopatologici e i valori di LI è stata nell'intervallo $R^2=0,4-0,7$. In figura 7 sono, a esempio, confrontati i profili della severità di infezione e i dati di LI misurati in tre passaggi del prototipo in una parcella particolarmente colpita (severità massima di circa 30%). A parte una deviazione in corrispondenza della posizione $x=5$ m, i due profili concordano in maniera soddisfacente, con un coefficiente di determinazione totale pari a $R^2=0,69$.

Come atteso, i risultati migliori si sono ottenuti nella parcella dove le spighe erano state rimosse. In questo caso, sia la ripetibilità delle misure ottenute in passaggi successivi, sia la correlazione fra l'indice di lesioni LI e le osservazioni fitopatologiche sono state elevate, con un coefficiente di determinazione $R^2=0,87$.

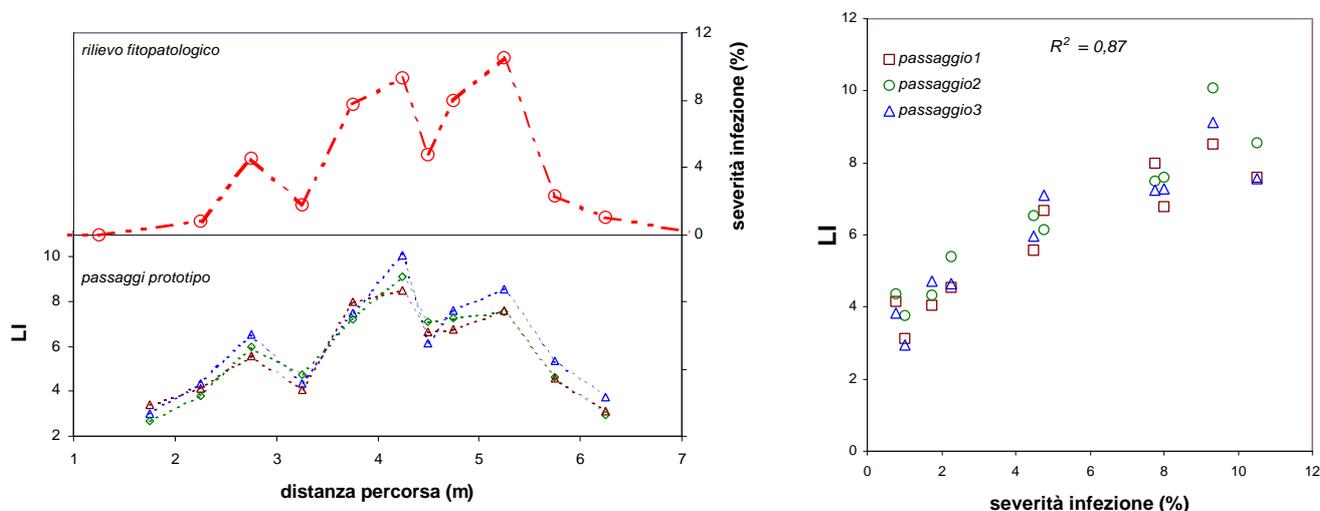


Fig. 8. Confronto tra valori di LI e severità dell'infezione registrata nel rilievo fitopatologico nella parcella in cui sono state rimosse le spighe per evitare l'interferenza della loro presenza sull'accuratezza dell' algoritmo di individuazione delle patologie (seconda decade di giugno)

Le immagini acquisite in questa particolare parcella, sono state analizzate al fine di valutare anche il profilo trasversale dei sintomi patologici, così da ottenere un esempio di mappa dell'infestazione. Da ogni immagine bispettrale acquisita sono state estratte tre sottoimmagini, una relativa alla parte sinistra dell'area misurata, una alla parte mediana e una alla parte destra. Ciascuna delle sottoimmagini, corrispondente a una regione di vegetazione di circa 60 cm x 30 cm, è stata analizzata dall'algoritmo di individuazione delle lesioni, ottenendo l'andamento del indice LI nella direzione longitudinale e trasversale rispetto alla traiettoria del trattore.

La figura 9 mostra, a sinistra, la mappa dei dati di LI rilevati dal prototipo e, a destra, la corrispondente mappa della severità dei sintomi ottenuta dai valori registrati dai patologi nei punti di campionamento. Dal loro confronto si può osservare come l'andamento generale sia concorde. In particolare, la zona di inoculo attorno al punto [4m; 0m] e il focolaio secondario centrato in [5,8m; 0m] sono stati correttamente individuati dal prototipo. Lo stesso si può dire del focolaio situato in [2,2m; 0m], del quale è stata anche correttamente quantificata la minore intensità, con $LI \approx 5$, rispetto ai due focolai principali caratterizzati da $LI \approx 10$. E' anche interessante notare che il gradiente trasversale riportato dai fitopatologi (la severità di infezione raddoppia passando dal punto [4m; -0,25m] a [4m; +0,50m]) è coerente con i valori

di LI rilevati dal prototipo nelle subimmagini corrispondenti alla zona di sinistra e quella di destra dell'area misurata.

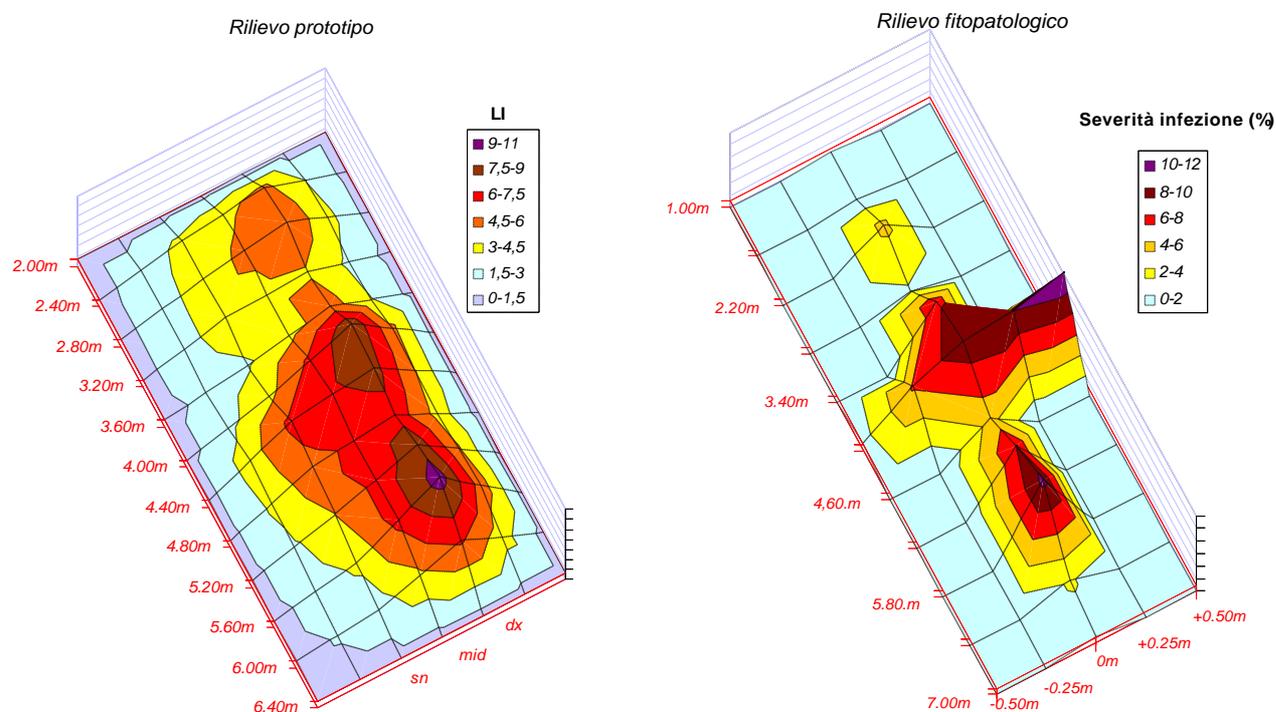


Fig. 9. A sinistra, mappa dei dati di LI rilevati dal prototipo nella parcella in cui sono state asportate le spighe; a destra, la corrispondente mappa della severità dei sintomi rilevate dai patologi (seconda decade di giugno)

4. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti nell'ambito del progetto di ricerca europeo *Optidis*, mostrano la fattibilità di un sistema integrato per la *difesa di precisione delle colture* costituito da un sensore ottico, un sistema esperto per la previsione dell'evoluzione delle patologie e un sistema di controllo per la distribuzione modulata dei fitofarmaci.

In particolare, il prototipo realizzato per l'individuazione di sintomi di patologie fungine su frumento è stato in grado di operare, pur a velocità contenuta, in parcelle sperimentali inoculate con *Septoria tritici* e *Puccinia striiformis*.

L'individuazione di un indice di lesioni LI è basata su un algoritmo di analisi di immagini bispettrali, acquisite nelle bande spettrali del rosso e del vicino infrarosso. Il confronto tra i dati misurati dal prototipo e i valori di riferimento rilevati dai patologi, ha mostrato che l'accuratezza delle misure ottiche è andata crescendo col progredire delle malattie, raggiungendo un accordo elevato ($R^2=0,87$) nelle fasi di massimo sviluppo dell'attacco patologico. Risultati qualitativi molto interessanti sono stati altresì ottenuti negli stadi iniziali di sviluppo delle infezioni, con lesioni clorotiche aventi dimensioni inferiori a 1 cm. La sperimentazione in campo ha anche consentito di individuare i principali fattori che limitano l'accuratezza del sistema e che sono risultati legati alla variabilità dell'illuminazione naturale e, nelle fasi di avanzato sviluppo della coltura, alla comparsa delle spighe.

Bibliografia

Lorezen B, Jensen A. (1989), *Changes in spectral properties induced in barley by cereal powdery mildew*, Remote Sensing of Environment, 27:201–209

McCartney HA, Fitt BDL. (1998). *Dispersal of foliar fungal plant pathogens: mechanisms, gradients and spatial patterns*, in The Epidemiology of Plant Pathogens, pp.138–160, ed.DG Jones, Dordrecht: Kluwer

Oberti R. (2004), *Sistemi ottici per la valutazione dello stato sanitario delle piante*, I Georgofili, Atti dell'accademia, Anno 2003, Vol.L, pp.299-318, Soc. Ed. Fiorentina, Firenze

Polischuk VP, Shadchina TM, Kompanetz TI, Budzanivskaya IG, Sozinov AL. (1997), *Changes in reflectance spectrum characteristic of Nicotiana debneyi plant under the influence of viral infection*, Arch. Phytopathol. Plant Prot. 31:115–19

Sasaki Y, Okamoto T, Imou K, Torii T. (1998), *Automatic diagnosis of plant disease-spectral reflectance of healthy and diseased leaves*. Proc.of '98 AgEng Conference, Oslo, Norway

Waggoner PE, Aylor DE. (2000), *Epidemiology: a science of patterns*, Ann. Rev. Phytopathol., 38: 71–94

West JS, Bravo C, Oberti R, Lemaire D, Moshou D, McCartney HA. (2003), *The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases*, Annu. Rev. Phytopathol., 41:593–614

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato supportato dall'Unione Europea nell'ambito del V Programma Quadro "Quality of Life Programme"

ISBN 88-901860-0-3

GeoGrafica - Catania